T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ODUNLARDAN ÜRETİLEN ÇAPRAZ LAMİNASYONLU PANELLERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

MUSTAFA ÖNCEL

DOKTORA TEZİ

DOÇ. DR. ALPEREN KAYMAKCI

KASIM - 2022
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Mustafa ÖNCEL tarafından hazırlanan "**Isıl İşlem Uygulanmış Odunlardan Üretilen Çapraz Laminasyonlu Panellerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **02.11.2022** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Alperen KAYMAKCI Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Özgür ANIL Gazi Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Ümmü KARAGÖZ İŞLEYEN Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Kadir KARAKUŞ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Önder TOR Kastamonu Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü V. Doç. Dr. Osman ÇİÇEK .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde 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, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Mustafa ÖNCEL

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ISIL İŞLEM UYGULANMIŞ ODUNLARDAN ÜRETİLEN ÇAPRAZ LAMİNASYONLU PANELLERİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

MUSTAFA ÖNCEL

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:DOÇ. DR. ALPEREN KAYMAKCI

Bu çalışmada, ThermoWood yöntemi kullanılarak ısıl işlem uygulanmış farklı ağaç türü odunlarından üretilen çapraz laminasyonlu ahşap (ÇLK) panel çeşitlerinin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışmada ısıl işlem uygulamasının poliüretan (PU) tutkalının yapışma kalitesine olan etkisi ve kereste olarak kullanımı az olan kavak (*Populus* spp.) gibi ağaç türlerinin ÇLK panel üretiminde orta tabakada kullanım özellikleri incelenmiştir. ÇLK panel üretiminde, ısıl işlem uygulanmış sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Amerikan dişbudağı (*Fraxinus americana* L.) keresteleri ile ısıl işlem uygulanmamış sarıçam ve Amerikan dişbudağı keresteleri Nova Orman Ürünleri A.Ş. firmasından, ısıl işlem uygulanmamış Samsun kavağı (I-77/51 *Populus deltoides* Bartr.) keresteleri ise Kaswood Endüstriyel Orman Ürünleri A.Ş. firmasından temin edilmiştir. ÇLK panellerin üretiminde tabakalarda kullanılan ahşap malzeme türü üç farklı şekilde kullanılmıştır. Bunlardan ilki; dış tabakalarda ayrı ayrı gruplarda sarıçam, termo sarıçam, dişbudak ve termo dişbudak, orta tabakada kavak odunu kullanılarak üretilen S 90, TS 90, D 90 ve TD 90 grubu paneller, ikincisi dış tabakalarda ve orta tabakada sadece kavak odunu kullanılarak üretilen K 90 grubu paneller ve sonuncusu kontrol gruplarına kıyasla orta tabaka açı oryantasyonu 45 derece olarak ayarlanmış S 45, TS 45, K 45, D 45 ve TD 45 grubu panellerdir. Üretilen ÇLK panellerden ve kullanılan ahşap malzemelerden ilgili standartlarda belirtilen ölçülere göre deney numuneleri hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler SPSS 26 istatistik programı yardımıyla değerlendirilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Çalışma sonucunda ısıl işlem uygulamasının üretimde kullanılan ahşap malzemelerin lif doygunluk noktası, denge rutubet miktarı, hacmen daralma, eğilme direnci, çekme direnci, tutkal adezyon direnci değerlerinde azalmaya neden olduğu, ekstraktif madde yüzdesinde ise genellikle bir artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca malzemelerin elastikiyet modülü ve basınç direnci değerlerinde artış tespit edilmiştir.

Üretilen ÇLK panellerin özellikleri incelendiğinde ise suda bekletme deneyi sonucunda ısıl işlem uygulaması panellerin kalınlık artış yüzdelerinde azalma, ağırlık artış yüzdelerinde düşük oranda bir azalma sağladığı, orta tabaka açı oryantasyonunun ise kalınlık artışına etkili olmadığı, ağırlık artışına ise düşük oranda arttırıcı yönde etkili olduğu görülmüştür. Isıl işlem uygulaması panellerin su buharı iletimi özelliği bakımından S 90-45 gruplarında azalmaya, D

90-45 gruplarında düşük oranda azalmaya, orta tabaka açı oryantasyonu ise TD 45 grubu haricinde kalan S 45, TS 45, K 45 ve D 45 gruplarında düşük oranda azalmaya neden olmuştur. Isıl işlem uygulamasının panellerin termal iletkenlik özelliklerinde azalmaya neden olduğu, orta tabaka açı oryantasyonunun ise S 45 grubu dışında kalan TS 45, K 45, D 45 ve TD 45 gruplarında değerlerde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Isıl işlem uygulaması panellerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde azalmaya, orta tabaka açı oryantasyonu ise TS 45, D 45 ve TD 45 gruplarında bu değerlerde artışa, S 45 ve K 45 gruplarında ise genellikle bu değerlerde azalmaya neden olmuştur. Değerler ANSI APA PRG 320 (2012) ÇLK üretim standardında belirtilen değerler ile kıyaslandığında D 45 grubu E1 sınıfı, S 90 ve S 45 grupları, D 90 grubu ve TD 45 grubu E3 sınıfı şartlarını sağlamaktadır. TS 90-45 ve K 90-45 grupları ile TD 90 grubu elastikiyet modüllerinin yeterli gelmemesi nedeniyle hiçbir gruba girememiştir. Isıl işlem uygulaması panellerin yüzeyine ve dış tabaka elyaf yönüne paralel basınç direnci üzerine S 90-45 gruplarında arttırıcı, D 90-45 gruplarında ise azaltıcı yönde etki etmiştir. Orta tabaka açı oryantasyonu ise K 45 ve D 45 gruplarında azaltıcı yönde S 45, TS 45 ve TD 45 gruplarında ise arttırıcı yönde etki etmiştir. Değerler ÇLK üretim standardı ile kıyaslandığında tüm grupların E1 sınıfı şartlarını sağladığı gözlemlenmiştir. Liflere dik basınç direnci özelliklerinde gruplar arasında anlamlı derecede fark tespit edilememiştir. Isıl işlem uygulaması panellerin delaminasyon özellikleri üzerine S 90-45 gruplarında arttırıcı yönde etki etmiş, D 90-45 gruplarında ise etkili olmamıştır. Orta tabaka açı oryantasyonu ise D 45 grubu haricindeki gruplarda delaminasyonu azaltıcı yönde etki ederek panellerin suya karşı olan dayanıklılığında artış sağlamıştır. Orta tabaka açı oryantasyonu 4 nokta eğilme, liflere paralel basınç, delaminasyon ve kalınlık artışı deneylerinde anlamlı derecede bir farka neden olmuş, haricindeki deneylerde ise az miktarda farka neden olmuş olsa da %95 güven aralığında anlamlı derecede bir fark oluşumu sağlayamamıştır.

Çalışma sonucunda panel üretiminde yerli veya endemik odun türlerinin kullanılarak yeni çalışmalar yapılması, farklı sert ağaç türlerinin ÇLK panel üretiminde uygunluğunun tespit edilmesi, orta tabakada 45 derece açı uygulamasının diğer ağaç türleri üzerine etkilerinin tespiti amacıyla farklı türlerden üretilmiş ÇLK panellerin performanslarının tespit edilmesi, farklı tutkal türleri ve markalarının performanslarının tespit edilmesi, panel üretiminde ardışık tabakalarda farklı ağaç türleri kullanılarak yeni çalışmaların yapılması ve parmak dişli birleştirmeye alternatif daha dayanıklı birleştirme çeşitleri hakkında kapsamlı çalışmalar yapılması önemli görülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER:ÇLK panel, CLT, thermowood, fiziksel özellikler, mekanik özellikler, *Populus* spp.

Kasım 2022, 183 Sayfa

ABSTRACT

PH.D THESIS

SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CROSS-LAMINATED TIMBER PANELS PRODUCED FROM HEAT TREATED WOOD

MUSTAFA ÖNCEL

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF FOREST INDUSTRIAL ENGINEERING

SUPERVISOR:ASSOC. PROF. ALPEREN KAYMAKCI

In the study, some physical and mechanical properties of different types of cross laminated timber (CLT) panels produced from different types of wood with and without heat treatment application with the ThermoWood method were determined. In addition, the effect of heat treatment on the adhesion strength of polyurethane (PU) glue and the use of wood species such as poplar (*Populus* spp.), which is less used as timber, in the middle layer of CLT panel production were investigated. In the production of CLT panels, heat treated Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) and American ash (*Fraxinus americana*) timbers and non-heat treated Scotch pine and American ash timbers were provided by Nova company. The Samsun poplar (I-77/51 *Populus deltoides* Bartr.) wood without heat treatment was provided by Kaswood company. The type of wood material used in the layers in the production of CLT panels was applied in three different ways. The first of these; S 90, TS 90, D 90 and TD 90 group panels produced using scotch pine, thermo scotch pine, ash and thermo ash in the outer layers in one by one groups, poplar wood was used in the middle layer of all groups. The second K 90 group panels produced using only poplar wood in the outer layers and middle layer. Finaly compared to the groups whose middle layer is produced at a 90 degree angle, the S 45, TS 45, K 45, D 45 and TD 45 group panels were produced with the middle layer angle orientation set to 45 degrees againist the outher layers. Test samples were prepared from the produced CLT panels and the wood materials used for producing the CLT panels according to the dimensions specified in the relevant standards. The data obtained as a result of the study were evaluated by applying multiple variance analysis with the help of SPSS 26 statistical program and the results were interpreted.

As a result of the study, it was observed that the heat treatment application caused a decrease in the fiber saturation point, equilibrium moisture content, swelling, bending strength, tensile strength, adhesion strength values of the wood materials used in production, and generally an increase in the percentage of extractive contend of the wood materials. In addition, an increase in the modulus of elasticity and compressive strength values of the materials was determined.

When the properties of the produced CLT panels were examined, it was seen that the heat treatment application provided a decrease in the thickness swelling percentages of the panels and a small decrease in the water absorbtion percentages of the panels, while the middle layer angle orientation was not effective on the thickness swelling percentage, but it had a slight

increasing effect on the water absorbtion percentages. In terms of the water vapor transmission rate of the panels; the heat treatment application caused a decrease in the S 90-45 and TS 90-45 groups, a low decrease in the D 90-45 and TD 90-45 groups and the middle layer angle orientation caused a low decrease in the other groups except the TD 90-45 group. It was observed that the heat treatment application caused a decrease in the thermal conductivity properties of the panels, also the middle layer angle orientation caused a decrease in the values of TS 45, K 45, D 45 ve TD 45 groups. The heat treatment application caused a decrease in the bending strength and modulus of elasticity values of the panels. The middle layer angle orientation caused an increase in these values against the S 90, TS 90, K 90, D 90 and TD 90 group values in the TS 45, D 45 and TD 45 groups, and generally a decrease in these values in the S 45 and K 45. When the values are compared with the values specified in the ANSI APA PRG 320 (2012) CLT production standard, D 45 group provides E1 class, S 90, S 45, D 90 and TD 45 groups provide E3 class properties. TS 90-45, K 90-45 and TD 90 groups were not included in any class due to insufficient modulus of elasticity values. The heat treatment application had an increasing effect on the compressive strength of the panels parallel to the direction of the outher layers and panel surfaces in the S 90-45 groups and a decreasing effect in the D 90-45 groups. The middle layer angle orientation had a decreasing effect in the K 45 and D 45 group and an increasing effect in the S 45, TS 45 and TD 45 groups in terms of compressive strength. When the compressive strength values were compared with the ANSI APA PRG 320 (2012) CLT production standard, it has been observed that all groups meet the E1 class features. There was no statistically significant difference between the groups in the compressive strength properties perpendicular to the panel surfaces. The heat treatment application had an increasing effect on the delamination properties of the panels in the S 90-45 groups, but did not have any effect in the D 90-45 groups. The middle layer angle orientation provided an increase in the strength of the panels against water by reducing the delamination in the groups except the D 45 group. The middle layer angle orientation caused a significant difference in the 4-point bending strength, compressive strength parallel to the direction of the outher layers, delamination properties and thickness swelling of the panels, and although the middle layer angle orientation caused a small difference in the other properties, it could not provide a significant difference in the 95% confidence interval.

As a result of the study, new studies are carried out using native or endemic wood species in panel production, determining the suitability of different hardwood species in CLT panel production, determining the performance of CLT panels produced from different wood species in order to determine the effects of 45 degree angle orientation application in the middle layer, determine the performances of different types of glue and brands, to carry out new studies by using different wood species in successive layers in panel production, and to carry out extensive studies on more durable joint types as an alternative to finger joint connections.

KEYWORDS:CLT panel, cross laminated timber (CLT), thermowood, physical properties, mechanical properties, *Populus* spp.

November 2022, 183 Page

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması esnasında her türlü desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Alperen KAYMAKCI'ya teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Bu tez çalışması esnasında ömrü vefa etmeyip rahmetli olan ve üzerimdeki emekleri çok olan ilk danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hasan VURDU'ya teşekkürlerimi ve minnetimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca, verdiği desteklerden dolayı Prof. Dr. Özgür ANIL, Prof. Dr. Şeref TURHAN, Prof. Dr. Bülent KAYGIN, Prof. Dr. Gökhan GÜNDÜZ, Doç. Dr. Ümmü KARAGÖZ İŞLEYEN, Doç. Dr. Önder TOR, Doç. Dr. Hüseyin YÖRÜR, Dr. Öğr. Üyesi Anıl ÖZDEMİR, Dr. Öğr. Üyesi Durmuş Ali ÇELİK, Dr. Öğr. Üyesi Osman Emre ÖZKAN, Dr. Öğr. Üyesi Çağrı OLGUN, Dr. Öğretim Üyesi Ömer MERCİMEK, Arş. Gör. Yaşar ERBAŞ ve Arş. Gör. Dr. Hakan AYDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından KUBAP/2018-61'nolu proje ile desteklenmiştir.

MUSTAFA ÖNCEL

Kastamonu, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **vi**
TEŞEKKÜR ..... **viii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xi**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **xii**
GRAFİKLER DİZİNİ ..... **xiv**
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Özgün Değeri 2
1.2 Çalışmanın Amacı 4
1.3 Çalışmanın Kapsamı 4
2. YAPISAL AHŞAP PANELLER **7**
2.1 Yapısal Ahşap Panellerin Özellikleri 7
2.1.1 Avantajları 8
2.1.2 Dezavantajları 8
2.1.3 Panel Üretimininde Kullanılan Ağaç Türleri 9
2.1.4 Masif Ahşap Panelin Kullanım Yerleri 9
2.2 Lamine Ahşap Teknolojisi 10
2.2.1 Laminasyonda Uygulanan Birleştirmeler 11
2.2.1.1 En birleştirmeler 11
2.2.1.2 Boy birleştirmeler 12
2.2.1.3 Parmak Dişli Birleştirmeler 13
2.2.2 Laminasyonda Ahşap Malzeme Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar 17
2.3 Yapısal Ahşap Malzeme Çeşitleri 18
2.3.1 Tutkallı Lamine Kereste (GLULAM-Glued Laminated Timber) 19
2.3.2 Çapraz Laminasyonlu Kereste (ÇLK) Panel 20
2.3.2.1 ÇLK panellerin kullanım alanları 23
2.3.2.2 ÇLK panellerin mekanik özellikleri üzerine kullanılan ağaç türü ve tutkal çeşitlerinin etkisi 28
2.3.2.3 ÇLK panellerin bazı mekanik özelliklerin incelenmesi 30
2.3.2.4 ÇLK panellerin higrotermal performansı 31
3. ISIL İŞLEM **32**
3.1 Isıl İşlemin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi 32
3.2 ThermoWood Isıl İşlem Metodu 32
3.3 Isıl İşlem Görmüş Odunda Meydana Gelen Değişiklikler 33
4. MATERYAL VE METOT **34**
4.1 Materyal 34
4.1.1 Ahşap Malzeme 34
4.1.1.1 Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) 34
4.1.1.2 Amerikan dişbudağı (*Fraxinus americana* L.) 35

4.1.1.3 Samsun kavağı (I –77/51 *Populus deltoides* Bartr.) 37
4.1.2 Tutkal 38
4.2 Metot 39
4.2.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması 39
4.2.2 ThermoWood Metodu ile Isıl İşlem Uygulaması 46
4.2.3 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi 46
4.2.3.1 Hava kurusu yoğunluk ile tam kuru yoğunluğun belirlenmesi 46
4.2.3.2 Hava kurusu denge rutubet yüzdesinin belirlenmesi 48
4.2.3.3 Hacim-Ağırlık değeri 49
4.2.3.4 Odun –su ilişkileri 49
4.2.3.5 Lif doygunluğu noktası rutubeti 53
4.2.3.6 Panellerde su buharı iletimi oranları 53
4.2.3.7 Panellerin termal iletkenliği 55
4.2.3.8 Odundaki ekstraktif madde analizi 56
4.2.4 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi 57
4.2.4.1 Çekme makaslama direnci deneyi 57
4.2.4.2 Üç nokta eğilme deneyi ve elastikiyet modülü 58
4.2.4.3 Dört nokta eğilme deneyi ve elastikiyet modülü 60
4.2.4.4 Basınç direnci deneyi 63
4.2.4.5 Liflere paralel yönde çekme direnci deneyi 66
4.2.4.6 Delaminasyon yüzdesi deneyi 67
5. BULGULAR VE TARTIŞMA 70
5.1 Üretimde Kullanılan Ahşap Malzemelerin Teknolojik Özellikleri 70
5.1.1 Ahşap Malzemelerin Hava Kurusu Yoğunluk, Tam Kuru Yoğunluk ve Hava Kurusu Rutubetlerin Belirlenmesi 70
5.1.2 Ahşap Malzemelerin Hacim-Ağırlık Değeri 72
5.1.3 Ahşap Malzemelerde Hacmen Daralma-Genişleme 72
5.1.4 Ahşap Malzemelerin Lif Doygunluğu Noktası (LDN) Rutubeti 75
5.1.5 Ahşap Malzemelerin Ekstraktif Madde Analizi 76
5.1.6 Ahşap Malzemelerde Çekme Makaslama (Tutkal Adezyon) Direnci 77
5.1.7 Ahşap Malzemelerde Üç Nokta Eğilme Deneyi ve Eğilmede Elastikiyet Modülü 89
5.1.8 Ahşap Malzemelerde Liflere Paralel Basınç Direnci 92
5.1.9 Ahşap Malzemelerde Liflere Paralel Yönde Çekme Direnci 95
5.2 Üretilen ÇLK Panellerin Teknolojik Özellikleri 97
5.2.1 ÇLK Panellerin Hava Kurusu Yoğunluk, Tam Kuru Yoğunluk ve Hava Kurusu Rutubetlerin Belirlenmesi 97
5.2.2 ÇLK Panellerin Suda Bekletme Sonrası Kalınlık ve Ağırlık Artış Yüzdeleri 99
5.2.3 ÇLK Panellerde Su Buharı İletimi 104
5.2.4 ÇLK Panellerin Termal İletkenliği 106
5.2.5 ÇLK Panellerde Dört Nokta Eğilme Deneyi ve Eğilmede Elastikiyet Modülü 110
5.2.6 ÇLK Panellerde Basınç Direnci Deneyi 140
5.2.7 ÇLK Panellerin Delaminasyon Yüzdesi 151
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 159
KAYNAKLAR 163
ÖZGEÇMİŞ 180

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Laminasyonda kullanılan en birleştirme şekilleri 11
Şekil 2.2 Laminasyonda kullanılan boy birleştirme şekilleri 12
Şekil 2.3 Boy birleştirmelerde yük taşıma yüzdeleri 12
Şekil 2.4 Parmak dişli birleştirme geometrisi 15
Şekil 2.5 Dikey ve yatay parmak dişli birleştirme şekilleri 16
Şekil 2.6 ÇLK üretiminde ahşapların dizilişi 21
Şekil 2.7 42 Katlı beton-ÇLK panel hibrit yapı projesi Timber Tower 25
Şekil 4.1 Orta tabakası 90° eğimli olarak üretilmiş 3 tabakalı ÇLK panel 42
Şekil 4.2 Orta tabakası 45° eğimli olarak üretilmiş 3 tabakalı ÇLK panel 42
Şekil 4.3 Çekme makaslama direnci deney şablonu 58
Şekil 4.4 3 nokta eğilme direnci deneyi şablonu 59
Şekil 4.5 4 nokta eğilme direnci deneyi şablonu 60
Şekil 4.6 Ahşap malzeme liflere paralel basınç direnci 64
Şekil 4.7 ÇLK panel liflere dik basınç direnci 65
Şekil 4.8 ÇLK panel liflere paralel basınç direnci 65
Şekil 4.9 Ahşap malzeme liflere paralel çekme direnci deneyi 67

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1 Sarıçam türünün bazı fiziksel ve mekanik özellikleri 34
Tablo 4.2 Amerikan Dişbudak türünün bazı özellikleri 36
Tablo 4.3 Üretimde kullanılan poliüretan tutkalının özellikleri 39
Tablo 4.4 Çalışma grubu ve tabaka oryantasyonu deneme deseni 43
Tablo 5.1 Panel üretiminde kullanılan ahşapların tam kuru yoğunlukları 70
Tablo 5.2 Panel üretiminde kullanılan ahşapların hava kurusu yoğunlukları 71
Tablo 5.3 Panel üretiminde kullanılan ahşapların hava kurusu rutubet yüzdeleri ... 71
Tablo 5.4 Ahşap malzemenin ortalama hacim-ağırlık değeri (g/cm³) 72
Tablo 5.5 Ahşap malzemelerin hacmen daralma-genişleme yüzdeleri (%) 72
Tablo 5.6 Odunun daralma-genişlemesi üzerine ağaç türünün etkisi tek yönlü anova analizi 74
Tablo 5.7 Odunun daralması-genişlemesi üzerine ağaç türünün etkisi Duncan analizi 74
Tablo 5.8 Panel üretiminde kullanılan ahşapların LDN yüzdesi (%) 75
Tablo 5.9 Ekstraktif madde analizi 76
Tablo 5.10 Numunelerin çekme-makaslama direnci değerleri 77
Tablo 5.11 Çekme-makaslama direnci tek yönlü anova analizi 88
Tablo 5.12 Aynı tür odunlardan hazırlanan numunelerin çekme-makaslama direnci Duncan analizi 88
Tablo 5.13 Diğer ahşap malzemelerin kavak odununa yapıştırılması suretiyle hazırlanan numunelerin çekme-makaslama direnci Duncan analizi 89
Tablo 5.14 Ahşap malzemelerin 3 nokta eğilme direnci (MOR) ve elastikiyet modülü (MOE) değerleri 89
Tablo 5.15 Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tek yönlü anova analizi 92
Tablo 5.16 Ahşapların eğilme direnci değeri Duncan analizi 92
Tablo 5.17 Ahşapların elastikiyet modülü değeri Duncan analizi 92
Tablo 5.18 Ahşap malzemelerin liflere paralel basınç direnci değerleri 93
Tablo 5.19 Liflere paralel basınç direnci tek yönlü anova analizi 95
Tablo 5.20 Ahşap malzemelerin liflere paralel basınç direnci Duncan analizi 95
Tablo 5.21 Ahşap malzemelerin liflere paralel çekme direnci değerleri 95
Tablo 5.22 Liflere paralel çekme direnci tek yönlü anova analizi 97
Tablo 5.23 Ahşap malzemelerin liflere paralel çekme direnci Duncan analizi 97
Tablo 5.24 ÇLK panellerin tam kuru yoğunlukları 97
Tablo 5.25 ÇLK panellerin hava kurusu yoğunlukları 98
Tablo 5.26 ÇLK panellerin hava kurusu rutubet yüzdeleri 98
Tablo 5.27 ÇLK panellerin 2 saat, 24 saat ve 2 hafta suda bekleme sonrası ortalama ağırlık ve kalınlık artışları ile varyasyon katsayısı (%) değerleri 99
Tablo 5.28 Kalınlık-ağırlık artışı iki yönlü anova analizi sonuçları 101
Tablo 5.29 Kalınlık artış yüzdesi süreye bağlı Duncan analizi 102
Tablo 5.30 Kalınlık artış yüzdesi çalışma gruplarına bağlı Duncan analizi 102
Tablo 5.31 Ağırlık artış yüzdesi süreye bağlı Duncan analizi 103
Tablo 5.32 Ağırlık artış yüzdesi çalışma gruplarına bağlı Duncan analizi 103
Tablo 5.33 Panellerde su buharı iletim oranları 104

Tablo 5.34 Panellerde su buharı permeabilitesi 104
Tablo 5.35 Su buharı iletimi iki yönlü anova analizi 106
Tablo 5.36 ÇLK panellerin termal iletkenlik değerleri 107
Tablo 5.37 Termal iletkenlik iki yönlü anova analizi 109
Tablo 5.38 Panellerin termal iletim özelliği panel türüne göre Duncan analizi..... 109
Tablo 5.39 Panellerin termal iletim özelliği çalışma gruplarına göre Duncan analizi 109
Tablo 5.40 4 nokta eğilme direnci (MOR), elastikiyet modülü (MOE) ve eğilme rijitliği (EImg) değerleri 110
Tablo 5.41 ANSI APA PRG 320 standardı ÇLK panel üretim sınıfları 111
Tablo 5.42 4 nokta eğilme testi deneyi iki yönlü anova analizi 139
Tablo 5.43 4 nokta eğilme direnci panel türüne göre Duncan analizi 139
Tablo 5.44 4 nokta eğilme direnci çalışma gruplarına göre Duncan analizi..... 139
Tablo 5.45 4 nokta eğilmede elastikiyet modülü panel türüne göre Duncan analizi 140
Tablo 5.46 4 nokta eğilmede elastikiyet modülü çalışma gruplarına göre Duncan analizi 140
Tablo 5.47 ÇLK panellerin liflere paralel ve dik basınç direnci değerleri..... 140
Tablo 5.48 Liflere paralel basınç direnci iki yönlü anova analizi 150
Tablo 5.49 Liflere paralel basınç direnci panel türüne göre Duncan analizi 151
Tablo 5.50 Liflere paralel basınç direnci çalışma gruplarına göre Duncan analizi 151
Tablo 5.51 Liflere dik basınç direnci tek yönlü anova analizi 151
Tablo 5.52 Tabakalar arasındaki delaminasyon yüzdesi toplamının ortalaması.... 152
Tablo 5.53 Delaminasyon deneyi iki yönlü anova analizi 157
Tablo 5.54 Delaminasyon deneyi panel türüne göre Duncan analizi..... 158
Tablo 5.55 Delaminasyon deneyi çalışma gruplarına göre Duncan analizi..... 158

GRAFİKLER DİZİNİ

Sayfa

Grafik 2.1 Dünya'da son 20 yıl içerisindeki ÇLK panel üretim miktarları 23
Grafik 4.1 Tez çalışmasında gerçekleştirilen testler 45
Grafik 5.1 Malzemelerin hacmen daralma-genişleme yüzdeleri grafiği 73
Grafik 5.2 Çekme-makaslama direnci kıyaslama grafiği 78
Grafik 5.3 Eğilme direnci ve elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması 89
Grafik 5.4 Liflere paralel basınç direnci grafiği 93
Grafik 5.5 Liflere paralel çekme direnci grafiği 95
Grafik 5.6 Suda bekleme sonrası numunelerdeki kalınlık artış yüzdeleri (%) 99
Grafik 5.7 Suda bekleme sonrası numunelerdeki ağırlık artış yüzdeleri (%) 100
Grafik 5.8 Panellerde su buharı iletimi grafiği 105
Grafik 5.9 Panellerin termal iletkenlik değerleri grafiği 107
Grafik 5.10 Eğilme direnci ve elastikiyet modülü grafikleri 110
Grafik 5.11 S 90 grubu yük-deformasyon grafikleri 112
Grafik 5.12 S 45 grubu yük-deformasyon grafikleri 114
Grafik 5.13 S 90 ve S 45 grubu yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması 117
Grafik 5.14 TS 90 grubu yük-deformasyon grafikleri 117
Grafik 5.15 TS 45 grubu yük-deformasyon grafikleri 119
Grafik 5.16 TS 90- TS 45 grupları yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması 121
Grafik 5.17 S 90 ve TS 90 grubu panellerin kıyaslama grafikleri 121
Grafik 5.18 S 45 ve TS 45 grubu panellerin kıyaslama grafikleri 122
Grafik 5.19 K 90 grubu yük-deformasyon grafikleri 122
Grafik 5.20 K 45 grubu yük-deformasyon grafikleri 124
Grafik 5.21 K 90- K 45 grubu yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması 126
Grafik 5.22 D 90 grubu yük-deformasyon grafikleri 126
Grafik 5.23 D 45 grubu yük-deformasyon grafikleri 128
Grafik 5.24 D 90 - D 45 grubu yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması 130
Grafik 5.25 TD 90 grubu yük-deformasyon grafikleri 131
Grafik 5.26 TD 45 grubu yük-deformasyon grafikleri 133
Grafik 5.27 TD 90 – TD 45 grubu yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması 135
Grafik 5.28 D 90 ve TD 90 grubu panellerin kıyaslama grafikleri 135
Grafik 5.29 D 45 ve TD 45 grubu panellerin kıyaslama grafikleri 136
Grafik 5.30 ÇLK panellerin liflere paralel ve dik basınç direnci değerleri 141
Grafik 5.31 Delaminasyon yüzdeleri grafiği 152

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Sayfa

Fotoğraf 2.1 Üretimi tamamlanmış ÇLK panel 21
Fotoğraf 2.2 Timbertower rüzgar türbini 24
Fotoğraf 2.3 Bridport Evi 26
Fotoğraf 2.4 Bridport Evi 26
Fotoğraf 2.5 Stadthaus London: Murray Grove yapısı-İç dekorasyon öncesi 27
Fotoğraf 2.6 Stadthaus London: Murray Grove yapısı-İç dekorasyon sonrası 27
Fotoğraf 2.7 Stadthaus London: Murray Grove yapısı bitmiş hali 27
Fotoğraf 4.1 PU tutkalı ve uygulanışı 38
Fotoğraf 4.2 Ahşap malzemelerin kusurlarından arındırılması ve parmak dişli birleştirme işlemi 40
Fotoğraf 4.3 4 kenar planya yapılmış ahşap malzemeler 40
Fotoğraf 4.4 Tek tabakalar, tabakaların üst üste preslenmesi ve ebatlanması 41
Fotoğraf 4.5 Orta tabakası 45 derece açılı panel üretimi 43
Fotoğraf 4.6 Deneylerde kullanılan numuneler 48
Fotoğraf 4.7 ÇLK panel su alma deneyi numuneleri 50
Fotoğraf 4.8 Su buharı iletim deneyi 54
Fotoğraf 4.9 Termal iletkenlik deneyi 55
Fotoğraf 4.10 Çekme makaslama direnci deneyi 57
Fotoğraf 4.11 Eğilme direnci deneyi 58
Fotoğraf 4.12 4 nokta eğilme direnci deneyi 60
Fotoğraf 4.13 Basınç direnci deneyi 64
Fotoğraf 4.14 Liflere paralel çekme direnci deneyi 66
Fotoğraf 4.15 Delaminasyon deney numunesi 68
Fotoğraf 5.1 Tutkal adezyon direnci deney numuneleri; A) Sarıçam-sarıçam grubu, B) Sarıçam-kavak grubu, C) Termo sarıçam-termo sarıçam grubu, D) Termo sarıçam-kavak grubu, E) Dişbudak-dişbudak grubu, F) Dişbudak-kavak grubu, G) Termo dişbudak-termo dişbudak grubu, H) Termo dişbudak-kavak grubu, I) Kavak-kavak grubu 80
Fotoğraf 5.2 S 90 grubu birinci numune 113
Fotoğraf 5.3 S 90 grubu ikinci numune 113
Fotoğraf 5.4 S 90 grubu üçüncü numune 114
Fotoğraf 5.5 S 45 grubu birinci numune 115
Fotoğraf 5.6 S 45 grubu ikinci numune 115
Fotoğraf 5.7 S 45 grubu üçüncü numune 116
Fotoğraf 5.8 TS 90 grubu birinci numune 118
Fotoğraf 5.9 TS 90 grubu ikinci numune 118
Fotoğraf 5.10 TS 90 grubu üçüncü numune 118
Fotoğraf 5.11 TS 45 grubu birinci numune 119
Fotoğraf 5.12 TS 45 grubu ikinci numune 120
Fotoğraf 5.13 TS 45 grubu üçüncü numune 120
Fotoğraf 5.14 K 90 grubu birinci numune 123
Fotoğraf 5.15 K 90 grubu ikinci numune 123
Fotoğraf 5.16 K 90 grubu üçüncü numune 123

Fotoğraf 5.17 K 45 grubu birinci numune 124
Fotoğraf 5.18 K 45 grubu ikinci numune 125
Fotoğraf 5.19 K 45 grubu üçüncü numune 125
Fotoğraf 5.20 D 90 grubu birinci numune 127
Fotoğraf 5.21 D 90 grubu ikinci numune 127
Fotoğraf 5.22 D 90 grubu üçüncü numune 128
Fotoğraf 5.23 D 45 grubu birinci numune 129
Fotoğraf 5.24 D 45 grubu ikinci numune 129
Fotoğraf 5.25 D 45 grubu üçüncü numune 130
Fotoğraf 5.26 TD 90 grubu birinci numune 131
Fotoğraf 5.27 TD 90 grubu ikinci numune 132
Fotoğraf 5.28 TD 90 grubu üçüncü numune 132
Fotoğraf 5.29 TD 45 grubu birinci numune 133
Fotoğraf 5.30 TD 45 grubu ikinci numune 134
Fotoğraf 5.31 TD 45 grubu üçüncü numune 134
Fotoğraf 5.32 S 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 142
Fotoğraf 5.33 S 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 142
Fotoğraf 5.34 TS 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 143
Fotoğraf 5.35 TS 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 143
Fotoğraf 5.36 K 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 144
Fotoğraf 5.37 K 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 144
Fotoğraf 5.38 D 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 145
Fotoğraf 5.39 D 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 145
Fotoğraf 5.40 TD 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 146
Fotoğraf 5.41 TD 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri 147
Fotoğraf 5.42 Liflere dik basınç direnci numuneleri A) S 90-45 grubu,
B) TS 90-45 grubu, C) D 90-45 grubu, D) TD 90-45 grubu,
E) K 90-45 grubu 147

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

™	**:** Ticari marka
°C	**:** Santigrat derece
±	: Artı eksi
%	: Yüzde

Kısaltmalar

BS	: İngiliz Standardı
C	: Termal iletkenlik
CCA	: Bakır-krom-arsenik
CCB	: Bakır-krom-bor
CLT	**:** Cross laminated timber
CNC	: Bilgisayarlı numerik kontrol
ÇLK	**:** Çapraz lamine kereste
DRM	: Denge rutubet miktarı
EN	: Avrupa standardı
EPİ	: Emülsiyon polimer izosiyanat
FF	: Fenol formaldehit
FF_{min}	: Yapışma bölgesi alanı
FF_{tot}	: Tutkallı alanların toplamı
Fmax	: Kopma anındaki maksimum kuvvet
FRF	: Fenol resorsin formaldehit
GLULAM	: Yapıştırılmış lamine ahşap-Glue laminated timber
gr/m^2	: Gram/metrekare
HÇLK	: Hibrit ÇLK
IR	: Kızıl ötesi
K	: Kazein
Ke	: Kauçuk esaslı
kg/cm^2	: Kilogram/santimetrekare
KN/m	: Kilonewton/metre
LDN	: Lif doygunluk noktası
LSL	: Laminated strand lumber
LŞK	: Lamine şerit kereste
LVL	: Laminated veneer lumber
MDF	: Orta yoğunluklu lif levha
MDI	: Metil difenil diizosiyanat
MÜF	: Melamin üre formaldehit
N/mm^2	: Newton/milimetrekare
OHT	: Hot oil treatment
OSB	: Yönlendirilmiş yonga levha
OSL	: Oriented strand lumber
PSL	: Parallel strand lumber
PŞK	: Paralel şerit kereste
PU	: Poliüretan
PVA	: Polivinil asetat
R	: Termal direnç

RF	: Resorsin formaldehit
Spp	: Species
TKK	: Tabakalı kaplama kereste
TS	: Türk standardı
UV	: Mor ötesi
ÜF	: Üre formaldehit
WVT	: Su buharı iletim oranı
YŞK	: Yönlendirilmiş şerit kereste

1. GİRİŞ

Ahşap malzemelerin doğaya uyumlu, geri dönüştürülebilir bir yapıda, üretim ve uygulama esnasında çevre kirliliğine neden olmayan, insan ve çevre sağlığına zarar vermeyen bir malzeme olduğu bilinmektedir. Bunun yanında, ahşap malzemeler uygulanan şok etkilerine karşı yeterli miktarda direnç gösterirken aynı zamanda titreşim emici bir davranış sergilemektedir. Bu durum ahşap malzemeyi depremlere karşı avantajlı bir malzeme haline getirmektedir. Diğer taraftan, kolay işlenebilen ve hafif bir yapı malzemesi olan ahşap, ahşap binaların yerinde ya da prefabrik olarak kısa sürede inşasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, ahşap yapılar betonarme yapılara kıyasla 15 kat, çelik yapılara kıyasla ise 400 kat daha fazla ısı yalıtım özellikleri sergiler. Ahşabın olumsuz özellikleri arasında gösterilen yanıcı bir malzeme olması durumu, ahşap yapı üretim teknolojisinin günümüzde ulaştığı düzey ve ahşaba uygulanan koruyucu yöntemler göz önüne alındığında bu dezavantajın belirli ölçülerde azaldığı düşünülmektedir (Erkoç, 2004).

Ahşap konutların inşasında kullanılan yapı sistemleri Ahşap karkas (İskelet), Ahşap kütük (yığma) ve Ahşap panel sistemler olmak üzere üç ana grup altında toplanmaktadır. Bunlardan ilki olan ahşap karkas sistemlerde keresteler kullanılarak çerçeve şeklinde iskeletler oluşturulur ve bu iskelet yük taşıyıcı özellik sergiler. Bu sistemde yığma sisteme kıyasla ahşap malzemeler daha az ve daha ekonomik olarak kullanılmaktadır (Goetz vd., 1992).

Ahşap kütük (yığma) sistemlerde ağaç gövdelerinin kabukları soyulduktan sonra tomrukların bağlantı noktaları şekillendirilerek tomruklar üst üste yerleştirilir. Bu esnasında tomruk aralarında hava geçişini ve sürtünme sonucu ortaya çıkacak sesi engelleyebilecek yalıtım malzemeleri yerleştirilerek yapı tamamlanır. Bu sistemle üretilen evlere “kütük ev” ismi verilmiştir (Örs ve Togay, 2003).

Eski kaynaklarda ahşap panel sistemlerin okullar ve bürolar gibi özellikle tek kattan oluşan yapılar için uygun olduğu ifade edilmiştir. Ancak, günümüzde ahşap panel sistemlerde hibrit yapılar kullanılması durumunda 8 kat ile 40 kat arasında yapıların inşa edilebileceği görülmüştür. Ahşap panel sistemi kullanılarak üretilmiş malzemeler

çeşitli bağlantı ekipmanları ile birleştirilerek inşa işlemi yapılmaktadır (Avlar ve Limoncu, 2001).

Ahşap panel sistemin üretimi için son zamanlarda kullanılan bir diğer üründe çapraz laminasyonlu kereste (ÇLK) panellerdir. Bu ürün ilk olarak 1990'ların başlarında Avusturya ve Almanya'da görülmeye başlanmıştır. Daha sonra, tüm Avrupa ülkelerinde kullanımı giderek artan bir ürün haline gelmiştir (Karacabeyli ve Douglas, 2013).

2000'li yıllardan itibaren ÇLK panellerle üretilen ahşap yapıların inşası hız kazanmıştır. Çünkü ÇLK paneller ile ahşap yapı inşası gerek prefabrikasyonun gerekse ÇLK panellerinin taşınmasının kolaylığı bakımından tercih edildiği görülmektedir. Bu özellikler 5-10 katlı orta yükseklikteki binaların inşaatı için ayrıca önemli bir avantaj sağlamaktadır. İlave olarak ahşap panellerin diğer yapı malzemelerine kıyasla daha hafif olması ve daha düşük kapasiteli vinçlerin kullanımına olanak sağlaması dolayısıyla avantaj sağlamaktadır. Bunların yanında, ÇLK paneller iyi bir termal izolasyon, iyi ses izolasyonu ve yangına karşı daha iyi dayanım özellikleri taşımaktadır (Gagnon vd., 2013a).

1.1 Çalışmanın Özgün Değeri

ÇLK yapılarda uygulanan bina yalıtımları nemi sistemden uzak tutmak için tasarlanmıştır. Bu nedenle, nem yönetimi konusunda gerekli önlemleri almak yapının güvenliği için gerekli görülmektedir. Nem zararını engelleme yöntemlerinin ilki doğru ÇLK panel üretimidir. ÇLK panel imalatında nem içeriği yaklaşık olarak %12 olan kerestelerin kullanımı uygun görülmektedir. Böylece, önceden belirlenmiş miktardaki nemin yapı içerisinde olması sağlanmış olur. Bina yalıtımı yapmanın bir diğer önemli faktörü de hava akışını ortadan kaldırmaktır. Hava akımının ısı ve su buharı taşımasını engellemek amacıyla yapıya hava bariyeri sistemi kurulmalıdır. Bu genellikle hava geçirgenliği düşük malzemeler kullanılarak sağlanır. Son olarak, bina yalıtımında ısı iletiminin engellenmesi gereklidir. ÇLK panellerde termal izolasyonun genellikle dış ortama ısı kaybı yaşanmasını engellemek amacıyla binanın dışarıda kalan kısımlarına uygulandığı belirtilmiştir (Grasser, 2015).

Nem iletimi, hava iletimi ve ısı iletimi konularında ÇLK yapılara uygulanabilecek alternatif çözüm yollarına ihtiyaç vardır. Bu durumun ahşap malzeme odaklı bir çözüm ile üstesinden gelinebileceği varsayılmaktadır. Bu kapsamda ahşaba uygulanan ısıl işlemin etkin bir performans gösterebileceği düşünülmektedir. Isıl işlem uygulaması sonucunda ahşap malzeme düşük denge rutubet içeriğine sahip olur ve buna bağlı olarak odunda daralma-genişleme azalır. Bu durum malzemenin boyutsal stabilitesini, termal izolasyon özelliğini, mantar ve böceklere karşı biyolojik dayanıklılığını, dış hava şartlarına karşı dayanıklılığını ve kullanım süresini arttırır ve odunda dekoratif renk çeşitliliği sağlar (Pelit ve Sönmez, 2015). Herhangi bir modifikasyon işlemi uygulanmamış ahşapta genel olarak lif doygunluğu noktası %28-30 olarak kabul edilmektedir. Ancak, ısıl işlem uygulaması sonrasında odunun lif doygunluğu noktası yüzdesi %16-18 civarlarına düşmektedir. Bunun sonucu olarak hücre duvarı daha az su absorbe ederek daha az daralma-genişleme özelliği sergilemektedir. Daralma-genişlemede meydana gelen düşüşün mantarların çürüklük yapması için gerekli olan enzimatik olmayan sistemlerinin penetrasyonuna sınırlama getirdiği veya engellediği tespit edilmiştir (Korkut ve Kocaefe, 2009). Isıl işlemin ahşabın fiziksel özelliklerinde sağladığı iyileşme sayesinde üretilen panellerin fiziksel özelliklerinde de iyileşmeler sağlanması amaçlanmaktadır.

ÇLK panel üretiminde orta tabakada bulunan ahşap malzemenin lif doğrultusunun değiştirilmesi sonucunda panellerin mekanik dayanıklılığında meydana gelen değişimler tespit edilmiştir. Bu sayede panel üretiminde ısıl işlem uygulanmış malzeme kullanılması durumunda panellerde meydana gelen direnç kayıplarının kısmen telafi edilmesi sağlanmıştır.

ANSI/APA PRG 320 (2012)'de ÇLK panel üretiminde kullanılabilecek ağaç türlerinin minimum 0,35g/cm^3 olabileceği belirtilmektedir. Bu değer, ekonomik değeri az olmasına rağmen deprem karşısında düşük ağırlığı sayesinde daha avantajlı olan kavak gibi düşük yoğunluğa sahip türlerin ÇLK panel üretiminde kullanılmasına kısıtlama getirmekte ve bu türlerin potansiyel yararlarından faydalanamamaya sebep olduğu düşünülmektedir (Marko ve diğerleri, 2016). Bu bağlamda, kavak gibi düşük yoğunluklu ahşap malzemeler kullanılarak ÇLK panel üretiminin ne derece verimli olacağı ve hangi mukavemet özellikleri sergileyeceği araştırılmalı, performansının

tespit edilebilmesi amacıyla bu konuda çalışmaların yapılması gerekli görülmektedir. Bu bağlamda yoğunluğu düşük olan kavak odununun orta tabakada kullanılarak hem daha ekonomik üretim sağlanmış hem de hızlı büyüyen türler arasında yer alan kavak kerestesinin ÇLK panel üretiminde değerlendirilebilmesi potansiyeli ortaya çıkmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı

a) Bu doktora çalışmasının amacı ÇLK panel üretiminde dişbudak ve kavak gibi nispeten yeni sert ağaç türü ahşap malzemeler kullanılarak üretilecek panellerin performanslarının tespit edilmesi,

b) Orta tabakada kullanılan ahşap malzemenin doğrultusunda meydana getirilecek değişimin panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine olan etkisinin incelenmesi,

c) Ekonomik değeri diğer odun türlerine kıyasla nispeten düşük olan kavak (*Populus* spp.) odununun ÇLK panel üretiminde değerlendirme olanakları araştırılarak oduna katma değer kazandırmak,

d) Thermowood yöntemi ile ısıl işlem uygulaması yapılmış farkı ağaç odunlarından üretilen ÇLK panel çeşitlerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemektir. Çalışma vasıtasıyla ısıl işlem uygulaması sonucunda ahşap panellerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde nasıl değişimler olduğu ve panel üretiminde kullanımı durumunda nasıl bir sonuç elde edilebileceği incelenmiştir. Ayrıca, ısıl işlem uygulamasının poliüretan (PU) tutkalının yapışma kalitesine olan etkisi gözlemlenmiştir.

1.3 Çalışmanın Kapsamı

Bu tez çalışmasında ÇLK panel üretiminde, Samsun kavağı (I 77-51 *Populus deltoides* Batr.), ithal sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve ithal Amerikan dişbudak (*Fraxinus americana*) türü odunları kullanılmıştır. Sarıçam ve dişbudak ahşap malzemelere ThermoWood sertifikalı üreticisi olan Novawood A.Ş. firmasında ThermoWood yöntemi kullanılarak ısıl işlem uygulaması yapılmıştır. Kaswood A.Ş. işletmesinde ısıl

işlem uygulanmış dişbudak-sarıçam ve ısıl işlem uygulanmamış dişbudak-sarıçam-kavak ahşap malzemeler budak vb. kusurlarından arındırıldıktan sonra parmak dişli birleştirme ile uç uca eklenmiş ve daha sonra bu malzeme planyadan geçirilerek yüzeyleri düzgün hale getirilmiştir. Bu malzemeler önce yan yana yapıştırılarak tek katlı masif paneller üretilmiş daha sonra bu paneller üst üste yapıştırılarak ÇLK paneller üretilmiştir.

ÇLK panel üretiminde rutubete dayanıklı poliüretan (PU) D4 tutkalı kullanılmış, ahşap malzemeler tutkallanmadan önce 20±2°C ve %65±5 rutubete ayarlı iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir.

ÇLK panellerin üretiminde tabakalarda kullanılan ahşap malzeme türü üç farklı şekilde uygulanmıştır. Bunlar:

Panel üretim uygulamalarında panellerin dış tabakalarında ısıl işlem uygulanmış ve ısıl işlem uygulanmamış sarıçam ve dişbudak ahşap malzemeler kullanılarak tabakalarda kullanılan ağaç türü sarıçam-kavak-sarıçam, dişbudak-kavak-dişbudak olacak şekilde ayrı ayrı 3 tabakalı S 90, TS 90, D 90, TD 90 grubu paneller üretilmiştir. Tüm gruplarda orta tabakada ekonomik değeri nispeten düşük ve ısıl işlem görmemiş Samsun kavağından elde edilmiş ahşap malzeme kullanılmıştır.

Panel üretim uygulamasında tüm tabakalarda ekonomik değeri nişpeten düşük olan kavak kullanılarak 3 tabakalı K 90 grubu paneller üretilmiştir.

ÇLK panel üretiminde ardışık tabakalarda kullanılacak ahşapların lif yönü diğer tabakalara 90° açı yapacak şekilde ayarlanmaktadır. Bu çalışmada ayrıca, orta tabaka yani ikinci tabakanın lif yönü birinci ve üçüncü tabakanın lif yönü ile 45° açı yapacak şekilde S 45, TS 45, K 45, D 45 ve TD 45 grubu paneller üretilmiş ve numuneler arasında fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimler incelenmiştir.

Üretilen ÇLK panellerden TS EN 317 (kalınlığına şişme), TS EN 322 (yüzdece rutubet miktarı), TS EN 323 (yoğunluk), ASTM E96 (su buharı iletim oranı), ASTM C518 (termal iletkenlik miktarı), Tappi T207 cm99 (ekstraktif madde miktarı), ANSI/APA PRG 320 (ÇLK üretim standardı), TS EN 408-A1 (3-4 nokta eğilme-basınç direnci),

TS 3969 EN 314-1 (yapışma kalitesi) ve PREN 16351:2013 Annex C (delaminasyon yüzdesi) standartlarında belirtilen ölçülere göre deney numuneleri hazırlanmıştır.

Ayrıca, panel üretiminde kullanılan ahşap malzemelerden TS 53 (numune alma), TS ISO 13061-1 (rutubet tayini), TS ISO 13061-2 (yoğunluk tayini), TS ISO 13061-3 (3 nokta eğilme direnci), TS ISO 13061-4 (3 nokta eğilme direncinde elastikiyet modülü), TS ISO 13061-6 (liflere paralel çekme direnci), TS ISO 13061-17 (liflere paralel basınç direnci), TS ISO 13061-13 (odunda daralma), TS ISO 13061-15 (odunda genişleme), TS ISO 13061-14 (hacimsel daralma), TS ISO 13061-16 (hacimsel genişleme), TS EN 205 (çekme-makaslama direnci) standartlarında belirtilen ölçülere göre deney numuneleri hazırlanmıştır. Deneylerin uygulanması öncesi hazırlanan numuneler iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek iklimlendirmeye tabi tutulmuş, iklimlendirme işlemi sonrası belirtilen standartlara göre numunelere deneyler uygulanmıştır.

2. YAPISAL AHŞAP PANELLER

Aynı ağaç türü veya aynı nitelikteki ahşap malzemelerden elde edilmiş, kusurlarından arındırılmış çıta veya lata gibi küçük masif parçaların tek parça veya parmak dişli birleştirme (finger joint) gibi birleştirme yöntemleri ile uç uca eklenerek üretilmiş malzemelerin lif yönleri birbirine paralel olacak şekilde enine ve boyuna yönde birbirlerine yapıştırılmasıyla elde edilen panellere masif ahşap panel adı verilmektedir (Dilik, 2006; Mıdıroğlu, 2015). Masif paneller genellikle mobilyacılıkta, iç mimari ve dekorasyon uygulamalarında kullanılmaktadır (Akça, 2003). Panellerin yüzeylerinin düzgün ve temiz olması sayesinde güzel görüntü sağlaması ahşap masif panelleri diğer ahşap esaslı panellere kıyasla daha avantajlı hale getirmektedir. Masif panel üretiminde küçük boyutlu parçaların kullanılabilirliği üretimde meydana gelen fire oranlarının azalmasını sağlarken aynı zamanda istenilen genişlikteki panellerin üretimine de imkan sağlamaktadır (Bilgin, 2010; Kahveci, 2003). Ayrıca, tutkallama ve laminasyon teknolojisinde sağlanan gelişmeler sayesinde masif keresteye kıyasla daha stabil, kusursuz ve estetik bir malzeme elde edilmesinin yanı sıra ağaç malzemenin daha rasyonel bir biçimde kullanımı sağlanmaktadır (Bilgin, 2010; Oran, 2012).

2.1 Yapısal Ahşap Panellerin Özellikleri

Orta yoğunluktaki lif levha (MDF) ve yonga levhala üretim fabrikalarının yatırım maliyetleri incelendiğinde masif panel üretim fabrikalarına kıyasla yaklaşık on kata kadar daha fazla yatırım maliyetine gerek duyulduğu görülmüştür. Bu durum son dönemde masif panel üretimine ayrılan yatırımların oldukça hızlı bir şekilde artmasına neden olmuştur. Ayrıca, masif paneller sayesinde masif ahşap ürünlerin orman ürünleri endüstrisinde eskiden sahip olduğu kıymete tekrar sahip olmasına öncülük ettiği gözlemlenmiştir (Bilgin, 2010; Mıdıroğlu, 2015).

2.1.1 Avantajları

1- Ahşabın ısı iletkenlik özelliğinin düşük olması ve tamamen doğal yapıda sağlıklı bir malzeme olması insanların ahşap panelleri tercih etmelerindeki en çok bilinen ve en büyük sebebi olduğu bilinmektedir,

2-Masif paneller geniş yüzeyli, herhangi bir işlem görmeden doğrudan kullanıma uygun ve doğal bir görünüme sahip malzemelerdir,

3- Masif paneller bünyesinde çok çeşitli dekoratif görünümler bulunduran, zengin tekstür ve renge sahiptirler,

4- Masif panellerin direnç özellikleri ve boyutsal olarak stabiliteleri oldukça yüksektir,

5-Yüzey düzgünlüğü sayesinde yüzey kaplama, vernik-boya uygulaması gibi üst yüzey işlemleri için uygun bir malzemedir,

6- Kaplama, bantlama, masifleme vb. gibi kenar uygulamalarına gerek duyulmadan kullanılabilirler,

7-Masif panel üretiminde yatırım masrafları diğer panel ürünlerine kıyasla daha düşük seviyededir,

8- Aynı kalınlıkta farklı ebatlarda ve tiplerde panel üretimi yapılabilmektedir,

9-Masif paneller CNC ve benzeri makineler aracılığı ile kolaylıkla işlenebilir,

10- Masif paneller uzun ömürlü malzemedir (Kurtoğlu, 2004; Mıdıroğlu, 2015).

2.1.2 Dezavantajları

1- Bulunduğu ortamın sıcaklık ve bağıl neminde meydana gelen değişimler sonucu bünyesine rutubet alıp vererek odunun çalışması ve boyutlarında değişim meydana gelmesi,

2- Bünyesinde meydana gelen çürüklükler sonucu odun renginde değişiklik gözlenebilmesi,

3- Kullanım yerindeki böcek ve hayvansal zararlılar karşısında dayanıklılığının düşük olması,

4- Yapısında budak gibi direnç özelliklerini azaltıcı kusurların bulunabilmesi,

5- Diğer yonga levha, lif levha, kontrplak vb. ahşap panel tiplerine kıyasla üretiminde daha fazla dikkat ve hassasiyet göstermek gereklidir,

6- Panel üretimlerinde kullanılacak kerestelerin kurutma işlemi hassas bir biçimde yapılmalıdır (Bilgin, 2010; Mıdıroğlu, 2015).

2.1.3 Panel Üretimininde Kullanılan Ağaç Türleri

Masif ahşap panel üretiminde kullanılan ağaç türleri piyasadaki satıcıların ve müşteri guruplarının sıkça talep ettiği ve kullandığı ağaç türlerinden oluşmaktadır. Üretimde genel olarak geniş yapraklı ağaç odunlarından meşe, kayın, ceviz, kestane akçaağaç, dişbudak, okume, sapelli, iroko gibi türler ile ibreli ağaç odunlarından çam, ladin, göknar gibi türler kullanılmaktadır (Özkaya, 2007).

2.1.4 Masif Ahşap Panelin Kullanım Yerleri

Masif ahşap paneller, masif ahşabın ve diğer mühendislik ürünü ahşap panellerin kullanılabileceği hemen her alanda rahatlıkla kullanılabilmektedir. Her çeşit mobilya üretiminde kullanılmasının yanı sıra ev–ofis dekorasyonunda, merdiven basamaklarında, taban ve tavan döşemelerinde, cephe kaplamalarında, duvar ve bölme panellerinde, yat güvertesi ve kamara dekorasyonunda, spor salonları, oturma grupları iskeletleri ve okul mobilyaları gibi alanlarda da kullanılabilmektedir (Kahveci, 2003; Özkaya, 2007).

2.2 Lamine Ahşap Teknolojisi

Günümüzde yangın, ahşap ürünlere karşı artan talep vb. nedenler ile orman varlığımız hızla azalmakta ve bu durumun önlenmesi ormanların bilinçli bir şekilde tüketilmesi ile sağlanabilmektedir. Lif levha, yonga levha ve kontrplak gibi levha ürünleri kabin tipi mobilyaların üretiminde önemli bir hammaddedir. Eğmeçli ve büyük boyutlu malzemelerin üretiminde ise ahşap zaiyatını azaltan ve ahşap malzemenin kusurlarından arındırılarak kullanılmasına imkan tanıyan laminasyon tekniği ile üretilmiş lamine malzemeler kullanılmaktadır. Lamine masif ahşap malzemeler ahşap laminelerinin birbirlerinin liflerine paralel yönde yapıştırılmasıyla elde edilen bir yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Üretilen ahşap lamine malzeme kavisli bir yapıda ise tabakaların lif yönlerinin birbirlerine paralel olarak uygulanması zorunludur. Laminasyon işleminde farklı ağaç türleri, değişken kat sayıları, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları gibi çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir (Perçin, 2007; Şeker, 2011; TS 3842, 1983).

Ticari olarak lamine ahşap teknolojisi ABD'de Forest Product Laboratory tarafından 1934 yılında ilk olarak inşaat sektöründe uygulamalar yapılmıştır. Daha sonraki dönemde ise Avrupa ülkelerinde fabrika binalarında, yüzme havuzlarında, lise binası inşaatlarında, hangarlarda ve çiftliklerde ahır yapımında kullanılmıştır. 1975'ten sonra ise uygulama alanları hızla artmış, özellikle form mobilya üretiminde yoğun bir kullanım alanı bulmuştur. Günümüzde ise kemerli taşıyıcılarla birlikte kullanımında 150m'yi aşan, düz taşıyıcılarla birlikte kullanımında ise 40m'yi aşan açıklıklar başarı ile geçilmektedir (Kahraman, 2010).

Lamine malzemeler aynı tür ahşaptan masif malzemelere kıyasla daha az çalışmaktadır ve boyutları daha stabildir, bünyesindeki tutkal sayesinde nemli ortamlar karşısında dayanıklı ve yüksek performans gösterebilmektedir. Bu sayede arıtma tesisleri, yüzme havuzları gibi yapılarda ve köprülerde yaygın olarak kullanım alanları vardır. Asit ve baz buharına karşı dayanıklı, inşaat maliyeti çelik konstrüksiyon sistemler ile oldukça yakındır (Durak, 2015). Ahşap laminasyon tekniği ahşap malzemelerin dış etkiler karşısında daha sağlam olmasına imkan vermektedir (Doruk, 2009).

TS EN 386 (1999) ve DIN 68140 (1971) standartlarına göre lamine ahşap malzemeyi oluşturan katlar arasındaki rutubet farkı %4'ü geçmemeli, ANSI A 190 (2017)'a göre ise %5'i aşmamalıdır. Bu duruma dikkat edilmemesi durumunda ahşabın rutubet kaynaklı farklı çalışma özellikleri sonucu oluşan iç gerilimler liflere dik yöndeki çekme direncinden daha yüksek bir değere çıkarak ahşap malzemelerde çatlamalara neden olabilmektedir (Baştuğ, 2010; Döngel, 1999; Özcan, 2007).

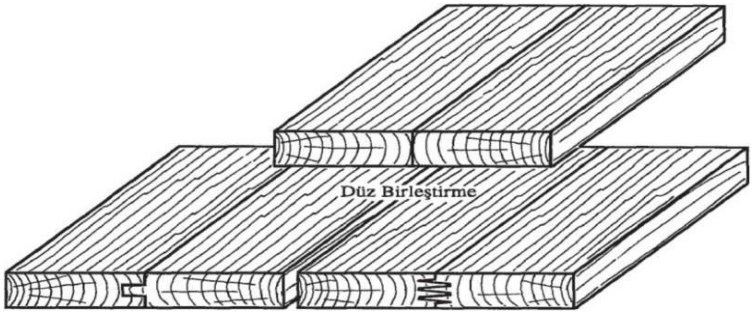
Lamine ahşap malzemelerin direnç özellikleri laminasyonda kullanılan ahşap yapısına, ahşabın yüzey pürüzlülüğüne, uygulanan pres basıncına, uygulanan pres süresine ve kullanılan tutkalın kalitesi ile teknik özelliklerine bağlıdır. Farklı ağaç türlerinin aynı anda preslenmesi durumunda pres basıncı kullanılan yumuşak ağaç türüne göre belirlenmektedir. Pres basınçları yumuşak ağaç odunlarında 0,6-1,0N/mm^2, sert ağaç odunlarında ise 0,2-1,6N/mm^2 arasında ayarlanmalıdır (Ayan, 2012; Dilik, 1997).

2.2.1 Laminasyonda Uygulanan Birleştirmeler

Laminasyonda kullanılan ahşap malzemelerin fire oranlarını azaltmak ve üretim için gerekli lamel boyutlarını elde etmek için lâmine elamanı meydana getiren katlarda en ve boy birleştirmelerin yapılması gerekli görülmektedir (Döngel, 1999; Perçin, 2007).

2.2.1.1 En birleştirmeler

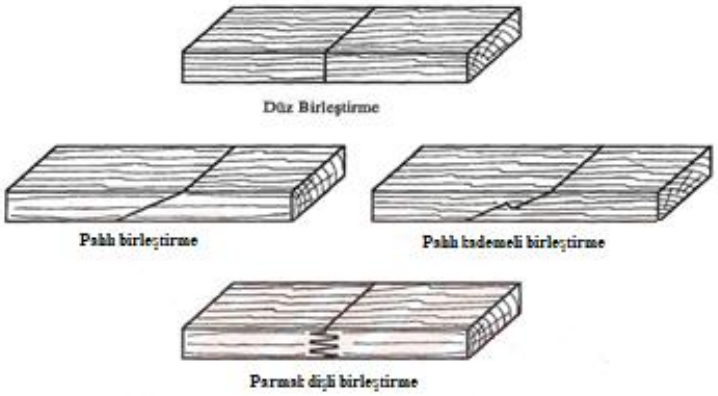
Laminasyon işleminde genellikle düz, kinişli ve parmak dişli birleştirme çeşitleri kullanılmaktadır. Ancak seri üretime uygunluğu nedeniyle uygulamada genellikle parmak dişli birleştirmeler tercih edilmektedir. Şekil 2.1'de en birleştirme çeşitleri görülmektedir (Döngel, 1999; Perçin, 2007).



Şekil 2.1 Laminasyonda kullanılan en birleştirme şekilleri (Döngel, 1999)

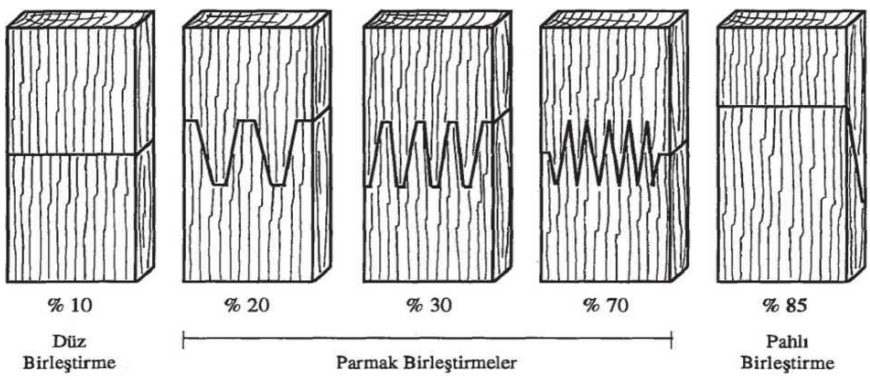
2.2.1.2 Boy birleştirmeler

Laminasyon işleminde boy birleştirme olarak genellikle düz, pahlı ve parmak dişli birleştirmeler kullanılmaktadır. Şekil 2.2'de boy birleştirme çeşitleri görülmektedir.



Şekil 2.2 Laminasyonda kullanılan boy birleştirme şekilleri (Döngel, 1999; Perçin, 2007)

Doğrama imalatında kullanılan parmak dişli birleştirmelerde diş boyu 10-20mm arası, taşıyıcı elemanların imalatında ise 20-30mm arasında alındığında zayıflama derecesi olarak ifade edilen diş ucu genişliğinin/diş uçları arasındaki açıklığa bölümü sonucunda elde edilen değer azalmakta ve ahşap malzeme kaybı da minimuma inmektedir. Pahlı boy birleştirmelerde ise pahlı birleşim uzunluğunun parça kalınlığının 8-12 katı olması durumunda en yüksek verim elde edilmektedir. Ayrıca, çekme yüküne maruz kalan boy birleştirmelerde en yüksek verim, birleştirme boyunun mümkün olduğunca uzun olarak ayarlandığı pahlı birleştirmelerden elde edilmektedir (Döngel, 1999; Örs, 1987). Şekil 2.3'te boy birleştirmelerde eksiz malzemeye kıyasla yük taşıma yüzdeleri görülmektedir.



Şekil 2.3 Boy birleştirmelerde yük taşıma yüzdeleri (Döngel, 1999)

2.2.1.3 Parmak dişli birleştirmeler

Masif panel imalatında kullanıma uygun standartta olan ve kusurlarından arındırılmış kısa parçaların uçlarına dişler açıldıktan sonra tutkallanarak uçlarından birleştirilmesi ve preslenmesi yoluyla yapılan boy ekleme işlemine parmak dişli birleştirme (finger joint) işlemi denir. Ahşap malzemeleri liflere paralel olacak şekilde uç uca birleştirmek genellikle bir problem ve uğraştırıcı bir işlem olarak görülmüştür. Ancak, ahşap malzemelerin en fazla direnç özelliği gösterdiği yönün ise lifler paralel yön olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda ahşap malzemeye uygulanacak yüklerin birleşim noktalarından aktarılması önemli olarak görülmüş ve bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, ahşap malzemelerin liflere paralel doğrultuda birbirlerine yapıştırılmasının liflere dik doğrultuda birbirleri ile yapıştırılmasına kıyasla çok daha iyi ve kolay bir şekilde yapıştırılabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, ek yerlerinde gözlemlenen makaslama direncinin çekme direncine yakın değerler elde edilmesi istenildiğinde tutkallama temas alanının arttırılması, bu temas alanının arttırılması için birleşim noktalarında modifikasyonların yapılması gerektiği ve tutkallamanın liflere paralel yönde yapılması gerektiği belirtilmiştir (Dilik, 2005).

Orman ürünleri endüstrisinde çeşitli birleştirme teknikleri geliştirilmiştir. Bu geliştirilen tekniklerden bazılarının üretimi ve ahşabın tutkallanma işleminde yaşanılan zorluklar, performanslarının düşük olması gibi sebeplerden ötürü kullanım alanı bulamamıştır. Geliştirilen bu tekniklerden üzerinde kapsamlı çalışmalar uygulanmış olanı düz yuvalı birleştirmedir. Yapılan çalışmalar sonucu 10 yataya 1 düşey ve 12 yataya 1 düşey yuvalı birleştirmenin işlem görmemiş masif ahşabın dayanımının %85-90'ına eşit bir çekme dayanımı sağladığı tespit edilmiştir. 20 yataya 1 düşey yuvalı birleştirmenin ise işlem görmemiş masif ahşabın çekme dayanımının ortalama %95'ine eşit bir çekme dayanımı sağladığı tespit edilmiştir (Örs, 1987).

Parmak dişli birleştirme yöntemi eski dönemlerden günümüze kadar kullanılmakta olan bir yöntemdir. Parmak dişli birleştirme yönteminin ilk kez Almanya Stutgart'da Otto Graf Enstitüsünden Engel ve Jagfield tarafından, 1940'lı yılların erken döneminde inşa edilmiş bir köprüde kullanıldığı ifade edilmiştir. Köprü inşasından 10 yıl sonra parmak dişli birleştirilmiş köprü elemanları üzerinde deneyler yapılarak

birleştirmelerin performansı değerlendirilmiştir. Bu uygulamalar sonucunda parmak dişli birleştirmelerin yapısal ve yapısal olmayan alanlardaki kullanımları giderek artış göstermiştir (Bilgin, 2010).

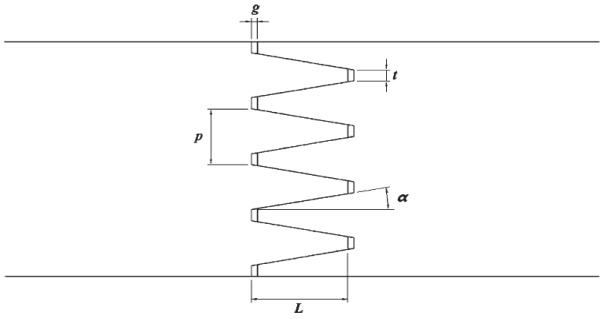
Parmak dişli birleştirmeler, değişik şekillerde tanımlansalar da özünde düz yuvalı birleştirmenin bir modifikasyonudur. Parmak dişli birleştirmeler bir dizi kısa yuvalı birleştirmelerden meydana gelmektedir. Parmak dişli birleştirmeler kullanım amacına, gerilmelerin geometrik etkilerine, şekilleri ile görünümlerine göre yapısal ve yapısal olmayan şekilde sınıflandırılırlar. Yapısal dişli birleştirmeler genellikle yapısal olmayan dişli birleştirmelere kıyasla daha uzun ve keskin uçludur. Yapısal amaçlı olmayan parmak dişli birleştirmeler ise genellikle kısa dişli ve kör uçlu olmaktadır. Yapısal amaçlı olmayan parmak dişli birleştirmeler yük taşıyıcı niteliği bulunmayan, dekorasyon amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Bu sayede değişik uzunluktaki parçaların istenmeyen hatalı kısımları çıkarılarak faydalı olabileceği düzgün parçaları kullanıma uygun hale getirilirler. Yapısal olmayan dişli birleştirmeler kapı turnikesi, pencere çerçeveleri, şerif tahtaları, demiryolu hatları, yan demiryolu hatları ve şarampol yapımı gibi konularda öncelikli olarak kullanılmaktadır. Yapısal dişli birleştirmeler yapılarda kullanılacak yük taşıyıcı özellikteki uzun boylu kerestelerin üretiminde ve mevcut kerestelerin uzunluğunun yetmediği, plakalar haline getirilmiş geniş kirişlerin uçtan uca eklenmesinde kullanılır. Dişli birleştirmeler keresteleri kusurlarından arındırarak kalitesini ve direnç özelliklerini arttırmak için kullanılabilirler. Dişli birleştirmelerin geometrisi, birleştirme yerinin potansiyel dayanımına büyük ölçüde etki etmektedir. Bu geometriyi tanımlayan elemanların herhangi birindeki değişiklik otomatik olarak diğerini de etkileyerek zincirleme olarak devam etmektedir. Birleştirme yeri geometrisinin kerestenin dayanımı üzerine olan etkileri çeşitli çalışmalarda incelenmiştir ve çalışma sonuçlarında elde edilen bulguların birbirine paralel olduğu gözlemlenmiştir. Birleştirme yerinde maksimum dayanım elde etmek için birleştirme yerindeki parmak uçlarının mümkün olduğunca ince olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu durumun sebebinin ise 2 nedenden kaynaklandığı belirtilmektedir (Bilgin, 2010).

Bu nedenler şunlardır:

1. Kör uçlar enli birleştirmeler olup, bağlantı uçlarında boşluk oluşumuna neden olmakta ve basınç gerilmeleri altında ezilerek yeterli dayanım sağlayamamaktadırlar,

2. Odunun anatomik yapısına bağlı olarak uçların birleşim yerlerinde odunun çalışması ve benzeri özelliklerinde çeşitli değişiklikler meydana gelmekte ve bu değişiklikler birleşim noktalarında daha düşük kuvvet etkisi altında kırılmaya ve gerilim yoğunlaşmalarına neden olmaktadır (Bilgin, 2010).

Parmak dişli birleştirmelerin birleşim yeri geometrisi ve buna etki eden elemanlar Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Parmak dişli birleştirme geometrisi (Rao, 2012)

Burada;

g =Birleşim yerinde parmak ucu ile ahşap malzeme arasındaki boşluk,

p = Parmak diş açıklığı,

L = Parmak uzunluğu,

t = Uç kalınlığı,

α = Diş eğimi (Rao, 2012).

Parmak uçlu birleştirmelerde parmak uzunluğu (L) taban genişliğine orantılandığında bu oranın (L/P) 4'ten daha fazla çıkması halinde yükün parmak uçlarındaki ince kısımlarda yoğunlaşması ve bu kısımların fazla yükü kaldıramaması bu birleşim yeri çekme direncinin ahşap malzeme çekme direncinden daha düşük çıkmasına neden olmaktadır (Örs, 1987). Tez çalışmasında (L/P) oranı (10/4) 2,5 olarak tespit edilmiştir.

Masif panel imalatında işletmeler parmak dişli birleştirme kullanılmış ahşap malzemeleri boy eklemesiz ahşap malzemelere kıyasla daha stabil oldukları ve malzeme zaiyatını minimuma indirmeleri sebebiyle daha çok tercih etmektedirler. Ahşap malzemelerin uçlarına açılan parmak dişli birleştirmeler yatay ve dikey konumlarına göre yatay parmak dişli birleştirme veya dikey parmak dişli birleştirme olarak isimlendirilmektedir. Yatay parmak dişli birleştirme genellikle güzel görünüm isteyen mobilya gibi alanlarda kullanılmaktadır. Dikey parmak dişli birleştirme ise dayanıklılığının önemli olarak görüldüğü Amerikan panel kapı kasası ve ahşap doğrama gibi alanlarda kullanılmaktadır. Parmak dişli birleştirme teknolojisinde gözlemlenen gelişmeler sayesinde 15 cm gibi kısa boylardaki parçalar masif panel üretiminde kullanılabilmekte ve buda üretimde %6,5 gibi bir ek verim kazancı elde edilmesini sağlayabilmektedir. Şekil 2.5'te parmak dişli birleştirme şekilleri görülmektedir (Dilik, 2005).



Şekil 2.5 Dikey ve yatay parmak dişli birleştirme şekilleri (URL-1, 2022)

Masif panel üretiminde üretim hızının ve kapasitesinin belirlenmesinde parmak dişli birleştirme işlemi önem arz etmektedir. Bu aşamada dişlerin birbirine tam olarak oturmuş olması ve uygun bir tutkal kullanılması çok önemlidir. Türkiye'de masif panel üretiminde genellikle PVA özellikli tek komponentli sıcak veya soğuk yapıştırmaya

uygun tutkallar tercih edilmekte olup D3 ve D4 normlarında tutkallar kullanılmaktadır. Teknik kurutma metotlarına göre kurutulan uzun boylu ahşapların kurutma sırasında genellikle çarpılmaya maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Buna karşın, kısa boylu parçalarda çarpılma önemli derecede azalmakta ve parmak dişli birleştirme ile elde edilen ahşap malzemenin kalitesi kullanılan ahşap parçaların sayısına bağlı olarak değişiklik gösterdiği ifade edilmiştir (Bilgin, 2010; Kleiberit, 2010).

2.2.2 Laminasyonda Ahşap Malzeme Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar

Lâmine masif malzeme üretiminde kullanılacak ahşap malzemelerin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

Tutkalın yapışma gücünü azaltacağından dolayı tanenli ve reçineli odun kullanımından kaçınılmalıdır. Bu durum üretilen lâmine malzemenin mekanik özelliklerine olumsuz yönde etkiler yapaktadır,

Laminasyonda kullanılacak ağaç türü odununun hafif yapıda olması istenir. Kiriş, kolon vb. taşıyıcı ahşap elemanlar büyük boyutlara sahip olduğundan TS 3842 (1999)'ye göre bu amaç için sarıçam, karaçam, ladin ve göknar odunlarının kullanımı tavsiye edilmektedir,

Seçilen ağaç türünün bol ve kolayca temin edilebilmesi üretimde aksama yaşanmasının önüne geçer,

Kavisli lâmine malzeme üretiminde bükülebilme özelliği iyi olan ağaç türlerinin tercihi üretimi kolaylaştırmaktadır, ağaç türlerinin bükülebilme özellikleri genellikle birbirinden farklı olup yapraklı ağaçlar iğne yapraklı ağaçlara kıyasla daha iyi bükülebilme özellikleri gösterirler. Bükülme özellikleri bakımından en elverişli türler kayın, meşe, karaağaç, dişbudak, huş, kestane, kiraz, fındık, akasya ve akçaağaç türleridir (Berkel, 1970).

TS EN 386 (1999)'ya göre, lâmine elemanın herhangi bir kısmında ve 300mm uzunluktaki parçada budakların meydana getirdiği toplam alan 300mm boydaki parçanın en fazla 1/10'unu kaplıyorsa bu parça I. sınıf parça, en fazla 1/4'ünü

kaplıyorsa bu parça II. sınıf parça ve en fazla 1/2'sini kaplıyorsa bu parça III. sınıf parça kategorisine ayrılır.

Lâmine ahşap malzeme üretiminde reaksiyon odunu kullanımı malzemenin direnç özelliklerine olumsuz yönde etki etmektedir. Basınç odunu normal oduna kıyasla daha ağır bir yapıda olup eğilme ve şok direnci değerleri düşüktür. Kereste kurutma esnasında ahşap malzemeler kolaylıkla çarpılır ve çatlar. Çekme odunu kullanımı ise malzemede pürüzlü ve elyaflı yüzey oluşumuna neden olmaktadır. Reaksiyon odununun işlenmesi, çivi ve vida uygulanması zordur. Üst yüzey uygulamalarında arzu edilmeyen problemlere neden olmakta, kurutma esnasında da hücre çökmeleri (kollaps) gözlemlenebilmektedir. Lâmine elemanların üretiminde kullanılan malzemelerin ağacın özünü içermesi panellerin direnç özelliklerini azaltmakta, öz ile çevresindeki odun arasında odunun çalışma yüzdelerinde farklılıklara neden olmakta ve bu durum odun içerisinde iç gerilimlerin oluşumuna ve tutkal yapışma direncinde azalmalara sebebiyet vermektedir (Bozkurt, 1986).

Eğilmede emniyet geriliminin masif ahşap malzemelerde 110kg/cm² (11N/mm^2) olduğu, aynı kesitli lamine ahşap malzemede ise 140kg/cm^2 (14N/mm^2) olduğu ifade edilmiştir. Bu durum sonucunda taşıyıcı elemanlarda kesitlerin daha küçük tutulabileceği belirtilmiştir (Kahraman, 2010).

2.3 Yapısal Ahşap Malzeme Çeşitleri

Yapısal ahşap malzeme çeşitleri incelendiğinde paralel şerit kereste (PSL-Parallel Strand Lumber), lamine şerit kereste (LSL-Laminated Strand Lumber), tabakalı kaplama kereste (LVL-Laminated Veneer Lumber), tutkallı lamine kereste (GLULAM-Glued Laminated Timber) ve yönlendirilmiş şerit kereste (OSL-Oriented Strand Lumber) olmak üzere 5 grup altında toplanmakta ve yaklaşık 35 yıldır üretimleri yapılmaktadır (Hay green ve Bowyer, 1996; Hekimoğlu 2014; Oran, 2012; Sizüçen 2008). Tez çalışmasında bazı teknolojik özelliklerin tespitinde aynı standartların kullanılması nedeniyle glulam ve ÇLK paneller hakkında literatür bilgisine yer verilmiştir.

2.3.1 Tutkallı Lamine Kereste (GLULAM-Glued Laminated Timber)

TS EN 14080 (2013)'e göre tutkallı lamine kereste (TLK) olarak adlandırılan, ticari adı ise glulam olan ürünler, masif kerestelerden daha büyük boyutlu malzemeler üretebilmek amacıyla keşfedilmiş, bu kerestelerin birbirlerine uç uca, yan yana ve üst üste yapıştırılması sonucu elde edilmiş yeni bir mühendislik ürünü ahşap malzeme çeşididir. TLK malzemeler ilk kez 1893'te İsviçre Basel'de bir oditoryum inşasında kullanılmıştır. Kolon, kiriş, direk, ağır dayanak ve eğimli destekler olarak tasarlanan TLK elemanlar konutlarda ve diğer yapılarda yüksek yük taşıma kapasitesine sahip yapısal amaçlı ürünler olarak kullanım alanları bulunmaktadır (Cırrık, 2018; Keskin, 2001; Oran, 2012; Stalnaker ve Harris, 1997; Stark vd., 2010). TLK üretiminde kavisli ürünler üretilecek ise ortalama 1 inç (25,4mm) (maksimum 33mm) kalınlıktaki keresteler kullanılırken, az kavisli ya da düz ürünler üretilecek ise maksimum 2 inç (50,8mm) kalınlıktaki keresteler kullanılmaktadır. Genellikle TLK üretiminde kullanılan kerestelerin lif yönleri birbirine paralel olacak şekilde tutkallanarak üretim yapılmaktadır. Eğimli TLK malzemelerde ise kullanılacak kerestelerin lif yönlerinin birbirine paralel olmasının zorunlu olduğu belirtilmiştir (Cırrık, 2018; Çolakoğlu, 2010; Doruk, 2009; Hekimoğlu, 2014; Oran, 2012; Sizüçen, 2008; TS 3842 1983).

TLK malzemelerin kullanım alanlarının genellikle dış ortam veya yarı kapalı yerler olmasından dolayı üretim aşamasında dış ortam şartlarına dayanıklı tutkallar kullanılarak üretimin gerçekleştirildiği ifade edilmiştir (Cırrık, 2018).

Genellikle TLK üretiminde ürün genişliğinin 63,5mm'den 273mm'ye kadar olabileceği, bu ölçülerin haricinde ise özel istekler doğrultusunda farklı ölçülerde de üretilebileceği belirtilmiştir. TLK boylarının ise 30 metreden fazla olabileceği tespit edilmiştir (Doruk, 2009; Keskin, 2001; The Engineered Wood Association (APA) 2008). Ancak, bu başarıda kullanılan tutkal çeşidinin de oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır (Keskin, 2001).

TLK'nın esas üretim amacının kavisli yapıya sahip büyük ebatlı kemerler gibi yapıların üretilebilmesi olduğu ancak ilerleyen zamanlarda büyük boyutlu ve kaliteli kereste temininde karşılaşılan problemler karşısında alternatif malzemeler ve çözümler üretmek amacı ile kullanıldığı belirtilmiştir (Stalnaker ve Harris, 1997).

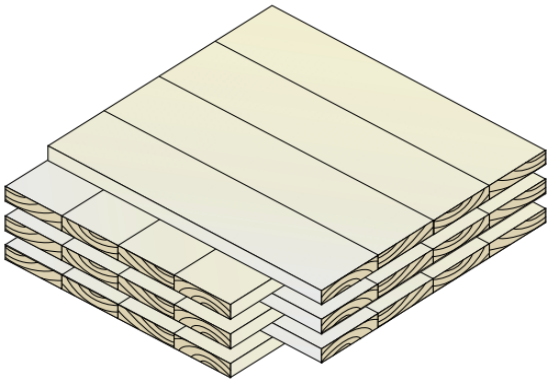
TLK keresteler, biçilmiş keresteler ile karşılaştırıldığında kullanım alanında çoğunlukla imalattan kaynaklı bazı sorunlar gözlemlenebilmektedir. Bunlardan birisi üretim esnasında odunun yönlere bağlı çalışma miktarlarını göz önünde bulundurmadan birbirine yapıştırılmasıdır. Bir diğeri ise yapıştırılacak kerestelerin arasında rutubet farklarının bulunmasıdır. Bu gibi durumlarda TLK keresteler içerisinde kalıcı gerilmeler oluşabilmektedir. Ayrıca, üretimde kullanılacak odunda lif kıvrıklığı, reaksiyon odunu gibi durumların bulunması yapıştırılan keresteler arasında kalıcı gerilmeler oluşmasına neden olabilir (Keskin, 2001; Stalnaker ve Harris, 1997).

2.3.2 Çapraz Laminasyonlu Kereste (ÇLK) Panel

Konut, ofis inşası, mağaza, otel ve endüstriyel bina inşası gibi inşalarda yük taşıyıcı duvar, zemin ve tavan gibi görevler yapan çapraz laminasyonlu panellerin kullanım alanlarının bu kadar çok çeşitli olması sayesinde özellikle Kuzey Amerika'da ve Avrupa'da olmak üzere tüm Dünya'da popülaritesi artmakta olan yeni bir mühendislik ürünü ahşap malzemedir. Çapraz laminasyonlu kereste panellerin (ÇLK) üretimi tarihte ilk olarak 1993 yılında Avusturya'da başlamış, yine aynı tarihte ÇLK paneller kullanılarak ilk ÇLK bina inşası yapılmıştır (Cırrık, 2018).

Genellikle 3 ila 7 tabakadan oluşan ancak, istenildiğinde daha çok tabakalı olarak da üretim yapılabilen, ardışık tabakaların lif yönleri genellikle diğer tabakalar ile 90° açı yapacak şekilde tabakaların birbiri üzerine yapıştırılması sonucu elde edilen, üretiminde genellikle iğne yapraklı ağaç odunları kullanılan panellere ÇLK panel adı verilmektedir. Kimi zaman ardışık tabakalarda ahşabın lif yönleri birbirleri ile aynı yönde olabilmektedir. Bu uygulama özel mukavemetler elde etmek için dış tabakalar için yapılabileceği gibi panel çekirdeği içinden de yapılabilir. Tutkallamanın yanı sıra tabakaların birbiri ile birleştirilmesinde çivi veya ahşap kavela da kullanılabilmektedir

(Cırrık, 2018; Gagnon vd., 2013a). ÇLK üretiminde ahşapların dizilişi Şekil 2.6'da, üretimi tamamlanmış panel ise Fotoğraf 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.6 ÇLK üretiminde ahşapların dizilişi (URL-2, 2017)



Fotoğraf 2.1 Üretimi tamamlanmış ÇLK panel (URL-3, 2017)

Panelin üretimi için tabakalarda kullanılan ahşap malzemelerin bireysel kalınlığı 16mm ile 51mm arasında, genişliği ise 40mm ile 300mm arasında değişmektedir. Panel üretiminden önce boyutları kısa olan ahşap malzemeler gerektiğinde yapısal tutkallar ve parmak dişli birleştirme yöntemi kullanılarak birbiri ile birleştirilerek boyutları istenilen miktarda uzatılabilir. Elde edilen uzun boyutlu ahşap malzemeler %12±3 rutubete kadar kurutularak panel üretimine hazır hale getirilir (Gagnon vd., 2013a).

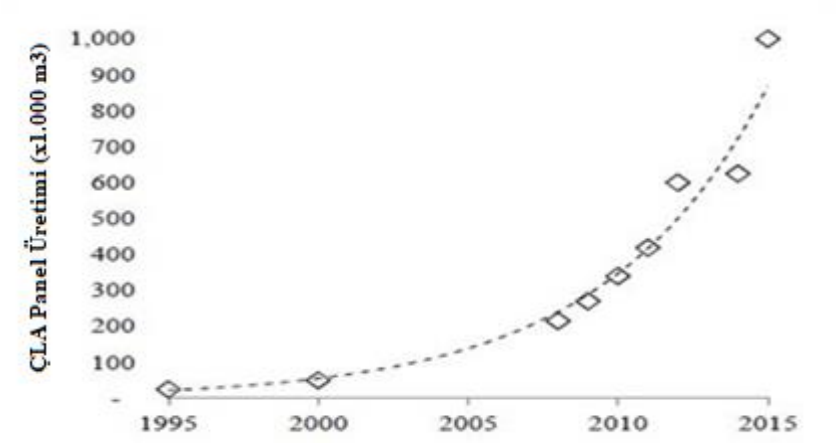
Üretilen panellerin boyutları üretici firmaların makine ve teçhizatına göre değişmekle birlikte genellikle panel genişliği 0,6 metre; 1,2 metre; 2,4 metre ve 3 metredir. Panel boyu ise 24 metreye kadar çıkabilmektedir. Ayrıca, panel boyutlarına taşıma şartları

etki etmektedir. Üretilen panellerin maksimum kalınlığı 508mm olarak ölçülmüştür (Cırrık, 2018; Gagnon vd., 2013b).

ÇLK panellerin zemin olarak kullanılması durumunda panel kalınlığının 102mm'den az olmamasının daha uygun olacağı belirtilmektedir. ÇLK panel duvarların birbirleri arasında bağlantı yapılması durumunda ahşabın çalışma özelliği göz ardı edilerek panel birleşim noktalarında çalışma boşluklarının bırakılmaması daha uygun görülmüştür. ÇLK panellerden çatı yapılması istenildiğinde panel kalınlığının 76mm'den daha fazla olmasına ve panellerin birbirlerine ve panelleri tutan desteklere mekanik olarak tutturulmasına dikkat edilmesi tavsiye edilmektedir **(**Dagenais vd., 2013).

ÇLK panellerde dış tabakalarda kullanılan kerestelerin lif yönleri yer çekim kuvvetinin yönü ile paralel olacak şekilde yapılmaktadır. Bunun sebebi ise duvarların taşıma kapasitesinin maksimuma çıkarılmak istenmesidir. Benzer şekilde, zemin ve çatı sistemlerinde dış tabakadaki liflerin yönü kirişler arasındaki boşluğun daha geniş olduğu yön ile paralel yapılmaktadır. ÇLK panellerde uygulanan çapraz laminasyon işlemi, duvar ve zemin panellerinin boyutsal stabilizasyonunda artış sağlamaktadır. Genellikle ÇLK panel üretiminde ve parmak dişli birleştirmelerinde kullanılan tutkal çeşitleri poliüretan, melamin ve fenol tabanlı tutkallardır. Panel üretiminde kerestelerin her iki geniş yüzeyi ile birlikte dar kenarları da tutkallanmak suretiyle panel üretilebilir. Ancak, seri üretimde kullanım yerine göre üretimi hızlandırmak için kimi zaman sadece geniş yüzeyler tutkallanarak panel üretimi yapılabilmektedir. Tutkallama sonrası panellere hidrolik pres, vakumlu membran pres veya basınçlı hava veren membran pres aracılığıyla presleme işlemi uygulanır. Üretilen paneller birbirleri ile kavela, çivi, cıvata, trifon vida, akıllı vida ve hareketli mafsallı birleştirme elemanları ile birleştirilir (Gagnon vd., 2013a).

2014 yılında Dünya'da ÇLK panel üretiminin altı yüz bin metreküp olduğu tespit edilmiştir. Espinoza vd. (2015) önümüzdeki 10 yıl içerisinde yıllık ÇLK panel üretiminin üç milyon metreküp dolaylarına ulaşacağını tahmin etmektedir. Grafik 2.1'de 1995-2015 yılları arasında üretilen ÇLK panellerin yıllık üretim miktarları görülmektedir.



Grafik 2.1 Dünya'da son 20 yıl içerisindeki ÇLK panel üretim miktarları (Espinoza vd., 2015)

ANSI/APA PRG 320'de ÇLK panel üretiminde kullanılabilecek ağaç türlerinin odun yoğunluğunun minimum 0,35g/cm^3 olabileceği belirtilmektedir. Bu durum, ekonomik değeri az olmasına rağmen deprem karşısında düşük ağırlığı sayesinde daha avantajlı olarak görülen kavak gibi düşük yoğunluğa sahip ağaç türlerinin ÇLK panel üretiminde kullanılmasına azda olsa bir kısıtlama getirdiği düşünülmektedir (Marko vd., 2016).

Genellikle ÇLK panel üretiminde fenol-resorsinol formaldehit, emülsiyon polimer izosiyanat (EPİ), ve poliüretan tutkallarının kullanıldığı belirtilmiştir (Yeh vd., 2012). Bunlardan üretimde en çok kullanılan tutkal türünün poliüretan tutkalı olduğu ifade edilmiştir. Buna ek olarak, bazı üretim hatlarında melamin-üre formaldehit tutkallarının da üretimde kullanıldığı gözlemlenmiştir (Grasser, 2015).

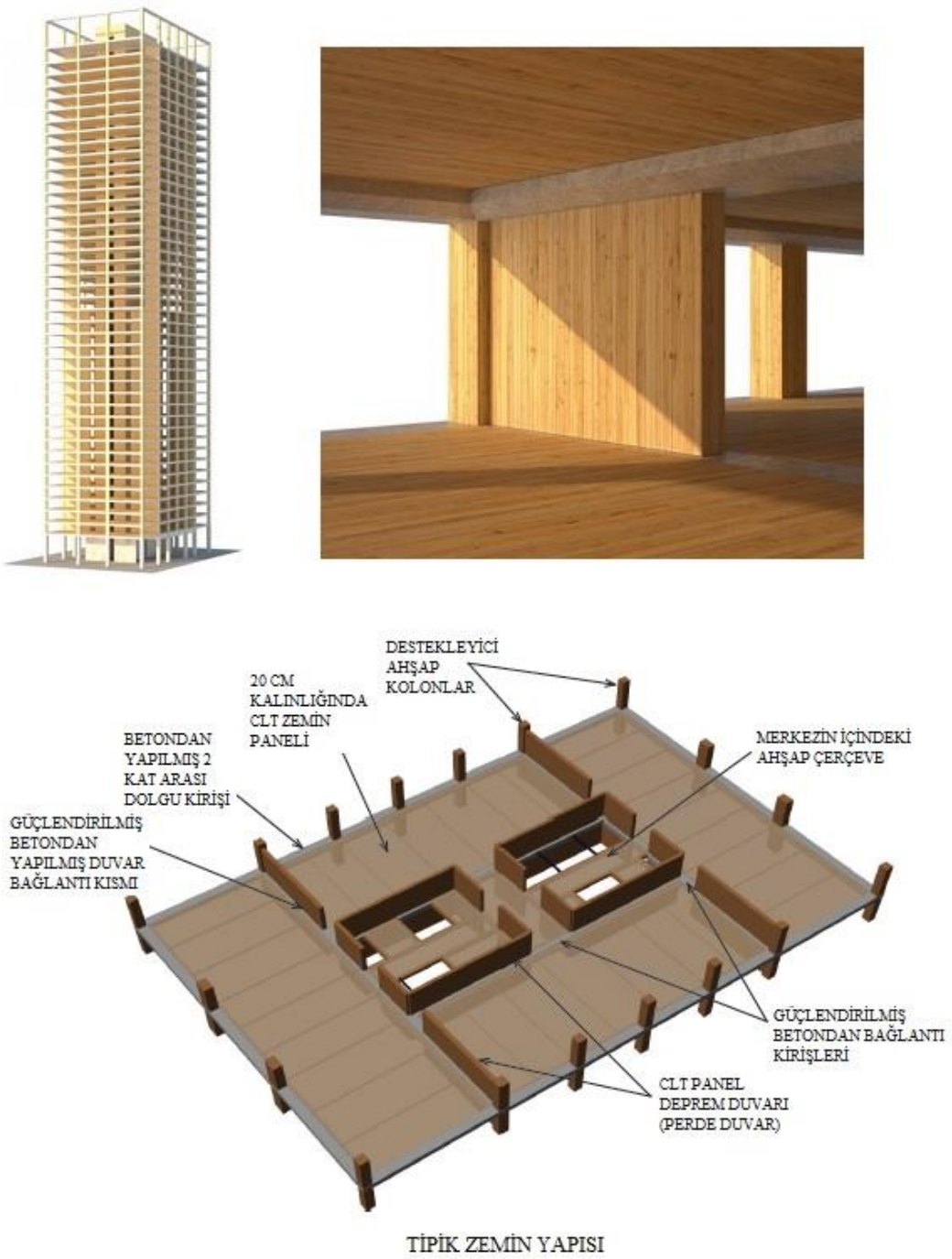
2.3.2.1 ÇLK panellerin kullanım alanları

ÇLK panellerin genel olarak kullanım alanları incelendiğinde çok katlı binaların inşaatı, kamu binalarının inşaatı, otel ve restoranların inşaatı, endüstriyel ve ticari yapıların inşaatı, yapıların yenilenmesi, ekleme yapılması, modernizasyonları ve köprülerin inşaatında kullanılabileceği tespit edilmiştir (D'Aronco, 2015).

ÇLK panel kullanılarak köprü, kule ve diğer özel amaçlı yapıların yapılabilirliğinin mümkün olduğu tespit edilmiş, yük taşıma amaçlı ÇLK panellerin genellikle duvar, zemin ve çatı inşaatlarında kullanıldığı belirtilmiştir (Grasser, 2015). Buna ek olarak, ÇLK panellerin TLK, lamine kaplama kereste ve yönlendirilmiş yonga levha gibi diğer ahşap yapı ürünleri ve beton gibi ahşap dışı yapı ürünleri ile birlikte hibrit olarak kullanım alanlarının bulunduğu tespit edilmiştir (Gagnon vd., 2013a). Bu uygulamalara örnek olarak Almanya Hannover'de Timbertower firması tarafından 100 metre yüksekliğe sahip TLK ve ÇLK panel kullanılarak inşa edilen timbertower isimli rüzgar türbini ve Som firmasının yürüttüğü 42 katlı Beton-ÇLK panel hibrit yapı projesi olan Timber Tower araştırma projesi verilebilir. Fotoğraf 2.2 ve Şekil 2.7'de bu projelere ait görseller verilmiştir.



Fotoğraf 2.2 Timbertower rüzgar türbini (URL-4, 2017)

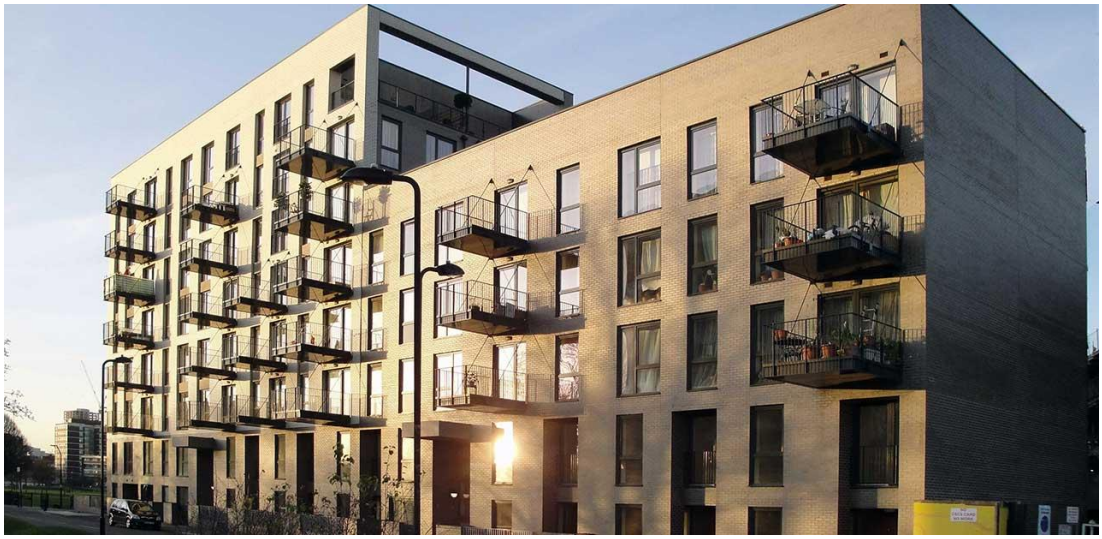


Şekil 2.7 42 Katlı beton-ÇLK panel hibrit yapı projesi Timber Tower (URL-5, 2017)

2011'de Londra'da tamamı ÇLK panelden oluşan 5 ve 7 katlı Bridport Evi isimli bir bina inşa edilmiştir. Bu binanın zemininin yapımında bile ÇLK panellerin kullanıldığı belirtilmiş ve binanın inşaat süresinin sadece 12 hafta sürdüğü ifade edilmiştir (D'Aronco, 2015). Fotoğraf 2.3 ve Fotoğraf 2.4'te inşa edilen Bridport evi görülmektedir.

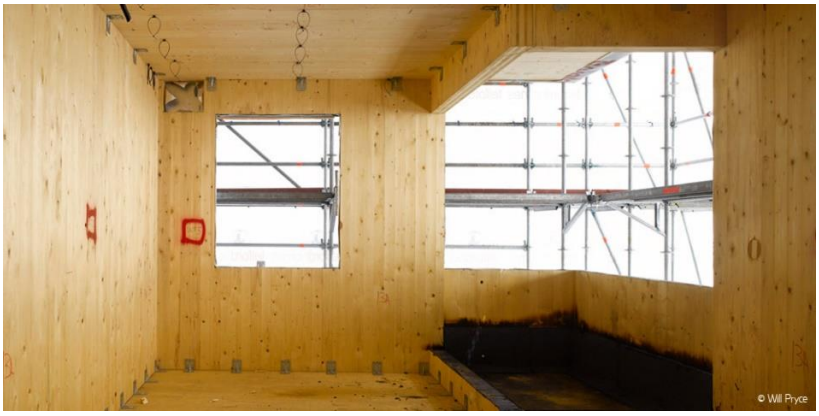


Fotoğraf 2.3 Bridport Evi (URL-6, 2017)



Fotoğraf 2.4 Bridport Evi (URL-7, 2017)

Fotoğraf 2.5, Fotoğraf 2.6 ve Fotoğraf 2.7'de ise yine ÇLK panel kullanılarak Londra'da inşa edilen Stadthaus London: Murray Grove yapısı görülmektedir.



Fotoğraf 2.5 Stadthaus London: Murray Grove yapısı-İç dekorasyon öncesi (URL-8, 2017)



Fotoğraf 2.6 Stadthaus London: Murray Grove yapısı-İç dekorasyon sonrası (URL-8, 2017)



Fotoğraf 2.7 Stadthaus London: Murray Grove yapısı bitmiş hali (URL-8, 2017)

Liu ve Lam, (2014), çalışmada yenilikçi, orta yükseklikteki bağlantı kirişli deprem duvarlarının tasarımı yapılmıştır. Orta yükseklikteki ÇLK duvarların bağlantı kirişleriyle beraber inşa edilmesi durumunda makaslama direncinin açılı braket-köşebentler ile kontrol edildiği, deformasyon kapasitesinin ise sabitleme plakası ve bağlantı kirişleri tarafından kontrol edildiği tespit edilmiştir. ÇLK panellerin nispeten rijit yapılarından dolayı sabitleme plakaları, ahşap binalarda kullanılan geleneksel sabitleme plakalarına kıyasla daha fazla dikey sağlamlık sağlaması gerektiği tespit edilmiştir. Yapıda geleneksel sabitleme plakalarının kullanımı, yapı için tatmin edici bir süneklik ve deformasyon kapasitesi sağlayamayabilir. Yapının devrilme riski, yüksek mukavemetli çubuklar ve önceden gerilmiş tendonlar gibi kaldırma direnci sağlayabilen ilave bileşenler eklenerek önlenmelidir.

Chapman (2015), çalışmada daha uzun boylu ve geniş açıklıklara sahip çok katlı ve daha kullanışlı ahşap binaların yapılabilmesi için ÇLK panellerden dayanıklı bir bina merkezi yapımını temel alan yeni bir yapısal sistem araştırılmıştır. Sonuç olarak bina çekirdeğinde ve diğer kısımlarında ÇLK paneller kullanılarak inşa edilmiş ahşap binaların, mevcut biçimdeki klasik yapılarda gözlemlenen sınırlamaların birçoğunu aştığını ve en az 20 katlı binaların yapımına imkan sağladığı ifade edilmiştir.

2.3.2.2 ÇLK panellerin mekanik özellikleri üzerine kullanılan ağaç türü ve tutkal çeşitlerinin etkisi

Liao vd. (2017), çalışmada hızlı büyüyen küçük çap yapan okaliptüs ağacı (*Eucalyptus urophylla-Eucalyptus grandis*) ahşabı kullanılarak üç tabakalı ÇLK panel üretim özellikleri incelenmiştir. Üretimde tek bileşenli poliüretan tutkalı kullanılmıştır. Okaliptüsten üretilen panellerin mekanik özellikleri yumuşak ağaçlar kullanılarak üretilen panellerin mekanik özellikleri ile benzer olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar hızlı büyüyen küçük çaplı okaliptüs kerestesinden imal edilen ÇLK panellerin yapısal uygulamalarda kullanımı için umut verici ifade edilmiştir.

Hindman ve Bouldin (2014), çalışmada panderosa çamı (*Pinus panderosa*) kullanılarak 5 tabakalı ÇLK panel üretilmiştir. Panellerin mekanik özellikleri, yangın performansı ve akustik özellikleri incelenmiştir. Eğilme direnci ve sağlamlık değerleri

Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan standartlarda belirtilen değerlerin üzerinde olarak tespit edilmiştir. Yangın ve akustik özellik deneyleri sonucu üretilen panellerin ahşap yapı inşasında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Baño vd. (2016), çalışmada düşük mekanik özelliklere sahip ve yerel bir tür olan *Pinus taeda* ve *Pinus elliiottii* türlerinin ÇLK panel üretimine uygunluğu test edilmiştir. Panellere yapılan deneylerin sonuçları dayanıklılık sınıfı C14'ün aşağısında olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, kullanılan kereste hacmini arttırmadan katmanlarda yapılacak kalınlık değişimi ve yönlendirmenin değişimi gibi işlemlerle ÇLK panellerinin dayanıklılığının arttırılabileceği tespit edilmiştir.

Aicher vd. (2016), çalışmada dış tabakaları Avrupa ladini (*Picea abies*) iç tabakası ise Avrupa kayınından (*Fagus sylvatica*) üretilmiş 3 tabakalı ÇLK panellerin panel yüzeyine dik doğrultuda eğilme özellikleri incelenmiştir. Panellerin makaslama direncinin, ladinin boyuna makaslama direncinden önemli derecede etkilendiği gözlemlenmiştir. Ladinin boyuna makaslama direnci ise kayın ve ladin tabakalarının ara yüzünde oluşmaktadır. Eğilmede kayma modülü ve eğilme direnci deneyi sonucu hesaplanan çapraz tabakadaki kayının mukavemeti sırasıyla ortalama Gr=350N/mm^2 ve fv,r,05=2,6N/mm^2 olarak hesaplanmıştır. Direk gerinim ölçümleri ve basma-makaslama deneyleri sonucu, %10-20 oranında daha yüksek değerler tespit edilmiştir.

Oran (2012), ÇLK panel üretiminde Hindistan cevizi ağacı odunlarının performans özellikleri incelenmiştir. Önce panel üretiminde kullanılacak ahşabın kopma makaslama direnci değerleri belirlenmiştir. Bu işlemden sonra üretilen lamellerden panel üretim sanayinde sıklıkla kullanılan PVAc, MÜF ve ÜF tutkalları ile ÇLK paneller üretilmiş, bu panellerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Panel üretiminde dış tabakalarda 9mm kalınlığındaki, orta tabakada ise 22mm kalınlığındaki lameller kullanılmıştır. Dış tabakalarda sadece yüksek yoğunluğa sahip lameller kullanılırken, orta tabakada orta ve düşük yoğunluğa sahip lameller kullanılmıştır. Hindistan cevizi odunu parçalarından lamelleri oluşturmada polivinil asetat (PVAc) tutkalı, lamellerin birbirleriyle yapıştırılmasında ise PVAc, melamin-üre formaldehit (MÜF) ve üre formaldehit (ÜF) tutkallarından biri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; üretilen ÇLK panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri standart

değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Lamel simetrisi, lamellerin birleştirmesi ve üretim parametrelerinin panel kalitesine etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. MÜF tutkalı ile üretilen panellerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin PVAc ve ÜF tutkalları ile üretilen panellerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Orta tabakası orta yoğunluktaki lamellerden üretilen panellerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri, düşük yoğunluktaki lamellerden üretilen panellere göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Hekimoğlu (2014), ÇLK panel üretiminde tutkala nanokil ilavesinin panelin özellikleri üzerine olan etkisi incelenmiştir. PVAc D-3 tutkalı kullanılarak kontrol numuneleri ve tutkala %1, %2 ve %4 oranlarında nanokil ilave edilerek hazırlanan tutkal kullanılarak deney numuneleri üretilmiştir. Ayrıca, epoksi tutkalı kullanılarak kontrol örnekleri üretilmiş ve bu örneklerin özellikleri PVAc kullanılarak üretilen örneklerin özellikleri ile kıyaslanmıştır. Eğilme direnci deneyleri sonucu nanokil ilaveli ÇLK panellerin eğilme direnci değerleri kontrol numunelerine kıyasla göknarda %12, sarıçamda ise %31 oranında yüksek çıkmıştır. Basınç direnci deneylerinde ise ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak basınç direnci değerinde göknarda %100 oranında artış sarıçamda ise %52 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, tutkala ilave edilen nanokil miktarına bağlı olarak basınç direnci değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, ÇLK panel üretimi sırasında tutkalla birlikte nanokil kullanıldığı takdirde daha yüksek dayanım ve yük taşıma potansiyeline sahip ahşap yapı panel sistemleri elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

2.3.2.3 ÇLK panellerin bazı mekanik özelliklerin incelenmesi

Steiger ve Gülzow (2010), çalışmada genişliği dar ve standarda uygun genişlikteki deney numunelerinin direnç özellikleri birbiri ile kıyaslanmıştır. Çalışmada numunelerin eğilme direnci, elastikiyet modülleri ve makaslama dirençleri tespit edilmiştir. Eğilme deneylerinin sonuçları karşılaştırıldığında dar numunelerin dayanıklılık ve sağlamlık özelliklerinin orijinal panellerin dayanıklılık ve sağlamlık özelliklerinden farklı olduğu görülmüş, dar örneklerin test edilmesinde sıklıkla oluşan eğilmede kayma kaynaklı kırılmalar orijinal panellerin testlerinde gözlenmemiştir.

2.3.2.4 ÇLK panellerin higrotermal performansı

McClung vd. (2014), ÇLK yapıların uzun süreli dayanıklı olmasını sağlamak için, ÇLK duvar elemanlarının higrothermal performansı rutubet alışverişi açısından değerlendirilmelidir. Bu amaçla 5 farklı ahşap türü kullanılarak üretilen 4 farklı duvar inşa edilmiştir. Çalışma sonucu yapay olarak rutubetlendirilen ve rutubet değerleri %30 un üzerine çıkarılan ÇLK panellerin çoğunun rutubet değeri bir ay içerisinde % 26'nın aşağısına düştüğü gözlemlenmiştir. Ancak, bu durum düşük geçirgenlik yapısına sahip membranlarla kaplanmış panellerde gözlemlenmemiştir. Çalışma sonucu, test edilen koşullar altında ÇLK panellerde çürümeye sebebiyet verecek kadar yüksek rutubet değerlerinin uzun süre boyunca yapı içerisinde kalamayacağı düşünülmektedir.

Katavic vd. (2014), çalışmada ÇLK yapılarda duvarların iç ortam neminin dengelenmesi ve latent ısı kapasitelerine etkisi sonucu iç ortam iklim özellikleri ve enerji tüketimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Latent ısı kapasitesi havadaki buharın ahşabın içerisine veya ahşabın içerisindeki nemin havaya geçişi esnasında yayımlanan veya absorbe edilen ısı manasına gelmektedir. Deneyler 25 metrekare genişliğinde bir odada gerçekleştirilmiştir. Yüzeylerine hiçbir işlem yapılmamış duvarlar A grubunda, yüzeyleri geçirgen olmayan polietilen folyo ile kaplanmış duvarlar ise B grubunda olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Yapının higrotermal performansının değerlendirilmesinde WUFI®Plus programı kullanılmıştır. Hem deneysel hem de program aracılığı ile yapılan hesaplamalar sonucu, yüzeyleri kaplanmamış ahşap duvarların iç ortam bağıl neminde meydana gelen günlük dalgalanmaları azaltabilecek ve dalgalanmaları yavaşlatan etkili bir nem tamponu özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, latent ısı değişiminin iç ortam sıcaklığında yükselmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir.

3. ISIL İŞLEM

3.1 Isıl İşlemin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Oduna ısıl işlem uygulaması 100°C ile 250°C arasında azot gazı atmosferinde, normal atmosfer altında veya herhangi bir inert gaz ortamında odunun bekletilmesi suretiyle uygulanmaktadır. (Çolak, 2014; Esteves ve Pereira, 2009).

Ahşap malzemelere yapılan ısıl işlem uygulamaları bu malzemelerin denge rutubet miktarlarında azalma sağlamaktadır. Bu azalma sayesinde odunun çalışması minimum seviyeye inerek ahşap malzeme boyutsal stabilizasyon kazanır, dış hava koşullarına daha dayanıklı hale gelir ve termal izolasyon özelliğinde artış sağlanır. Ayrıca, uygulanan ısıl işlem odun tahrip edici organizmalara karşı odunun biyolojik direncinde artış sağlamaktadır. Ek olarak, ısıl işlem uygulamaları ağaç türlerinin odunlarından daha fazla yararlanma, odunların kullanım sürelerinde artış ve ekonomik olarak değeri düşük olan odun türlerinin pazar potansiyellerinde artış sağlamaktadır. Sağlanan bu artışlar odun hammaddesinin sürdürülebilirlik özelliğine katkıda bulunmaktadır. (Enjily ve Jones 2006; Mayes ve Oksanen, 2002; Mıdıroğlu, 2015).

Isıl işlem uygulaması sonrası ahşabın higroskopisitesindeki azalmalar ısıl işlem esnasında odunun hidroksil gruplarında meydana gelen kademeli kayıp sonucunda oluşmaktadır (Viitanen vd., 1994).

Isıl işlem uygulaması ahşabın direnç değerlerinde önemli azalmalar meydana getirmektedir. Buna rağmen ağırlık-direnç oranında ise meydana gelen değişikliğin az olduğu tespit edilmiştir (Jamsa ve Viitaniemi, 2001; Yıldız, 2002).

3.2 ThermoWood Isıl İşlem Metodu

ThermoWood yöntemi Finlandiya'da Teknik Araştırma Merkezi (The Technical Research Centre of Finland) tarafından geliştirilmiş bir metottur. Ayrıca bu metot Finlandiya ThermoWood Derneği üyeleri tarafından lisanslı olarak kullanılmaktadır (Çalıova, 2011; Korkut ve Kocaefe, 2009).

Isıl işlem uygulaması Thermo S (Stability-Kararlılık) veya Thermo D (Durability-Dayanıklılık) oluşuna göre 185–215°C'ler arasında bir sıcaklıkta uygulanmaktadır (Mayes ve Oksanen, 2002; Tuncer, 2014).

3.3 Isıl İşlem Görmüş Odunda Meydana Gelen Değişiklikler

Isıl işlem uygulaması odunun denge rutubet miktarı (DRM)'nı açık bir biçimde düşürür (Hill 2006; Mayes ve Oksanen, 2002; Esmer, 2015). ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin daha az higroskopik özellik göstermesi ve ahşap malzemenin lif doygunluk noktasındaki düşüşün sonucu olarak ısıl işlem uygulaması odunun direnç özellikleri üzerine pozitif bir etki etmektedir (Balıkçı, 2016; Nuopponen 2005).

Isıl işlem uygulaması yapılmış geniş yapraklı ağaçlarda genellikle iğne yapraklı ağaçlardan daha fazla kütle kaybı olduğu gözlemlenmiştir (Feist ve Sell, 1987).

Isıl işlem uygulaması sonucunda ağaç malzemenin renginde meydana gelen koyulaşmalar hemiselülozlar ve ekstraktif maddelerde meydana gelen değişim sonucunda oluşmaktadır (Perçin, 2012). Isıl işlem boyunca değişiklikler ilk önce hemiselülozlarda sonrasında ise selülozlarda meydana gelmektedir (Baydağ, 2014; Sefil, 2010). Isıl işlem sıcaklığı 200^{o}C'yi aşmadığı sürece lignin kütlesinde azalma meydana gelmemektedir (Ayata, 2014).

Isıl işlem esnasında gerek odun içerisinde gerekse yüzeylerde oluşan çatlaklar ve yarıklar ahşap malzemelerin mekanik özelliklerini ciddi derecelerde azaltmaktadır (Repellin ve Guyonnet, 2005; Ulucan, 2012). Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemeler taşıyıcı amaçlı olarak kullanılması arzulandığı takdirde yoğunluğu yüksek ve yıllık halkaları daha sık yapıdaki malzemelerin kullanılması gerekmektedir (Mıdıroğlu, 2015).

Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemelerin liflere paralel basınç direnci ve sertlik değerlerinde artışlar olduğu ancak, malzemelerin makaslama direncinde azalma, liflere paralel çekme direncinde ise daha fazla oranda bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Eğilme direncinde liflere paralel çekme direncine kıyasla daha az azalış tespit edilmiştir (Boonstra, 2008; Korkut ve Kocaefe, 2009).

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Materyal

4.1.1 Ahşap Malzeme

Bu çalışmada kullanılan ısıl işlem uygulanmış sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Amerikan dişbudağı (*Fraxinus americana* L.) keresteleri ile ısıl işlem uygulanmamış sarıçam ve Amerikan dişbudağı keresteleri Nova Orman Ürünleri A.Ş. firmasından, ısıl işlem uygulanmamış Samsun kavağı (I-77/51 *Populus deltoides* Bartr.) ahşap malzemesi ise Kaswood Endüstriyel Orman Ürünleri A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Malzemeler fabrikasyon üretime uygun bir şekilde rastgele seçilmiştir.

4.1.1.1 Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)

Pinaceae familyasının en önemli cinslerinden birisi çamlardır. Ülkemizde *Pinaceae* familyasına ait 5 tür doğal olarak yetişmektedir. 30-45 mt arası boy, 0,6-1 mt arası gövde çapı yapmaktadır. Herdem yeşil bir ağaçtır. Diri odun 5-10 cm genişlikte, sarımsı beyaz renkte, reçineli yapıda, öz odun ise kırmızımsı sarı ve kırmızımsı kahverengi tonlarda, reçineli yapıdadır. Tam kuru yoğunluğu 0,49 g/cm^3, hava kurusu yoğunluğu 0,52 g/cm^3 civarındadır. Odunun alabileceği en yüksek su miktarı %170,6'dır (Berkel, 1970; Bilgin, 2010; Baştuğ, 2010)

Sarıçam türünün bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1 Sarıçam türünün bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Baltacı, 2010; Cırrık, 2018; Demir, 2014; Toker, 1960)

Özellik	**Değer**	**Özellik**	**Değer**
Eğilme direnci	98N/mm^2	Elastikiyet modülü	11.700N/mm^2
Liflere paralel basınç direnci	54N/mm^2	Liflere dik basınç direnci	7,7N/mm^2
Odunda daralma	Radyal yönde %4,4; teğet yönde %9,1 ve hacmen %14,6	Hacim-Ağırlık değeri	0,426g/cm^3

Sarıçam odunu kolay işlenebilen ve iyi tutkallanabilen bir malzemedir. Sarıçam odunu en fazla miktarda inşaat kerestesi ve doğramalık kereste üretiminde daha sonrasında ise binalarda iç ve dış dekorasyon amaçlı, pencere ve kapı doğramaları üretimi, köprü inşaatları, tel direği, maden direği, uçak ve geniş güverte döşemeleri, mobilyacılık ve oymacılık ambalaj sandığı üretimi, dekoratif amaçlı kesme kaplama panel üretimi, kontrplak imalatı, tornacılık, odundan kimyasal eldesi, çit kazığı, yapı iskelesi, travers, yonga levha, kontrplak sektörü kâğıt ve selülozluk odun olarak geniş bir kullanım alanına sahip odunu değerli bir ağaç türüdür (Demir, 2014; Öktem, 1994; Özcan, 2007).

Funda vd. (2020) sarıçam genç odununun yapısında %32,6 oranında selüloz, %22,9 oranında hemiselüloz ve %27,1 oranında lignin bulundurduğunu, ergin odunda ise %41,5 oranında selüloz, %21,9 oranında hemiselüloz ve %27,7 oranında lignin bulundurduğunu ifade etmişlerdir.

Zaman vd. (2000) sarıçam odununa 205° ve 230° C sıcaklıklarda 4-6 ve 8 saat süre boyunca ısıl işlem yapılması sonucunda 230°C 8 saat ısıl işlem sonrasında odundaki lignin yüzdesi %24 ten %38,7'ye çıkmış, holoselüloz (selüloz+hemiselüloz) yüzdesi ise %72,3'ten %57,5'e düşmüştür.

4.1.1.2 Amerikan dişbudağı (*Fraxinus americana* L.)

Kuzey yarımkürenin ılıman bölgelerine özgü *Oleaceae* familyasının bir üyesi olan *Fraxinus* cinsine ait 65'ten fazla dişbudak türü bulunmaktadır. Dişbudak türlerinin birçoğu parklar ve yerleşim alanları için mükemmel bir gölge ağacıdır. Ayrıca sert, şok direncine karşı oldukça dayanıklı, düz damarlı bir yapı sergileyen dokusu sayesinde dikkat çeken önemli orman ağaçlarındandır (Van Sambeek ve Preece, 2007). Tüm dişbudak taksonlarında odun halkalı trahelidir. Yıllık halka sınırı traheleri arasındaki çap farkı ve sınır paranşimleri nedeni belirgindir. İlkbahar odunu traheleri genellikle tek tek dağılır, gruplaşma oldukça azdır (Hizal, 2014).

Genellikle beyaz dişbudak olarak bilinen *Fraxinus americana* L. adını yaprağının alt yüzeyinin beyaz olmasından almaktadır. Ayrıca Amerika'daki geniş yayılış alanı nedeniyle bu türe Americana adı verilmiştir (Wright, 1959). *Fraxinus americana*

odununun ticari adının beyaz dişbudak olduğu belirtilmiştir. Diri odun hemen hemen beyaz denecek kadar açık renklidir, öz odun ise grimsi kahverengiden açık kahverengiye ve soluk sarı şeritli kahverengiye kadar renk çeşitliliğine sahip olabilmektedir (Gürleyen, 2018). 18 ile 30 metre arası boy, 0,5-1,5 metre arası çap yapabilir (Ash, 1993; Dragoeva, 2014).

Beyaz dişbudak elastik yapıda, ekonomik değeri yüksek ticari önemi olan bir sert ağaç türüdür. Ahşabı alet sapları, mobilya, döşeme, kasa, tekne, kapı ve dolap üretiminde kullanılmaktadır (Dragoeva, 2014; Johnson, 2010; Marchin, 2006; Marchin, 2010; Palla ve pijut, 2011). Ahşabının tokluğu sayesinde beysbol sopaları, çekiç sapları, balta sapları, kayaklar ve şok direncine dayanıklılık gerektiren diğer ahşap nesnelerin yapımında tercih edilen bir türdür (Wright, 1959). Amerikan dişbudak türünün öz odunu çürümeye karşı dayanıklı değildir ve bu sebeple oduna dayanıklılık kazandırmak için emprenye edilmelidir. Ancak öz odun zor emprenye edilebilir yapıda diri odun ise kolay emprenye edilebilir yapıdadır (Gürleyen, 2018). Tablo 4.2'de Amerikan dişbudak türünün bazı özellikleri görülmektedir.

Tablo 4.2 Amerikan Dişbudak türünün bazı özellikleri (Ash, 1993; Dragoeva, 2014; URL-9, 2022; URL-10, 2022).

Özellik	**Değer**	**Özellik**	**Değer**
Tam kuru yoğunluk	0,54g/cm^3	Hava kurusu yoğunluk	0,67g/cm^3
Eğilme direnci	103,5N/mm^2	Elastikiyet modülü	12.000N/mm^2
Liflere paralel basınç direnci	51,1N/mm^2	Odunda daralma	Radyal %4,9; Teğet %7,8; hacmen %13,3

Rowell vd. (2022) Amerikan dişbudak (*Fraxinus americana* L.) odununun selüloz oranı %41, hemiselüloz oranı %24,8 ve lignin oranı %26 olarak gözlemlenmiştir.

Yalçın ve ibrahim (2015) 200°C'de 4 saat ısıl işlem uygulanmış *Fraxinus angustifolia* odununda kontrol grubuna kıyasla selüloz yüzdesi %53,45'ten %53,39'a, hemiselüloz yüzdesi %24,93'ten %2,97'ye ve lignin yüzdesi %21,4'ten %23,04'e gelmiştir. 220°C 4 saat ısıl işlem uygulamasında ise bu değerler %47,61 oranında selüloz, %3,78 oranında hemiselüloz ve %37,47 oranında lignin olarak tespit edilmiştir.

4.1.1.3 Samsun kavağı (I –77/51 *Populus deltoides* Bartr.)

Samsun kavağı, *Aigeiros* seksiyonuna giren *Populus deltoides* Bartr. ssp. *angulata* (Amerikan karakavağı) türünün tür içi döllemeler sonucunda üretilmiş bir klondur. Doğu kavağının I-77/51 klonu, İtalya'da selekte edilen fakat başarısız olarak sonuçlanan bir klondur. Ancak ülkemizde, özellikle Orta Karadeniz Bölgesi'nde başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu tür ülkemizde I-214 melez kavağına kıyasla daha iyi gelişim göstermiş ve daha çok yaygınlaşmıştır. Çalışmalar sonucunda klonun adının "SAMSUN" olarak tescil edilmesi uygun görülmüştür (Koçer vd., 2007; Suna, 2019).

Bu klon aslında melez bir tür değildir lakin var olan özellikleri dolayısıyla melez kavaklar ile aynı statüde değerlendirilmektedir. Kavak kerestesi ince tekstürlü, lif yapısı düzgün bir görünüşe sahiptir. Enine kesitte yıllık halkalar kolaylıkla seçilebilir bir yapıda iken ilkbahar ve yaz odunları arasındaki farkı anlamak zordur (Acar, 2006). Ağırlığına oranla direnç değerleri incelendiğinde hafif yapısına rağmen direnci muadillerine göre daha fazla olarak gözlemlenmiştir (Acar, 2006; Öztürk, 2018).

Dağınık traheli yapraklı ağaçlar sınıfına giren kavak odununun %30'unun trahelerden oluştuğu ve ilkbahar odunundan yaz odununa doğru trahe çaplarında azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Trahe çapları ve odun içerisinde kapladığı alan odunun tutkallama ve permeabilite özelliklerini büyük ölçüde etkilediği görülmüş ve bu nedenle önemli olarak kabul edilmiştir. Bu bağlamda kavak odununda biçme, kurutma ve kaplama soyma işlemlerinde, kullanım yerlerinde arzu edilmeyen bir durum olan yünlü yüzey oluşumu yaşanabilmektedir. Ek olarak kavak ağacı çok hızlı büyümesinden dolayı doğal ormanlarda yetişen ağaç türlerine kıyasla çok daha geniş yıllık halka oluşturur (Özdemir, 2020). I–77/51 klonu hızlı büyüme kabiliyetine sahiptir ve bu durum avantaj olarak görülmektedir (Suna, 2019).

Birler, (2010) kavak türlerinde odunun yapısında % 49,2 civarında selüloz, %31,4 civarında hemiselüloz ve %19,3 civarında lignin bulunduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada seçilen 10 kavak klonu arasından I-77/51 klonu hacim ağırlık değeri, özgül ağırlık değeri, statik eğilme direnci, sertlik ve yarılma dirençleri yönünden diğer kalan 9 kavak klonuna kıyasla daha yüksek değerler gösterdiği

görülmüştür. Ayrıca paralel şerit kereste üretiminde I–77/51 kavak klonunun kullanılması durumunda I–214 kavak klonuna kıyasla panellerde daha iyi özelliklerin gözlemlendiği ifade edilmiş ve paralel şerit kereste üretimine daha uygun olduğu tespit edilmiştir (Suna, 2019).

Bu kavak klonunun geleneksel kullanım alanları şunlardır; kaplama, kutu, kontrplak, kibrit, palet, kasa, kutu vb. ambalaj sektöründe, mobilyacılıkta çoğunlukla iskelet üretimi için biçilmiş kereste şeklinde, kâğıt hamuru ve yonga levha üretimi gibi ahşap ürünleri endüstrisinde ve çatı inşaatı için biçilmiş kereste şeklinde kullanılmaktadır.

Belirtilen alanların dışında bu kavak klonu odunu 1975 yılından bu yana orta yoğunluklu lif levha (MDF), gofret levha ve yönlendirilmiş yonga levha (OSB) üretiminde giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca bu tür lamine kaplama kereste (LVL), paralel şerit kereste (PSL) ve lamine şerit kereste (LSL) üretiminde de kullanılabilmektedir (Velioğlu ve Akgül, 2016).

4.1.2 Tutkal

ÇLK panellerin üretiminde poliüretan (PU) tutkalı kullanılmıştır. Panel taslağına tutkal uygulaması 200gr/m^2 olacak şekilde ardışık tabakaların bir yüzeyine yapılmıştır. Tabakaların oluşturulmasında ahşaplar yan yana yapıştırılarak tek katlı masif paneller üretilmiştir. Daha sonra bu paneller üst üste dizilmiş ve tutkal panel yüzeylerine rulo yardımı ile gerekli miktarlarda sürülerek panel taslağı preslemeye hazır hale getirilmiştir. Kullanılan tutkalın özellikleri Tablo 4.3'te görülmektedir. Fotoğraf 4.1'de de PU tutkalı ve uygulanışı görülmektedir.



Fotoğraf 4.1 PU tutkalı ve uygulanışı

Tablo 4.3 Üretimde kullanılan poliüretan tutkalının özellikleri (URL-11, 2022)

Ürün Üretici Firma	Mikrokim Kimya
Komponent Adedi	Tek Komponentli, Nem ile kürleşen
Bağlayıcı Madde	Poliüretan reçine
Yoğunluk	1,10gr/cm^3
Katı Madde Yüzdesi	%97
Uygulama Süresi (23 °C) de	5 -7 saat arası
Katılaşma Başlangıcı	0°C'nin üzerinde, 1 Saat
Isı dayanıklılığı	25°C /+125°C
Kür süresi (20 °C)	5-7 saat
Pres Basıncı	7kg/cm^2
Çevreye uyum	Bilinen olumsuz etkisi yoktur
Sağlığa uygunluk	Bilinen zararlı etkisi yoktur

4.2 Metot

4.2.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Temin edilen ahşap malzemeler iklimlendirme işlemleri için Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi laboratuvarlarına getirilmiştir. İklimlendirme işlemi yardımıyla malzemelerin rutubetleri dengeye getirilmiş daha sonrasında malzemeler gerekli işlemler için Kaswood A.Ş. işletmesine taşınmıştır. Burada otomatik profil kesme makinesi yardımıyla malzemelerin yapısında bulunan budak, urlu görünüş, malzemenin ince, kabuklu veya dar kısımları temizlenerek malzemeler kusurlarından arındırılmıştır. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış sarıçam malzemelerde her 40-60cm'de bir 15cm genişliğinde düşmeyen budak yapısı olması nedeniyle düşen budaklar haricindeki budak kusurları çoğunlukla göz ardı edilmiştir. Kusur arındırma işlemi sonucunda malzeme boyları 15cm ile 60cm arasında değişen kısa parçalar oluşmuş ve bu kısa parçalar panel üretiminde kullanılacak presin ölçülerine göre parmak dişli birleştirme yöntemi ve poliüretan (PU) tutkalı kullanılarak birbirine uç uca eklenerek uzatılmıştır. Fotoğraf 4.2'de kusurlarından arındırılmış ve uç uca eklenmiş malzemeler görülmektedir.



Fotoğraf 4.2 Ahşap malzemelerin kusurlarından arındırılması ve parmak dişli birleştirme işlemi

Bu aşamadan sonra üretilen uzun boylu ahşap malzemelerin yüzeyleri 4 kenar planya makinesi yardımıyla temizlenerek malzemeler birbirine yapıştırılacak hale getirilmiştir. Bu işlemler sonrasında ahşap malzemelerin kalınlıkları 21mm, genişlikleri 85mm ve boyları 400 cm olarak ölçülmüştür. Fotoğraf 4.3'te 4 kenar planya yapılmış ahşap malzemeler görülmektedir.



Fotoğraf 4.3 4 kenar planya yapılmış ahşap malzemeler

Planyalanan malzemeler yan kenarlarından tutkallanmış, masif panel presinde yaklaşık 0,7N/mm^2 basınç altında tutkal hattı sertleşinceye kadar yan yana preslenerek birbirlerine yapıştırılmış ve üretilecek 3 tabakalı ÇLK panellerin her tabakası ayrı ayrı olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu tek tabakalı paneller bu defa geniş yüzeylerinden tutkallanmış, tabakalar birbiri üzerine yerleştirilerek 3 tabakalı ÇLK panel taslakları hazırlanmıştır. Hazırlanan taslaklar masif panel presinde yaklaşık 0,7N/mm^2 basınç

altında tutkal hattı sertleşinceye kadar preslenerek ÇLK panel üretimi gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf 4.4'te tek tabakalar, tabakaların üst üste preslenmesi ve ebatlanması görülmektedir.



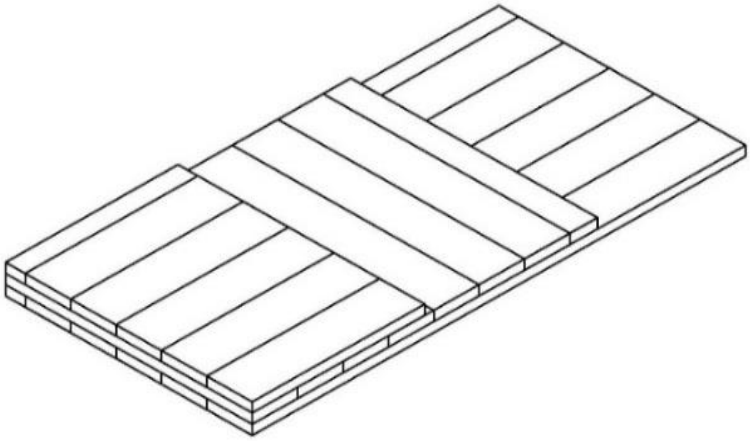
Fotoğraf 4.4 Tek tabakalar, tabakaların üst üste preslenmesi ve ebatlanması

ÇLK panellerin üretiminde tabakalarda kullanılan ahşap malzeme türü üç farklı şekilde uygulanmıştır. Bunlar;

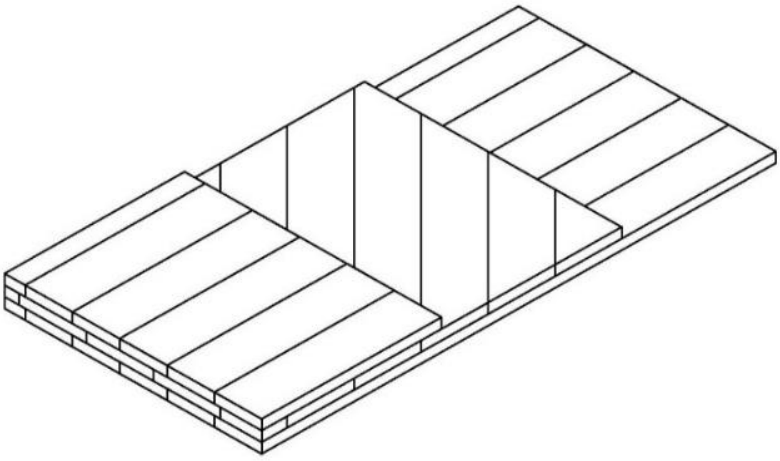
Panel üretim uygulamalarında panellerin dış tabakalarında ısıl işlem uygulanmış ve ısıl işlem uygulanmamış sarıçam ve dişbudak ahşapları kullanılarak tabakalarda kullanılan ağaç türü sarıçam-kavak-sarıçam, dişbudak-kavak-dişbudak olacak şekilde ayrı ayrı 3 tabakalı S 90, TS 90, D 90 ve TD 90 grubu paneller üretilmiştir. Tüm gruplarda orta tabakada ekonomik değeri düşük ve ısıl işlem uygulanmamış Samsun kavağından elde edilmiş ahşaplar kullanılmıştır.

Panel üretim uygulamasında tüm tabakalarda ekonomik değeri düşük olan kavak kullanılarak 3 tabakalı K 90 grubu paneller üretilmiştir.

ÇLK panel üretiminde ardışık tabakalarda kullanılacak ahşapların lif yönü diğer tabakalar ile 90° açı yapacak şekilde olmaktadır. Bu çalışmada ayrıca, orta tabaka yani ikinci tabakanın lif yönü birinci ve üçüncü tabakanın lif yönü ile 45° açı yapacak şekilde üretim yapılarak S 45, TS 45, K 45, D 45 ve TD 45 grubu paneller üretilmiş ve numuneler arasında mekanik özelliklerdeki değişimler incelenmiştir. Üretilen panellerin tabaka oryantasyonları Şekil 4.1'de ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Fotoğraf 4.5'te orta tabakası 45 derece açılı panel üretimi görülmektedir. Tablo 4.4'te ise tabaka dizilişlerine ait deneme deseni görülmektedir.



Şekil 4.1 Orta tabakası 90° eğimli olarak üretilmiş 3 tabakalı ÇLK panel



Şekil 4.2 Orta tabakası 45° eğimli olarak üretilmiş 3 tabakalı ÇLK panel



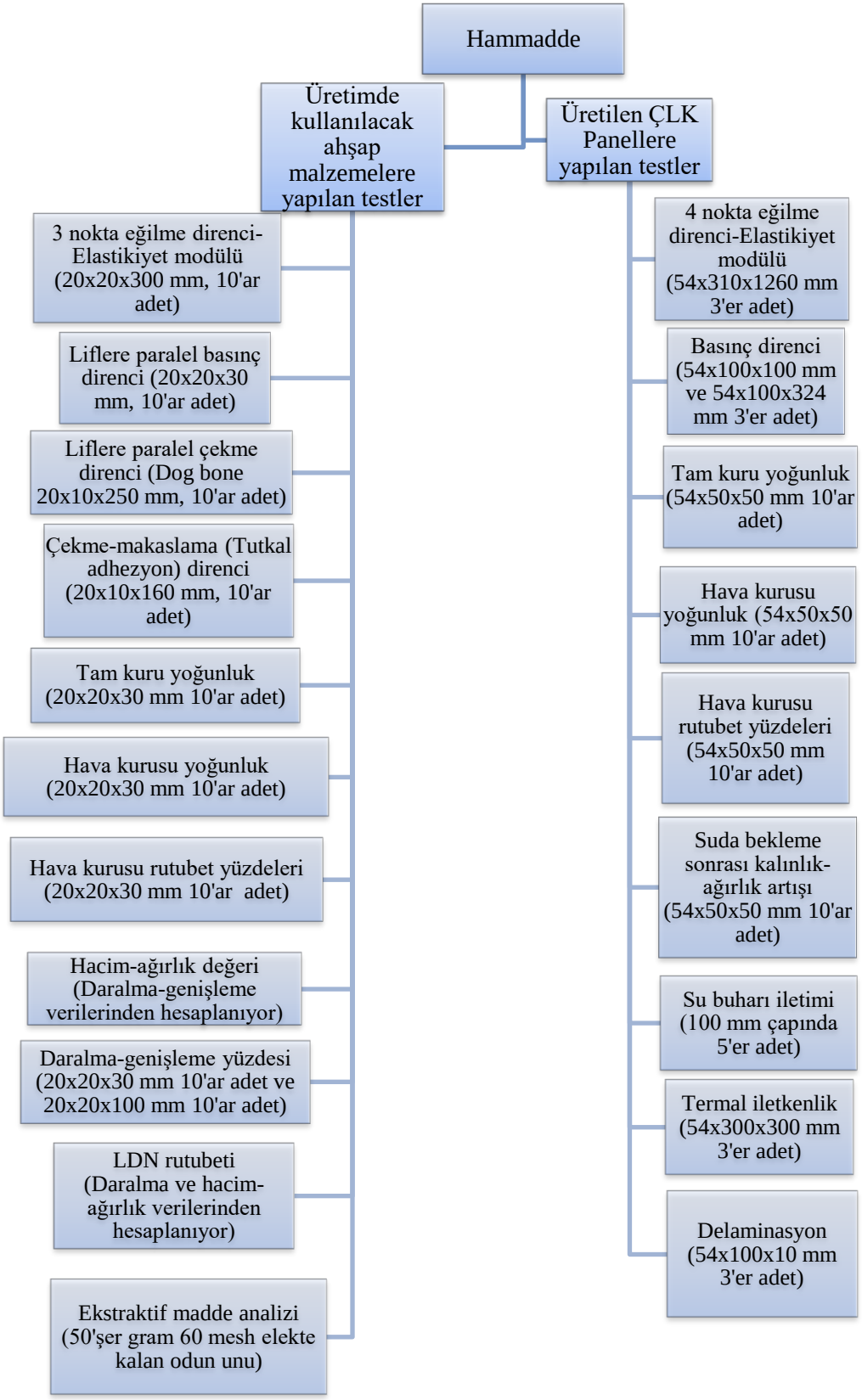
Fotoğraf 4.5 Orta tabakası 45 derece açılı panel üretimi

Tablo 4.4 Çalışma grubu ve tabaka oryantasyonu deneme deseni

Numune Kodu	Tabaka Sayısı	Isıl İşlem Uygulaması	Panel Tabaka Dizilişi	Orta Tabaka Laminasyon Açısı
TD 45-1	3	Uygulanmış	Termo Dişbudak-Kavak-Termo Dişbudak (TD/K/TD)	45
TD 45-2				
TD 45-3				
TD 90-1				90
TD 90-2				
TD 90-3				
TS 45-1			Termo Sarıçam-Kavak-Termo Sarıçam (TS/K/TS)	45
TS 45-2				
TS 45-3				
TS 90-1				90
TS 90-2				
TS 90-3				
D 45-1		Uygulanmamış	Dişbudak-Kavak-Dişbudak (D/K/D)	45
D 45-2				
D 45-3				
D 90-1				90
D 90-2				
D 90-3				
S 45-1			Sarıçam-Kavak-Sarıçam (S/K/S)	45
S 45-2				
S 45-3				
S 90-1				90
S 90-2				
S 90-3				
K 45-1			Kavak-Kavak-Kavak (K/K/K)	45
K 45-2				
K 45-3				
K 90-1				90
K 90-2				
K 90-3				

Presleme sonrası ÇLK panellerden TS EN 317 (kalınlığına şişme), TS EN 322 (%'ce rutubet miktarı), TS EN 323 (yoğunluk), ASTM E96 (su buharı iletim oranı), ASTM C518 (termal iletkenlik miktarı), Tappi T207 cm99 (ekstraktif madde miktarı), ANSI/APA PRG 320 (ÇLK üretim standardı), TS EN 408-A1 (3-4 nokta eğilme, basınç), TS 3969 EN 314-1 (yapışma kalitesi) ve PREN 16351:2013 Annex C (delaminasyon yüzdesi) standartlarında belirtilen ölçülere göre deney numuneleri hazırlanmıştır.

Ayrıca, ÇLK panellerin üretiminde kullanılacak ahşap malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin de tespit edilmesi gerekli görülmektedir. Bu bağlamda, ÇLK panel üretiminde kullanılacak ahşap malzemelerden TS 53 (numune alma), TS ISO 13061-1 (rutubet tayini), TS ISO 13061-2 (yoğunluk tayini), TS ISO 13061-3 (3 nokta eğilme direnci), TS ISO 13061-4 (3 nokta eğilme direncinde elastikiyet modülü), TS ISO 13061-6 (liflere paralel çekme direnci), TS ISO 13061-17 (liflere paralel basınç direnci), TS ISO 13061-13 (odunda daralma), TS ISO 13061-15 (odunda genişleme), TS ISO 13061-14 (hacimsel daralma), TS ISO 13061-16 (hacimsel genişleme), TS EN 205 (çekme-makaslama direnci) standartlarında belirtilen ölçülere göre deney numuneleri hazırlanmıştır. Grafik 4.1'de yapılan çalışmaların deneme deseni görülmektedir.



Grafik 4.1 Tez çalışmasında gerçekleştirilen testler

4.2.2 ThermoWood Metodu ile Isıl İşlem Uygulaması

Sarıçam ve dişbudak odunları, Nova Orman Ürünleri San. Tic. AŞ'nin Gerede'de bulunan fabrikasında ThermoWood yöntemi ile ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem Thermo S şartlarında uygulanmış, ikinci kademe olan ısıl işlem kademesi 190ºC sıcaklık ve 3,5 saat süre parametreleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem uygulaması yapılmış ve ısıl işlem uygulanmamış ahşap malzemeler 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl neme sahip iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek iklimlendirilmiş ve panel taslaklarının oluşturulmasında kullanıma hazır hale getirilmiştir.

4.2.3 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde; hava kurusu ve tam kuru yoğunluk, denge rutubet miktarı, hücre duvarı maddesi ve hava boşluğu yüzdeleri, hacim-ağırlık değeri, kalınlığına şişme, odun–su ilişkileri, lif doygunluğu noktası rutubeti, odununun alabileceği en yüksek su miktarı, kısmi batırma deneyi uygulanarak su absorpsiyon yüzdesinin tespiti, su buharı iletimi oranları ve termal iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Bu bağlamda, ısıl işlem uygulaması yapılmış ahşap malzeme kullanılarak üretilen numuneler ile ısıl işlem uygulaması yapılmamış ahşap malzeme kullanılan numuneler arasındaki ağırlık farkı, denge rutubet miktarındaki değişim gibi fiziksel özelliklerde meydana gelen değişimler tespit edilmiştir.

4.2.3.1 Hava kurusu yoğunluk ile tam kuru yoğunluğun belirlenmesi

Üretilen ÇLK panellerin hava kurusu ve tam kuru yoğunluğunun belirlenmesinde TS EN 323'deki esaslara göre 50x50x54 mm (genişlik x uzunluk x kalınlık) boyutlarında olacak şekilde deney numuneleri hazırlanmıştır.

ÇLK panellerin üretimimde kullanılacak sarıçam, dişbudak ve kavak ahşap malzemelerin hava kurusu ve tam kuru yoğunluklarının belirlenmesinde TS ISO 13061-2 ve TS 53 standartlarındaki esaslara göre 20x20x30mm (radyal x teğet x boyuna) boyutlarındaki numuneler kullanılmıştır.

Numuneler ilk olarak iklimlendirme dolabında 20±2°C'de ve %65±5 bağıl nemde kondisyonlanmış, daha sonra en, boy ve yükseklikleri ölçülerek ağırlıkları tartılmıştır. Elde edilen bu veriler kullanılarak hava kurusu yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Sonrasında numuneler 103±2°C'ye ayarlı etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş, en, boy ve yükseklikleri ölçülerek ağırlıkları tartılmıştır. Elde edilen bu veriler kullanılarak numunelerin tam kuru yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca, hava kurusu yoğunluk ölçümleri yapılan numuneler kalınlığa şişme ve su alma deneylerinde kullanılmıştır. Hava kurusu yoğunlukların hesaplanması Eşitlik 4.1'e göre, tam kuru yoğunlukların hesaplanması Eşitlik 4.2'ye göre yapılmıştır. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.

$$D_{12}=\frac{m12}{V12} \tag{4.1}$$

Burada;

D_{12}: Hava kurusu yoğunluk(gr/cm^3),

m_{12}: Deney parçasının hava kurusu haldeki ağırlığı (gr),

V_{12}: Deney parçasının hava kurusu haldeki hacmi (cm^3)'dir.

$$D_0=\frac{m0}{V0} \tag{4.2}$$

Burada;

D_0: Tam kuru yoğunluk(gr/cm^3),

m_0: Deney parçasının tam kuru haldeki ağırlığı (gr),

V_o: Deney parçasının tam kuru haldeki hacmi (cm^3)'dir.

4.2.3.2 Hava kurusu denge rutubet yüzdesinin belirlenmesi

Üretilen ÇLK panellerin denge rutubet yüzdeleri TS EN 322'ye göre 50x50x54mm (genişlik x uzunluk x kalınlık) boyutlarındaki numuneler kullanılarak, panel üretiminde kullanılacak ahşap malzemelerin denge rutubet yüzdeleri ise TS ISO 13061-1'e göre 20x20x30mm (radyal x teğet x boyuna) boyutlarındaki numuneler kullanılarak belirlenmiştir. 20±2°C ve %65±5 rutubetteki iklimlendirmede değişmez ağırlığa gelene kadar bekletilen ve hava kurusu hale gelen örneklerin ağırlıkları ±0.01gr hassasiyetli terazide tartıldıktan sonra, 103±2°C sıcaklıktaki bir etüvde değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutularak tam kuru ağırlıkları tespit edilmiş ve Eşitlik 4.3 yardımıyla numunelerin hava kurusu haldeki denge rutubet yüzdeleri hesaplanmıştır. Fotoğraf 4.6'da deneylerde kullanılan numuneler görülmektedir. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.



Fotoğraf 4.6 Deneylerde kullanılan numuneler

$$\% \text{ Rutubet} = \frac{mr - m0}{m0} \text{ x}100 \qquad (4.3)$$

Burada;

mr: Deney parçasının hava kurusu haldeki ağırlık (gr),

m_0: Deney parçasının tam kuru haldeki ağırlığı (gr)'dır.

4.2.3.3 Hacim-Ağırlık değeri

Deneyler ÇLK panel üretiminde kullanılacak ahşap malzemeler üzerinde uygulanmıştır. Hacim-ağırlık değerinin belirlenmesinde, tam kuru yoğunluk tayininde kullanılan numunelerin tekrar kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu yüzden bu örnekler tam kuru ağırlıkları bulunduktan sonra doygun hale ulaşıncaya kadar su içerisinde bekletilmiş, doygun haldeki örneklerin üç farklı yöndeki boyutları mikrometre ile ölçülerek hacimleri hesaplanmış ve hacim- yoğunluk değeri (y) Eşitlik 4.4'e göre bulunmuştur. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.

$$y = \frac{m_0}{V_d} \text{ g/cm}^3 \qquad (4.4)$$

Burada;

m_0 = Tam kuru agırlık (gr) ,

V_d = Doygun haldeki hacim (cm^3)'dir.

4.2.3.4 Odun –su ilişkileri

ÇLK paneller için kalınlığına şişme ve su alma yüzdeleri TS EN 317'deki esaslara göre 50x50x54mm (genişlik x uzunluk x kalınlık) boyutlarındaki numuneler kullanılarak ayrı ayrı tespit edilmiştir. ÇLK panellerin kalınlığına şişme ve su alma yüzdelerinin belirlenmesinde önceden hazırlanan ve iklimlendirilen deney numuneleri 2, 24 ve 336 saat boyunca pH değeri 7±1 ve sıcaklığı 20±3 °C olan su içerisinde bekletilmiştir. Bu süreler sonunda deney numuneleri sudan çıkarılacak, ağırlık ve ölçüleri tespit edilmiştir. Kalınlığına şişme ve su alma yüzdeleri Eşitlik 4.5 ve Eşitlik 4.6'ya göre hesaplanmıştır. Fotoğraf 4.7'de ÇLK panel su alma deneyi numuneleri görülmektedir. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.

$$SA = \frac{a2-a1}{a1} x100 \qquad (4.5)$$

Burada:

SA: Su alma miktarı (%),

A_1: Deney parçasının suya daldırmadan önceki ağırlığı (gr),

a_2:Deney parçasının suya daldırmadan sonraki ağırlığı (gr)'dır.

$$KŞ=\frac{K2-K1}{K1} x100 \quad (4.6)$$

Burada:

KŞ: Kalınlığına şişme miktarı (%),

K_1: Deney parçasının suya daldırmadan önceki kalınlığı(mm),

K_2: Deney parçasının suya daldırmadan sonraki kalınlığı(mm)'dir.



Fotoğraf 4.7 ÇLK panel su alma deneyi numuneleri

ÇLK panellerin üretiminde kullanılacak ahşap malzemeler için daralma ve genişleme yüzdeleri tayininde teğet ve radyal yöndeki çalışma yüzdelerini belirlemek için 20x20x30mm boyutlarında, boyuna yöndeki çalışma yüzdelerini belirlemek için ise 20x20x100mm boyutlarında örnekler biçilmiştir. Deneyler TS ISO 13061-13, TS ISO 13061-15, TS ISO 13061-14, TS ISO 13061-16 standartlarına göre yapılmıştır.

Genişleme yüzdelerini hesaplamak için, hava kurusu haldeki örnekler öncelikle 103±2℃'deki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, kurutulan numunelerin ağırlıkları ve uzunlukları ölçülmüştür. Sonra numuneler içerisinde su bulunan bir kaba konulmuş, ara ara ağırlıkları tartılarak ve boyutları ölçülerek ağırlıktaki ve boyutlardaki artış durana kadar su içerisinde bekletilmiştir. Bu aşamadan sonra boyutları mikrometre ile, ağırlıkları hassas terazi ile ölçülerek son boyutları ve ağırlıkları belirlenmiştir. Numunelerde meydana gelen genişleme yüzdeleri (α) Eşitlik 4.7'ye göre, su alma yüzdeleri ise Eşitlik 4.8'e göre hesaplanmıştır. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.

$$\alpha = \frac{\text{Doygun Haldeki Ölçü} - \text{Tam Kuru Haldeki Ölçü}}{\text{Tam Kuru Haldeki Ölçü}} \text{x}100 \qquad (4.7)$$

Burada:

α: Numunelerin boyutlarında meydana gelen artış miktarı (%)'dır.

$$\text{SA} = \frac{a2 - a1}{a1} \text{x}100 \qquad (4.8)$$

Burada:

SA: Su alma miktarı (%),

a_1: Deney parçasının suya daldırmadan önceki ağırlığı (gr),

a_2:Deney parçasının suya daldırmadan sonraki ağırlığı (gr)'dır.

Hacimsel genişleme miktarı (αv), her üç yöndeki genişleme yüzdeleri dikkate alınarak Eşitlik 4.9'a göre hesaplanmıştır;

$$\alpha v = \alpha t + \alpha r + \alpha L \qquad (4.9)$$

Burada;

αt= Teğet yönde % genleşme,

αr = Radyal yönde % genleşme,

αL = Boyuna yönde % genleşme,

αv = Hacimsel genişleme miktarıdır.

Hacimsel daralma yüzdelerini hesaplanmasında genişleme deneyinden elde edilen veriler kullanılarak numune boyutlarında meydana gelen daralma yüzdeleri (β) Eşitlik 4.10'a göre hesaplanmıştır;

$$\beta = \frac{\text{Doygun Haldeki Ölçü} - \text{Tam Kuru Haldeki Ölçü}}{\text{Doygun Haldeki Ölçü}} \text{ x100} \qquad (4.10)$$

Burada:

β: Numunelerin boyutlarında meydana gelen azalma miktarı (%)'dır.

Boyuna (βl), teğet (βt) ve radyal yöndeki (βr) daralmalar için ayrı ayrı hesaplanan değerlerden hacimsel daralma miktarı (βv) Eşitlik 4.11'e göre hesaplanmıştır;

$$\beta v = \beta t + \beta r + \beta_L \qquad (4.11)$$

Burada;

βt= Teğet yönde % daralma,

βr = Radyal yönde % daralma,

β_L = Boyuna yönde % daralma,

βv = Hacimsel daralma miktarıdır.

4.2.3.5 Lif doygunluğu noktası rutubeti

Deneyler, ÇLK panel üretiminde kullanılan ahşap malzemeler üzerinde uygulanmıştır. Lif doygunluk noktası odun hücre çeperlerinin tamamen su ile dolu olup lümenlerinin ise boş olması durumudur. Deneylerde odun-su ilişkilerinin tespit edilmesinde kullanılan numunelerden yararlanılmış, lif doygunluğu noktası rutubeti (LDN), hacmen daralma yüzdesi ve hacim-ağırlık değerinden yararlanılarak Eşitlik 4.12'ye göre hesaplanmıştır. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.

$$LDN = \frac{\beta v}{y} \tag{4.12}$$

Burada;

βv= Hacimsel daralma miktarı (%),

y = Hacim-ağırlık değeri (g/cm^3)'dir.

4.2.3.6 Panellerde su buharı iletimi oranları

Deneyler, üretilen ÇLK panellerden biçilen numuneler üzerinde uygulanmıştır. Su buharı iletim deneyinde ASTM E96'daki esaslara göre 100mm çapındaki yuvarlak numuneler üzerinde, fincan yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem su buharının yüksek yoğunlukta olduğu ortamdan düşük yoğunlukta olduğu ortama hareket etmesi prensibine göre uygulanmaktadır. Deneylerde plastik kaplara saf su koyularak üzerlerine numune hava sızdırmayacak şekilde yerleştirilmiş, numune çevresi de hava sızdırmaz hale getirilmiş, ağırlık değişimi hızının dengeye gelmesi için 2 hafta beklenilmiş ve daha sonra 24 saat aralıklarla ağırlık azalışı ölçülerek su buharı iletim oranı (WVTR) Eşitlik 4.13'e göre, su buharı permeabilitesi ise Eşitlik 4.14'e göre hesaplanmıştır. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.

$$WVTR = \frac{\Delta m/t}{A} \tag{4.13}$$

$$WVP = \frac{WVTR \; x \; h}{S \; (R1 - R2)} \qquad (4.14)$$

Burada;

WVTR = Su buharı iletim oranı (kg/(m^2s)),

WVP = Su buharı permeabilitesi (kg/(m^2sPa)),

Δm = Ağırlık tartımları arasındaki ağırlık farkı (kg),

t= Numune ağırlık tartımları arasında geçen süre (sn),

A= Buharlaşan suyun numune üzerinde temas ettiği alan (m^2)

h= Numune kalınlığı (m)

S= %100 bağıl nemdeki su buharı basıncı (21ºC sıcaklıkta 2489 Pa)

R1= Saf suyun kap içerisinde oluşturduğu bağıl nem (%100)

R2= Dış ortam bağıl nem değeri (çalışmada %20)'dir.

Su buharı iletim deneyinde dış ortam rutubet yüzdesinin %50 civarında olması istenmektedir lakin uygun şartlar sağlanamaması nedeniyle %20 civarındaki bağıl nem şartlarında deneyler uygulanmıştır. Fotoğraf 4.8'de su buharı iletim deneyi görülmektedir.



Fotoğraf 4.8 Su buharı iletim deneyi

4.2.3.7 Panellerin termal iletkenliği

ÇLK panellerden elde edilen numunelerin ısı iletkenlik özellikleri ASTM C518'deki esaslara göre 300x300x54mm (genişlik x uzunluk x kalınlık) boyutlarındaki numuneler kullanılarak tespit edilmiştir. Deney başlangıcında numunenin kalınlığı deney cihazına girilmiş ve cihazın termal iletkenlik değerini hesaplaması sağlanmıştır. Termal iletkenlik (C) ve termal direnç (R) değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 4.15 ve Eşitlik 4.16 kullanılmıştır. Termal iletkenlik deneyi Fotoğraf 4.9'da görülmektedir. Deneyler Kastamonu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında uygulanmıştır.



Fotoğraf 4.9 Termal iletkenlik deneyi

$$C = \frac{SxE}{\Delta t} \tag{4.15}$$

$$R = \frac{1}{C} \tag{4.16}$$

Burada;

C = Termal iletkenlik (W/(mK)),

S = Isı akış sensörü kalibrasyon faktörü,

E = Isı akış sensörü çıkış voltu (V),

Δt = Numunenin 2 dış yüzeyi arasındaki sıcaklık ölçümü farkı (°C),

R = Malzemenin termal direnci ((mK)/W)'dir.

4.2.3.8 Odundaki ekstraktif madde analizi

Deneylerin uygulanmasından önce ağaç türlerinden elde edilen parçalar çekiçli değirmen yardımıyla öğütülmüş, elekten geçirilerek 40 mesh elekten geçip 60 mesh elekte kalan malzemeler ayrılarak deneylerde bu malzeme kullanılmıştır. Malzemelerin rutubetlerinin belirlenmesi amacıyla 2'şer gram aynı numuneden 3'er örnek tartılmış, etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve tekrar tartılarak rutubet yüzdeleri belirlenmiştir. Deneyler Tappi T207 cm99 standardındaki yönergeler doğrultusunda uygulanmıştır.

Soğuk suda çözünürlük deneyinde 2'şer gram 3'er numune 600ml'lik behere konulmuş, üzerine 300ml saf su eklenmiştir. Bu karışım 23±2ºC'de ara ara karıştırılarak 48 saat süreyle bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda örnekler darası alınmış krozeler yardımıyla süzülmüş, 100ml saf suyla yıkanmış ve etüvde 103±2ºC'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru ağırlıkları belirlenen numunelerin ağırlıkları deney öncesi tam kuru ağırlıklarına oranlanarak ekstraktif madde miktarları yüzde olarak hesaplanmıştır.

Sıcak su çözünürlüğünde ise 100 ml saf su ile 2'şer gram 3'er örnek geri soğutucu altında 200 ml'lik bir erlene yerleştirilmiştir. Erlen içerisinde 80ºC sıcaklığında su bulunan su banyosuna konulmuş ve 3 saat boyunca ısıya maruz bırakılmıştır. Daha sonra numuneler kroze yardımıyla süzülmüş, 100ml sıcak saf su yardımıyla yıkanmış, daha sonrasında 103±2ºC'ye ayarlı etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru ağırlıkları belirlenen numunelerin ağırlıkları deney öncesi tam kuru ağırlıklarına oranlanarak ekstraktif madde miktarları yüzde olarak hesaplanmıştır.

Alkol-su çözünürlüğü deneyinde 10'ar gram 3'er numune darası alınmış selüloz kartuşlar yardımıyla sokslet cihazına yerleştirilmiş, 200ml alkole 100ml saf su eklenerek numuneler 8 saat süre ile ekstraksiyona uğratılmıştır. Numuneler selüloz kartuşlar ile beraber 103±2ºC'ye ayarlı etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Tam kuru ağırlıkları belirlenen numunelerin ağırlıkları deney öncesi daralı tam kuru ağırlıklarına oranlanarak ekstraktif madde miktarları yüzde olarak

hesaplanmıştır. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü orman ürünleri kimyası laboratuvarında uygulanmıştır.

4.2.4 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

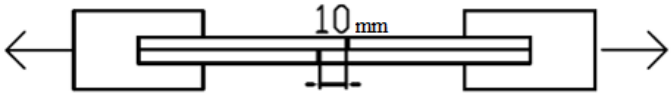
Mekanik özelliklerin belirlenmesinde, çekme-makaslama (tutkal adezyon) direnci, üç nokta eğilme direnci, 4 nokta eğilme direnci, elastikiyet modülü, liflere paralel ve dik basınç direnci, liflere paralel çekme direnci ve delaminasyon yüzdesi deneyleri uygulanmıştır.

4.2.4.1 Çekme makaslama direnci deneyi

Çekme makaslama direnci deneyi diğer bir adıyla tutkal yapışma kalitesi deneyi TS EN 205'de belirtilen esaslara göre numune kalınlığı 5mm olacak şekilde 2 kat birbirine yapıştırılarak 10x20x150mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) ölçülerinde biçilen ahşap malzemelerden hazırlanmıştır. Numuneler birbirlerine poliüretan (PU), tutkalı vasıtası ile yapıştırılarak deney numuneleri elde edilmiştir. Deneylerde test cihazı 2 mm/dk hızda çekme yapacak şekilde ayarlandıktan sonra numunelere çekme kuvveti uygulanarak deney gerçekleştirilmiştir. Kopma anındaki maksimum kuvvet (Fmax) tespit edilerek yapışma direnci (σ_y) Eşitlik 4.17'ye göre hesaplanmıştır. Çekme makaslama direnci deneyi Fotoğraf 4.10'da deney şablonu Şekil 4.3'te görülmektedir. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.



Fotoğraf 4.10 Çekme makaslama direnci deneyi



Şekil 4.3 Çekme makaslama direnci deney şablonu

$$\sigma y = \frac{Fmax}{A} = N/mm^2 \quad (4.17)$$

Burada;

Fmax: Tespit edilen maksimum kuvvet değeri (N),

A: Yapışma yüzey alanı (mm^2)'dır.

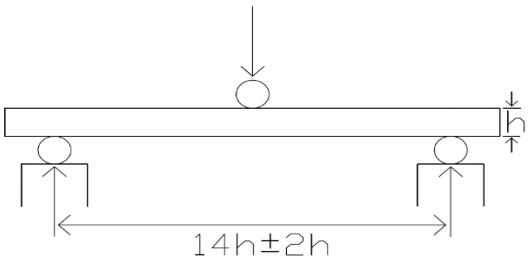
4.2.4.2 Üç nokta eğilme deneyi ve elastikiyet modülü

ÇLK panellerin üretiminde kullanılacak ahşap malzemelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülleri TS ISO 13061-3 ve TS ISO 13061-4'e göre 20x20x300mm (radyal x teğet x boyuna) boyutlarındaki numuneler kullanılarak tespit edilmiştir.

TS ISO 13061-3'e göre mesnetler arası açıklığın numune kalınlığının 12-16 katı arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada mesnet açıklığı kalınlığın 12 katı olarak ayarlanmıştır. Deney esnasında yük uygulaması liflere dik yönde olacak ve deney hızı numune 1,5-2 dakika içerisinde kırılacak şekilde ayarlanmış, numunelerin eğilme direnci değerleri (σe) Eşitlik 4.18'e göre, elastikiyet modülü değerleri Eşitlik 4.19'a göre hesaplanmıştır. Eğilme direnci deneyi Fotoğraf 4.11'de ve Şekil 4.4'te görülmektedir. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında uygulanmıştır.



Fotoğraf 4.11 Eğilme direnci deneyi



Şekil 4.4 3 nokta eğilme direnci deneyi şablonu

$$\sigma e = \frac{3.F.L}{2.b.h^2} \text{ N/mm}^2 \quad (4.18)$$

Burada;

F= Kırılma anında gözlemlenen maksimum kuvvet miktarı (N),

b= Örnek Genişliği (mm),

h= Örnek Kalınlığı (mm),

L= Mesnetler arasındaki açıklık (mm)'tır.

$$E = \frac{F.L^3}{4.e.b.h^3} \text{ N/mm}^2 \quad (4.19)$$

Burada;

F= Elastik deformasyon bölgesinde gözlemlenen kuvvet değişimi (N, Komperatörde ölçülen değerler arasındaki kuvvet farkı),

e= Elastik deformasyon bölgesinde gözlemlenen eğilme miktarı (Komperatörde ölçülen değerlerin farkı),

L= Mesnetler arasındaki açıklık (mm),

b= Genişlik (mm),

h= Kalınlık (mm)'tır.

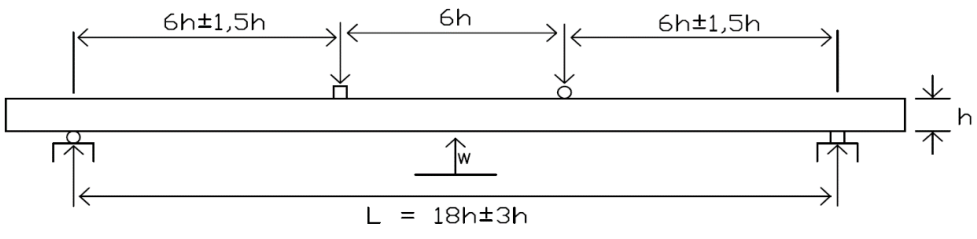
4.2.4.3 Dört nokta eğilme deneyi ve elastikiyet modülü

ÇLK panellerden biçilen numunelere dört nokta eğilme deneyi TS EN 408-A1 (2012)'deki esaslara göre 54x305x1260mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) boyutlarındaki numunelere uygulanmıştır.

TS EN 408-A1 (2012)'deki esaslarda mesnetler arası açıklığın numune kalınlığı (h)'nın 18±3 katı arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada mesnet açıklığı kalınlığın 20 katı olarak ayarlanmıştır. Ayrıca, ANSI/APA PRG 320 (2019) standardında numune genişliklerinin minimum 305mm olması gerektiği ifade edilmiştir. Deney esnasında yük uygulaması liflere ve panel yüzeyine dik yönde olacak ve deney hızı ÇLK paneller için numune 300±120 saniye içerisinde kırılacak şekilde ayarlanmış, numunelerin eğilme direnci değerleri (σe) Eşitlik 4.20'ye göre, elastikiyet modülü değerleri Eşitlik 4.21'e göre, eğilme rijitliği ise Eşitlik 4.22'ye göre hesaplanmıştır. Elastikiyet modülü hesaplamasında kullanılan Eşitlik 4.21 TS EN 408-A1 (2012) standardından alınmıştır. Eğilme direnci deneyi Fotoğraf 4.12'de deney şablonu Şekil 4.5'te görülmektedir. Deneyler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 4.12 4 nokta eğilme direnci deneyi



Şekil 4.5 4 nokta eğilme direnci deneyi şablonu

Eğilme Direnci (MOR) = $\frac{3a.Fmax}{b.h^2}$ (4.20)

Elastikiyet Modülü Global (MOE) = $\frac{3.a.L^2-4.a^3}{2.b.h^3(2\frac{w2-w1}{F2-F1}-\frac{6.a}{5.G.b.h})}$ (4.21)

Eğilme Rijitliği Global (EI_{mg}) = $\frac{3.a.L^2-4.a^2}{48\frac{W2-W1}{F2-F1}}$ (4.22)

Burada;

EI_{mg}=K= Eğilme rijitliği ($N.mm^2$)

Fmax= Kırılma anında gözlemlenen maksimum kuvvet miktarı (N),

a= Mesnetler ile yükleme kolu arasındaki mesafe (7h), (mm),

b= Örnek genişliği (mm),

h= Örnek kalınlığı (mm),

L= Alt mesnetler arasındaki açıklık (mm),

G= Makaslama modülü (N/mm^2),

F_2-F_1= Kuvvet-Deformasyon eğrisinde maksimum kuvvetin %10 ve %40'ına tekabül eden kuvvet artışı arasındaki fark (N),

w_2 - w_1= F_2 - F_1'e karşılık gelen deformasyon artışı arasındaki fark (mm).

Elastikiyet modülü hesaplaması için verilen Eşitlik 4.21'deki makaslama modülü (G) değerinin bilinmemesi durumunda TS EN 408-A1 (2012) standardında bu değerin sonsuz alınması gerektiği belirtilmiş, bu durumda ise (6a/5Gbh) eşitliğinin sonucunun sıfır olduğu gözlemlenmiştir.

Bu formülün oluşturulması aşamaları literatürde araştırıldığında ilk olarak Eşitlik 4.23'te belirtilen 3 nokta eğilme direnci deformasyon hesaplama formülüne ulaşılmış, daha sonra bu formül ASTM D 198, (2003) standardında ve Chen vd. (2015)'nin yapmış olduğu çalışmada 4 nokta eğilme deneyinde deformasyon hesaplaması için kullanılan Eşitlik 4.24'e dönüştürülmüş, bu eşitlik üzerinden elastikiyet modülü (E) değeri sonuca çekilerek Eşitlik 4.24-4.28 arasında belirtilen adımlar sonrasında elde edilen eşitliğe numunede oluşan makaslama etkisi de dahil edilerek TS EN 408-A1 standardında belirtilen Eşitlik 4.21'e ulaşılmıştır.

$$\Delta = \frac{P.L^3}{48.E.I} \tag{4.23}$$

4 nokta eğilme hesaplamaları için düzenlenen formül (ASTM D 198, 2003; Chen vd. 2015):

$$\Delta = \frac{P.a}{12.E.I}\left(\frac{3.L^2}{4} - a^2\right) \tag{4.24}$$

$$I = \frac{b.h^3}{12} \tag{4.25}$$

$$E = \frac{P.a}{b.h^3.\Delta}\left(\frac{3.L^2 - 4.a^2}{4}\right) \tag{4.26}$$

$$E = \frac{P(3.a.L^2 - 4.a.^3)}{4.b.h^3.\Delta} \tag{4.27}$$

$$E = \frac{3.a.L^2 - 4.a^3}{2.b.h^3\left(2\frac{\Delta}{P}\right)} \tag{4.28}$$

Burada;

Δ= Uygulanan yük sonucunda meydana gelen net deformasyon miktarı (mm),

P= Deformasyona neden olan net yük miktarı (N),

E= Elastikiyet modülü (N/mm^2),

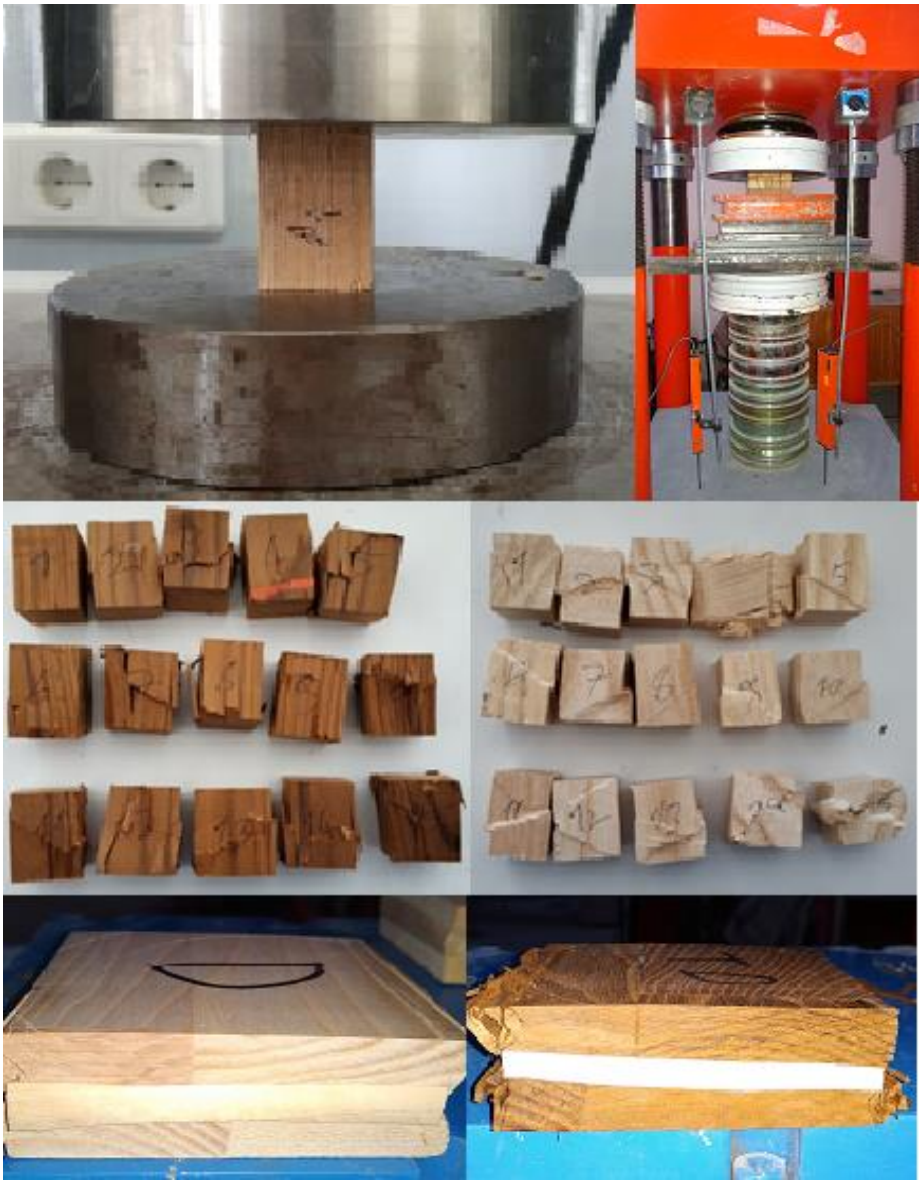
a= Mesnetler ile yükleme kolu arasındaki mesafe (L/3), (mm),

L= Alt mesnetler arasındaki açıklık (mm),

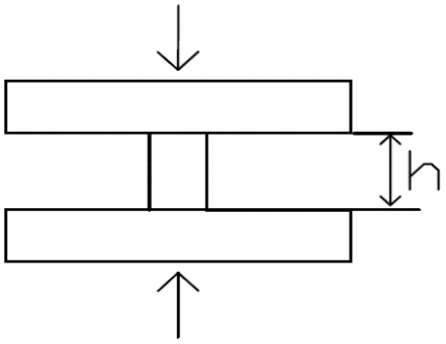
I= Atalet momenti (mm^4)'dir.

4.2.4.4 Basınç direnci deneyi

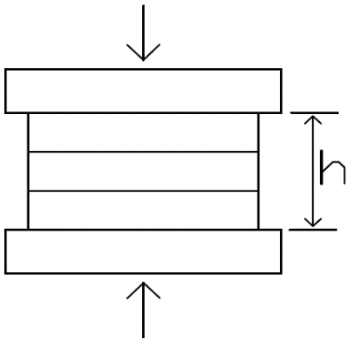
Deneyler ÇLK panel üretiminde kullanılacak ahşap malzemeler ve ÇLK paneller üzerine uygulanmıştır. Hammadde testi için TS ISO 13061-17'e göre 20x20x30mm (teğet x radyal x boyuna) boyutlarında liflere paralel basınç direnci numuneleri, ÇLK panellerin testi için TS EN 408-A1 (2012)'e göre 54x100x324mm (kalınlık x genişlik x boy) boyutlarında liflere paralel basınç direnci numuneleri ve 54x100x100mm (kalınlık x genişlik x derinlik) boyutlarında liflere dik basınç direnci numuneleri hazırlanmış, 1 ay süre ile iklimlendirme dolabında bekletilerek hava kurusu hale getirilmiştir. Numunelerin boyutları 0,01mm duyarlı kumpas ile ölçülmüş ve deney cihazının yükleme hızı hammaddeler için 2 mm/dk, paneller için kırılma süresi 300±120 saniye olacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki kuvvet (Fmax) ölçülerek basınç direnci değerleri (σB) Eşitlik 4.23'e göre hesaplanmıştır. Basınç direnci deneyleri Fotoğraf 4.13'de deney şablonları ise Şekil 4.6; Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de görülmektedir. Deneyler küçük ebatlı numunelere Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında, büyük ebatlı numunelere ise Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



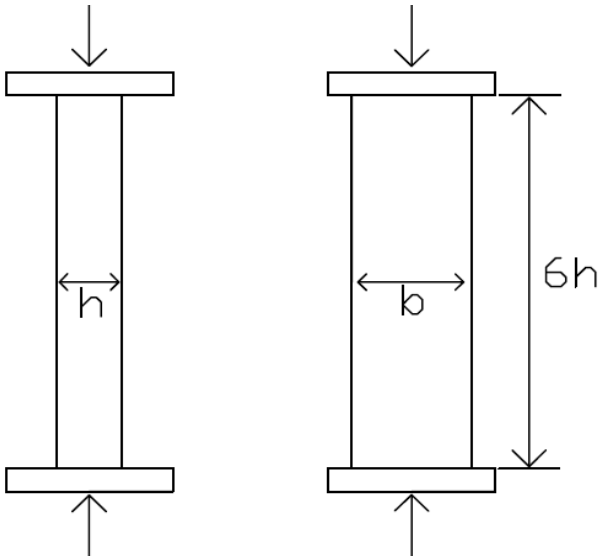
Fotoğraf 4.13 Basınç direnci deneyi



Şekil 4.6 Ahşap malzeme liflere paralel basınç direnci



Şekil 4.7 ÇLK panel liflere dik basınç direnci



Şekil 4.8 ÇLK panel liflere paralel basınç direnci

$$\sigma B = \frac{Fmax}{axb} \ N/mm^2 \qquad (4.23)$$

Burada;

Fmax= Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

a = Örnek enine kesit teğet kenar uzunluğu (mm), panellerde dik ve paralel basmada genişlik (mm),

b = Örnek enine kesit radyal kenar uzunluğu (mm), panellerde dik basmada derinlik, paralel basmada kalınlık (mm).

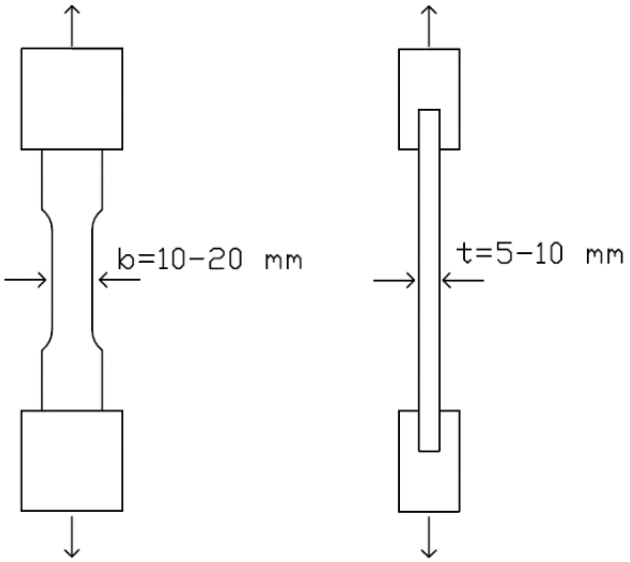
4.2.4.5 Liflere paralel yönde çekme direnci deneyi

Deneyler ÇLK panel üretiminde kullanılacak ahşap malzemeler üzerine TS ISO 13061-6'ya göre uygulanmıştır. İklimlendirme dolabında hava kurusu rutubete getirilen numuneler iki ucunun 20-25mm'lik kısımlarından kavrama çeneleri arasına sıkıştırılmış ve örnek ekseni ile kuvvetin tesir yönünün aynı doğrultuda olması sağlanmıştır.

Deneylerden önce numunenin orta noktasının kalınlığı (a) ve genişliği (b) mikrometreli bir kumpas yardımı ile 0,1mm duyarlılıkta ölçülerek enine kesit alanı (A) hesaplanmıştır. Makinenin yükleme hızı 2-3 dakikada deney numunesi kırılacak şekilde ayarlanmış, örneğin kopma anındaki çekme kuvveti (Fmax) tespit edilmiş ve liflere paralel çekme direnci (σz) Eşitlik 4.24'e göre hesaplanmıştır. Liflere paralel çekme direnci deneyi Fotoğraf 4.14'de çekme direnci deney şablonu Şekil 4.9'da görülmektedir. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 4.14 Liflere paralel çekme direnci deneyi



Şekil 4.9 Ahşap malzeme liflere paralel çekme direnci deneyi

$$\sigma z = \frac{Fmax}{A} \text{ N/mm}^2 \quad (4.24)$$

Burada;

Fmax= Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N),

A= Kopma bölgesi kesit alanı (mm²)'dır.

4.2.4.6 Delaminasyon yüzdesi deneyi

Delaminasyon deneyi üretilen ahşap panellerden PREN 16351:2013'deki Annex C esaslarına göre 100x100x54mm (genişlik x uzunluk x kalınlık) boyutlarında hazırlanan numuneler kullanılarak yapılmıştır. Hazırlanan numuneler 15°C'deki su içerisine daldırılmış, numunelere 80kPa (0,8 bar) vakum altında 30 dakika boyunca vakum uygulanmış, daha sonra numunelere 2 saat boyunca 550kPa (5,5 bar) hava basıncı altında basınç uygulanmıştır. Bu işlemlerden sonra numuneler 70°±5°C'ye ayarlı etüvde 15 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Numuneler etüvden çıkarıldıktan sonra katlar arasında kalan tutkal hatları üzerinden, numune çevresi boyunca meydana gelen açılmalar tek tek ölçülerek numunelerdeki delaminasyon miktarları Eşitlik 4.25 ve Eşitlik 4.26'ya göre tespit edilmiştir. Delaminasyon deney

numunesi Fotoğraf 4.15'te görülmektedir. Deneyler Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Fotoğraf 4.15 Delaminasyon deney numunesi

$$Delam_{max} = \frac{Lmax,delam}{Lglueline} \text{ x } 100 \quad (4.25)$$

$$Delam_{tot} = \frac{Ltot,delam}{Ltot,glueline} \text{ x}100 \quad (4.26)$$

Burada:

$Delam_{max}$ = Maksimum delaminasyon yüzdesi (%),

$L_{max,delam}$ = Tutkal hattı üzerindeki maksimum uzunluğa sahip delaminasyon uzunluğu (mm),

$L_{glueline}$ = Numune çevresi boyunca tutkal hattının toplam uzunluğu (mm),

$Delam_{tot}$ = Deney numunesi üzerindeki toplam delaminasyon yüzdesi (%),

$L_{tot,delam}$ = Deney numunesi üzerindeki tutkal hatları üzerinde oluşan toplam delaminasyon uzunluğu (mm),

$L_{tot,glueline}$ = Deney numunesi üzerindeki tutkal hatlarının toplam uzunluğu (mm)'dur.

PREN 16351:2013'de delaminasyon yüzdelerinin uygun olup olmadığının 2 adımda tespit edildiği belirtilmiştir. Bunlardan ilki;

Tüm deney örnekleri için $Delam_{tot}$ ≤10% ve $Delam_{max}$ ≤40% olması gerektiği belirtilmiştir.

Bu ilk verilen değerlerin sağlanamaması durumunda ise ikinci adıma geçilmesi gerektiği ve ikinci adımda ise;

Birbirinden bir keski yardımı ile ayrılmış ahşap katlar arasında olan ve bu tabakalar üzerinde kalan tutkallı bölgeler için delaminasyon deneyi sonrası her ahşap tabaka üzerinde sağlam kalan ve gözlemleme sonucu tespit edilen yapışma bölgesi alanı (FF_{min}), %50'ye eşit veya %50'den büyük olması gerektiği ayrıca, birbirinden keski ile ayrılmış 2 ahşap tabaka üzerinde kalan delaminasyona uğramamış ve gözlemleme sonucu tespit edilen tutkallı alanların toplamı (FF_{tot}), tüm tutkallı alana kıyasla %70'e eşit veya %70'in üzerinde bir değere sahip olması gerektiği belirtilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Üretimde Kullanılan Ahşap Malzemelerin Teknolojik Özellikleri

5.1.1 Ahşap Malzemelerin Hava Kurusu Yoğunluk, Tam Kuru Yoğunluk ve Hava Kurusu Rutubetlerin Belirlenmesi

Panel üretiminde kullanılan numunelerden deneyler sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'te görülmektedir.

Tablo 5.1 Panel üretiminde kullanılan ahşapların tam kuru yoğunlukları

Ağaç Türü	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Ortalama (g/cm^3)	10	**0,409**	**0,413**	**0,463**	**0,714**	**0,582**
Varyasyon Katsayısı (%)		7,16	7,26	8,64	4,48	10,31

En düşük tam kuru yoğunluk sarıçam odununda en yüksek yoğunluk ise dişbudak odununda gözlemlenmiştir. Kavak odunu tam kuru yoğunluğu sarıçam odunu yoğunluğundan yüksek olarak tespit edilmiştir.

Literatürde yerli sarıçam odununun tam kuru yoğunluk değerinin 0,30g/cm^3-0,86g/cm^3 arasında değişim gösterdiği ve ortalama olarak 0,49g/cm^3 olduğu belirtilmiştir. Isıl işlem uygulanmış sarıçam malzemelerde de yakın değerlerde yoğunluk değerleri görülmüştür (Tuncer, 2014). Amerikan Dişbudak odununun ise ortalama tam kuru yoğunluğu 0,60g/cm^3 hava kurusu yoğunluğu ise 0,67g/cm^3 olarak ifade edilmiştir (Gürleyen, 2018). Ayrıca, dişbudak taksonlarının ortalama hava kurusu yoğunluk değerinin 0,69g/cm^3 civarında olduğu belirtilmiştir (Hizal, 2014). Literatürdeki çalışmalarda Samsun kavağının tam kuru yoğunluğu ortalama olarak 0,328g/cm^3 ile 0,421g/cm^3 değerleri arasında gözlemlenmiştir (Koçer vd. 2007; Özdemir, 2020; Suna, 2019; Ulupınar, 1998). Tuncer (2014), çalışmaları sonucunda aynı ağaç türünün farklı bireylerinde ve tek bir ağacın kendi içerisinde bile yetişme yeri şartlarına bağlı olarak anatomik yapılarında farklılıklar oluşabileceği, anatomik

yapıdaki bu farklılıkların malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısında değişimlere ve farklılıklara neden olabileceği tespit edilmiştir.

Tablo 5.2 Panel üretiminde kullanılan ahşapların hava kurusu yoğunlukları

Ağaç Türü	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Ortalama (g/cm^3)	10	**0,441**	**0,428**	**0,485**	**0,745**	**0,597**
Varyasyon Katsayısı (%)		6,80	7,01	12,37	4,56	10,05

Ahşap malzemelere yapılan ısıl işlem uygulamaları bu malzemelerin denge rutubet miktarlarında azalma sağlamaktadır. Bu azalma sayesinde odunun çalışması minimum seviyeye inerek ahşap malzeme boyutsal stabilizasyon kazanır (Mayes ve Oksanen, 2002; Viitaniemi, 2000). Hava kurusu yoğunluklar incelendiğinde ThermoWood ısıl işlem uygulanmış malzemelerin hava kurusu rutubetlerinin normal malzemeye kıyasla daha düşük olması nedeniyle ThermoWood malzemelerin yoğunlukları ısıl işlem uygulanmamış numunelere kıyasla daha düşük olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca Gürleyen (2018), ısıl işlem uygulaması sonucunda odunun yoğunluğunda meydana gelen azalmanın hemiselülozların uçucu ürünlere indirgenmesi ve bir kısım ekstraktif maddelerin buharlaşarak odundan uzaklaşmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşmıştır.

Tablo 5.3 Panel üretiminde kullanılan ahşapların hava kurusu rutubet yüzdeleri

Ağaç Türü	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Ortalama (g/cm^3)	10	**13,19**	**5,61**	**11,15**	**10,19**	**4,41**
Varyasyon Katsayısı (%)		4,32	11,59	2,24	3,53	5,9

Hava kurusu rutubet yüzdeleri incelendiğinde sarıçam odununun en fazla rutubet içeriğine sahip olduğu, sonrasında sırayla kavak ve dişbudak odunlarının geldiği gözlemlenmiştir. Literatürde ısıl işlem uygulamasının hava kurusu şartlardaki denge rutubet yüzdesini düşürdüğü ifade edilmiştir (Pelit ve Sönmez, 2015). Ayrıca, Esteves ve Perreira (2009) bu denge rutubet yüzdesindeki azalmanın odunun yapısındaki selüloz moleküllerinde bulunan ve suyun bağlanmasında görev alan hidroksil gruplarında ısıl işlem uygulaması sonucunda meydana gelen azalmadan ve kristal yapıdaki selüloz miktarındaki artıştan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

5.1.2 Ahşap Malzemelerin Hacim-Ağırlık Değeri

Panel üretiminde kullanılan ahşap malzemelerden deneyler sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.4'te görülmektedir.

Tablo 5.4 Ahşap malzemenin ortalama hacim-ağırlık değeri (g/cm³)

Ağaç Türü	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Ortalama Hacim-ağırlık değeri (g/cm³)	10	0,376	0,384	0,392	0,521	0,533
Varyasyon Katsayısı (%)		5,71	7,05	11,58	2,59	9,57

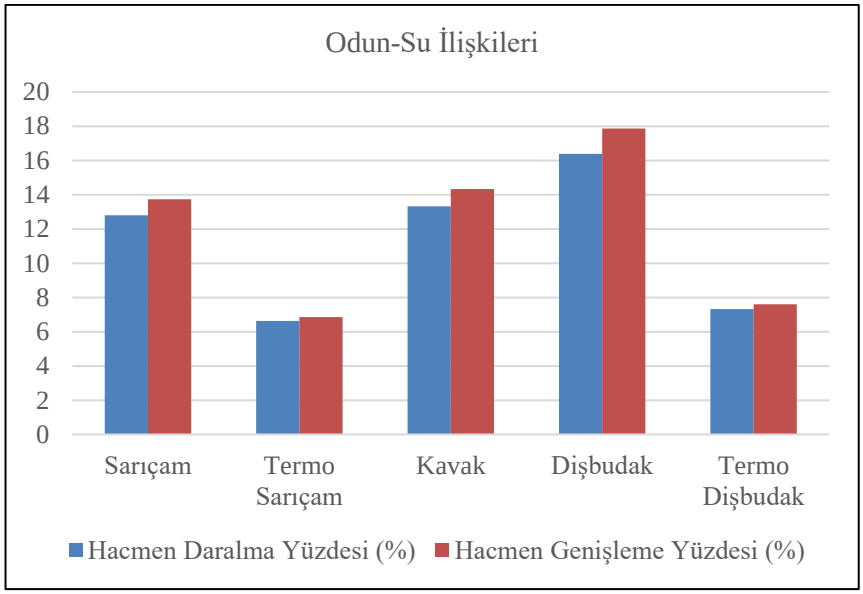
Deneyler sonucunda hacim-ağırlık değeri en fazla olan türün ısıl işlem uygulanmış dişbudak türü olduğu gözlemlenmiştir. Kavak odunu ise orta sırada yer almıştır. Koçer vd. (2007), Samsun kavağı odununun hacim-ağırlık değerini 0,370g/cm^3 olarak belirlemişlerdir. Kurtoğlu (1984), kavak türlerinin ortalama hacim-ağırlık değerinin 0,377g/cm^3 Avrupa sarıçamının 0,431g/cm^3 yerli sarıçamın 0,426 g/cm^3 ve dişbudak türlerinin 0,564g/cm^3 olduğunu ifade etmiştir. Literatür bilgileri ile elde edilen veriler benzerlik göstermektedir.

5.1.3 Ahşap Malzemelerde Hacmen Daralma-Genişleme

Panellerin üretiminde kullanılan ahşap malzemelerin hacmen daralma-genişleme yüzdeleri Tablo 5.5'te verileri karşılaştırma grafiği ise Grafik 5.1'de görülmektedir.

Tablo 5.5 Ahşap malzemelerin hacmen daralma-genişleme yüzdeleri (%)

Ağaç Türü	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Ortalama Hacmen Daralma (%)	10	**12,8**	**6,63**	**13,33**	**16,39**	**7,33**
Varyasyon Katsayısı (%)		2,97	5,3	9,29	2,23	8,91
Ortalama Hacmen Genişleme (%)	10	**13,73**	**6,86**	**14,33**	**17,87**	**7,61**
Varyasyon Katsayısı (%)		3,03	5,51	9,72	2,46	9,25



Grafik 5.1 Malzemelerin hacmen daralma-genişleme yüzdeleri grafiği

En yüksek hacmen daralma-genişleme yüzdesi dişbudak ahşap malzemelerde, en düşük daralma-genişleme yüzdesi ise ısıl işlem uygulanmış sarıçam malzemelerde gözlemlenmiştir.

Literatürde ısıl işlem sonucu rutubet kaynaklı odunun şişme ve daralmasında %50 ye varan azalmaların olduğu ifade edilmiştir (Fengel ve Wegener, 1989; Mayes ve Oksanen, 2002). Isıl işlem uygulanmış malzemeler ile ısıl işlem uygulanmamış malzemeler arasında %50 civarında odunun çalışmasında azalma vardır. Literatür bilgisi verileri desteklemektedir.

Birler (2010), kavak odunlarının hacimsel daralma yüzdesinin %12-14 arasında olduğunu ifade etmiştir. *Populus euramerican* melezinde hacmen daralmanın ortalama olarak %11-13 arasında olduğu belirtilmiştir (Ulupınar, 1998). Samsun kavağı türünün hacimsel daralma oranı %10 civarında olarak tespit edilmiştir (Özdemir, 2020). Titrek kavak türünün ise hacmen daralma oran %12 civarında bulunmuştur (Gültekin, 2014). Yerli sarıçam odununun daralma miktarı hacmen %12,1 olarak tespit edilmiştir (Perçin, 2012; Tuncer, 2014). İthal sarıçam odununun hacmen daralma oranı ise %11,6 olarak gözlemlenmiştir (Tuncer, 2014). Choong ve Manwiller (1979), Amerikan dişbudak odununun daralma yüzdesini %15,1+boyuna daralma yüzdesi olarak ifade etmişlerdir. Sivri meyveli dişbudak (*Fraxinus oxycarpa* Willd.) odununun hacimsel

genişleme oranı %14,5 olarak tespit edilmiştir (Alioğulları, 2010). İçel vd. (2015), 212ºC sıcaklıkta 2 saat ısıl işlem uygulanmış sarıçam odununda hacmen daralma yüzdesi kontrol grubu ile kıyaslandığında %9'dan %4,2 civarına düşmüştür.

Şahin ve Güler (2018), dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) odununa 190ºC'de 3 saat ısıl işlem uygulamışlar, çalışma sonucunda kalınlık artışında kontrol grubuna kıyasla %40'tan fazla azalma olduğu görülmüştür. Tuncer ve Doğu (2018), sarıçam öz ve diri odunlarına 190ºC ve 212ºC'de ThermoWood ısıl işlem uygulaması yapmışlardır. Sonuç olarak ısıl işlem uygulanmış malzemelerde kalınlık artışı 190ºC de diri odunda %17,4 oranında, öz odunda ise %11,97 oranında azalmış, 212ºC'de ise diri odunda %24,77 oranında, öz odunda ise %30,45 oranında azalış meydana gelmiştir.

Ağaç türünün numunelerin daralma ve genişleme özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla Tablo 5.6'da tek yönlü anova analizi sonuçları ile Tablo 5.7'de Duncan analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.6 Odunun daralma-genişlemesi üzerine ağaç türünün etkisi tek yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Daralma	0,525	333,094	0,000
Genişleme	0,654	338,275	0,000

Anova analizi sonucunda ağaç türünün odunun daralma-genişleme özelliği üzerine %95 güven aralığı düzeyinde anlamlı derecede etkisinin olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.7 Odunun daralması-genişlemesi üzerine ağaç türünün etkisi Duncan analizi

Ağaç Türü	Termo Sarıçam	Termo Dişbudak	Sarıçam	Kavak	Dişbudak
Daralma	A (6,63)	B (7,33)	C (12,80)	C (13,33)	D (16,39)
Genişleme	A (6,86)	B (7,62)	C (13,73)	C 14,33)	D (17,87)

Duncan analizi sonucunda sarıçam ve kavak grupları aynı bölgede toplanmış, diğer gruplar ise farklı bölgelerde toplanmıştır.

5.1.4 Ahşap Malzemelerin Lif Doygunluğu Noktası (LDN) Rutubeti

Panel üretiminde kullanılan ahşap malzemelerin lif doygunluk noktası (LDN) rutubet yüzdesi Tablo 5.8'de görülmektedir.

Tablo 5.8 Panel üretiminde kullanılan ahşapların LDN yüzdesi (%)

Ağaç Türü	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Ortalama LDN (%)	10	34,04	17,27	34,01	31,46	13,75

Isıl işlem uygulanmamış ahşap malzemelerin LDN yüzdesi ortalama %32 civarında gözlemlenmiş, ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemelerin LDN yüzdesi ise %15 civarında tespit edilmiştir. Literatür bilgisinde herhangi bir modifikasyon işlemi uygulanmamış ahşapta genel olarak lif doygunluğu noktasının %28-30 olarak kabul edildiği belirtilmiş, ancak ısıl işlem uygulanmış odunların lif doygunluğu noktasının işlem parametrelerine göre değişmekle birlikte %16-18 civarlarına düştüğü görülmüştür (Korkut ve Kocaefe, 2009). Ağaç malzemede lif doygunluğu noktası değerinin yoğunluk, hücre çeper maddesi ve öz odunu katılım oranı gibi değişkenlere bağlı olarak değişim gösterdiği ifade edilmiştir (Hizal, 2014).

Toker (1960), yerli sarıçamın LDN değerini %29,8 olarak, Zelinka vd. (2016), sarıçam odununun LDN değerini %35 olarak, Gürsu (1971), sivri meyveli dişbudak (*Fraxinus oxycarpa* Willd.) odununun LDN değeri %28,3 olarak, Birler (2010), kavak odunlarının LDN değerinin %40'a yakın olarak Fang vd. (2008), Amerikan kavağı (*Populus deltoides* Bartr.cv."Lux" ex I-69/55) odununun LDN değerini %30,3 olarak gözlemlemişlerdir. Kothiyal (2012), Amerikan kavağı (*Populus deltoides*) türünün 20 farklı klonunun LDN değerinin %24,3 ile %33,4 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Cai (2020), çalışmasında sarıçam odununun LDN değerini %38 olarak bulmuş, Thermo S sınıfı ısıl işlem sonrası bu değerin %30,7'ye düştüğünü, Thermo D sınıfı ısıl işlem sonrası ise %24,2 ye düştüğünü belirtmiştir. Ayrıca, Avrupa dişbudağı (*Fraxinus excelsior*) odununun LDN değerini %47,7 olarak bulmuş, Thermo S sınıfı ısıl işlem sonrası bu değerin %37,8'e düştüğünü, Thermo D sınıfı ısıl işlem sonrası ise %22,6'ya düştüğünü gözlemlemişlerdir.

5.1.5 Ahşap Malzemelerin Ekstraktif Madde Analizi

Çalışma kapsamında kullanılan ahşap malzemelere ilişkin ekstraktif madde yüzdeleri Tablo 5.9'da görülmektedir.

Tablo 5.9 Ekstraktif madde analizi

Ortalama Değerler	Sarıçam	Termo Sarıçam	kavak	Dişbudak	Termo dişbudak
Soğuk Suda Çözünürlük (%)	2,44	4,55	0,64	5,94	3,81
Sıcak Suda Çözünürlük (%)	2,04	3,78	1,19	4,43	4,09
Alkolde Çözünürlük (%)	5,26	7,74	2,23	4,56	7,15

Soğuk su ve sıcak su çözünürlüğünde en yüksek değer dişbudak odununda tespit edilirken alkol-su çözünürlüğünde en yüksek değer termo sarıçam grubunda gözlemlenmiştir.

Çetin (2009), sarıçam odununun soğuk suda çözünürlük değerini %2,19; sıcak suda çözünürlük değerini %3,22 ve etil alkolde çözünürlük değerini ise %4,9 olarak tespit etmiştir. Gencay (2010), Sarıçam odununun soğuk suda çözünürlük değerini %2,43; sıcak suda çözünürlük değerini ise %4,43 olarak belirlemiştir.

Altgen ve Militz (2017), 180ºC sıcaklıkta 2 saat ve 212ºC sıcaklıkta 4 saat ısıl işlem uygulanmış sarıçam numunelerin sıcak su çözünürlüğü değerleri 180ºC'de %2,97 olarak, 212ºC'de %3,35 olarak tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış sarıçam odununda ise bu değerler öz odunda %1,81 olarak, diri odunda ise %2,78 olarak gözlemlenmiştir.

Tekdemir (2020), çalışmasında dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odununun soğuk su, sıcak su ve alkol-siklohegzan çözünürlüklerini sırasıyla %5,9; %6,86 ve %2,92 olarak tespit etmiştir. 190ºC'de su buharı ortamında 6 saat ısıl işleme maruz bırakılan numunelerde ise bu değerler sırasıyla %3; %3,52 ve %3,32 olarak gözlemlenmiştir.

Windeisen ve Wegener (2009), 200ºC'de 4 saat ısıl işlem görmüş dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odununun soğuk su ve sıcak su çözünürlükleri sırasıyla %3,6 ve %7,4 olarak, kontrol gurubu numunelerin ise sırasıyla %4,8 ve %6,9 olarak gözlemlenmiştir.

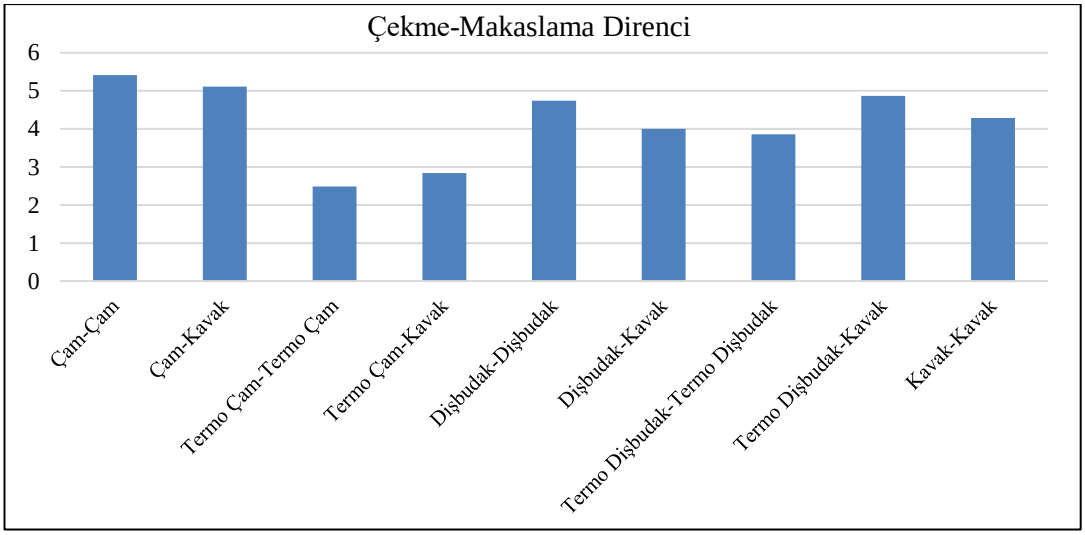
Candelier vd. (2020), çalışmasında 170ºC, 200ºC, 215ºC ve 228ºC sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmış dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odununun sıcak suda çözünür madde miktarını incelemişler ve en yüksek çözünürlük yüzdesinin (%4,59) 170ºC'de ısıl işlem görmüş numunede olduğunu tespit etmişlerdir. Bu değer 200ºC ve 215ºC'de ısıl işlem görmüş numunelerde giderek azalmış, 228ºC'de ise kontrol grubunun değerinin altına inmiştir. Lignin ve hemiselülozların termal degradasyonu sonucunda ısıl işlem uygulaması odunun ekstraktif madde miktarlarında artışa neden olmaktadır. Bu durumun etkisi kullanılan solventin türüne göre değişmektedir.

5.1.6 Ahşap Malzemelerde Çekme Makaslama (Tutkal Adezyon) Direnci

Panel üretiminde kullanılan ahşap malzemelerin çekme-makaslama direnci deney verileri Tablo 5.10'da karşılaştırma grafiği ise Grafik 5.2'de görülmektedir.

Tablo 5.10 Numunelerin çekme-makaslama direnci değerleri

Birleştirme Türü	Numune Adedi	Ortalama Değer (N/mm^2)	Varyasyon Katsayısı (%)
Sarıçam-Sarıçam	10	**5,41**	9,06
Sarıçam-Kavak	10	**5,11**	16,24
Termo Sarıçam-Termo Sarıçam	10	**2,49**	16,87
Termo Sarıçam-Kavak	10	**2,84**	13,73
Dişbudak-Dişbudak	10	**4,74**	18,35
Dişbudak-Kavak	10	**4**	22,75
Termo Dişbudak-Termo Dişbudak	10	**3,86**	18,65
Termo Dişbudak-Kavak	10	**4,87**	14,58
Kavak-Kavak	10	**4,29**	12,12



Grafik 5.2 Çekme-makaslama direnci kıyaslama grafiği

Deney sonucunda en yüksek değer sarıçam-sarıçam grubunda, en düşük değer ise termo sarıçam-termo sarıçam grubunda gözlemlenmiştir.

Veriler incelendiğinde ısıl işlem uygulanmış malzemeler ile kavak arasında daha iyi bir adezyon direnci oluştuğu görülmüş, ısıl işlem uygulanmamış malzemelerde ise tam tersi bir durum yaşanarak kavak ile oluşan adezyon dirençlerinde azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Sarıçam-kavak grubu ile termo sarıçam-kavak grubu arasında tutkal adezyon direnci bakımından %44,43 oranında azalış, dişbudak-kavak ile termo dişbudak-kavak arasında %21,75 artış, sarıçam-sarıçam ile termo sarıçam-termo sarıçam arasında %53,98 azalma, dişbudak-dişbudak ile termo dişbudak-termo dişbudak arasında ise %18,57 azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Sarıçam-sarıçam ile sarıçam-kavak grubu arasında %5,55 oranında azalma, termo sarıçam-termo sarıçam ile termo sarıçam-kavak grubu arasında %14,06 oranında artış, dişbudak-dişbudak grubu ile dişbudak-kavak grubu arasında 15,61 oranında azalma, termo dişbudak-termo dişbudak ile termo dişbudak-kavak arasında %26,17 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Isıl işlem uygulaması sonucunda sarıçam odununun tutkal adezyon özelliklerinde şiddetli bir azalmanın olduğu görülmektedir. Bu durumun aşağıdaki çalışmadan elde edilen sonuçlar ile alakalı olduğu düşünülmektedir; Şahin kol ve Özbay (2016), tutkal adezyon direncindeki azalmanın ısıl işlem uygulanmış odununun direnç özelliklerindeki azalma kaynaklımı yoksa tutkal bağ direncinin zayıflığı kaynaklımı olduğunu ayırt etmenin bazen zor olduğu belirtilmiştir. Ahşap malzemenin direncinde meydana gelen azalma deney esnasında ahşap malzemeden kırılma oranında artışa ve tutkal adezyon direncinde azalmaya neden olmaktadır. Tutkal adezyon direncinin zayıf olması durumunda ise hem adezyon direncinde azalma hem de ahşap malzemeden kırılma oranında azalma (tutkal hattından kopma yüzdesinde artış) meydana gelmektedir.

Isıl işlem uygulaması dişbudak odununda tutkal adezyon direncinde sarıçam odununa kıyasla minimum seviyede (%18,57) azalmaya neden olmuştur. Dişbudak grubu numunelerde çoğunlukla tutkal hattından kopmalar meydana gelirken termo dişbudak-kavak grubunda ise ağırlıklı olarak termo dişbudak odununda kırılmalar gözlemlenmiştir. Dişbudak-kavak grubu ile termo dişbudak-kavak grubu kıyaslandığında ise ısıl işlem uygulaması tutkal adezyon direncinde %21,75 oranında artışa neden olmuştur.

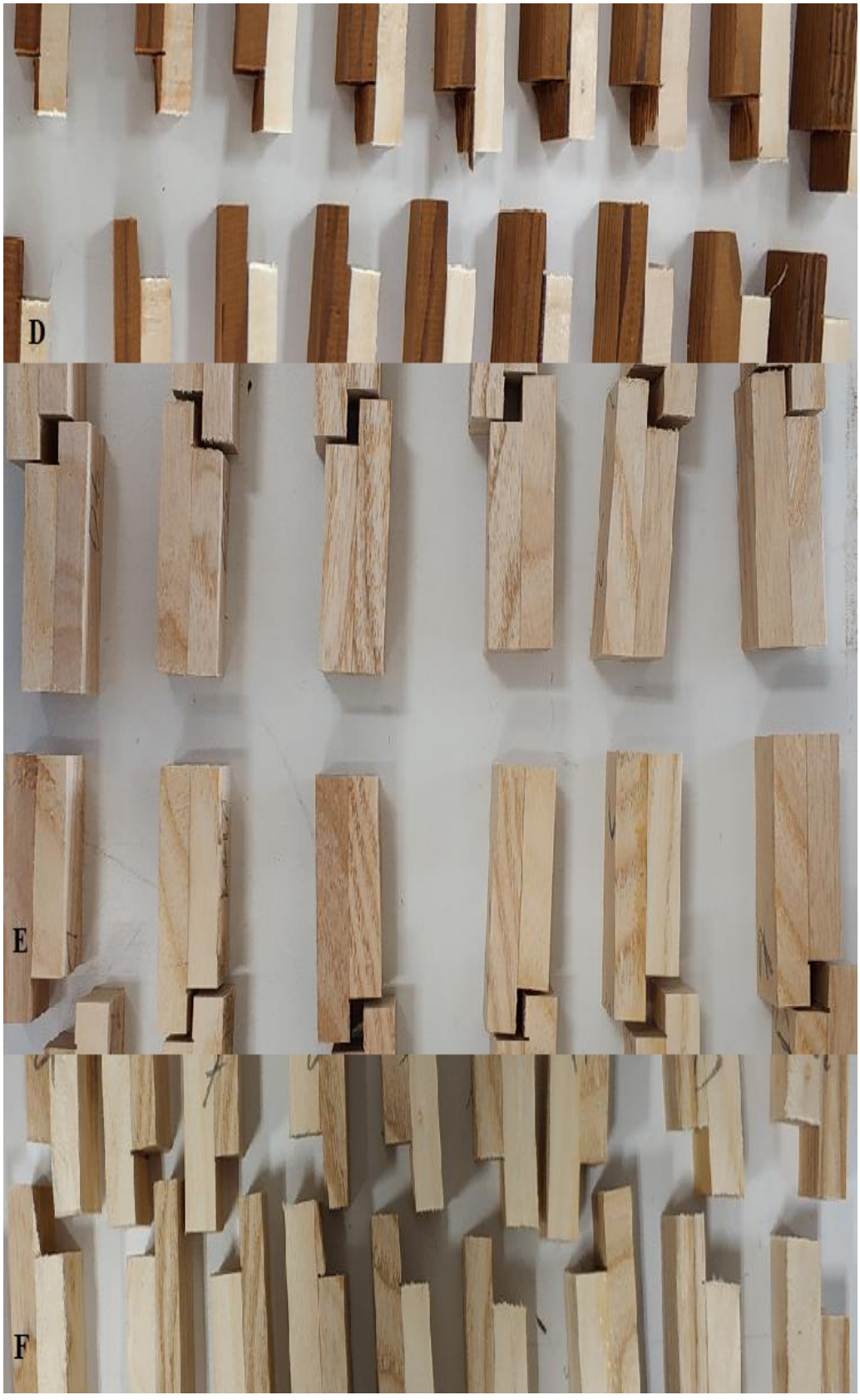
Sarıçam-sarıçam grubu incelendiğinde kırılma şekillerinin gözle muayenesinde ortalama olarak %50 odundan %50 tutkal hattından kırılma meydana geldiği görülmektedir. Sarıçam-kavak grubu incelendiğinde ise kırılmanın genellikle kavak tarafında ince bir tabaka şeklinde %60 odundan %40 tutkal hattından kırılma olduğu tespit edilmiştir. Termo sarıçam-termo sarıçam grubunda kırılmalar %90 ahşap malzemede meydana gelmiş, Termo sarıçam-kavak grubunda kırılmalar %100 oranında termo sarıçam ahşap malzemede meydana gelmiş, dişbudak-dişbudak grubunda kırılmalar %100 oranında tutkal hattında meydana gelmiş, dişbudak-kavak grubunda kırılmalar %90 tutkal hattında, %10 ahşap malzemede meydana gelmiş, termo dişbudak-termo dişbudak grubunda kırılmalar %75 oranında ahşap malzemede, %25 oranında tutkal hattında meydana gelmiş, Termo dişbudak-kavak grubunda ise genellikle termo dişbudak tarafında olmak üzere kırılmalar %80 ahşap malzemede %20 tutkal hattında meydana gelmiş, kavak-kavak grubunda ise kırılmalar %40 ahşap

malzemede %60 tutkal hattında meydana gelmiştir. Numunelerin kırılma şekilleri Fotoğraf 5.1'de görülmektedir.
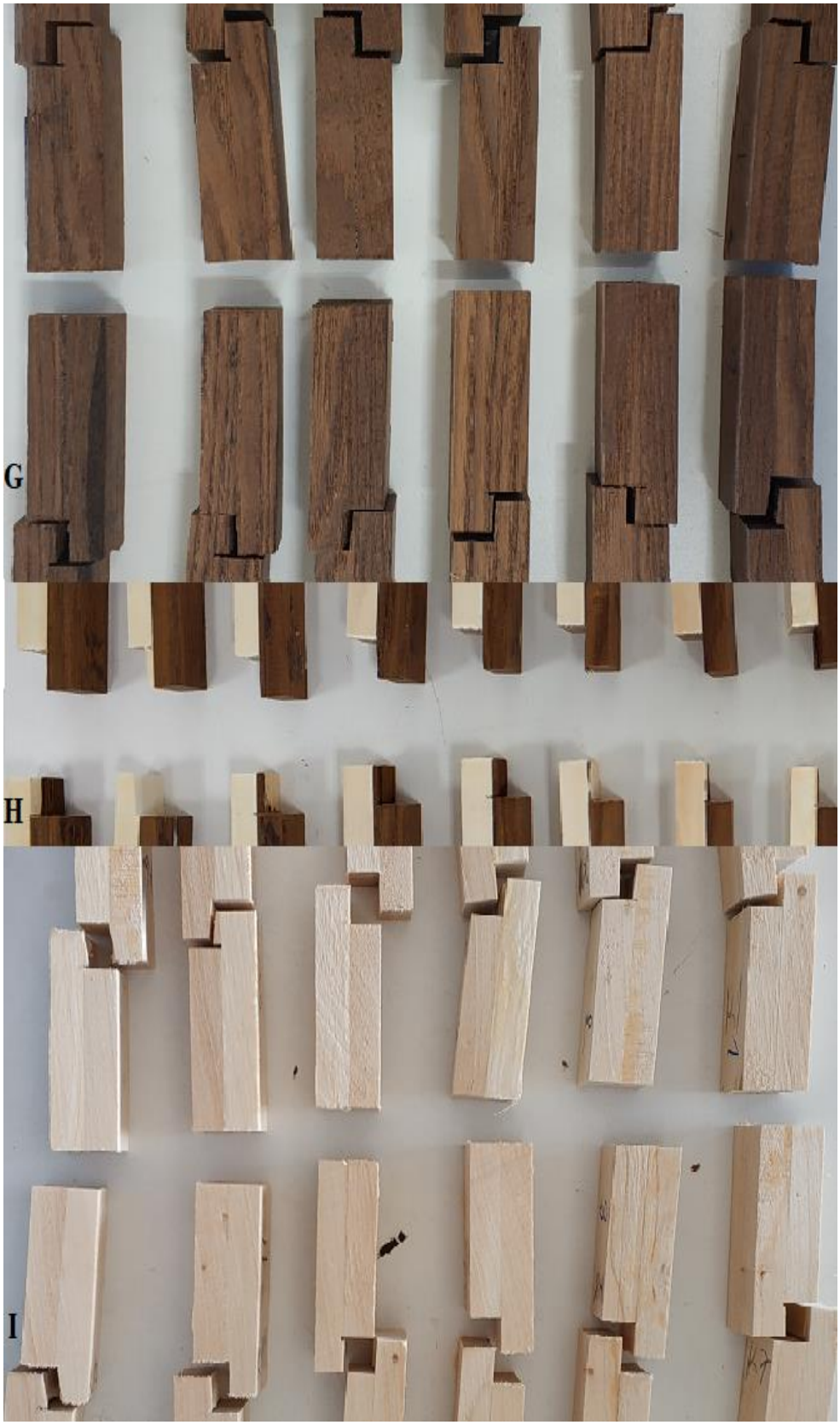


Fotoğraf 5.1 Tutkal adezyon direnci deney numuneleri; A) Sarıçam-sarıçam grubu, B) Sarıçam-kavak grubu, C) Termo sarıçam-termo sarıçam grubu, D) Termo sarıçam-kavak grubu, E) Dişbudak-dişbudak grubu, F) Dişbudak-kavak grubu, G) Termo dişbudak-termo dişbudak grubu, H) Termo dişbudak-kavak grubu, I) Kavak-kavak grubu

Fotoğraf 5.1’in devamı



Fotoğraf 5.1’in devamı



Ammann vd. (2016), çalışmalarında adi dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odununa 2 farklı poliüretan tutkalı ve 2 farklı yüzey işlemi uygulamış ve bu durumun tutkal adezyon direncine etkilerini incelemişlerdir. İlk poliüretan tutkalı kullanımında yüzeyi planyalanmış numunelerde adezyon direnci 9,85N/mm^2 olarak, planya +DMF (dimetilformamid) tabanlı primer uygulamasında 8,92N/mm^2 olarak, yüzeyi CNC frezede düzeltilmiş numunede ise 11,44N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Diğer poliüretan tutkalında ise planyalı numunelerde 12,65N/mm^2 planya+DMF uygulamasında 9,72N/mm^2 frezeli numunelerde ise 10,83N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Kullanılan diğer tutkal türlerinin aksine poliüretan tutkalı kullanımı sonucunda adezyon direnci değeri arttıkça odundan kırılma yüzdesinde artış meydana gelmiştir. Diğer tutkallarda bu ilişki gözlemlenmemiştir.

Doruk vd. (2010), çalışmalarında karaçam (*Pinus nigra* var. *pallasiana*) ve dişbudak (*Fraxinus exelsior* L.) odunlarının PVAc tutkalı kullanımında tutkal adezyon direnci değerlerini dişbudak odununda 12,99N/mm^2 karaçam odununda 5,74N/mm^2 termo dişbudak odununda 4,8N/mm^2 termo sarıçam odununda ise 4,79N/mm^2 olarak tespit etmişleridir.

Kaygın ve Tankut (2008), çalışmalarında sarıçam öz odunu ve diri odununun poliüretan tutkalı kullanımındaki tutkal adezyon direncini öz odunda 5,7N/mm^2 diri odunda 6,2N/mm^2 olarak gözlemlemişlerdir. Numunelerin 2 saat kaynayan suda bekletme sonrası değerleri ise sırasıyla 1,7N/mm^2 ve 2,3N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Yapıcı vd. (2010), sarıçam odununa ısıl işlem uygulanmış ve poliüretan tutkalı kullanımındaki tutkal adezyon direncindeki değişimler gözlemlenmiştir. Kontrol numunelerinde 8,26N/mm^2, 170ºC'de 2 saat ısıl işlem uygulanmış malzemede 3,08N/mm^2, 170ºC'de 6 saat ısıl işlem uygulanmış malzemede ise 2,13N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Keskin vd. (2009), çalışmalarında sarıçam, karakavak (*Populus nigra* Lipsky), Doğu kayını (*F. orientalis* Lipsky) ve Avrupa meşesi (*Quercus petraea* Liebl.) odunlarının

poliüretan tutkalı kullanımındaki tutkal adezyon direnci değerlerini sırasıyla 9,91N/mm^2, 7,87N/mm^2 ve 12,57N/mm^2 olarak tespit etmişlerdir.

Perçin vd. (2009), sarıçam odununun tutkal adezyon direnci poliüretan tutkalında 6,67N/mm^2 olarak PVAc tutkalında ise 6,86N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Kayın (*Fagus silvatica*) odununun değerleri ise sırasıyla 7,33N/mm^2 ve 6,36N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Perçin ve Uzun (2014), çalışmalarında Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* L.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve karakavak (*Populus nigra* L.) odunlarına ısıl işlem uygulamışlar ve ısıl işlemin PVAc-D4 tutkalının adezyon direncine olan etkilerini incelemişlerdir. Kontrol grubu numunelerde tutkal adezyon direnci sarıçam odununda 11,63N/mm^2, kavakta 7,39N/mm^2, meşede 15,8N/mm^2 ve kayında 14,39N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Bu değerler 200ºC sıcaklıkta ısıl işlem sonrasında sarıçam odununda 5,99N/mm^2, kavakta 4,1N/mm^2, meşede 13,31N/mm^2 ve kayında 11,19N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Özçiftçi (2008), çalışmasında karakavak odununun poliüretan tutkalı kullanımı durumunda adezyon direnci değerini 10,18N/mm^2 olarak gözlemlemiş, Altınok (2003), çalışmasında PVAc tutkalı kullanımında titrek kavak odununun adezyon direncini 7N/mm^2 olarak tespit etmiştir.

Efe ve Gürleyen (2006), çalışmalarında sarıçam odunu 40, 60 ve 120 kum zımpara ile zımparalandıktan sonra PVA tutkalı kullanımındaki tutkal adezyon direnci değerleri sırasıyla 17,52N/mm^2, 20,88N/mm^2 ve 23,22N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen değerler literatürde verilen değerlerden genellikle düşük olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda yapılacak diğer çalışmalarda başka bir marka poliüretan tutkalı performansının da incelenmesi faydalı olacaktır.

Luedtke vd. (2015), çalışmasında tutkalın odun içerisine penetrasyonunun yapışma kalitesine önemli derecede etkisinin olduğunu gözlemlemiştir. Tutkal penetrasyonu arttıkça odunda tutkal tarafından ıslatılan alanın arttığı ve tutkalın mekanik adezyonunda artış yaşandığı görülmüştür. Aynı zamanda penetrasyonun çokluğu

tutkal tabakasının ahşap malzemenin içerisine doğru akıp gitmesine neden olarak yüzeyde yetersiz tutkal hattı formasyonuna neden olmaktadır. Halkalı traheli yapıya sahip türlerin geniş traheleri odun hücreleri içerisine yüksek miktarda ve homojen olmayan yapıda tutkal penetrasyonuna neden olmaktadır. Bu bağlamda meşe ve dişbudak odunlarına birim alana neredeyse aynı miktarda tutkal uygulaması sonrasında tutkal penetrasyonunun dar lümenli kayın ve ladin odununa kıyasla daha az yeknesak bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Clerc vd. (2018), adi dişbudak odununun yapıştırılmasının kayın odununa kıyasla daha zor olduğu ifade edilmiştir.

Knorz vd. (2015), yerinde polimerize olan (fenol-resorsinol formaldehit, melamin üre formaldehit vb.) ve önceden polimerize edilmiş (tek komponentli poliüretan tutkalı, emülsiyon polimer izosiyanat tutkalı vb.) 2 tutkal grubu olduğunu ifade etmiştir. Yerinde polimerize olan tutkallar kürleşme esnasında hücre duvarının içerisine sızabilmekte ve daha sağlam bir yapı oluşturabilmektedir. Hücre duvarlarına tutkal penetrasyonu hücre duvarının mekanik özelliklerini değiştirmekte ve rutubet kaynaklı boyut değişimini azaltmaktadır. Önceden polimerize edilmiş tutkal çeşitleri ise yerinde polimerize tutkallara kıyasla daha yüksek molekül ağırlığına sahip polimerler bulundururlar ve bu nedenle hücre duvarı içine giremeyerek hücre duvarının daha stabil hale gelmesini sağlayamazlar. Ancak önceden polimerize olan tutkallar sınırlı çapraz bağlanma nedeniyle daha yüksek bir esneklik sağlayarak tabakalar arasında meydana gelen gerilimin bir kısmını üzerlerine alarak doğrudan ahşaba iletmezler.

Espinoza ve Buehlmann (2017), ÇLK panel üretiminde iyi performans gösteren ve uygun maliyetli tutkalların temin edilebilmesi tutkal üreticileri ile yakın iş birliği kurulmasına bağlı görülmektedir. Çünkü sert ağaç odunlarının yoğunluklarının yumuşak ağaç odunlarına kıyasla daha yüksek oluşu rutubet değişimi sonucunda tutkal hattı üzerinde oluşan gerilimde artışa neden olmakta, sert ağaçlarda yüksek konsantrasyonlarda gözlemlenen bazı ekstraktif maddeler yapışma bölgesinde tutkalın bağ yapmasına sınırlamalar getirmekte ve bu ekstraktiflerin asidik yapıda oluşu tutkalın kürleşmesine etki etmektedir. Bu bağlamda sert ağaç odunlarının yapıştırılmasında kullanılacak tutkallar düzgün bir yapışma elde edilebilmesi için dikkatli bir şekilde formüle edilerek hazırlanmalıdır. Ek olarak tutkal hattında

maksimum kalınlık sağlanıp sağlanamadığının takibi ve yüzeylerin yapıştırılmaya hazırlanması aşamasında tutkallama öncesi primer kullanımı gerekli görülmektedir.

Ammann vd. (2016), çalışmalarında panel üretiminde tabakalar arasında meydana gelen yapışma kalitesinin tespit edilmesinin birbirine yapıştırılmış ahşap tabanlı yapısal elemanların etkili ve güvenli bir şekilde kullanılması için olmazsa olmaz unsurlardan biri olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapışmanın yapısal amaçlı kullanım özellikleri her ağaç türü için incelenmiş ve doğrulanmış olmalıdır. Çünkü tutkalın farklı ağaç türleri arasındaki performansı çok çeşitli farklılıklar göstermektedir. Bu durum özellikle sert ağaç odunları için çok çeşitli anatomik yapılara ve fizyomekanik özelliklere sahip olmaları nedeniyle daha fazla geçerlidir. Bir ağaç türü karşısında elde edilmiş teknik aşamalar ve yapışma özellikleri özellikle ahşap karakteri birbirinden farklı bir tür için doğrudan kabul edilerek kullanılamaz. Çalışmalar kuru ortamda gerçekleştirilen makaslama direnci deneylerinde sert ağaçtan elde edilmiş numunelerin yapısal amaçlı birleştirmelerde standartlarda belirtilen özellikleri kolaylıkla karşılayabildiğini gösterse de nemli ortamlarda yapılan deneylerde bu özellikleri karşılamada zorlandığını göstermektedir. Bu bağlamda çalışmalar yapılması gerekli görülmektedir.

Sernek (2017), çalışmasında ısıl işlem uygulanmış ladin ahşap malzemede PVAc tutkalı kullanımında makaslama direncinin önemli oranda azaldığını, PVAc tutkalı yerine emülsiyon polimer izosiyanat, poliüretan veya melamin üre formaldehit tutkalı kullanımı durumunda ise makaslama direncinde önemli miktarda bir azalma meydana gelmediğini belirtmiştir. Sernek vd. (2008), ısıl işlem uygulanmış malzemenin boyutsal stabilitesinde meydana gelen artışın ahşap malzemenin yapışma performansının da artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun rutubet değişimi sonucunda odunda meydana gelen daralma ve genişlemelerin tutkal hattı üzerinde meydana getirdiği gerilimin azalmasına bağlı olduğu ifade edilmiştir. Ek olarak su bazlı olmayan poliüretan tutkalı kullanımı durumunda ısıl işlem uygulamasının makaslama direnci üzerine önemli derecede bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Şahin Kol vd. (2009), ısıl işlem uygulanmış malzemelerde makaslama deneyi sonucunda genellikle ahşap malzemeden kırılma meydana geldiğini ve bu

durumun tutkal hattına kıyasla ahşap malzemenin direncinin daha düşük olduğunu göstermektedir.

Iždinský vd. (2021), ahşap içerisinde bulunan ekstraktif maddelerin odunun ıslanabilirliğinde, tutkal adezyon direncinde ve tutkal sisteminin stabilitesinde olumlu ya da olumsuz yönlerde etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Odunun yapıştırılması işleminde polar yapıda ve polar yapıda olmayan ekstraktif maddelerin bu işleme büyük bir oranda etki ettiği görülmüştür. Ekstraktif maddelerin asiditesi, ıslanabilirlik üzerine olan etkisi (temas açısı ve yüzey enerji özelliği) ve odunun permeabilitesi (lümenlerin kristal yapıdaki maddeler tarafından tıkanması) üzerine olan etkisi ahşabın yapışma özelliklerine katkıda bulunabileceği ya da bunların belirlenmesinde rol oynayabileceği ifade edilmiştir. Ekstraktiflerin yüksek asiditesi üre formaldehit ve melamin üre formaldehit gibi tutkalların kürleşmesini hızlandırabilmekte, fenol formaldehit gibi alkali ortamda kürleşen tutkalların kürleşmesini yavaşlatabilmekte veya poliüretan tutkalında bozunmalara neden olabilmektedir. Avrupa'da ve tropik bölgelerde yetişen bazı sert ağaç odunlarının genellikle özodunu kısmında bulunan ekstraktif maddeler yapılarında çeşitli hidrofilik özellikteki flavonoidler, tanenler, steroller, flobafenler, rubrenolid, rubrinolid ve kinonlar veya kumarinler gibi polifenoller ile yarı polar yapıda veya polar olmayan yapıdaki hidrofobik özellikte vakslar, katı ve sıvı yağlar bulundurabilmektedir. Ekstraktiflerin tipleri ve bulunma miktarları türler arasında değişim göstermekte ayrıca aynı tür içerisinde coğrafi orijin, iklim koşulları, ağaç yaşı, numunenin ağaçtan alındığı bölge gibi özelliklere bağlı olarak değişiklikler göstermektedir.

Boruszewski vd. (2011), odunda ıslanabilirliğin genellikle yoğunluk artışı ve ekstraktif madde miktarı artışı ile azaldığını, OH grubu artışı ile arttığını gözlemlemişlerdir.

Ammann vd. (2016), poliüretan tutkalı izosiyanat tabanlı olup odun içerisindeki OH grupları ile reaksiyonu sonucunda üretan ve üre bağları meydana gelmektedir. Ahşap yüzeyine uygulanacak polar yapılı solventler gibi kimyasal uygulamaları tutkalın odundaki OH gruplarına erişebilirliğini artırmakta ve buna bağlı olarak adezyon direncinde artışlar görülmektedir. Ek olarak kayın ve dişbudak gibi odunların

yapılarında iğne yapraklı ağaç odunlarına kıyasla daha az oranda OH grubu bulundurdukları tespit edilmiştir.

Knorz vd. (2015), ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin hidrofobik yapıda, daha az polar özellik sergileyen ve suyu itme özelliğinde olduğunu gözlemlemiştir. Bu durum su bazlı tutkalların ahşap yüzeyini ıslatabilme özelliğinde ve yapışma direncinde azalmalara neden olmaktadır.

Amerikan dişbudak ve akçaağaç odunlarına ısıl işlem uygulanmış, odun yüzeyi ile su damlası arasındaki temas açısının ısıl işlem sonrası arttığı ve odunun ıslanabilirliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu artışın her iki odun türü için radyal ve teğet yönlerdeki artışa kıyasla eksenel yönde daha anlamlı olduğu görülmüştür. Radyal ve teğet yönlerdeki temas açıları ise benzer bulunmuştur. (Gürleyen, 2018).

Ağaç türünün numunelerin çekme-makaslama direnci özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla yapılan tek yönlü anova analizi ve Duncan analizi sonuçları Tablo 5.11, Tablo 5.12 ve Tablo 5.13'te görülmektedir.

Tablo 5.11 Çekme-makaslama direnci tek yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Aynı Tür Arası Makaslama Direnci	0,433	27,692	0,000
Kavak ile Diğer Tür Arası Makaslama Direnci	0,6	17,635	0,000

Tek yönlü anova analizi sonucuna göre ağaç türüne göre çekme-makaslama direnci değerleri %95 güven aralığı düzeyinde birbirinden anlamlı derecede farklı olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.12 Aynı tür odunlardan hazırlanan numunelerin çekme-makaslama direnci Duncan analizi

Termo Sarıçam	Termo Dişbudak	Kavak	Dişbudak	Sarıçam
A (2,49)	B (3,86)	BC (4,29)	C (4,74)	D (5,41)

Analiz sonucunda kavak grubu orta sırada yer almış, ısıl işlem sonucunda meydana gelen direnç azalmalarının etkileri net olarak gözlemlenebilir hale gelmiştir.

Tablo 5.13 Diğer ahşap malzemelerin kavak odununa yapıştırılması suretiyle hazırlanan numunelerin çekme-makaslama direnci Duncan analizi

Termo Sarıçam	Dişbudak	Termo Dişbudak	Sarıçam
A (2,84)	B (4)	C (4,87)	C (5,11)

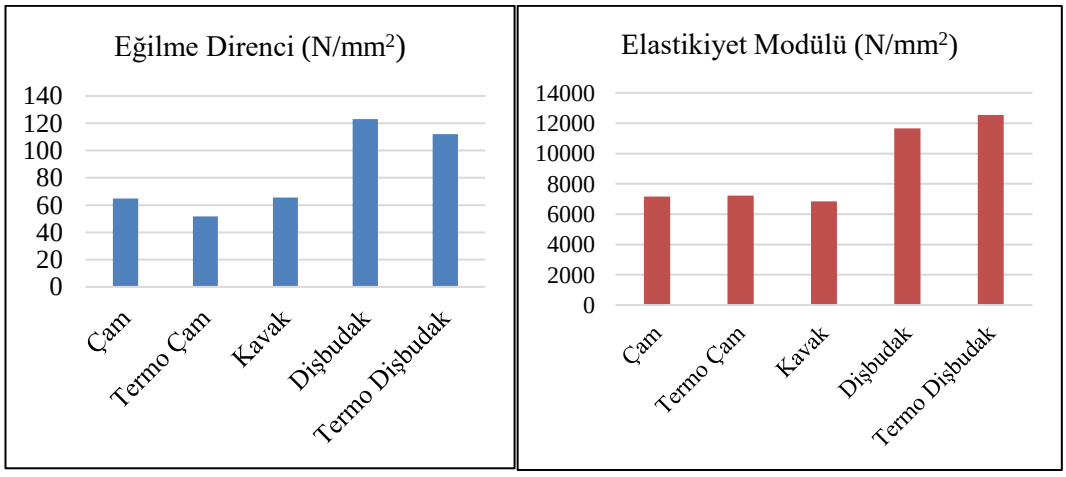
Analiz sonucunda kavak grubu orta sırada yer almış, dişbudak ile termo dişbudak grubu yer değiştirmiş, termo sarıçamın değeri yükselmiş ve ısıl işlem uygulanmış malzemelerin kavak odunu ile daha iyi bir adezyon direnci yaptığı gözlemlenebilir hale gelmiştir.

5.1.7 Ahşap Malzemelerde Üç Nokta Eğilme Deneyi ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Panel üretiminde kullanılan ahşap malzemelerin 3 nokta eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri Tablo 5.14'te, karşılaştırma grafiği ise Grafik 5.3'te görülmektedir.

Tablo 5.14 Ahşap malzemelerin 3 nokta eğilme direnci (MOR) ve elastikiyet modülü (MOE) değerleri

Ortalama Değer	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Eğilme Direnci (N/mm^2)	10	**64,85**	**51,73**	**65,63**	**122,96**	**112,12**
Varyasyon Katsayısı (%)		11,39	17,91	11,59	9,63	18,77
Elastikiyet Modülü (N/mm^2)	10	**7148,74**	**7230,76**	**6851,712**	**11665,66**	**12547,55**
Varyasyon Katsayısı (%)		14,41	15,56	12,35	13,99	7,04



Grafik 5.3 Eğilme direnci ve elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması

Deney sonucunda en yüksek eğilme direnci değeri dişbudak odununda, en düşük eğilme direnci değeri ise ısıl işlem görmüş termo sarıçam grubunda gözlemlenmiştir. Isıl işlem uygulaması sonucunda sarıçam odununun eğilme direncinde %20,23 oranında, dişbudak odununun eğilme direncinde ise %8,82 oranında bir azalış yaşandığı tespit edilmiştir. Elastikiyet modülleri incelendiğinde ise ısıl işlem uygulaması sonucunda sarıçam odununun elastikiyet modülünde %1,15 oranında, dişbudak odununun elastikiyet modülünde ise %7,56 oranında bir artış yaşandığı görülmüştür.

Demirci vd. (2016), çalışmalarında Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) ve dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odununa ısıl işlem uygulaması sonrası odunun eğilme direnci değerleri tespit edilmiştir. Sarıçam odununda ısıl işlem sonrası eğilme direnci 85,31N/mm^2'den 68,01N/mm^2'ye düşmüş, ortalama %20,28 oranında azalma meydana gelmiştir. Dişbudak odununda ise ısıl işlem sonrası eğilme direnci 138,44N/mm^2'den 137,67N/mm^2'ye düşmüş, ortalama %0,56 oranında azalma meydana gelmiştir.

Literatürde sarıçam odununun eğilme direnci 100N/mm^2, elastikiyet modülü 12.000N/mm^2 olarak, adi dişbudak odununun eğilme direnci 120N/mm^2, elastikiyet modülü 12.600N/mm^2 olarak, karakavak odununun ise eğilme direnci 77,5N/mm^2, elastikiyet modülü 9.000N/mm^2 olarak ifade edilmiştir (Dağlıoğlu, 2010). Tuncer (2014), sarıçam odununun eğilme direncinin 41N/mm^2 ile 206N/mm^2 arasında olup ortalama direncin ise 100N/mm^2 olduğunu, elastikiyet modülünün ise 6900N/mm^2 ile 20.000N/mm^2 arasında olup ortalama olarak 12.000N/mm^2 olduğunu gözlemlemiştir. Amerikan dişbudak (*Fraxinus americana*) odununun eğilme direnci 103,4N/mm^2, elastikiyet modülü 11.997N/mm^2 olarak tespit edilmiştir (Gürleyen, 2018). Sivri meyveli dişbudak (*Fraxinus oxycarpa* Willd.) odununun eğilme direnci 108,7N/mm^2, elastikiyet modülü 9590N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir (Alioğulları, 2010). Başka bir çalışmada ısıl işlem uygulanmamış sarıçam ve adi dişbudak odunlarının eğilme direnci değerleri 100N/mm^2 ve 108,7N/mm^2 olarak, ısıl işlem uygulanmış sarıçam ve adi dişbudak odunlarının eğilme direnci değerleri sırasıyla, 58,18N/mm^2 ve 61,12N/mm^2 olarak bulunmuştur (Tokdemir, 2019). Ulupınar (1998), çalışmasında sarıçam ve kavak (*Populus euramericana)* türlerinin eğilme direnci değerlerini sırasıyla

64,9N/mm^2 ve 69N/mm^2 olarak tespit etmiş, Samsun kavağı türünün eğilme direnci değerinin ise 62,1N/mm^2 olduğunu belirtmiştir. Perçin (2012) ve Suna (2019), Samsun kavağı odununun eğilme direncinin 65,15N/mm^2 olduğunu Özdemir (2020), ise 83,99N/mm^2 olduğunu ifade etmişlerdir.

Sarıçam haricindeki diğer gruplardan elde edilen değerler literatürdeki bilgiler ile paralellik göstermektedir.

Isıl işlem uygulaması eğilme dirençlerinde bir miktar düşüşe neden olmuş, bu düşüş sarıçam-termo sarıçam arasında daha fazla oranda yaşanmıştır. Elastikiyet modülleri incelendiğinde en yüksek değer termo dişbudak grubunda tespit edilmiş, en düşük değer ise kavak grubunda gözlemlenmiştir. Deney sonucu ısıl işlem uygulamasının elastikiyet modülüne olumlu önde etki ettiği ve değerlerde bir miktar artışa neden olduğu görülmüştür. Literatürde ısıl işlem esnasında boyuna traheid hücre çeperlerinde hücre çeperinin ana bileşenlerinden biri olan hemiselülozlarda bozunma meydana geldiği belirtilmiş, bu durumun malzemenin yoğunluğu, kalınlığa şişme özelliği ve eğilme dirençlerinde düşüşe neden olduğu ifade edilmiştir (Tuncer, 2014). Ayrıca çekme, basınç ve makaslama gerilmelerinin bir kombinasyonu olan eğilme direncinde meydana gelen bu düşüşün odunun elastikiyet modülü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (Aydemir, 2007; Baştuğ, 2010).

Boonstra, (2008), hemiselülozda meydana gelen bozunma, lignin hemiselüloz matriksinin yük paylaşım kapasitesinde meydana gelen bozunma ve kristalimsi selüloz molekülü miktarının genel madde miktarına kıyasla nispi artış yaşanması elastikiyet modülünün artışına katkıda bulunmaktadır. Ayıca lignin bağlarının çapraz bağlanma miktarlarındaki artış orta lamelin direnç özelliklerini ve selüloz mikrofibril/fibrilleri etrafında bulunan rijit yapıda iyileşmeler sağladığı için elastikiyet modülünü olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Ek olarak ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemelerin ısıl işlem uygulanmamış malzemelere kıyasla hücre çeperinde daha az bağlı su içermesi ve daha az higroskopik olması odunun esnekliğinde azalmalara neden olmakta ve bu durum elastikiyet modülünde artış ile sonuçlanmaktadır.

Ağaç türünün numunelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla yapılan tek yönlü anova analizi ve Duncan analizi sonuçları Tablo 5.15, Tablo 5.16 ve Tablo 5.17'de görülmektedir.

Tablo 5.15 Eğilme direnci ve elastikiyet modülü tek yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Eğilme Direnci	87,337	116,006	0,000
Elastikiyet Modülü	1.363.843,80	56,502	0,000

Çoklu varyans analizi sonucuna göre ağaç türüne göre eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri %95 güven aralığı düzeyinde birbirinden anlamlı derecede farklı olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.16 Ahşapların eğilme direnci değeri Duncan analizi

Termo Sarıçam	Sarıçam	Kavak	Termo Dişbudak	Dişbudak
A (51,73)	B (64,85)	B (65,63)	C (112,12)	D (122,96)

Duncan analizi sonucunda sarıçam ve kavak deney numuneleri arasında anlamlı derecede bir fark tespit edilememiş, diğer gruplar arasında ise anlamlı derecede bir fark gözlemlenmiştir.

Tablo 5.17 Ahşapların elastikiyet modülü değeri Duncan analizi

Kavak	Sarıçam	Termo Sarıçam	Dişbudak	Termo Dişbudak
A (6851,71)	A (7148,74)	A (7230,76)	B (11665,66)	B (12547,55)

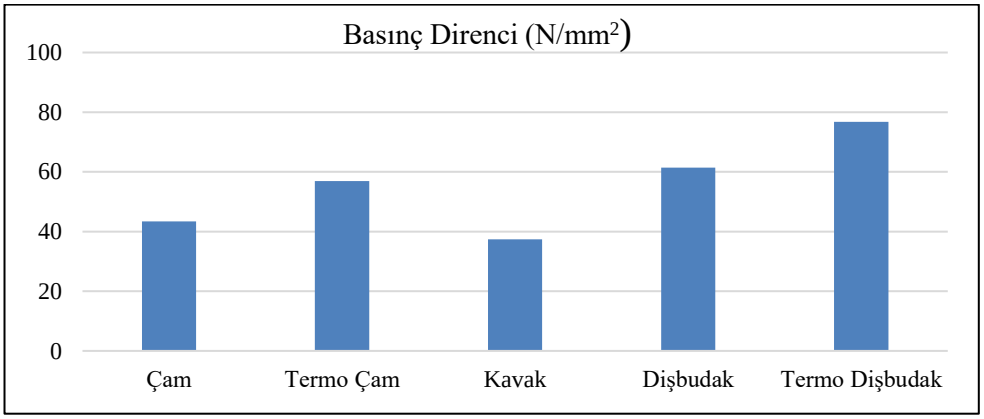
Duncan analizi sonucunda elastikiyet modülü bakımından dişbudak ile termo dişbudak bir bölgeye toplanmış, kavak-sarıçam-termo sarıçam ise diğer bir bölgeye toplanmıştır.

5.1.8 Ahşap Malzemelerde Liflere Paralel Basınç Direnci

Panel üretiminde kullanılan ahşap malzemelerin liflere paralel basınç direnci değerleri Tablo 5.18'de karşılaştırma grafiği Grafik 5.4'te görülmektedir.

Tablo 5.18 Ahşap malzemelerin liflere paralel basınç direnci değerleri

Ağaç Türü	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Ortalama (N/mm²)	10	**43,43**	**56,93**	**37,44**	**61,44**	**76,74**
Varyasyon Katsayısı (%)		9,67	3,95	7,64	7,91	12,17



Grafik 5.4 Liflere paralel basınç direnci grafiği

Deney sonucunda en yüksek değer termo dişbudak grubunda, en düşük değer ise kavak grubunda gözlemlenmiştir. Isıl işlem uygulaması sonucunda sarıçam odununun basınç direncinde %31,09 oranında, dişbudak odununun basınç direncinde ise %24,9 oranında bir artış yaşandığı gözlemlenmiştir.

Demirci vd. (2016), çalışmalarında Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) ve dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odununa ısıl işlem uygulaması sonrası odunun basınç direnci değerleri tespit edilmiştir. Sarıçam odununda ısıl işlem sonrası basınç direnci 47,64N/mm²'den 51,72N/mm²'ye yükselmiş, ortalama %8,57 oranında artış meydana gelmiştir. Dişbudak odununda ise ısıl işlem sonrası basınç direnci 69,71N/mm²'den 77,73N/mm²'ye yükselmiş, ortalama %11,51 oranında artış gözlemlenmiştir.

Amerikan dişbudak (*Fraxinus americana*) odununun liflere paralel basınç direnci 51,09N/mm² olarak tespit edilmiştir (Gürleyen, 2018). Hizal (2014), çalışmasında *Fraxinus angustifolia* türünün liflere paralel basınç direncinin bir çalışmada 58,64N/mm², başka bir çalışmada 58,80N/mm² olarak bulunduğunu, *Fraxinus excelsior* türünde 52N/mm², *Fraxinus oxycarpa* türünde ise 51,2N/mm² olarak bulunduğunu ifade etmiştir. Sarıçam odununun liflere paralel basınç direnci 55N/mm²

adi dişbudak odununun basınç direnci 52N/mm^2 karakavak odununun basınç direnci ise 34,5N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir (Dağlıoğlu, 2010). Tuncer (2014), sarıçam odununun liflere parallel basınç direncinin 35N/mm^2 ile 94N/mm^2 arasında değişim gösterdiğini gözlemlemiştir.

Ulupınar (1998), çalışmasında sarıçam ve karakavak odunlarının liflere paralel basınç dirençlerinin sırasıyla 37,9N/mm^2 ve 41,5N/mm^2 olduğunu belirtmiştir. Perçin (2012), sarıçam odununun liflere paralel basınç direncini 54N/mm^2, Samsun kavağı odununun basınç direncini 33,3N/mm^2 olarak gözlemlemiştir. Suna (2019), Samsun kavağının basınç direncinin 38,3N/mm^2 olduğunu, Özdemir (2020), ise 29,15N/mm^2 olduğunu ifade etmiştir.

Çalışma sonucu elde edilen veriler ile literatürdeki veriler paralellik göstermektedir.

Isıl işlem uygulamasının basınç direnci üzerine olumlu önde etki ettiği ve değerlerde bir miktar artışa neden olduğu görülmüştür. Literatürde ısıl işlem uygulamasının odunun basınç direnci, sertlik ve rijitlik gibi direnç özelliklerinde iyileşmelere neden olduğu belirtilmiştir (Mayes ve Oksanen, 2002; Viitaniemi, 2000; Yıldız, 2002). Baydağ, (2014) ve Çalıova, (2011), ısıl işlem uygulanmış malzemelerde basınç direnci radyal yönde azalma, teğet yönde az miktarda artma gösterirken boyuna yönde önemli miktarda artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Boyuna yönde yaşanan artışın ahşap içerisindeki bağlı su miktarının azalmasından kaynaklandığını belirtmiş ayrıca, ısıl işlem uygulaması sonucu amorf selülozun bozunması ve/veya kristalleşmesi sonucunda yüksek derecede düzenli kristalimsi selüloz miktarında artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Kristalimsi selülozun anizotropik bir yapı sergilediği ve rijit yapısı nedeniyle boyuna yönde basınç direncinin artmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Ek olarak ısıl işlem sonucu lignin polimer ağının çapraz bağlarında artış olduğu ve odundaki bağlı su miktarında azalış yaşandığı ve bu durumun boyuna yöndeki basınç direncini arttırıcı etki gösterdiği belirtilmiştir.

Ağaç türünün numunelerin basınç direnci özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla yapılan tek yönlü anova analizi ve Duncan analizi sonuçları Tablo 5.19 ve Tablo 5.20'de görülmektedir.

Tablo 5.19 Liflere paralel basınç direnci tek yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Liflere Paralel Basınç Direnci	31,499	76,210	0,000

Anova analizi sonucuna göre ağaç türüne göre liflere paralel basınç direnci değerleri %95 güven aralığı düzeyinde birbirinden anlamlı derecede farklı olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.20 Ahşap malzemelerin liflere paralel basınç direnci Duncan analizi

Kavak	Sarıçam	Termo Sarıçam	Dişbudak	Termo Dişbudak
A (37,44)	B (43,43)	C (56,93)	C (61,45)	D (76,74)

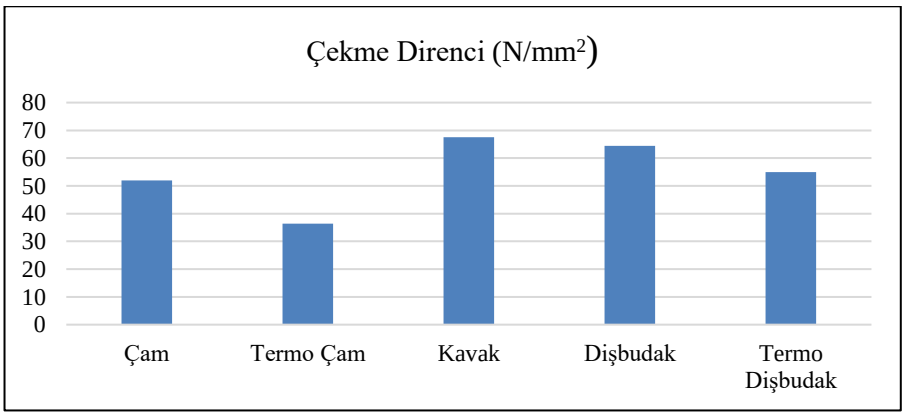
Analiz sonucunda termo sarıçam ile dişbudak grubu aynı bölgede toplanmışlardır.

5.1.9 Ahşap Malzemelerde Liflere Paralel Yönde Çekme Direnci

Panel üretiminde kullanılan ahşap malzemelerin liflere paralel çekme direnci değerleri Tablo 5.21'de kıyaslama grafiği Grafik 5.5'de görülmektedir.

Tablo 5.21 Ahşap malzemelerin liflere paralel çekme direnci değerleri

Ağaç Türü	Numune Adedi	Sarıçam	Termo Sarıçam	Kavak	Dişbudak	Termo Dişbudak
Ortalama (N/mm^2)	10	**51,94**	**36,44**	**67,48**	**64,45**	**54,90**
Varyasyon Katsayısı (%)		6,35	13,61	11,98	15,08	11,69



Grafik 5.5 Liflere paralel çekme direnci grafiği

Deney sonucunda en yüksek değer kavak odununda, en düşük değer ise termo sarıçam odununda gözlemlenmiştir. Isıl işlem uygulaması sonucunda sarıçam odununun çekme direncinde %29,84 oranında, dişbudak odununun çekme direncinde ise %14,82 oranında bir azalış yaşandığı tespit edilmiştir.

Demirci vd. (2016), çalışmalarında Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) ve dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odununa ısıl işlem uygulaması sonrası sarıçam odununun çekme direnci 43,81N/mm^2'den 36,49N/mm^2'ye düşmüş, ortalama %16,71 oranında azalma meydana gelmiştir. Dişbudak odununda ise ısıl işlem sonrası çekme direnci 71,21N/mm^2'den 69,25N/mm^2'ye düşmüş, ortalama %2,75 oranında azalma meydana gelmiştir.

Tuncer (2014), sarıçam odununun liflere paralel çekme direncinin 35N/mm^2 ile 196N/mm^2 arasında değiştiğini ifade etmiştir. Dağlıoğlu (2010), sarıçam odununun çekme direnci 119N/mm^2 adi dişbudak odununun 165N/mm^2 karakavak odununun 89N/mm^2 olarak gözlemlemiştir. *Fraxinus oxycarpa* Willd. Odununun liflere paralel çekme direnci 102,3N/mm^2 olarak tespit edilmiştir (Alioğulları, 2010). Perçin (2012), sarıçam odununun çekme direnci 102N/mm^2 olarak, Özdemir (2020) ise *Populus euramericana* odununun çekme direncini 87,8N/mm^2 olarak tespit etmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen değerler literatürdeki değerlerden düşük olarak gözlemlenmiştir.

Isıl işlem uygulaması çekme direnci üzerine olumsuz yönde etki etmiş ve değerlerde bir miktar azalışın olduğu görülmektedir. Literatürde ısıl işlem uygulamasının selüloz polimerinin depolimerizasyonuna sebep olan amorf selülozun az miktarda fakat dikkate değer bozunmasına neden olduğu belirtilmiş, bu durumun ısıl işlem uygulanmış odunun çekme direncinin azalmasındaki ana sebeplerden birisi olduğu ifade edilmiştir (Çalıova, 2011; Ulucan, 2012). Poncsak vd. (2006), ayrıca kristalimsi selüloz aşırı düzenli ve rijit yapısı nedeniyle amorf selüloza kıyasla daha kırılgan ve daha esnek bir yapı sergilemektedir. Bu sebeple kristalimsi selüloz miktarında yaşanacak artışın malzemelerin çekme direnci üzerine olumsuz yönde bir etki edeceği ifade edilmektedir.

Ağaç türünün numunelerin liflere paralel çekme direnci özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla yapılan tek yönlü anova analizi ve Duncan analizi sonuçları Tablo 5.22 ve Tablo 5.23'de görülmektedir.

Tablo 5.22 Liflere paralel çekme direnci tek yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Liflere Paralel Çekme Direnci	52,554	28,485	0,000

Anova analizi sonucuna göre ağaç türüne göre liflere paralel çekme direnci değerleri %95 güven aralığı düzeyinde birbirinden anlamlı derecede farklı olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.23 Ahşap malzemelerin liflere paralel çekme direnci Duncan analizi

Termo Sarıçam	Sarıçam	Termo Dişbudak	Dişbudak	Kavak
A (36,45)	B (51,94)	B (54,90)	C (64,45)	C (67,48)

Analiz sonucunda kavak ve dişbudak türlerinin aynı bölgede, sarıçam ve termo dişbudak türlerinin ise diğer bir bölgede toplandığı gözlemlenmiştir.

5.2 Üretilen ÇLK Panellerin Teknolojik Özellikleri

5.2.1 ÇLK Panellerin Hava Kurusu Yoğunluk, Tam Kuru Yoğunluk ve Hava Kurusu Rutubetlerin Belirlenmesi

Üretilen panellerden deneyler sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.24, Tablo 5.25 ve Tablo 5.26'da görülmektedir. Deneylerde beşer adet 45 ve 90 derece grubundan olmak üzere toplam 10 adet numune kullanılmıştır. Orta tabaka açı değişiminin yoğunluk üzerine etkisinin olmayacağı düşünüldüğü için ayrı ayrı hesaplama yapılmamıştır.

Tablo 5.24 ÇLK panellerin tam kuru yoğunlukları

Panel Türü	Numune Adedi	S 90-45	TS 90-45	K 90-45	D 90-45	TD 90-45
Ortalama (g/cm^3)	10	**0,426**	**0,400**	**0,380**	**0,587**	**0,502**
Varyasyon Katsayısı (%)		4,93	3	4,74	2,56	7,57

Deneyler sonucunda en düşük tam kuru yoğunluk K 90-45 grubu panellerde gözlemlenmiştir. Diğer gruplarda ise azdan çoğa doğru tam kuru yoğunluklar sırası ile TS 90-45, S 90-45, TD 90-45 ve D 90-45 gruplarında gözlemlenmiştir. S 90-45 grubu ile TS 90-45 grubu arasında yoğunluk bakımından %6,1 oranında azalma, D 90-45 ile TD 90-45 grubu arasında ise %14,48 oranında azalma meydana geldiği görülmüştür.

Tablo 5.25 ÇLK panellerin hava kurusu yoğunlukları

Panel Türü	Numune Adedi	S 90-45	TS 90-45	K 90-45	D 90-45	TD 90-45
Ortalama (g/cm^3)	10	**0,459**	**0,411**	**0,408**	**0,627**	**0,522**
Varyasyon Katsayısı (%)		4,36	2,68	4,66	2,07	7,28

Deneyler sonucunda en düşük hava kurusu yoğunluk K 90-45 grubu panellerde gözlemlenmiştir. Diğer gruplarda ise azdan çoğa doğru hava kurusu yoğunluklar sırası ile TS 90-45, S 90-45, TD 90-45 ve D 90-45 gruplarında tespit edilmiştir. Serrano ve Enquist (2010), KLH firmasından temin ettikleri ladin odunu kullanılarak üretilen ÇLK panellerin %12 rutubetteki yoğunluğunu 0,427g/cm^3 olarak bulmuşlardır. Xu vd. (2021), Japon melezi (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) odunu kullanılarak üretilen ÇLK panellerin %10,1 rutubetteki yoğunluğunu 0,58g/cm^3 olarak gözlemlemişlerdir. Ehrhart vd. (2015), çalışmalarında sarıçam, adi dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.), ladin (*Picea abies* L.) ve kavak (*Populus* spp.) odunu kullanarak ürettikleri ÇLK panellerin yoğunluklarını dişbudakta 0,708g/cm^3, sarıçamda 0,441g/cm^3, ladinde 0,438g/cm^3 ve kavakta 0,393g/cm^3 olarak tespit etmişlerdir. Literatür bilgileri ile elde edilen veriler benzerlik göstermektedir.

Tablo 5.26 ÇLK panellerin hava kurusu rutubet yüzdeleri

Panel Türü	Numune Adedi	S 90-45	TS 90-45	K 90-45	D 90-45	TD 90-45
Ortalama (%)	10	**11,48**	**6,65**	**10,96**	**10,75**	**5,98**
Varyasyon Katsayısı (%)		1,47	6,3	3,14	1,3	5,18

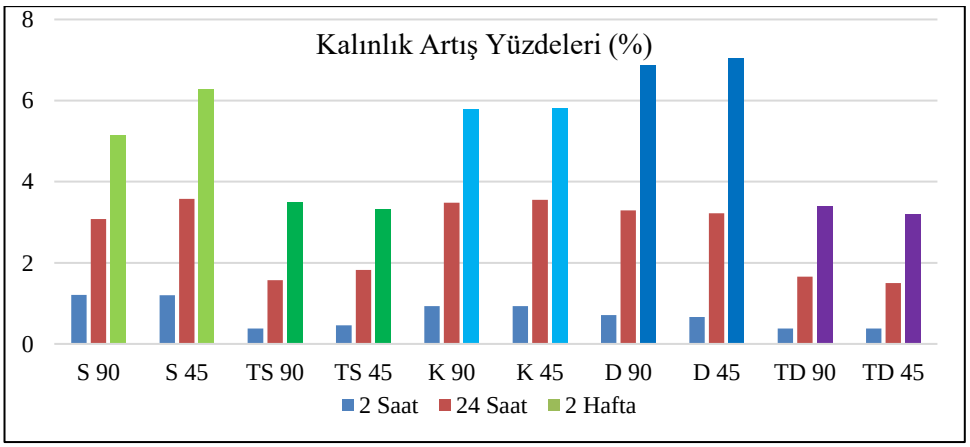
Hava kurusu rutubet yüzdeleri incelendiğinde S 90-45 grubu panellerin en fazla rutubet içerdiği, sonrasında sırasıyla K 90-45 ve D 90-45 grubu panellerinin geldiği gözlemlenmiştir. En düşük rutubet yüzdesi TD 90-45 grubunda görülmüştür.

5.2.2 ÇLK Panellerin Suda Bekletme Sonrası Kalınlık ve Ağırlık Artış Yüzdeleri

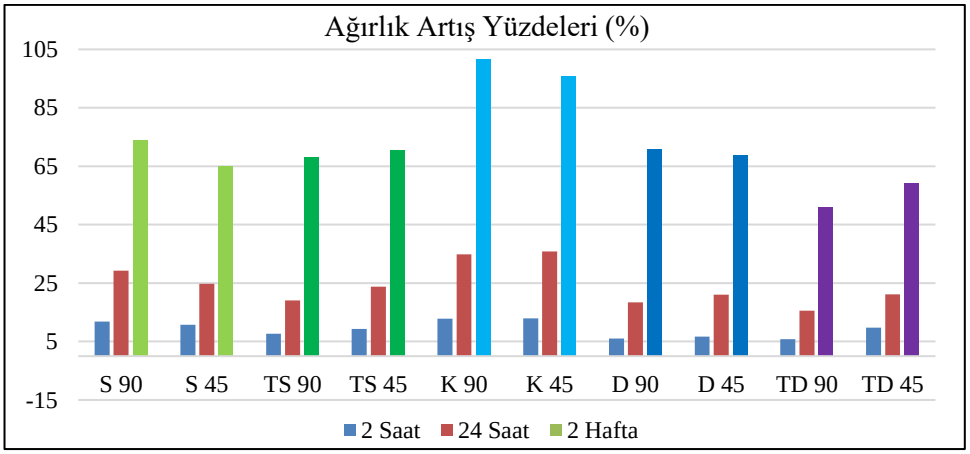
Üretilen ÇLK panellerin 2 saat, 24 saat ve 336 saat suda bekleme sonrası ağırlık ve kalınlık artışları Tablo 5.27'de karşılaştırma grafiği Grafik 5.6'da ve Grafik 5.7'de görülmektedir.

Tablo 5.27 ÇLK panellerin 2 saat, 24 saat ve 2 hafta suda bekleme sonrası ortalama ağırlık ve kalınlık artışları ile varyasyon katsayısı (%) değerleri

Numune Grubu	Numune Sayısı	Kalınlık Artış Yüzdeleri Ortalaması (%)			Ağırlık Artış Yüzdeleri Ortalaması (%)		
		2 Saat	24 Saat	2 Hafta	2 Saat	24 Saat	2 Hafta
S 90	10	**1,21** (31,8)	**3,08** (18,49)	**5,13** (20,43)	**11,81** (10,62)	**29,29** (24,84)	**73,83** (5,18)
S 45	10	**1,204** (18,37)	**3,58** (14,78)	**6,27** (17,76)	**10,74** (15,56)	**24,74** (11,81)	**64,92** (2,83)
TS 90	10	**0,38** (13)	**1,57** (10,9)	**3,49** (2,18)	**7,648** (7,8)	**19,12** (6,57)	**68,15** (5,38)
TS 45	10	**0,46** (13,69)	**1,82** (1,9)	**3,31** (3,75)	**9,34** (16,44)	**23,8** (9,21)	**70,62** (9,98)
K 90	10	**0,93** (8,7)	**3,48** (3,23)	**5,78** (7,67)	**12,84** (13,26)	**34,82** (27,05)	**101,52** (11,20)
K 45	10	**0,93** (9,33)	**3,55** (5,34)	**5,8** (3,77)	**12,9** (8,74)	**35,83** (11,46)	**95,62** (6,55)
D 90	10	**0,71** (28,54)	**3,29** (20,17)	**6,86** (17,12)	**6,001** (6,37)	**18,41** (10,79)	**70,68** (4,47)
D 45	10	**0,66** (34,75)	**3,22** (10,68)	**7,04** (13,54)	**6,67** (3,71)	**21,06** (5,18)	**68,69** (3,75)
TD 90	10	**0,382** (4,66)	**1,66** (9,85)	**3,39** (6,64)	**5,8** (9,97)	**15,55** (5,38)	**50,99** (7,56)
TD 45	10	**0,38** (13,3)	**1,5** (7,36)	**3,2** (5,43)	**9,81** (40,28)	**21,17** (18,19)	**59,06** (8,45)



Grafik 5.6 Suda bekleme sonrası numunelerdeki kalınlık artış yüzdeleri (%)



Grafik 5.7 Suda bekleme sonrası numunelerdeki ağırlık artış yüzdeleri (%)

2 saat suda bekleme sonrası en fazla kalınlık artışı S 45 ve S 90 grubunda, en fazla ağırlık artışı ise K 45 grubunda gözlemlenmiştir. 24 saat suda bekleme sonrası ise en fazla kalınlık artışı S 45 ve K 45 grubunda, en fazla ağırlık artışı ise K 90 ve K 45 grubunda tespit edilmiştir. 2 hafta suda bekleme sonrası en fazla kalınlık artışı D 90 ve D 45 grubunda, en fazla ağırlık artışı ise K 90 ve K 45 grubunda meydana gelmiştir.

Mohd Yusof vd. (2019), çalışmalarında *Acacia mangium* türü odunundan poliüretan tutkalı kullanarak ürettikleri ÇLK panelin 24 saatlik su alma yüzdesini %7,81 olarak, kalınlığına şişme yüzdesini ise %1,05 olarak gözlemlemişleridir. Fenol resorsinol formaldehit tutkalı kullanımında ise bu değerlerde azalmalar görülmüş ve poliüretan tutkalının suyun neden olduğu değişimlerden daha fazla etkilendiği tespit edilmiştir. Srivaro vd. (2021a), çalışmalarında Parair kauçuk ağacı (*Hevea brasiliensis*) odunu kullanılarak ve 0,5N/mm^2; 1N/mm^2 ve 2N/mm^2 pres basıncı uygulanarak üretilen ÇLK panellerin 2 hafta suda bekletme sonrası kalınlık artışı değerlerini sırasıyla %2,5; %3,6 ve %5,1 oranlarında su alma değerlerini ise %63 civarında, üretimde kullanılan kerestenin kalınlık artışının ise %2,8 olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışma sonucunda pres basıncı artışı ile kalınlığına şişme oranlarında anlamlı derecede bir artış yaşandığı, bu artışın artan pres basıncı ile panel içerisinde iç stresin oluştuğu, bu iç stresin odunda artan rutubet nedeniyle azaldığı ve bu durumun panelin kalınlığında artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Pres basıncı ile kalınlık artışı arasında lineer bir ilişki olduğu görülmüştür. 24 saatlik kalınlık artışı %1,5 ile 3 arasında, ağırlık artışı ise %30 oranında tespit edilmiştir. Srivaro vd. (2021b), yaptıkları çalışmada Hindistan cevizi ağacı odunu kullanarak 0,678g/cm^3 ve 0,977 g/cm^3 ortalama yoğunluklarda 2 farklı

ÇLK panel üretmişler, bu panelin 24 saatlik kalınlık artışı değerlerini ortalama %2,4 olarak tespit etmişlerdir. Ağırlık artışlarında ise yoğunluk ile negatif yönde lineer bir ilişki görülmüş, 0,678g/cm^3 yoğunluktaki ÇLK panelde %20 oranında, 0,977 g/cm^3 yoğunluktaki ÇLK panelde ise %11 oranında ağırlık artışı tespit edilmiştir. Bu durumun nedeninin ise düşük yoğunluklu odunun daha yüksek porozite sahip olması ve bu durumun su penetrasyonunu arttırması teorisine dayanması olduğu belirtilmiştir. Kalınlık artışında ise böyle bir ilişkiye rastlanılmamıştır. Hu vd. (2022), ÇLK panel üretiminde yapışma kalitesi bakımından 0,7 N/mm^2 pres basıncının üretim için yeterli olduğunu, daha yüksek basınçta ise malzemede stres oluşumu gözlemlendiğini belirtmiştir.

Panel türü ve farklı sürelerde suda bekleme uygulamasının numunelerin kalınlık-ağırlık artışı özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla Tablo 5.28'de iki yönlü anova analizi sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.28 Kalınlık-ağırlık artışı iki yönlü anova analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı			**Ortalama Kare (Hata)**	**F değeri**	**Önem Düzeyi**
Kalınlık Artışları	**2 Saat**	Panel Türü [a]	0,031	38,36	**0**
		Çalışma Grubu [a]		0,003	0,955
		Panel Türü * Çalışma Grubu [a]		0,19	0,942
	24 Saat	Panel Türü [c]	0,127	69,204	**0**
		Çalışma Grubu [c]		4,599	**0,038**
		Panel Türü * Çalışma Grubu [c]		1,761	0,156
	2 Hafta	Panel Türü [e]	0,497	54,001	**0**
		Çalışma Grubu [e]		4,338	**0,044**
		Panel Türü * Çalışma Grubu [e]		1,301	0,286
Ağırlık Artışları	**2 Saat**	Panel Türü [b]	2,754	21,039	**0**
		Çalışma Grubu [b]		2,301	0,137
		Panel Türü * Çalışma Grubu [b]		5,357	**0,001**
	24 Saat	Panel Türü [d]	18,066	21,005	**0**
		Çalışma Grubu [d]		0,807	0,374
		Panel Türü * Çalışma Grubu [d]		2,209	0,085
	2 Hafta	Panel Türü [f]	29,644	75,336	**0**
		Çalışma Grubu [f]		3,496	0,069
		Panel Türü * Çalışma Grubu [f]		4,647	**0,004**
a.R^2= 0,794 (Düzenlenmiş R^2= 0,748)			b.R^2= 0,730 (Düzenlenmiş R^2= 0,669)		
c.R^2= 0,878 (Düzenlenmiş R^2= 0,851)			d.R^2= 0,701 (Düzenlenmiş R^2= 0,633)		
e.R^2= 0,849 (Düzenlenmiş R^2= 0,815)			f.R^2= 0,890 (Düzenlenmiş R^2= 0,865)		

Anova analizi sonucunda panel türleri arasında kalınlık ve ağırlık artışları bakımından %95 güven aralığı düzeyinde anlamlı derecede bir fark olduğu, çalışma grupları (90 ve 45 grupları) kıyaslandığında ise 24 saat ve 2 hafta grubunda kalınlık artışı bakımından anlamlı derecede bir fark olduğu lakin bu ilişkinin zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Diğer bakımlardan anlamlı derecede fark tespit edilememiştir. Kalınlık ve ağırlık artışları bakımından Duncan analizleri Tablo 5.29 - Tablo 5.32 arasında görülmektedir.

Tablo 5.29 Kalınlık artış yüzdesi süreye bağlı Duncan analizi

Numune Grubu	2 Saat	24 Saat	2 Hafta
S 90	A (1,21)	B (3,08)	C (5,13)
S 45	A (1,21)	B (3,6)	C (6,27)
TS 90	A (0,39)	B (1,5)	C (3,15)
TS 45	A (0,47)	B (2,07)	C (3,24)
K 90	A (0,88)	B (3,32)	C (5,33)
K 45	A (0,87)	B (3,39)	C (6,06)
D 90	A (0,71)	B (3,3)	C (6,87)
D 45	A (0,66)	B (3,24)	C (7,08)
TD 90	A (0,36)	B (1,46)	C (3,44)
TD 45	A (0,36)	B (1,46)	C (3,34)

Süreye bağlı Duncan analizi sonucunda 2 saat, 24 saat ve 2 haftalık suda bekletme deneyi sonucunda elde edilen kalınlık artış yüzdesi değerleri sırasıyla A, B ve C gruplarında toplanmıştır.

Tablo 5.30 Kalınlık artış yüzdesi çalışma gruplarına bağlı Duncan analizi

Çalışma Grubu	Süre	S	TS	K	D	TD
90 Derece Grubu	**2 Saat**	B (1,21)	A (0,39)	AB (0,88)	AB (0,71)	A (0,36)
	24 Saat	B (3,08)	A (1,5)	B (3,32)	B (3,3)	A (1,46)
	2 Hafta	B (5,13)	A (3,15)	B (5,33)	C (6,87)	A (3,44)
45 Derece Grubu	**2 Saat**	B (1,21)	A (0,47)	AB (0,87)	AB (0,66)	A (0,36)
	24 Saat	B (3,6)	A (2,07)	B (3,39)	B (3,24)	A (1,46)
	2 Hafta	B (6,27)	A (3,24)	B (6,06)	C (7,08)	A (3,34)

Çalışma gruplarına bağlı Duncan analizi sonucunda değerler A, B ve C grupları arasında dağılmıştır.

Tablo 5.31 Ağırlık artış yüzdesi süreye bağlı Duncan analizi

Numune Grubu	2 Saat	24 Saat	2 Hafta
S 90	A (11,81)	B (29,25)	C (73,75)
S 45	A (10,7)	B (24,73)	C (65,21)
TS 90	A (7,7)	B (19,45)	C (67,08)
TS 45	A (8,89)	B (23,7)	C (68,8)
K 90	A (12,88)	B (33,29)	C (101,43)
K 45	A (11,19)	B (31,83)	C (89,45)
D 90	A (6)	B (18,76)	C (70,57)
D 45	A (6,7)	B (21)	C (68,73)
TD 90	A (10,03)	B (14,66)	C (51,05)
TD 45	A (10,03)	B (19,56)	C (57,29)

Süreye bağlı Duncan analizi sonucunda 2 saat, 24 saat ve 2 haftalık suda bekletme deneyi sonucunda elde edilen ağırlık artış yüzdesi değerleri sırasıyla A, B ve C gruplarında toplanmıştır.

Tablo 5.32 Ağırlık artış yüzdesi çalışma gruplarına bağlı Duncan analizi

Çalışma Grubu	Süre	S	TS	K	D	TD
90 Derece Grubu	**2 Saat**	B (11,8)	AB (7,7)	C (12,9)	AB (6)	A (5,5)
	24 Saat	D (29,3)	C (19,4)	D (29,3)	AB (18,8)	A (14,7)
	2 Hafta	C (73,8)	B (67,1)	D (101,4)	BC (70,6)	A (51,1)
45 Derece Grubu	**2 Saat**	A (10,7)	A (8,9)	A (11,2)	A (6,7)	A (10)
	24 Saat	C (24,7)	B (23,7)	D (31,8)	B (21)	AB (19,6)
	2 Hafta	B (65,2)	BC (68,8)	D (89,4)	BC (68,7)	A (57,3)

Çalışma gruplarına bağlı Duncan analizi sonucunda değerler A, B, C ve D grupları arasında dağılmıştır.

Srivaro vd. (2021b), ağırlık artışı ile yoğunluk arasında negatif yönde doğrusal bir ilişki olduğunu belirtmiştir. 90 derece ve 45 derece grupları arasında ağırlık artışı bakımından anlamlı derecede fark olmamasının bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Purba vd. (2022), 3 tabakalı ÇLK panellerde dış tabakaların bağımsız bölgelerinin orta tabakaya kıyasla daha çok olmasından dolayı dış tabakalardaki odunun çalışmasının daha kolay olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum sonucunda rutubet değişimine bağlı olarak enine yönde uzanan orta tabakanın çalışması boyuna yönde uzanan ve anizotropik yapıdaki dış tabakalar tarafından engellenerek orta tabakadaki ahşap malzemenin yüksek oranda basınç direncine maruz kalmakta olduğu görülmüştür. Bozkurt ve Erdin (2011), ahşap malzemelerin rutubet

değişimine bağlı boyuna yöndeki daralmasının nadiren %0,4'ü aştığını ve genellikle bu değerin altında olduğunu belirtmişlerdir. Kontrol ve deney grupları arasında kalınlık artışı bakımından anlamlı derecede fark oluşu enine yönde uzanan orta tabakanın yönünün boyuna yöne doğru yaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.2.3 ÇLK Panellerde Su Buharı İletimi

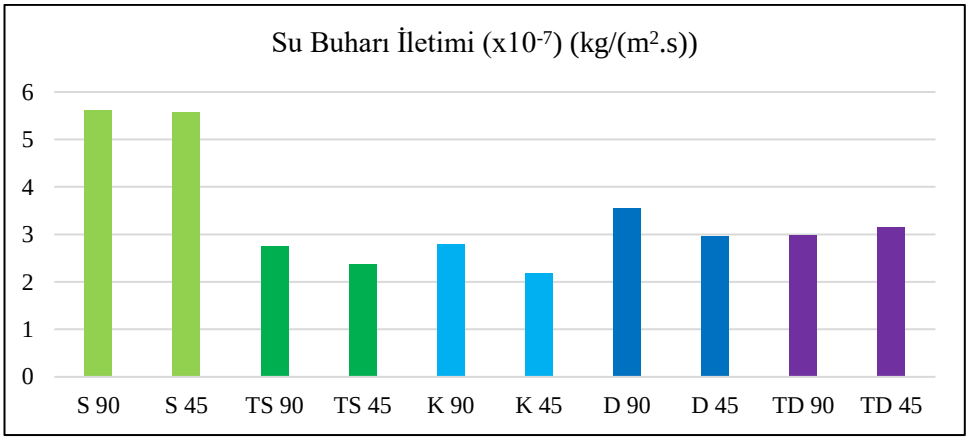
Üretilen ÇLK panellerin %20 bağıl nem içeren ortamdaki su buharı iletim oranları Tablo 5.31'de, su buharı iletim deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan su buharı geçirgenliği değerleri Tablo 5.32'de karşılaştırma grafiği Grafik 5.8'de görülmektedir.

Tablo 5.33 Panellerde su buharı iletim oranları

Numune Grubu	Numune Adedi	Ortalama Değer (kg/(m^2.s))	Varyasyon Katsayısı (%)
S 90	5	**5,603x10^{-7}**	3,12
S 45	5	**5,578x10^{-7}**	6,8
TS 90	5	**2,742x10^{-7}**	11,58
TS 45	5	**2,359x10^{-7}**	18,54
K 90	5	**2,801x10^{-7}**	14,89
K 45	5	**2,182x10^{-7}**	16,77
D 90	5	**3,539x10^{-7}**	2,5
D 45	5	**2,949x10^{-7}**	11,77
TD 90	5	**2,986x10^{-7}**	12,64
TD 45	5	**3,155x10^{-7}**	9,62

Tablo 5.34 Panellerde su buharı permeabilitesi

Numune Grubu	Numune Adedi	Ortalama Değer (kg/(m2.s.Pa))	Varyasyon Katsayısı (%)
S 90	5	**14,63x10^{-12}**	4,56
S 45	5	**14,57x10^{-12}**	9,74
TS 90	5	**7,16x10^{-12}**	11,58
TS 45	5	**5,91x10^{-12}**	18,54
K 90	5	**7,32x10^{-12}**	14,89
K 45	5	**5,47x10^{-12}**	16,77
D 90	5	**9,24x10^{-12}**	11,74
D 45	5	**7,70x10^{-12}**	15
TD 90	5	**7,80x10^{-12}**	14,13
TD 45	5	**7,91x10^{-12}**	9,62



Grafik 5.8 Panellerde su buharı iletimi grafiği

En yüksek su buharı iletim oranı S 45 grubunda, en düşük su buharı iletim oranı ise K 45 grubunda gözlemlenmiştir.

Alsayegh (2012), çalışmasında %50 bağıl nem ortamındaki ÇLK göknar panellerin su buharı permeabilitesini $4{,}28x10^{-12}$ (kg/(m^2.s.Pa)) olarak, Doğu ladini-çam-göknar hibrit ÇLK panellerin su buharı permeabilitesini $4{,}28x10^{-12}$ (kg/(m^2.s.Pa)) olarak, batı ladini-çam-göknar hibrit ÇLK panellerin su buharı permeabilitesini $3{,}83x10^{-12}$ (kg/(m^2.s.Pa)) olarak, Avrupa ladini ÇLK panellerin su buharı permeabilitesini ise $6{,}03x10^{-12}$ (kg/(m^2.s.Pa)) olarak tespit etmiştir.

Literatürde sarıçam odununun permeabilitesi yüksek odunlar grubunda yer aldığı belirtilmiştir. Ek olarak bu odunun gaz permeabilitesinin sıvı permeabilitesinden daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (Keskinkol, 1996).

Bakır (2019), sarıçam odununda 60°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yapısında bulunan reçinenin akışkan hale geldiği ve bu reçinenin odun içerisinde yeniden yayıldığı ve bu durum sonucunda öz ışını paranşim hücreleri içerisinde ve hücre çeperleri üzerinde var olan depo maddeleri etkilenerek ahşap malzemenin permeabilitesinde azalmalara neden olabileceği görülmüştür. Ayrıca, yapılan kurutma işlemi esnasında geçit zarının aspire olduğu, öz odunda ekstraktif maddelerin adezyonu, kapiler kuvvetler ve hidrojen bağlarının etkisi sonucunda geçit porusu ve geçit zarı arasında sızdırmaz ve kapalı bir yapının oluştuğu gözlemlenmiştir.

Permeabilitenin geniş yapraklı ve iğne yapraklı ağaç türleri arasında farklılık gösterdiği belirtilmiş, bu farklılığın odun yapısındaki anatomik özelliklerin farklı olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir (Bakır, 2019). Aynı ağaç türleri arasında bile anatomik yapı kaynaklı olarak permeabilite farklılıklarının olabileceği gözlemlenmiştir (Keskinkol, 1996). Ayrıca, diri ve öz odunun sahip olduğu yoğunluk, kenarlı geçit yapısı, traheidler ve reçine kanalları gibi bazı özellikler odunun permeabilitesinde değişimlere neden olmaktadır (Bakır, 2019).

Isıl işlemin odun üzerindeki etkilerinden bir tanesinin de odunun permeabilitesinde artış olduğu ifade edilmiştir (Mayes ve Oksanen, 2002; Viitaniemi, 2000). Ayrıca permeabiliteyi arttırma yöntemlerinden bir tanesinin ahşap malzemeye buhar uygulaması olduğu belirtilmiştir (Bakır, 2019).

Panel türü ve çalışma grubunun (90 ve 45 grubu) numunelerin su buharı iletim özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla yapılan iki yönlü anova analizi sonuçları Tablo 5.33'te görülmektedir.

Tablo 5.35 Su buharı iletimi iki yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Doğrulanmış Model	1,38E-15	55,419	0,000
Kesişme		0,000	1,000
Çalışma Grubu		0,000	1,000
Panel Türü		0,000	1,000
Çalışma Grubu*Panel Türü		0,000	1,000

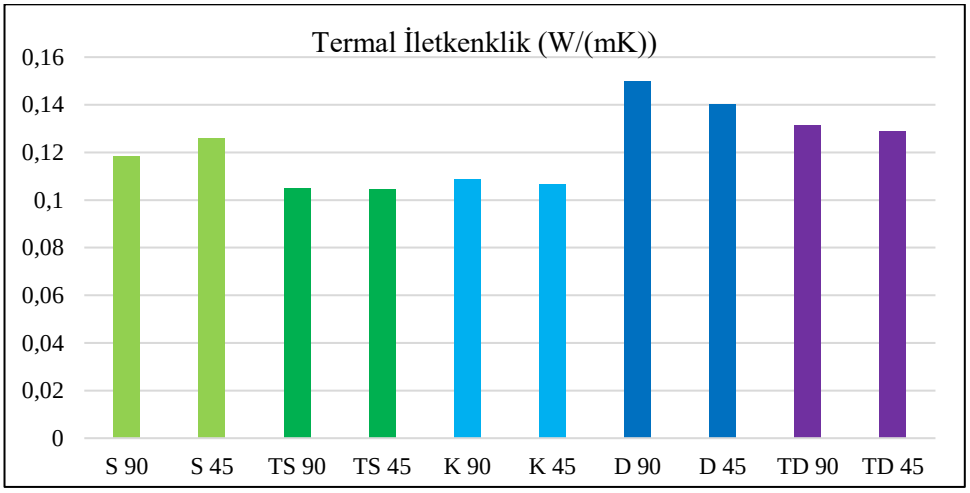
Anova analizi sonucunda %95 güven aralığı düzeyinde anlamlı derecede farkların olmadığı gözlemlenmiştir. Fark bulunmadığı için Duncan analizi yapılmamıştır.

5.2.4 ÇLK Panellerin Termal İletkenliği

Üretilen ÇLK panellerin ortalama 23ºC'deki termal iletkenlik değerleri Tablo 5.34'te karşılaştırma grafiği Grafik 5.9'da görülmektedir.

Tablo 5.36 ÇLK panellerin termal iletkenlik değerleri

Numune Grubu	Numune Adedi	Ortalama Değer (W/(mK))	Varyasyon Katsayısı (%)
S 90	3	**0,1185**	1,27
S 45	3	**0,1260**	0,95
TS 90	3	**0,1050**	2,86
TS 45	3	**0,1045**	0,48
K 90	3	**0,1085**	1,38
K 45	3	**0,1065**	1,41
D 90	3	**0,1500**	2,67
D 45	3	**0,1400**	0,71
TD 90	3	**0,1315**	1,14
TD 45	3	**0,1290**	3,88



Grafik 5.9 Panellerin termal iletkenlik değerleri grafiği

En yüksek termal iletkenlik D 90 grubunda gözlemlenmiş, en düşük iletkenlik ise TS 90 grubunda gözlemlenmiştir. Termal iletkenlik bakımından S 90 ile TS 90 grupları arasında %12,86 oranında, S 45 ile TS 45 grupları arasında %20,57 oranında azalma, D 90 ile TD 90 arasında ise %14,07 oranında, D 45 ile TD 45 arasında ise %8,52 oranında azalma meydana geldiği görülmüştür. Esteves ve Pereira (2009), ısıl işlem uygulanmış iğne yapraklı odun türlerinde termal iletkenliğin %20-25 civarında azaldığı gözlemlenmiş ve bu durumun pencere, dış kapı, sauna gibi ortamlarda avantaj sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Öztürk vd. (2020), orta tabakası 90 derece ve 45 derece açılı Doğu ladini (*Picea orientalis* L.) ÇLK panellerin termal iletkenliğini sırası ile 0,1032W/(mK) ile 0,1015W/(mK) olarak tespit etmişler, orta tabaka 45 derece açı uygulamasında değerin azaldığını ifade etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada da S 45 grubu haricinde kalan gruplarda 45 derece uygulamasının termal iletkenliği azalttığı gözlemlenmiştir.

Alsayegh (2012), çalışmasında göknar ÇLK panellerin termal iletkenliğini 0,113W/(mK), Doğu ladini-çam-göknar hibrit ÇLK panellerin termal iletkenliğini 0,106W/(mK), Batı ladini-çam-göknar hibrit ÇLK panellerin termal iletkenliğini 0,117W/(mK) olarak tespit etmiştir. Tripathi ve Rice (2019), ladin ÇLK panellerin termal iletkenlik değerini 0,105W/(mK) olarak, Weissensteiner ve Barbu (2013), ise 0,098W/(mK) olarak tespit etmişlerdir. Kukk vd. (2022), Norveç ladini-Uludağ göknarı hibrit ÇLK panelin termal iletkenlik değeri 0,13W/(mK) olarak tespit etmişlerdir. Cho vd. (2019), melez (*Larix* Mill.) ağaç odunu kullanarak ürettikleri ÇLK panellerin termal iletkenlik değerini 0,163W/(mK) olarak tespit etmişlerdir.

Anonim (2010), Amerikan dişbudak odununun hava kurusu rutubetteki termal iletkenliğinin 0,17W/(mK), Amerikan kavağı (*Populus deltoides* L.) odununun hava kurusu rutubetteki termal iletkenliğinin 0,12W/(mK) olduğu belirtilmiştir. Seo vd. (2016), çalışmalarında sarıçam odununun termal iletkenliğinin 0,111W/(mK), dişbudak odununun ise 0,163W/(mK) olduğunu görmüşlerdir.

Isıl işlem uygulamasının termal iletkenlikte azalmaya neden olduğu görülmüştür. Gu ve Hunt (2007), ısıl işlem uygulaması sonucunda malzemelerin yoğunluğunda azalmaların olduğu belirtilmiş, bu duruma ağaç malzeme içerisindeki boşluk yüzdesinde meydana gelen artışların neden olduğu ve bu boşluk yüzdesindeki artışın malzemenin ısıl iletkenlik özelliklerinde azalmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, Kordziel (2018), suyun hücre duvarına kıyasla daha fazla termal iletkenliği olduğunu ve odunun rutubetinin arttıkça termal iletkenliğin de arttığı tespit edilmiştir.

Panellerin termal iletkenlik özelliği üzerine panel türü ve çalışma gruplarının etkilerin belirlenmesi için yapılan iki yönlü anova analizi ve Duncan analizi sonuçları Tablo 5.37, Tablo 5.38 ve Tablo 5.39'da görülmektedir.

Tablo 5.37 Termal iletkenlik iki yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Doğrulanmış Model	6,03E-06	126,873	0,000
Kesişme		74050,469	0,000
Panel Türü		275,085	0,000
Çalışma Grubu		2,801	0,11
Çalışma Grubu*Panel Türü		9,678	0,000
R^2= 0,983 (Düzenlenmiş R^2= 0,975)			

Anova analizi sonucunda 90 derece grubu ile 45 derece grubu numuneler arasında %95 güven aralığı düzeyinde anlamlı derecede bir fark olmadığı gözlemlenmiş, panel türlerine göre ise anlamlı bir fark tespit edilmiştir.

Tablo 5.38 Panellerin termal iletim özelliği panel türüne göre Duncan analizi

Çalışma Grubu	S	TS	K	D	TD
90 Derece Grubu	B (0,1185)	A (0,1050)	A (0,1085)	D (0,15)	C (0,1315)
45 Derece Grubu	B (0,1260)	A (0,1045)	A (0,1065)	C (0,14)	B (0,1290)

Duncan analizi sonucunda değerler A, B, C ve D grupları arasında dağılmıştır.

Tablo 5.39 Panellerin termal iletim özelliği çalışma gruplarına göre Duncan analizi

Numune Grubu	90 Derece Grubu	45 Derece Grubu
S	A (0,1185)	B (0,1260)
TS	A (0,1050)	A (0,1045)
K	A (0,1085)	A (0,1065)
D	B (0,1500)	A (0,1400)
TD	B (0,1315)	AB (0,1290)

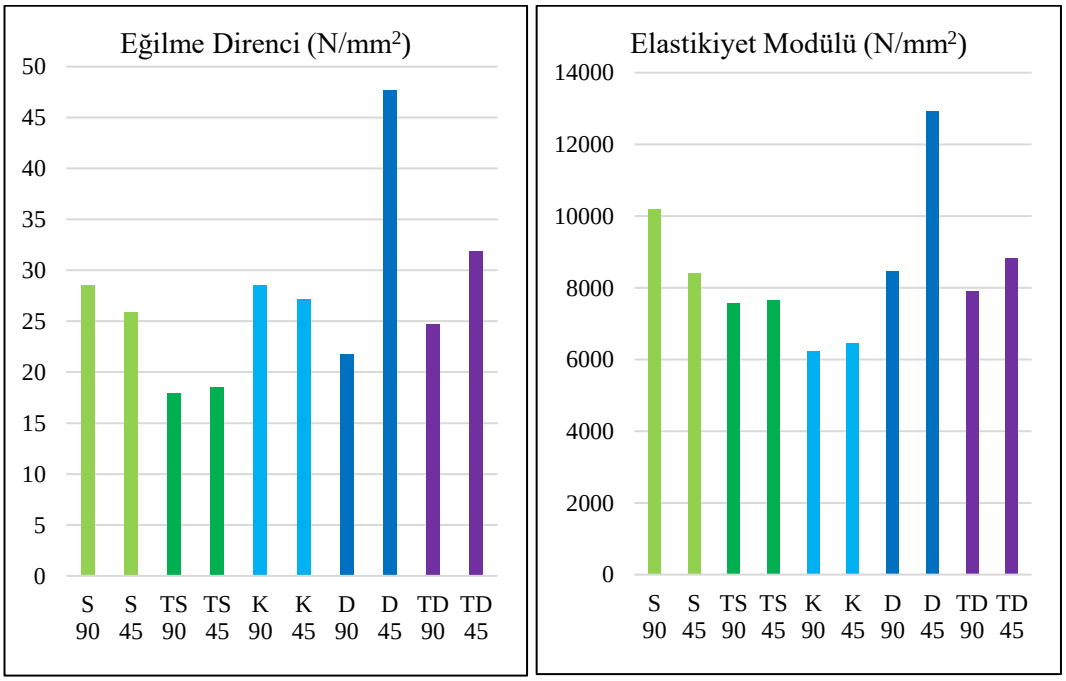
Duncan analizi sonucunda orta tabaka elyaf oryantasyonunun S 45 ve D 45 grupları haricindeki gruplarda bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür.

5.2.5 ÇLK Panellerde Dört Nokta Eğilme Deneyi ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Üretilen ÇLK panellerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri Tablo 5.40'da karşılaştırma grafiği Grafik 5.10'da görülmektedir.

Tablo 5.40 4 nokta eğilme direnci (MOR), elastikiyet modülü (MOE) ve eğilme rijitliği (EImg) değerleri

Numune Grubu	Numune Adedi	Ortalama Değer (MOR) (N/mm^2)	Var. Kat. (%)	Ortalama Değer (MOE) (N/mm^2)	Var. Kat. (%)	Ortalama Değer (EImg) ($N.mm^2$)	Var. Kat. (%)
S 90	3	**28,5**	3,83	**10194,34**	7,25	**$4,83x10^{10}$**	8,88
S 45	3	**25,92**	1,58	**8410,53**	5,07	**$3,99x10^{10}$**	6,21
TS 90	3	**17,89**	5,6	**7564,03**	5,8	**$3,50x10^{10}$**	4,7
TS 45	3	**18,52**	5,4	**7669,92**	7,19	**$3,64x10^{10}$**	8,8
K 90	3	**28,56**	8,35	**6229,46**	4,04	**$2,95x10^{10}$**	4,95
K 45	3	**27,13**	14,36	**6447,85**	4,44	**$3,06x10^{10}$**	5,44
D 90	3	**21,76**	10,16	**8460,81**	6,1	**$4,01x10^{10}$**	7,47
D 45	3	**47,69**	4,23	**12932,46**	3,88	**$6,13x10^{10}$**	4,75
TD 90	3	**24,73**	5,98	**7894,78**	7,28	**$3,74x10^{10}$**	8,91
TD 45	3	**31,86**	22,91	**8831,24**	5,32	**$4,19x10^{10}$**	6,51



Grafik 5.10 Eğilme direnci ve elastikiyet modülü grafikleri

Çalışma sonucunda en yüksek eğilme direnci ve elastikiyet modülü değeri D 45 grubu panellerde görülmüştür. 90 derece grupları ile 45 derece grupları kıyaslandığında S 45 grubunda eğilme direnci ve elastikiyet modülü sırasıyla %9,04 ve %17,5 oranlarında azalmış, TS 45 grubunda eğilme direnci ve elastikiyet modülü sırasıyla %3,52 ve %1,4 oranında artış gözlemlenmiş, K 45 grubunda eğilme direnci %5 oranında azalmış ve elastikiyet modülü %3,51 oranında artmış, D 45 grubunda eğilme direnci ve elastikiyet modülü sırasıyla %119,11 ve %52,81 oranlarında artış göstermiş, TD 45 grubunda eğilme direnci ve elastikiyet modülü sırasıyla %28,83 ve %11,86 oranlarında artış göstermiştir.

D 90 - TD 90 gruplarından elde edilen değerler birbirine yakınlık göstermektedir. Bu durumun birinci nedeni olarak 3 nokta eğilme direnci deneyi verilerinden elde edilen değişim oranları gösterilmektedir. 3 nokta eğilme direnci deneyi sonucunda dişbudak odununun eğilme direncinde %8,82 gibi düşük bir oranda azalmanın yaşandığı, elastikiyet modülünde ise %7,56 oranında bir artışın yaşandığı görülmüştür. Ayrıca, tutkal adezyon (çekme-makaslama) direnci ısıl işlem uygulanmamış dişbudak-kavak birleşimine kıyasla ısıl işlem uygulanmış dişbudak-kavak birleşiminde %21,75 oranında daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Üçüncü olarak ise 4 nokta eğilme direnci deneyinde sadece D 90 grubu numunelerde kırılma ağırlıklı olarak tutkal hattı boyunca meydana gelmiş, ahşap malzemede deformasyon düşük seviyelerde kalmıştır. Bu üç durumun değerlerin birbirine yakın olmasının nedeni olduğu düşünülmektedir.

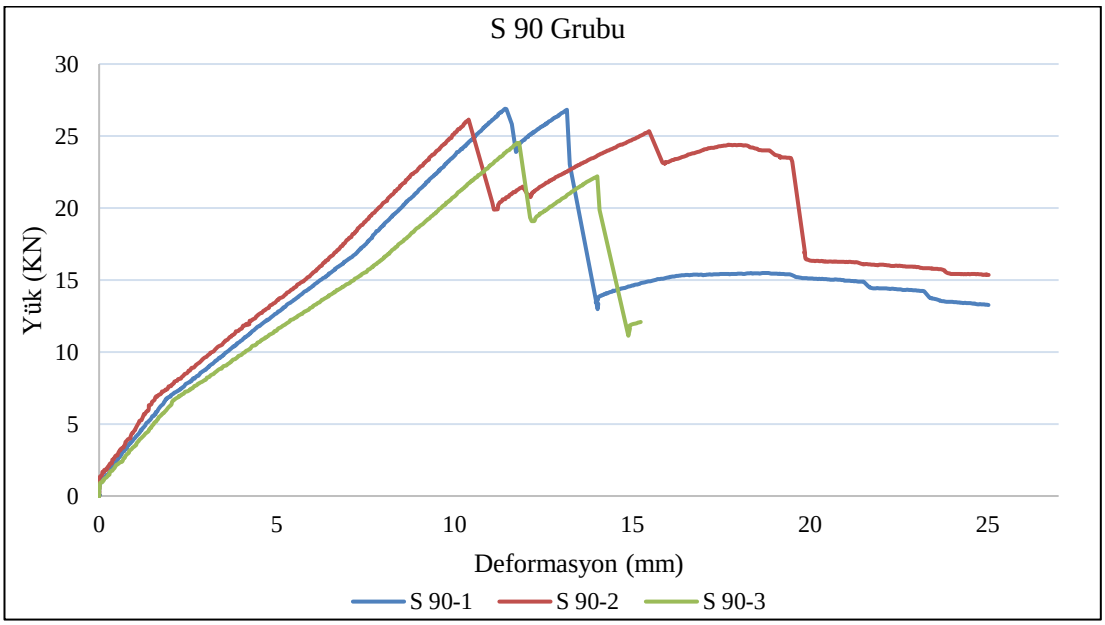
Çalışma sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.41'de bulunan ANSI APA PRG 320 (2019), ÇLK panel üretim standardındaki değerler ile kıyaslanmıştır.

Tablo 5.41 ANSI APA PRG 320 standardı ÇLK panel üretim sınıfları

ÇLK Panel Sınıfı	**4 Nokta Eğilme Direnci (N/mm^2)**	**4 Nokta Elastikiyet Modülü (N/mm^2)**	**Liflere Paralel Basınç Direnci (N/mm^2)**
E1	28,2	11700	19,3
E2	23,9	10300	18,1
E3	17,4	8300	15,1
E5	23,9	10300	18,1
V1 (N)	10	11000	14
V2	11,8	9500	11,5
V5	11	11000	14,8

Kıyaslama sonucu S 90 ve S 45 gruplarının eğilme direnci ve elastikiyet modülü bakımından E3 sınıfını karşıladığı görülmüştür. TS 90 ve TS 45 grupları eğilme direnci bakımından E3 sınıfını karşılasalar da elastikiyet modülleri hiçbir sınıfı karşılayamamıştır. Aynı şekilde K 90 ve K 45 grupları eğilme direnci bakımından E3 sınıfını karşılasalar da elastikiyet modülleri hiçbir sınıfı karşılayamamıştır. D 90 grubu eğilme direnci ve elastikiyet modülü bakımından E3 sınıfını karşılamış, D 45 grubu ise E1 sınıfını karşılamıştır. TD 90 grubu eğilme direnci bakımından E3 sınıfını karşılasa da elastikiyet modülü bakımından hiçbir sınıfı karşılayamamıştır. TD 45 grubu ise E3 sınıfının değerlerini karşılamıştır.

Deneyi yapılan numunelerin yük deformasyon grafikleri Grafik 5.11 ile Grafik 5.29 arasında, kırılma şekillerinin fotoğrafları Fotoğraf 5.2 ile Fotoğraf 5.31 arasında görülmektedir.



Grafik 5.11 S 90 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 26 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 10-13 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.2 S 90 grubu birinci numune

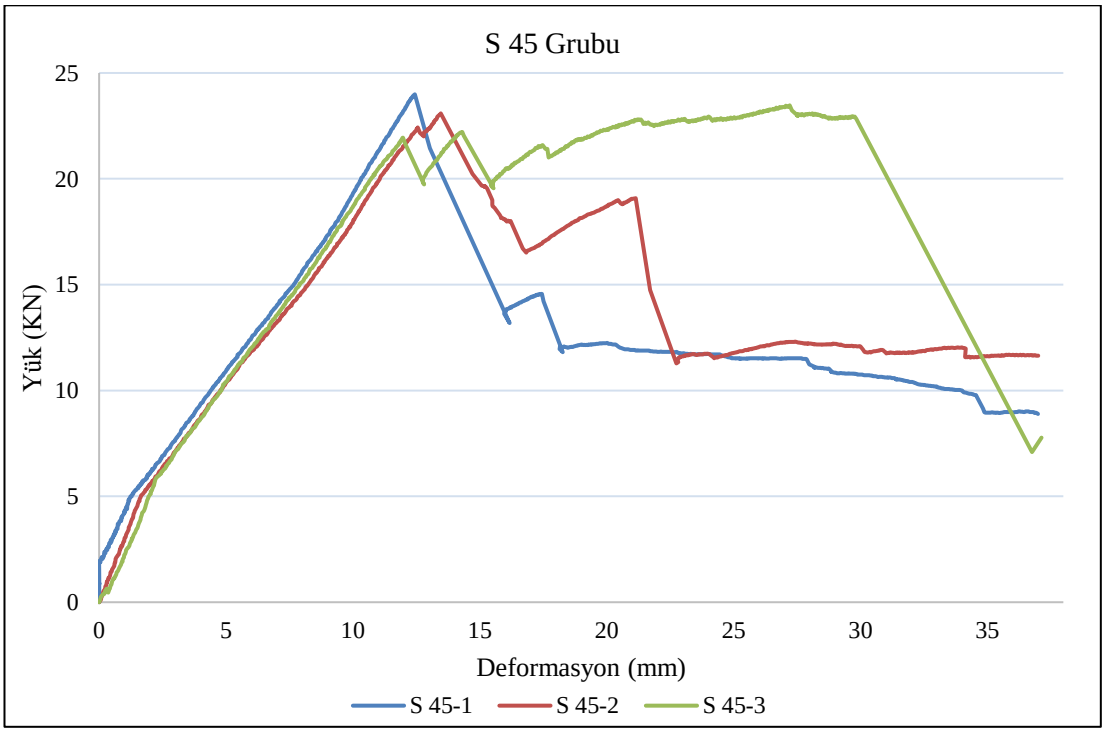


Fotoğraf 5.3 S 90 grubu ikinci numune



Fotoğraf 5.4 S 90 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde ağırlıklı olarak parmak dişli birleştirmelerden ayrılmalar yaşandığı, çekme direnci kırılmaları gözlemlendiği, orta tabakada ise eğilmede kayma direnci kaynaklı yıllık halkalara dik ve paralel kırılmaların olduğu görülmektedir. Ek olarak birinci ve ikinci numunede kırılma bölgesinde tutkal hattından ayrılmalar meydana gelmiştir.



Grafik 5.12 S 45 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 23 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 12-14 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.5 S 45 grubu birinci numune

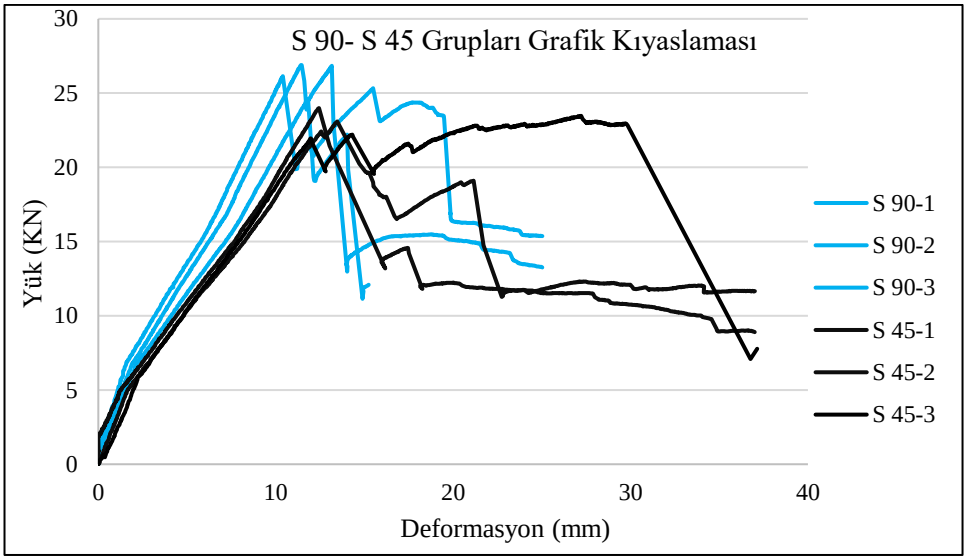


Fotoğraf 5.6 S 45 grubu ikinci numune



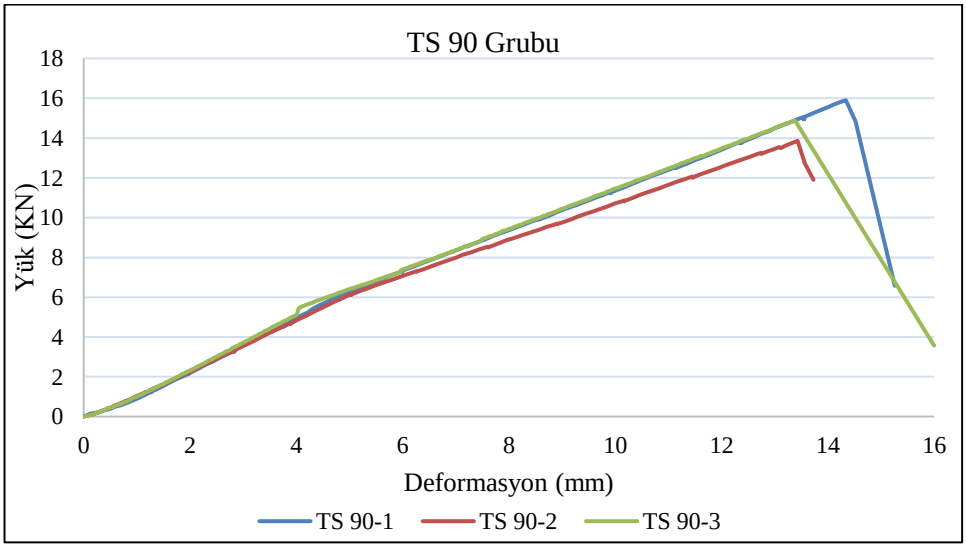
Fotoğraf 5.7 S 45 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde ağırlıklı olarak parmak dişli birleştirmelerden ayrılmalar yaşandığı, bazı bölgelerde de budak çevresinden kırılmaların yaşandığı görülmüştür. Orta tabakada ise eğilmede kayma direnci kaynaklı yıllık halkalara dik ve paralel kırılmaların olduğu görülmektedir. İkinci numunenin bir yanında tutkal hattından ayrılma varken diğer yanında parmak dişli birleştirme hizasından kırılma meydana gelmiştir. Ayrıca numunenin üst tabakasında liflere dik makaslama kırılması oluşmuştur.



Grafik 5.13 S 90 ve S 45 grubu yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması

Grafiklerin birbiri ile kıyaslanması sonucunda 45 derece grubu numunelerin 90 derece grubuna kıyasla daha uzun süre yük taşıyarak yapısında daha fazla enerji absorbe ettiği düşünülmektedir.



Grafik 5.14 TS 90 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 15 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 13-15 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.8 TS 90 grubu birinci numune





Fotoğraf 5.9 TS 90 grubu ikinci numune

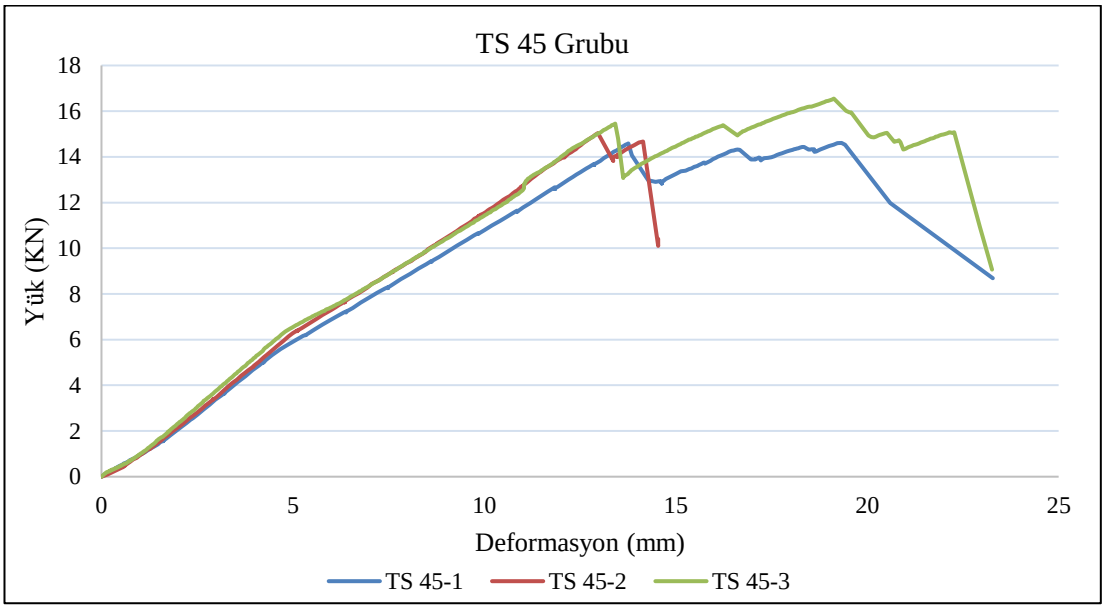




Fotoğraf 5.10 TS 90 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde ağırlıklı olarak parmak dişli birleştirmelerden ayrılmalar yaşandığı, bazı bölgelerde de budak çevresinden kırılmaların yaşandığı görülmüştür. Orta tabakada

yıllık halkalara paralel ve dik eğilmede kayma kırılması gözlemlenmektedir. Numunelerin üst tabakasında liflere paralel makaslama kırılmaları alt tabakasında liflere dik makaslama kırılmaları görülmüştür.



Grafik 5.15 TS 45 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 15 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 13-19 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.11 TS 45 grubu birinci numune

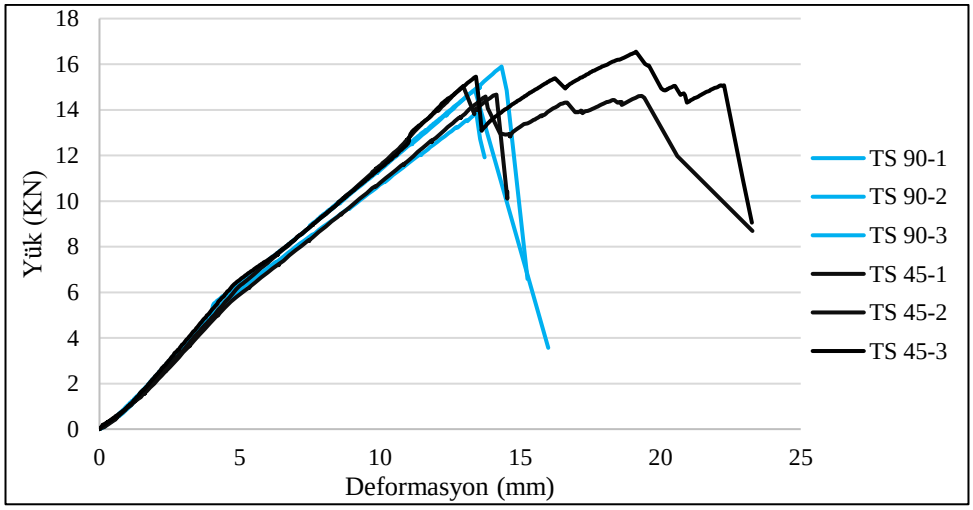


Fotoğraf 5.12 TS 45 grubu ikinci numune



Fotoğraf 5.13 TS 45 grubu üçüncü numune

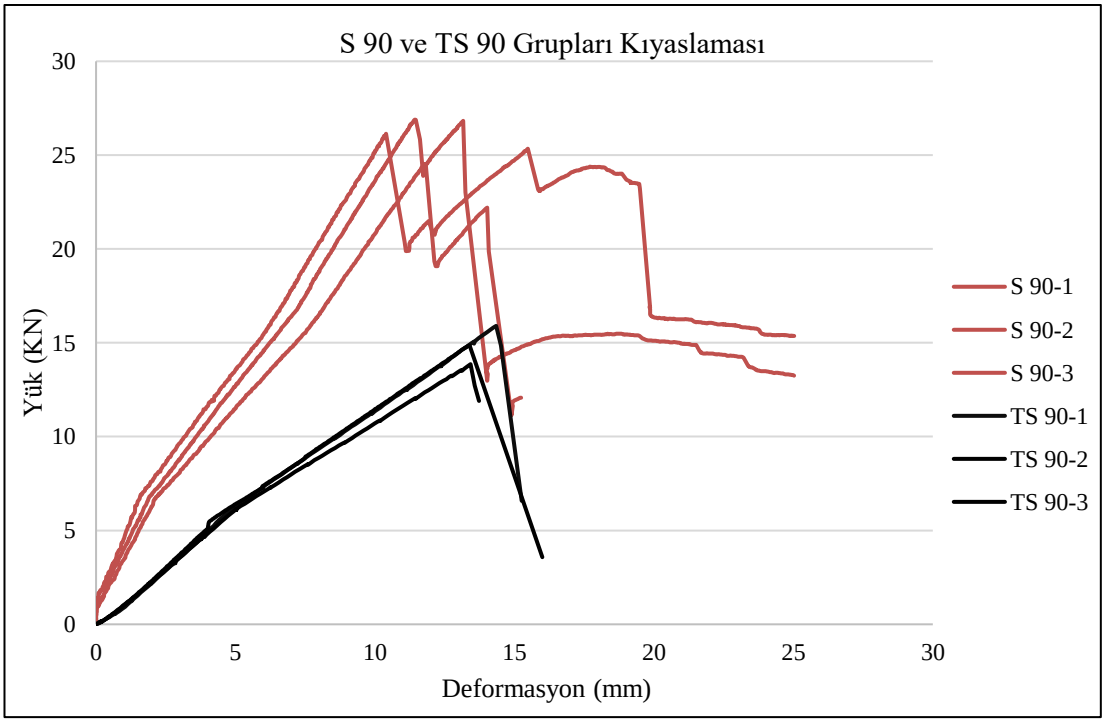
Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde neredeyse yarı yarıya parmak dişli birleştirmelerden ayrılma ve budak çevresinden kırılmaların olduğu görülmüştür. Orta tabakalarda yıllık halkalara paralel ve dik eğilmede kayma kırılması gözlemlenmektedir. İkinci numunenin dış tabakalarında liflere paralel makaslama kırılmaları gözlemlenmiştir.



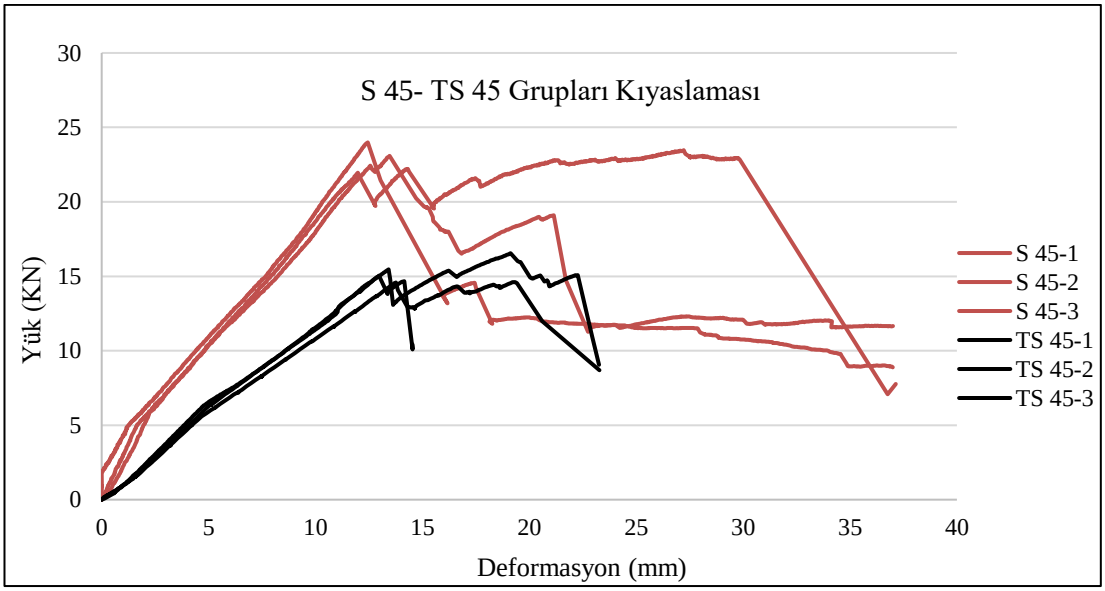
Grafik 5.16 TS 90- TS 45 grupları yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması

Grafiklerin birbiri ile kıyaslanması sonucunda 45 derece grubu numunelerin 90 derece grubu numunelere kıyasla daha uzun süre yük taşıyarak yapısında daha fazla enerji absorbe edebileceği düşünülmektedir.

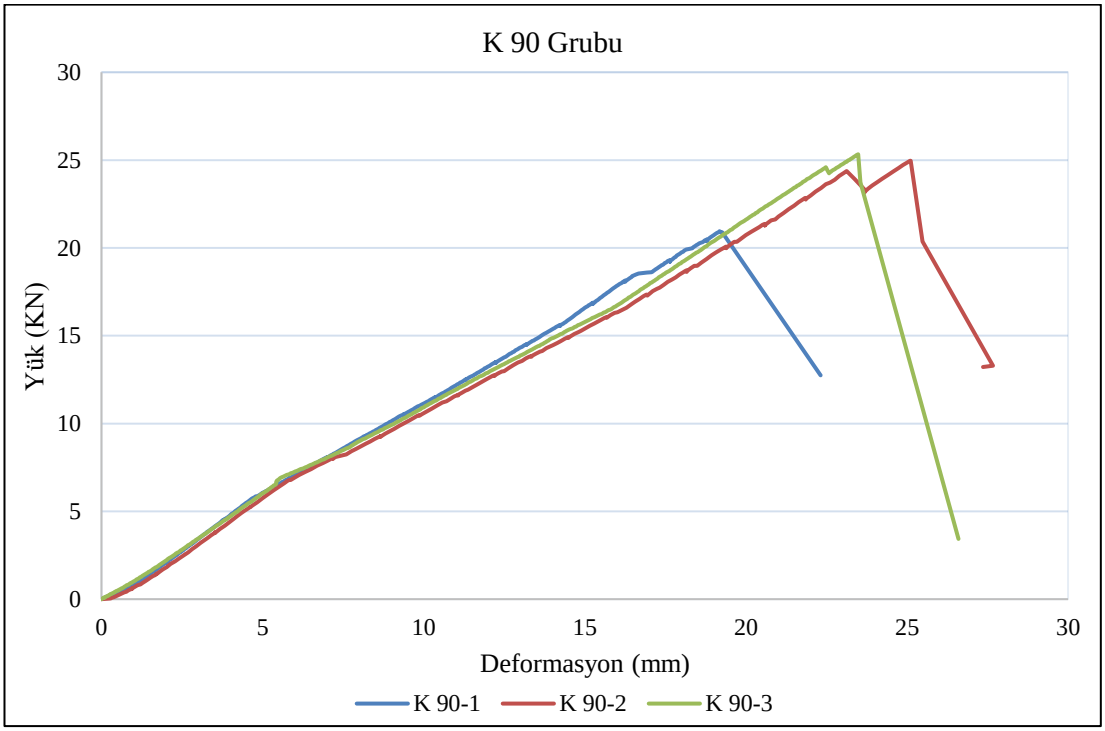
S 90-45 ve TS 90-45 grubu paneller birbiri ile kıyaslandığında elde edilen Yük-Deformasyon grafikleri Grafik 5.17 ve Grafik 5.18'de görülmektedir.



Grafik 5.17 S 90 ve TS 90 grubu panellerin kıyaslama grafikleri



Grafik 5.18 S 45 ve TS 45 grubu panellerin kıyaslama grafikleri



Grafik 5.19 K 90 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 24 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 19-25 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.14 K 90 grubu birinci numune



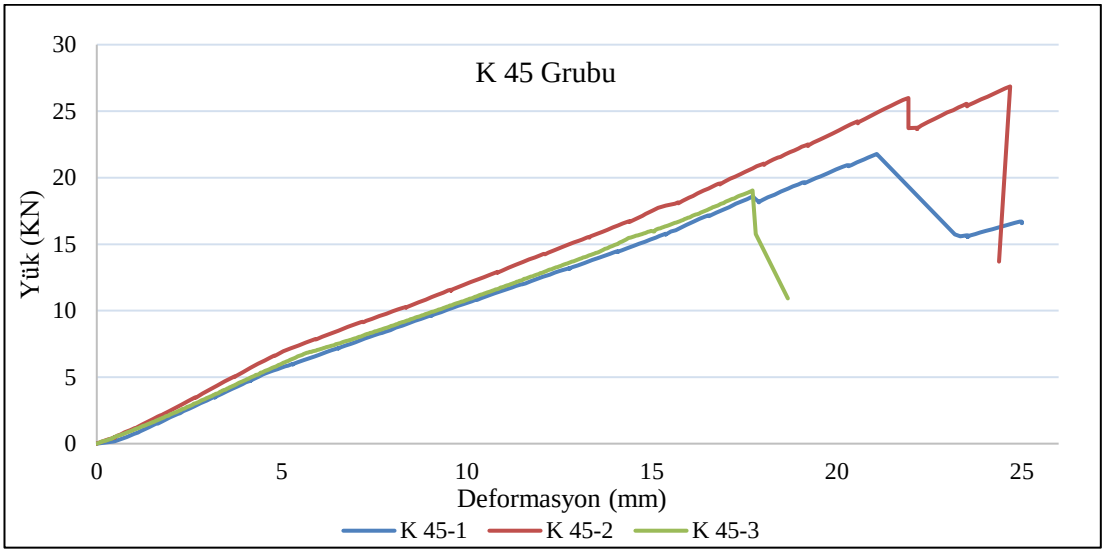
Fotoğraf 5.15 K 90 grubu ikinci numune



Fotoğraf 5.16 K 90 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde ağırlıklı olarak parmak dişli birleştirmelerden ve ahşap malzemeden ayrılmaların olduğu görülmüştür. Orta tabakada yıllık halkalara paralel ve dik

eğilmede kayma kırılması bulunmaktadır. Birinci numunede orta tabakada yüzeyler arasında tutkal hattından ve ahşap malzemeden kopmalar, ikinci numunede üst tabakada liflere paralel makaslama kırılması ve üçüncü numunede alt tabakada liflere paralel üst tabakada ise liflere dik makaslama kırılması gözlemlenmiştir.



Grafik 5.20 K 45 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 22 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 17-24 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.17 K 45 grubu birinci numune





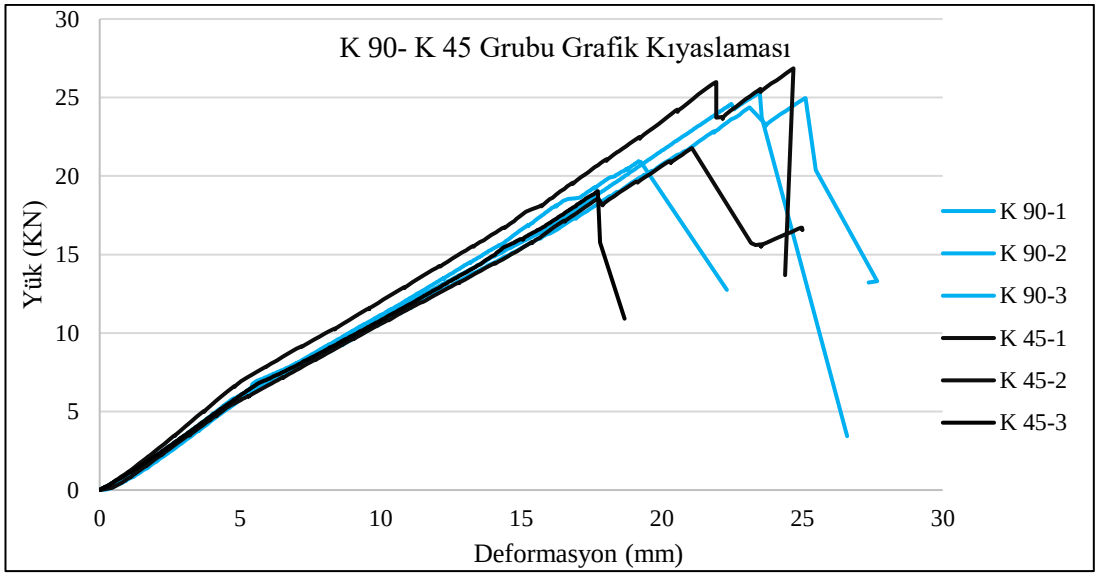
Fotoğraf 5.18 K 45 grubu ikinci numune





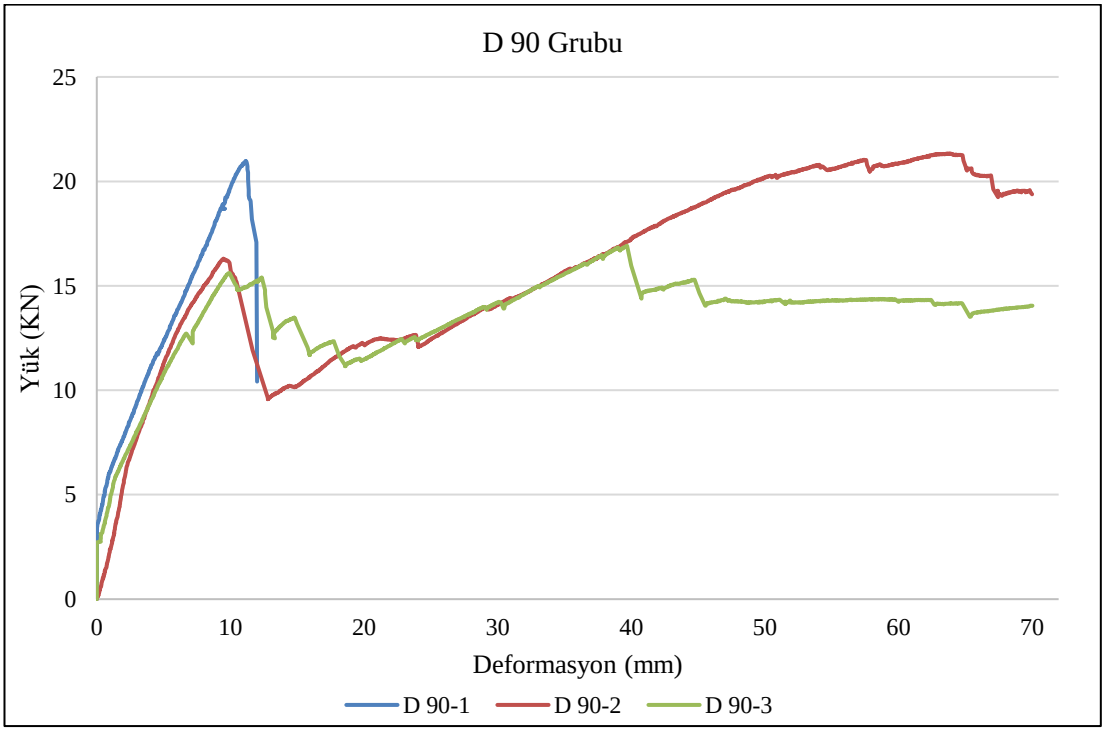
Fotoğraf 5.19 K 45 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde çoğunlukla parmak dişli birleştirmelerden ayrılmaların ve ahşaptan kırılmaların olduğu görülmüştür. Orta tabakada yıllık halkalara dik ve paralel eğilmede kayma kırılmaları bulunmaktadır. Üst yüzeyde kırılma bölgesinde bir miktar tutkal hattından ayrılma ve liflere paralel makaslama kırılmaları gözlemlenmiştir.



Grafik 5.21 K 90- K 45 grubu yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması

Grafiklerin birbiri ile kıyaslanması sonucunda deney grubu numuneler kontrol grubu numuneler ile benzer bir davranış göstermişlerdir.



Grafik 5.22 D 90 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 22 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 8-65 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.20 D 90 grubu birinci numune

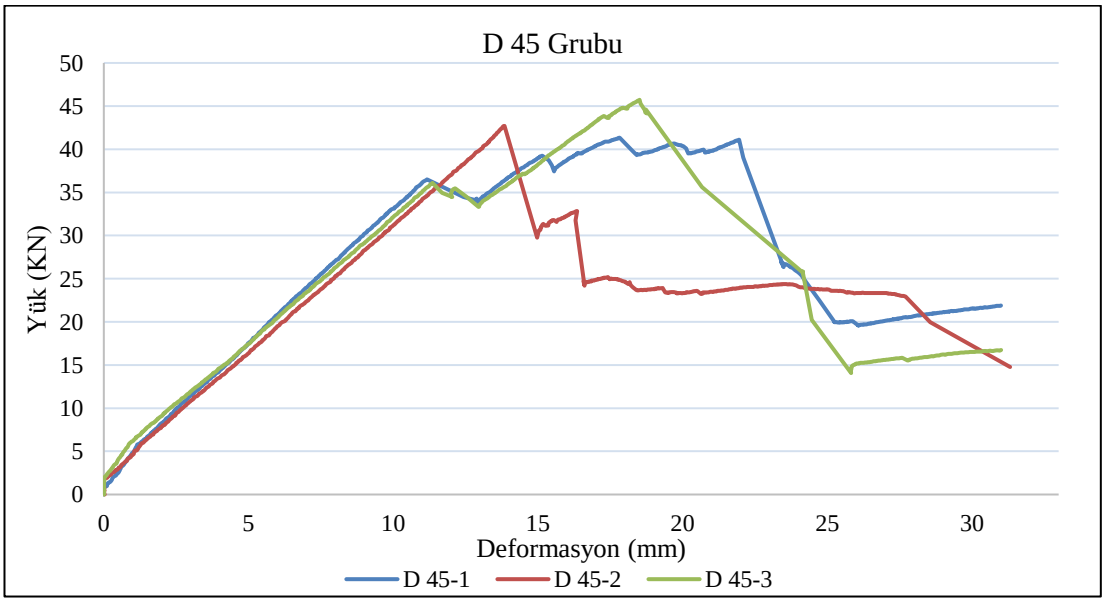


Fotoğraf 5.21 D 90 grubu ikinci numune



Fotoğraf 5.22 D 90 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerde ağırlıklı olarak tabakalar arasından tutkal hattı boyunca ayrılmaların olduğu görülmektedir. Bu ayrılma sonucunda alt yüzeyde bulunan parmak dişli birleştirmelerin çoğunluğu birbirinden ayrılmıştır. Orta tabakada ise ikinci numunede bir deformasyon gözlemlenmemiş, diğer numunelerde eğilmede kayma kırılmaları görülmüştür. Diğer gruplara kıyasla orta tabakada deformasyon minimum seviyelerde meydana gelmiştir. Numunelerde kırılma ağırlıklı olarak tutkal tabakaları arasında meydana gelerek delaminasyon davranışı gözlemlenmiştir.



Grafik 5.23 D 45 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 43 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 13-22 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.23 D 45 grubu birinci numune

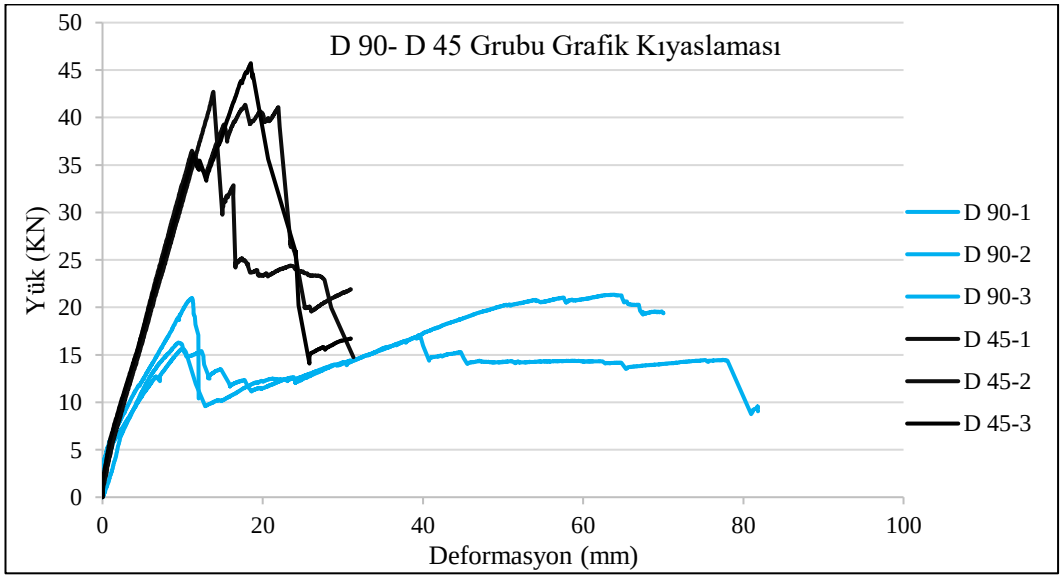


Fotoğraf 5.24 D 45 grubu ikinci numune

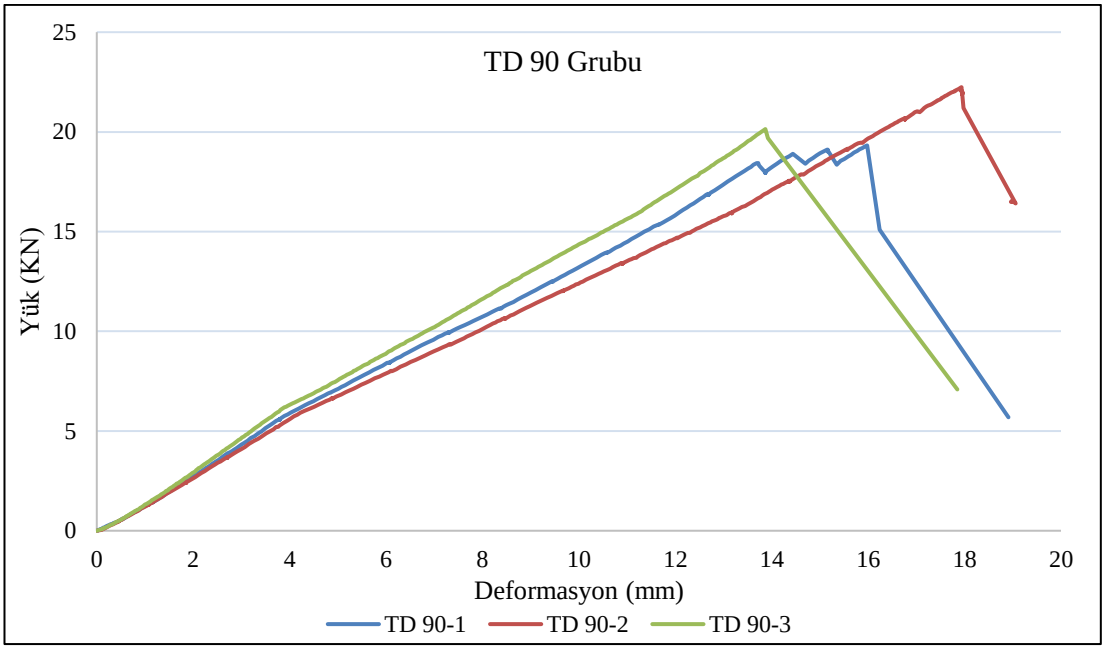


Fotoğraf 5.25 D 45 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde parmak dişli birleştirmelerden ayrılmaların olduğu görülmüştür. Orta tabakada yıllık halkalara dik ve paralel eğilmede kayma kırılmaları bulunmaktadır. Ayrıca kırılma bölgesinde tutkal hattından ayrılmalar gözlemlenmiştir. Kırılma bölgelerinde meydana gelen delaminasyon davranışı dişbudak kontrol grubu haricinde kalan diğer gruplarla kıyaslandığında diğer gruplardan daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür.

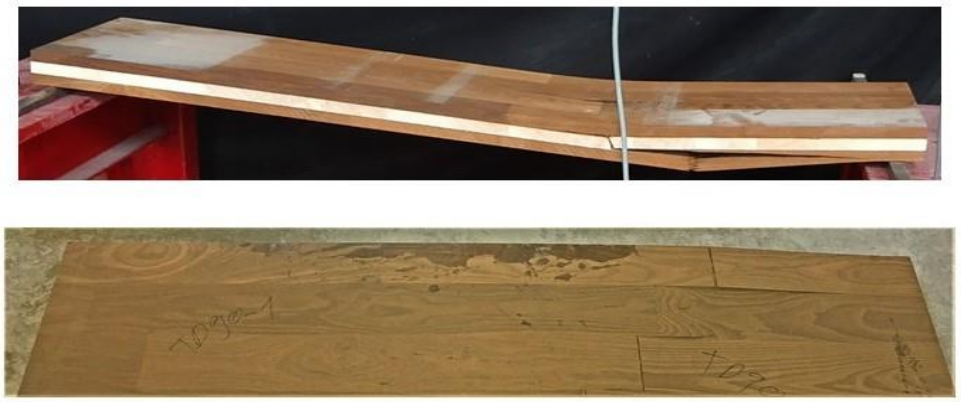


Grafik 5.24 D 90 - D 45 grubu yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması



Grafik 5.25 TD 90 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 20 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 14-18 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.26 TD 90 grubu birinci numune

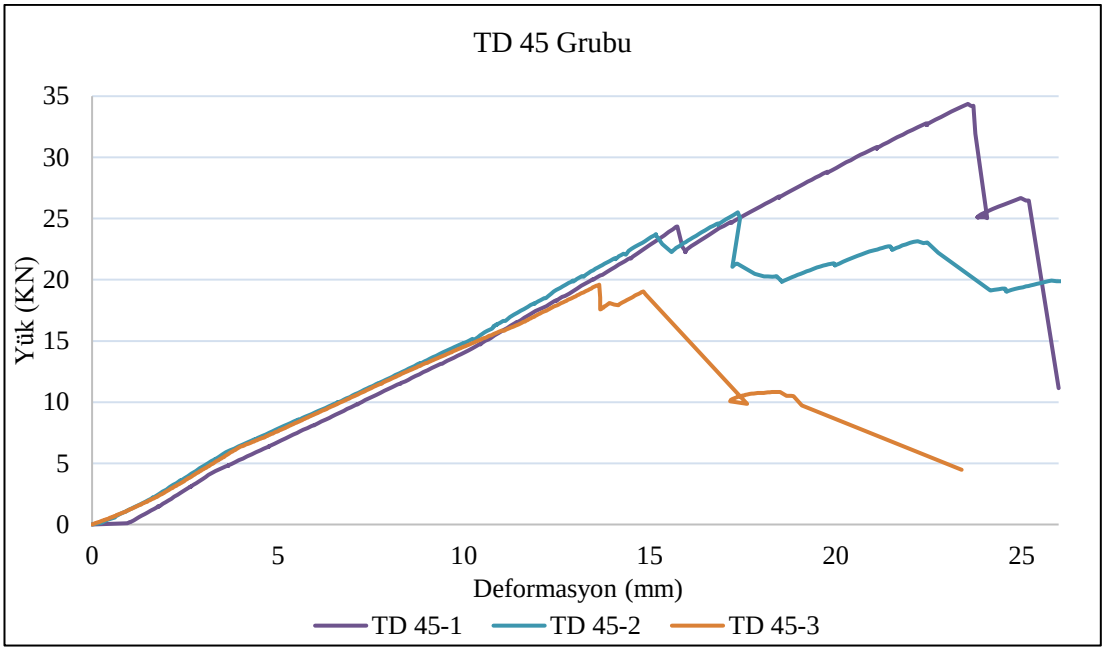


Fotoğraf 5.27 TD 90 grubu ikinci numune



Fotoğraf 5.28 TD 90 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde kırılmaların çoğunlukla parmak dişli birleştirmelerden olduğu tespit edilmiştir. Orta tabakada yıllık halkalara dik ve paralel eğilmede kayma kırılmaları bulunmaktadır. Kırılma bölgesinde tutkal hattından ayrılmalar gözlemlenmiştir. Ayrıca, numunelerin alt tabakalarında liflere dik ve paralel makaslama kırılması bulunmaktadır.



Grafik 5.26 TD 45 grubu yük-deformasyon grafikleri

Yük-deformasyon grafikleri incelendiğinde panellerin ortalama olarak 26 KN civarında bir yük taşıdığı ve kırılma öncesi 14-24 mm arasında bir deformasyona uğradığı görülmektedir.



Fotoğraf 5.29 TD 45 grubu birinci numune

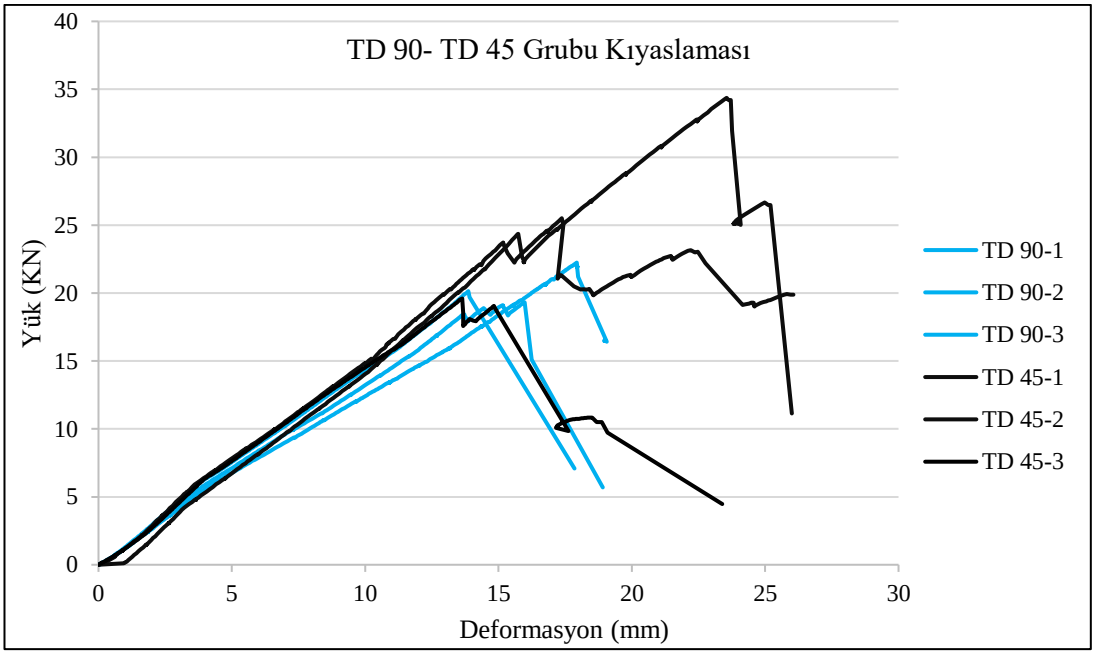


Fotoğraf 5.30 TD 45 grubu ikinci numune



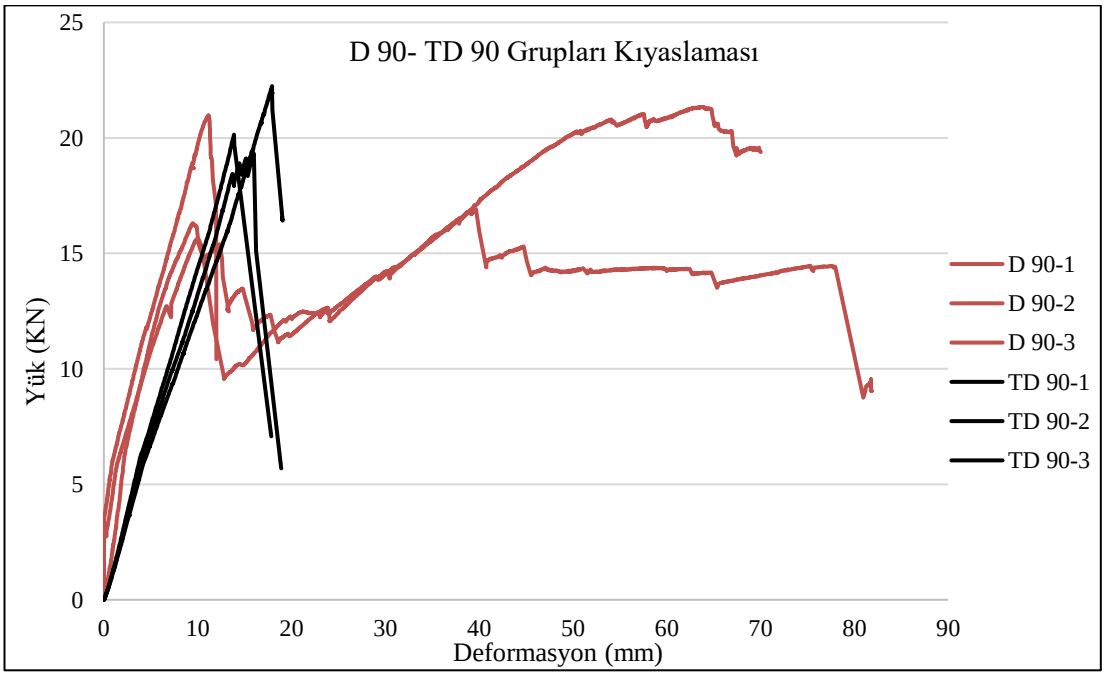
Fotoğraf 5.31 TD 45 grubu üçüncü numune

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerin alt kısmında bulunan çekme direnci bölgesinde kırılmaların çoğunlukla parmak dişli birleştirmelerden olduğu görülmüştür. Orta tabakada yıllık halkalara dik ve paralel eğilmede kayma kırılmaları bulunmaktadır. Birinci numunenin üst tabakasında liflere paralel makaslama kırılması bulunmaktadır.

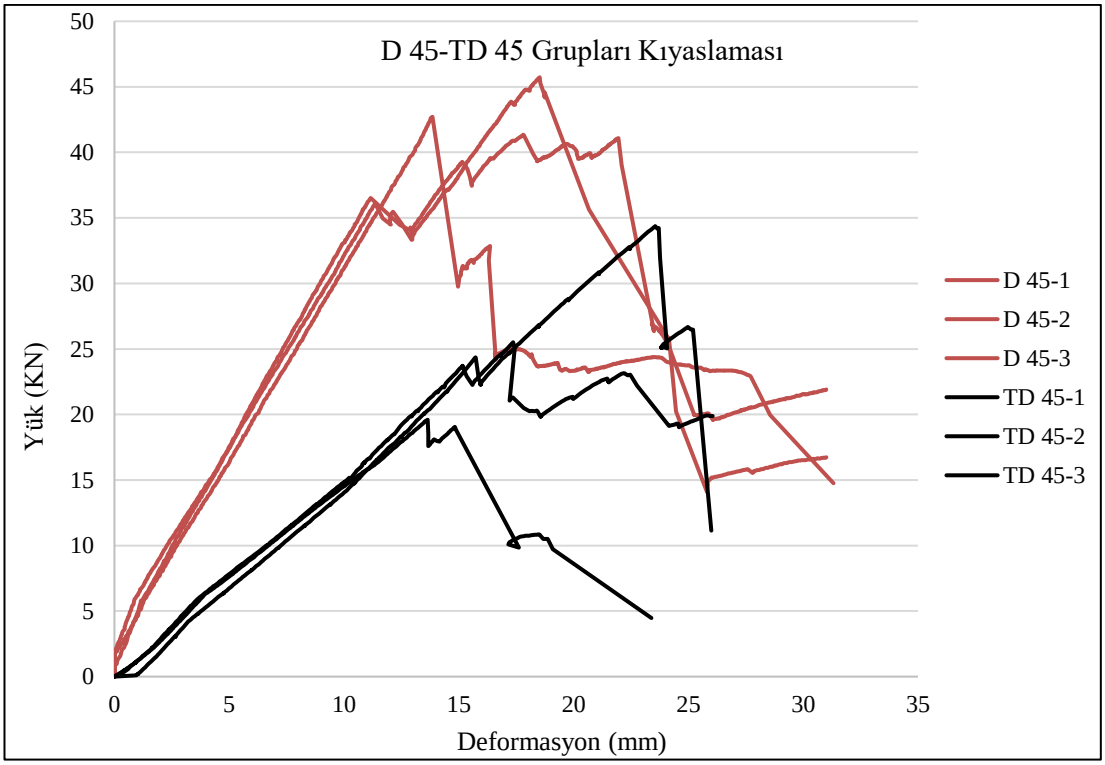


Grafik 5.27 TD 90 – TD 45 grubu yük-deformasyon grafikleri kıyaslaması

D 90-45 ve TD 90-45 grupları birbiri ile kıyaslandığında elde edilen Yük-Deformasyon grafikleri Grafik 5.28 ve Grafik 5.29'da görülmektedir.



Grafik 5.28 D 90 ve TD 90 grubu panellerin kıyaslama grafikleri



Grafik 5.29 D 45 ve TD 45 grubu panellerin kıyaslama grafikleri

Buck vd. (2016), çalışmalarında Norveç ladini (*Picea abies*) odunu kullanarak 5 tabakalı ve ardışık tabakaları dış tabakalar ile 45 derece açı yapan, birbiri ile ise 90 derece açı yapan deney grubu ÇLK panel üretmişlerdir. Yapılan 4 nokta eğilme direnci testi sonucunda kontrol grubu panellerin eğilme direnci 35,2N/mm^2, global elastikiyet modülü 8243N/mm^2, lokal elastikiyet modülü 9353,6N/mm^2, eğilme rijitliği değeri ise 347,5x10^{9}N.m^2 olarak tespit edilmiştir. Deney grubu panellerin ise eğilme direnci 47,5N/mm^2, global elastikiyet modülü 9517,2N/mm^2, lokal elastikiyet modülü 10568N/mm^2, eğilme rijitliği değeri ise 401,2x10^{9}N.m^2 olarak gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda eğilme direnci değerlerinde deney gruplarında %35 oranında bir artış, bu değere ait varyasyon katsayısı değerinde ise kontrol grubuna kıyasla %37,3 oranında azalış görülmektedir. Deney gruplarında global elastikiyet modülü değerinde %15,5 oranında artış, bu değere ait varyasyon katsayısı değerinde ise kontrol grubuna kıyasla %59,1 oranında azalış gözlemlenmiştir. Numunelerde liflere paralel makaslama, eğilmede kayma ve çekme kırılma tipleri görülmektedir.

Rostampour Haftkhani ve Hematabadi (2022), çalışmalarında Amerikan kavağı (*Populus deltoides* L.) kullanarak orta tabaka elyaf açısı 30, 45 ve 90 derece olan 3 tabakalı ÇLK paneller üretmişlerdir. Çalışmada eğilme direnci değeri maksimum eğilme momentinin modül bölgesinin numune hacmine bölünmesi ile elde edilmiştir. Numunelerin eğilme dirençleri sırasıyla 65,4N/mm^2, 60,8N/mm^2 ve 57,4N/mm^2 olarak tespit edilmiş, 30 dereceden 90 dereceye gidildikçe eğilme direnci değerinde %13,2 oranında bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Elastikiyet modülleri ise 7988N/mm^2, 7797N/mm^2 ve 7031N/mm^2 olarak tespit edilmiş, 30 dereceden 45 dereceye gidildikçe %2,4 oranında, 30 dereceden 90 dereceye gidildikçe %13,6 oranında bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda orta tabaka elyaf açısının azalması ile birlikte numunelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde artışların olduğu görülmüştür. Numunelerde delaminasyon davranışı, eğilmede kayma kırılması ve çekme kırılması gözlemlenmiştir.

Crovella vd. (2019), Amerikan dişbudak odunu kullanarak ve parmak dişli birleştirme kullanılmadan tek parça tahtalardan üretilen 3 katlı ÇLK panelin eğilme direnci 52,9N/mm^2 olarak, eğilme rijitliği ise 3,06x10^{11}N.mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Hematabadi vd. (2021), çalışmalarında dış tabakalarda kavak (*Populus alba*) orta tabakada ise kayın (*Fagus orientalis*) odunu kullanarak hibrit ÇLK panel üretmişlerdir. Çalışmada eğilme direnci değeri maksimum eğilme momentinin modül bölgesinin numune hacmine bölünmesi ile elde edilmiştir. Numunelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü sırasıyla kontrol grubu için 42,46N/mm^2 ve 7617N/mm^2, deney gruplarında ise 52N/mm^2 ve 8500N/mm^2 civarında tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda orta tabakada kayın kullanımının panelin maksimum yük taşıma kapasitesini en az %20 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Numunelerde ağırlıklı olarak orta tabakada eğilmede kayma kırılması ve bu duruma bağlı olarak gelişen delaminasyon davranışı gözlemlenmiştir.

Wang vd. (2014), çalışmalarında Duglas göknarı (*Pseudotsuga menziesii*), Radiata çamı (*Pinus radiata* D. Don) ve hibrit kavak (*Populus euramericana* cv. 1-214) odunu kullanarak 3 tabakalı hibrit ÇLK paneller üretmişlerdir. Tamamen kavak kullanılarak üretilen panellerin eğilme direnci ve elastikiyet modülleri sırasıyla

41,66N/mm^2 ve 5970N/mm^2 olarak, orta tabakası kavak, dış tabakaları sarıçam olan panellerin değerlerini 41,23N/mm^2 ve 6210N/mm^2 olarak tamamen çamdan üretilmiş panellerin değerini ise 44,55N/mm^2 ve 6350N/mm^2 olarak tespit etmişlerdir. Orta tabakada kavak kullanımı sarıçam panellerde eğilme direncinde %7,5 oranında, elastikiyet modülünde ise %2,2 oranında azalmaya neden olmuştur. Numunelerde ağırlıklı olarak alt tabakalarda parmak dişli birleştirmelerden ayrılma, delaminasyon davranışı ve çekme kırılması tip kırılmalar gözlemlenmiştir.

Navaratnam vd. (2020), radiata çamı kullanılarak üretilmiş 3katlı ÇLK panellerin eğilme direnci 26,61N/mm^2 olarak eğilme rijitliği ise 4,42x10^{11}N.mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Concu vd. (2016), Sardinia sahil çamı (*Pinus pinaster*) kerestesi kullanılarak üretilen panellerin eğilme direnci 26,1N/mm^2 elastikiyet modülü 5973,2N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Marko vd. (2016), hibrit kavak (*Populus* × *euramericana* cv. 'I-214') türü kullanılarak üretilen ÇLK panellerin eğilme direnci 43,2N/mm^2 elastikiyet modülü 7898N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir.

Franke (2016), kayın odunundan üretilmiş ÇLK panelin eğilme direnci 43,8N/mm^2, elastikiyet modülü 12306N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Ladinde ise bu değerlerin eğilme direncinde 26,4N/mm^2 olduğu ifade edilmiştir. Llana vd. (2022), çalışmasında yeni kesilmiş ağaçlardan ve tarihi yapılardan sökülmüş eski ahşap malzemelerden elde edilmiş Avrupa meşesi (*Quercus robur* L.) kerestelerinden üretilen ÇLK panellerin eğilme direnci sırasıyla 74,01N/mm^2 ve 44,74N/mm^2 olarak elastikiyet modülleri ise 11707N/mm^2 ve 12106N/mm^2 olarak tespit etmişlerdir. Mohd Yusof vd. (2019), çalışmasında Akasya mangium (*Acacia mangium* Willd.) odunu kullanarak ürettiği ÇLK panelin eğilme direnci değerini 27,78N/mm^2, elastikiyet modülünü ise 10740N/mm^2 olarak gözlemlemiştir.

Yapılan iki yönlü anova analizi ve Duncan analizi sonuçları Tablo 5.42, Tablo 5.43 ve Tablo 5.44'te görülmektedir.

Tablo 5.42 4 nokta eğilme testi deneyi iki yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı		Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Eğilme Direnci	Doğrulanmış Model	13,293	16,156	0,000
	Kesişme		1676,374	0,000
	Panel Türü		15,705	0,000
	Çalışma Grubu		19,890	0,000
	Çalışma Grubu*Panel Türü		15,674	0,000
Elastikiyet Modülü	Doğrulanmış Model	365776,779	30,913	0,000
	Kesişme		5875,019	0,000
	Panel Türü		44,832	0,000
	Çalışma Grubu		12,788	0,002
	Çalışma Grubu*Panel Türü		21,525	0,000
Eğilme Direnci R2= 0,879 (Düzenlenmiş R2= 0,825)		Elastikiyet Modülü R2= 0,933 (Düzenlenmiş R2= 0,903)		

Anova analizi sonucunda eğilme direnci ve elastikiyet modülleri bakımından panel türleri arasında ve 90 derece grubu ile 45 derece grubu arasında %95 güven aralığı düzeyinde anlamlı derecede bir fark gözlemlenmiştir.

Tablo 5.43 4 nokta eğilme direnci panel türüne göre Duncan analizi

Çalışma Grubu	S	TS	K	D	TD
90 Derece Grubu	B (28,5)	A (17,89)	B (28,55)	AB (21,76)	B (24,73)
45 Derece Grubu	B (25,92)	A (18,52)	B (27,13)	C (47,69)	B (31,86)

Duncan analizi sonucunda D 90-45 gruplarının verileri birbirinden farklı bölgelerde toplanmış, diğer grupların verileri ise birbiri ile aynı bölgelerde toplanmıştır.

Tablo 5.44 4 nokta eğilme direnci çalışma gruplarına göre Duncan analizi

Numune Grubu	90 Derece Grubu	45 Derece Grubu
S	A (28,5)	A (25,92)
TS	A (17,89)	A (18,52)
K	A (28,55)	A (27,13)
D	A (21,76)	B (47,69)
TD	A (24,73)	B (31,86)

Duncan analizi sonucunda D 90-45 grupları ile TD 90-45 gruplarının verileri birbirinden farklı bölgelerde toplanmış, diğer grupların verileri ise birbiri ile aynı bölgelerde toplanmıştır.

Tablo 5.45 4 nokta eğilmede elastikiyet modülü panel türüne göre Duncan analizi

Çalışma Grubu	S	TS	K	D	TD
90 Derece Grubu	C (10194,34)	B (7564,03)	A (6229,46)	B (8460,81)	B (7894,78)
45 Derece Grubu	BC (8410,53)	B (7669,92)	A (6447,85)	D (12932,46)	C (8831,24)

Duncan analizi sonucunda D 90-45 grupları ile TD 90-45 gruplarının verileri birbirinden farklı bölgelerde toplanmış, diğer grupların verileri ise birbiri ile aynı bölgelerde toplanmıştır.

Tablo 5.46 4 nokta eğilmede elastikiyet modülü çalışma gruplarına göre Duncan analizi

Numune Grubu	90 Derece Grubu	45 Derece Grubu
S	B (10194,34)	B (8410,53)
TS	A (7564,03)	A (7669,92)
K	A (6229,46)	A (6447,85)
D	A (8460,81)	B (12932,46)
TD	A (7894,78)	A (8831,24)

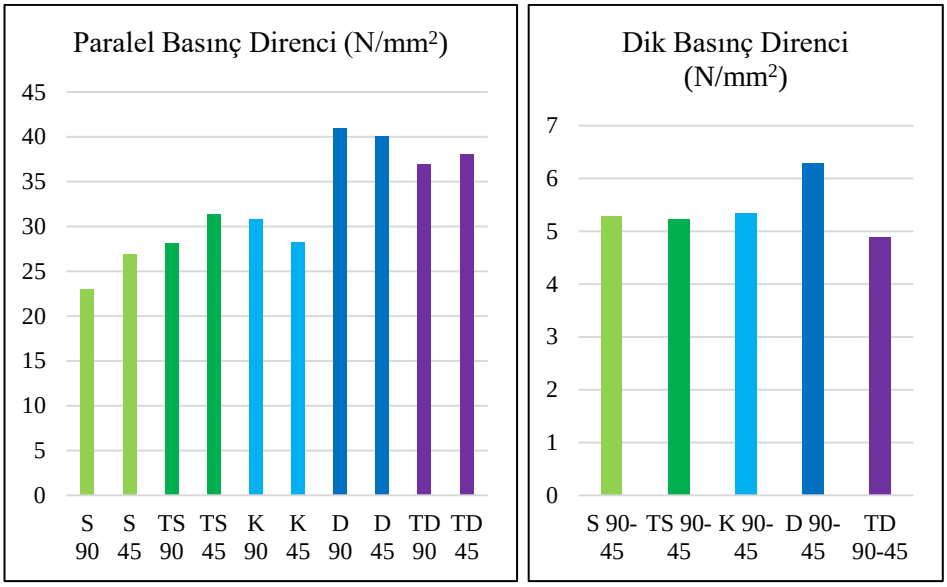
Duncan analizi sonucunda D 90-45 gruplarının verileri birbirinden farklı bölgelerde toplanmış, diğer grupların verileri ise birbiri ile aynı bölgelerde toplanmıştır.

5.2.6 ÇLK Panellerde Basınç Direnci Deneyi

Üretilen ÇLK panellerin Liflere paralel ve liflere dik basınç direnci değerleri Tablo 5.47'de karşılaştırma grafiği Grafik 5.30'da görülmektedir.

Tablo 5.47 ÇLK panellerin liflere paralel ve dik basınç direnci değerleri

Panel Yüzeyine ve Dış Tabakaların Lif doğrultusuna Paralel Basınç Dirençleri			
Numune Grubu	**Numune Adedi**	**Ortalama Değer (N/mm^2)**	**Var. Kat. (%)**
S 90	3	**22,97**	4,9
S 45	3	**26,9**	2,37
TS 90	3	**28,12**	9,28
TS 45	3	**31,37**	6,64
K 90	3	**30,79**	5,4
K 45	3	**28,25**	4,26
D 90	3	**40,94**	2,37
D 45	3	**40,08**	2
TD 90	3	**36,89**	8,69
TD 45	3	**38,08**	10,49
Panel Yüzeyine Dik Basınç Dirençleri			
S 90-45	3	**5,28**	6,97
TS 90-45	3	**5,23**	10,32
K 90-45	3	**5,35**	10,67
D 90-45	3	**6,29**	9,98
TD 90-45	3	**4,88**	9,53



Grafik 5.30 ÇLK panellerin liflere paralel ve dik basınç direnci değerleri

ÇLK panellerde en yüksek liflere paralel basınç direnci değeri D 90 grubu numunelerde gözlemlenmiştir. En yüksek dik basınç direnci değeri ise yine D 90-45 grubu numunelerde tespit edilmiştir.

Liflere paralel basınç dirençleri bakımından 90 derece grupları ile 45 derece grupları birbirleri ile kıyaslandığında S 45, TS 45 ve TD 45 gruplarında basınç dirençleri S 90, TS 90 ve TD 90 gruplarına kıyasla sırasıyla %17,14; %11,56 ve %3,22 oranlarında daha yüksek olarak gözlemlenmiştir. K 45 ve D 45 gruplarında ise basınç direnci değerleri K 90 ve D 90 gruplarına kıyasla sırasıyla %8,24 ve %2,10 oranlarında daha düşük olarak tespit edilmiştir. Liflere dik basınç dirençleri ise birbirlerine yakın değerler vermişlerdir.

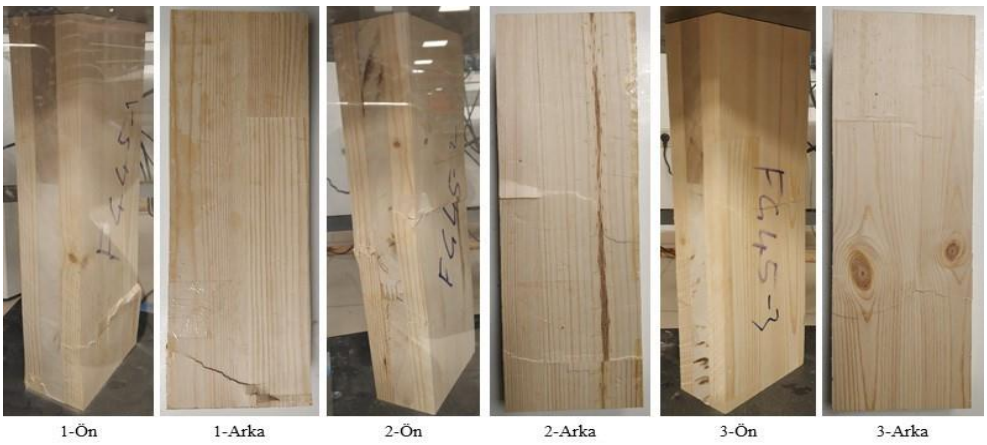
Deneylerden elde edilen veriler ANSI APA PRG 320 (2019), ÇLK panel üretim standardındaki değerler ile kıyaslandığında tüm grupların liflere paralel basınç direnci değerlerinin E1 sınıfını (19,3N/mm^2) karşıladığı görülmüştür.

Deney numunelerinin kırılma şekilleri Fotoğraf 5.32 ile Fotoğraf 5.42 arasında görülmektedir.



Fotoğraf 5.32 S 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde deformasyonların ağırlıklı olarak parmak dişli birleştirmelerden ve onların hizalarından ezilme şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Sadece ikinci numunede bir bölgede tutkal hattından ayrılma mevcuttur.



Fotoğraf 5.33 S 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde deformasyonların ağırlıklı olarak parmak dişli birleştirmelerden ve onların hizalarından ezilme şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Birinci numunenin arkasında Buck vd. (2018), çalışmasında "kink band" olarak tabir edilen ve orta tabaka açısının etkisi ile oluşan açılı makaslama ezilmesi görülmüştür. İkinci numunede ise numune arkasında ezilme bölgeleri bulunmaktadır. Üçüncü numunenin arkasında ise budak çevresinden ezilme davranışı meydana gelmiştir.



Fotoğraf 5.34 TS 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde deformasyonların ağırlıklı olarak parmak dişli birleştirmelerden ve onların hizalarından ezilme şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Deney esnasında numunelerden şiddetli çatırdama sesleri duyulmuştur.



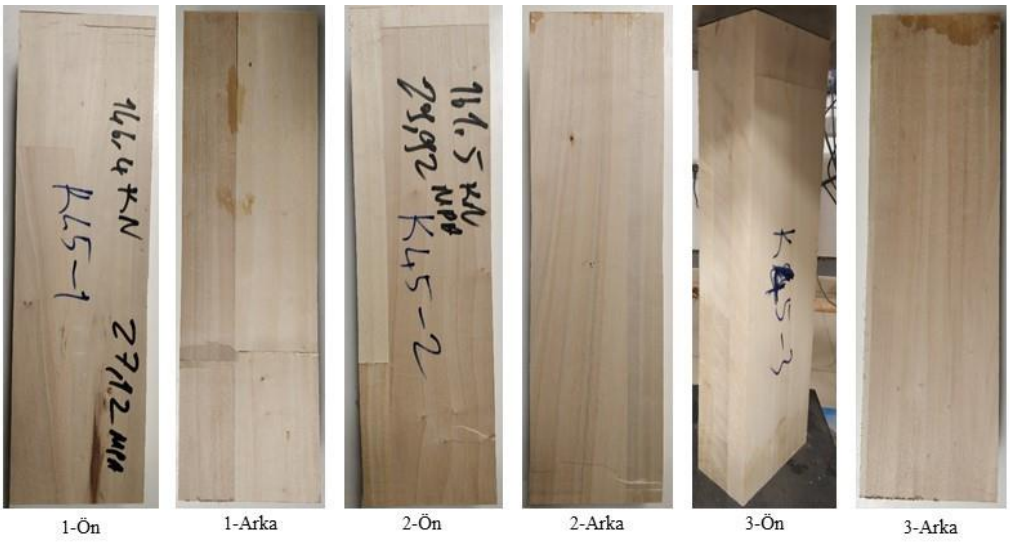
Fotoğraf 5.35 TS 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde boyuna yönde uzanan çatlaklar, budak çevrelerinde ezilme, çatlama ve parça kopmaları ile parmak dişli birleştirmelerde ezilmelerin yaşandığı görülmüştür. Deney esnasında numunelerden şiddetli çatırdama sesleri duyulmuştur.



Fotoğraf 5.36 K 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde parmak dişli birleştirmelerde ve bazı bölgelerde parçalı ezilmelerin meydana geldiği görülmektedir. Üçüncü numunenin ön yüzeyinde ortadan aşağı doğru çatlak oluşumu gözlemlenmiştir.



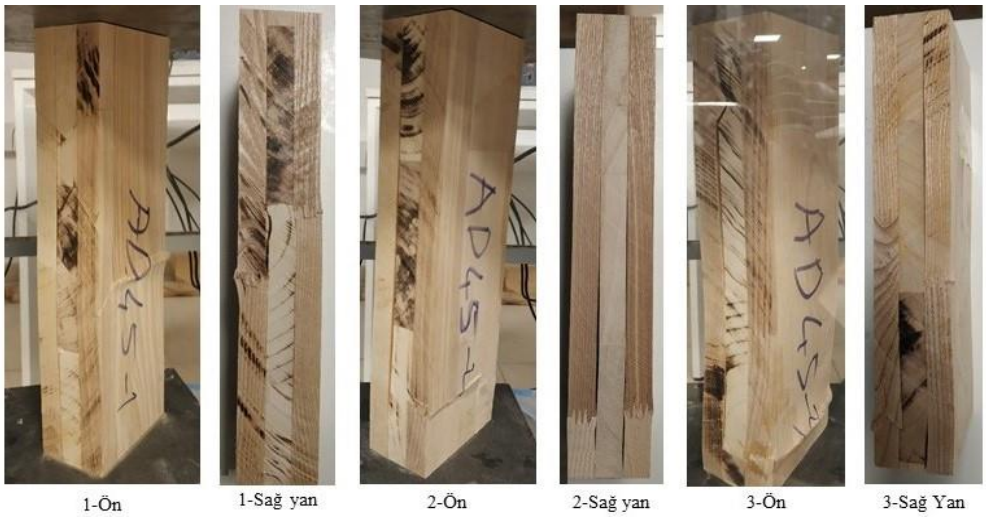
Fotoğraf 5.37 K 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde parmak dişli birleştirmelerde ve bazı bölgelerde parçalı ezilmelerin meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca birinci ve ikinci numunenin birer ucunda makaslama ezilmesi bulunmaktadır.
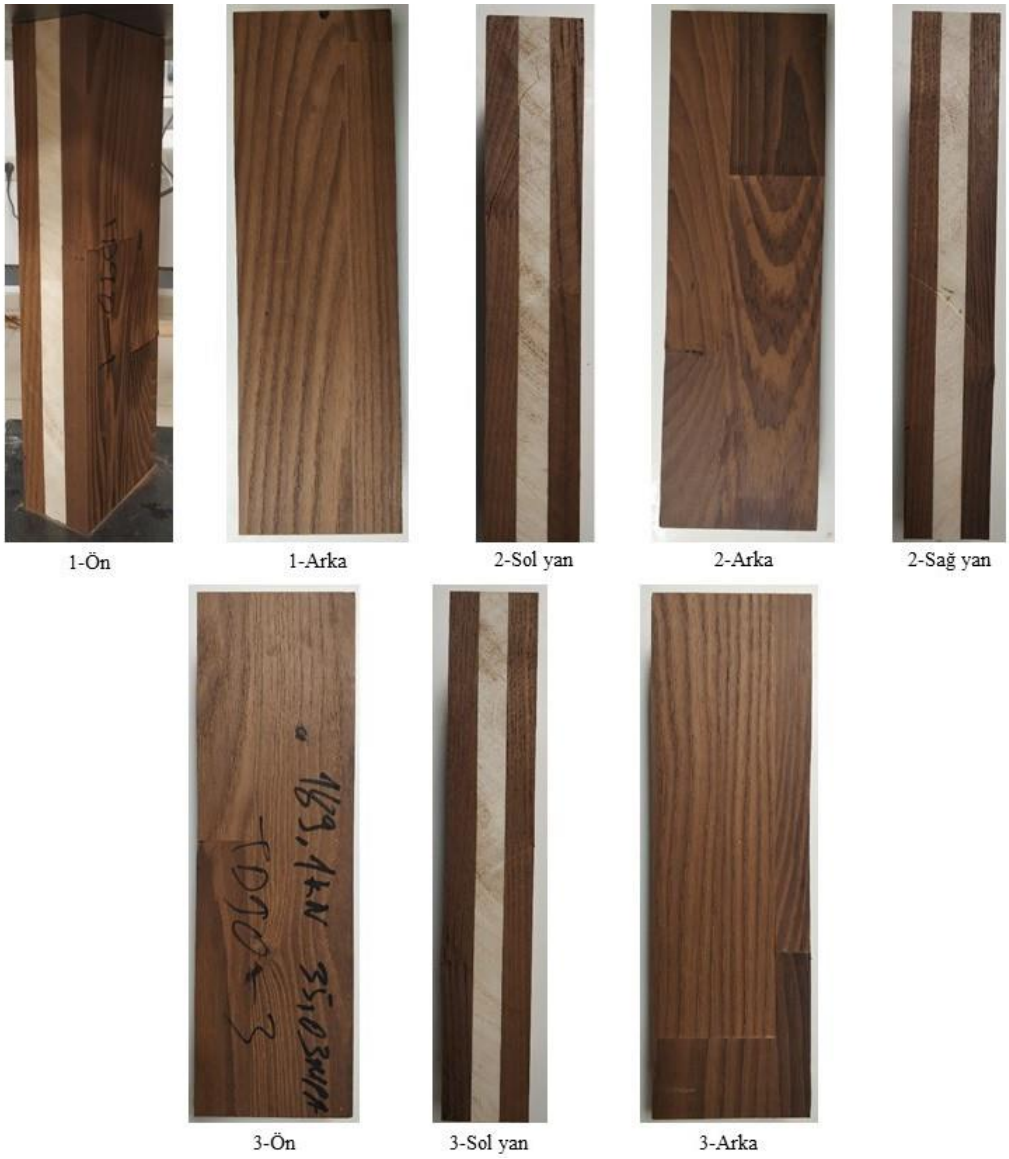


Fotoğraf 5.38 D 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerde parmak dişli birleştirmelerde ezilme, tabakalar arasında tutkal hattından ayrılmalar ve üçüncü numunede orta tabakada makaslama direnci çatlakları oluşumu tespit edilmiştir.



Fotoğraf 5.39 D 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde numunelerde parmak dişli birleştirmelerde ezilme, tabakalar arasında tutkal hattından ayrılmalar ve üçüncü numunede orta tabakada liflere dik makaslama direnci çatlakları oluşumu tespit edilmiştir. Yine üçüncü numunede dış tabakada liflere paralel makaslama direnci çatlağı ile liflerin üst üste kayması davranışı gözlemlenmiştir.



Fotoğraf 5.40 TD 90 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde parmak dişli birleştirmelerde ezilmeler, dış tabakalarda bir ucu parmak dişli birleştirmelerden başlayan liflere paralel makaslama direnci kırılmaları gözlemlenmiştir. İkinci numunenin orta tabakasında yıllık halkalara paralel, liflere dik makaslama direnci çatlağı bulunmaktadır. Üçüncü numunenin ön alt kısmında ise ince bir çizgi halinde makaslama ezilmesi meydana gelmiştir. Deney esnasında numunelerden şiddetli çatırdama sesleri duyulmuştur.



Fotoğraf 5.41 TD 45 grubu liflere paralel basınç direnci numuneleri

Fotoğraflar incelendiğinde parmak dişli birleştirmelerde ezilmeler gözlemlenmiştir. Birinci numunenin ön yüzündeki üst tabakada yıllık halka çizgisinden ince bir çatlak oluşmuş, ikinci numunenin ön yüzeyinde dar parça ile geniş parçanın birleşim yerindeki tutkal hattından birbirinden ayrılmış ve dar parça liflere paralel makaslama kırılmalarına maruz kalmıştır. Ayrıca iki dış tabakada da bir ucu parmak dişli birleştirmelerden başlayan liflere paralel makaslama direnci kırılmaları mevcuttur. Deney esnasında numunelerden şiddetli çatırdama sesleri duyulmuştur.



Fotoğraf 5.42 Liflere dik basınç direnci numuneleri A) S 90-45 grubu, B) TS 90-45 grubu, C) D 90-45 grubu, D) TD 90-45 grubu, E) K 90-45 grubu

Fotoğraflar incelendiğinde tabakaların deneyden sonra yarı yarıya inceldiği görülmektedir. Deney esnasında numunelerin yük deformasyon grafiklerinde numunenin kırıldığını varsaydığımız noktaya kadar hızlı bir yük artışı yaşanmakta, deformasyon ekseni daha yavaş artmakta, daha sonrasında yük artışı yavaşlayarak daha az yük artışına karşın daha çok deformasyon gözlemlenmekte, tabaka kalınlıkları iyice azaldıktan sonra ise yük artışı daha hızlı bir şekilde artarak numune dağılmaya başlamaktadır. Bu sebeple ilk baştaki daha az deformasyona karşın daha hızlı yük artışı yaşanan bölgenin sonundaki ve TS EN 408 (2012)'de belirtilen, lineer rijitlik eğrisine paralel çizilen yük deformasyon eğrisini kesen lineer çizginin kestiği yük değeri basınç direncinin hesaplanmasında kullanılmakta, yük ekseninde kestiği nokta numunenin maksimum kuvveti olarak kabul edilmektedir. Deneylerde ağırlıklı olarak ilk önce orta tabaka kalınlığı azalmış daha sonra diğer tabakaların kalınlığında azalmalar meydana gelmiştir. Deneylerde üçer numune kullanılmıştır.

Buck vd. (2018), çalışmalarında Norveç ladini (*Picea abies*) odunu kullanarak 5 tabakalı ve ardışık tabakaları dış tabakalar ile 45 derece açı yapan, birbiri ile ise 90 derece açı yapan deney grubu ÇLK panel üretmişlerdir. Kontrol grubu numunelerin liflere paralel basınç direnci değeri 26,3N/mm^2 olarak tespit edilmişken 45 derece açılı deney grubu numunelerin değeri 30,2N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda direnç değerinde %15 oranında bir artış yaşandığı gözlemlenmiştir. Kontrol grubu numunelerde genellikle ezilme ve yarılma şeklinde kırılmalar gözlemlenirken deney grubu numunelerde genellikle makaslama ezilmesi ve 45 derece açılı makaslama ezilmesi (kink band) davranışı meydana gelmiştir.

Wiesner vd. (2021), C24 sınıfı Ladin (*Picea albies*) odunu kullanılarak 3 ve 5 tabakalı olarak üretilmiş ÇLK panellerin liflere paralel basınç dirençleri poliüretan tutkalı kullanımında sırasıyla 35,6N/mm^2 ve 42,6N/mm^2 olarak, melamin-üre formaldehit tutkalı kullanımında ise sırasıyla 37,7N/mm^2 ve 43,5N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Bhat (2021), kavak odunu ve çift komponentli epoksi tutkalı kullanılarak 3 tabakalı ÇLK panel üretilmiştir. Bu panelin liflere paralel basınç direnci 22,41N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca deney aynı ebatlarda masif kiriş kullanılarak yapıldığında ise 20,42N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. ÇLK panelde tutkal hattından ayrılma şeklinde

kırılma yaşanırken masif malzemede ezilme ve liflerin birbiri üzerine kayması şeklinde kırılma gözlemlenmiştir.

Gasparri vd. (2016), çam-göknar-ladin odunları kullanılarak üretilmiş hibrit ÇLK panellerin liflere dik basınç direnci 4,75N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Franke (2016), kayın odunundan üretilmiş ÇLK panelin liflere paralel basınç direnci 61,5N/mm^2, liflere dik basınç direnci 9,3N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Ladinde ise bu değerlerin liflere paralel basınç direncinde 12,6N/mm^2, liflere dik basınç direncinde ise 2,5N/mm^2 olduğu ifade edilmiştir.

Serrano ve Enquist (2010), ladin odunu kullanılarak üretilen 120x200x200mm (kalınlık x genişlik x derinlik) ebatlarındaki numunenin liflere dik basınç direncini 3,3N/mm^2 olarak tespit etmiştir.

Brandner (2018), Norveç ladini (*Picea abies*) odunu kullanarak 5 tabakalı ÇLK panel üretilmiştir. 100x100mm ebatlarındaki ve %12 rutubetteki numunelerin liflere dik basınç direnci değeri 3,26N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir.

Srivaro vd. (2021a), Parair kauçuk ağacı (*Hevea brasiliensis*) odunu kullanılarak yapısında parmak dişli birleştirme bulunan ve bulunmayan 3 tabakalı ÇLK panel üretilmiştir. Bu panellerin liflere paralel basınç direnci parmak dişli birleştirme bulunduranlarda 48,3N/mm^2 bulundurmayanda ise 53,3N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Liflere dik basınç direncinde ise bu değerler sırasıyla 9,1N/mm^2 ve 9N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Liflere paralel basınç direnci değeri parmak dişli birleştirme kaynaklı olarak %9,38 oranında azalma göstermiştir.

Oh vd. (2015), Kore melezi (*Larix kaempferi*) odunu kullanılarak üretilen 3 tabakalı ÇLK panelin liflere paralel basınç direnci 38,71N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir. Song ve Hong (2019), Japon melez ağacı (*Larix kaempferi* Carr.) odunu kullanılarak fenol resorsinol formaldehit tutkalı yardımıyla 5 tabakalı ÇLK liflere dik basınç direnci 11,93N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.

Wei vd. (2019), Batı hemlok ağacı (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) odunu kullanılarak üretilen 3 tabakalı ÇLK panelin liflere paralel basınç direnci değeri 24,10N/mm^2 olarak bulunmuştur. Numunelerde genellikle tutkal hattı üzerinden elyaflı ayrılmaların olduğu, ayrıca kısmi bölgesel ezilmelerin, enine makaslama ezilmelerinin boyuna makaslama yarılmalarının, numunenin bir ucunda enine makaslama ezilmelerinin ve budak çevrelerinde çatlak oluşumlarının meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Mohd Yusof vd. (2019), yaptıkları çalışmada *Acacia mangium* türü kullanarak ürettikleri 3 tabakalı ÇLK panellerde liflere paralel basınç direncini poliüretan tutkal kullanımında 28,14 N/mm^2 olarak, fenol-resorsinol tutkalı kullanımında ise 28,99N/mm^2 olarak tespit etmişlerdir. Numunelerde ezilme ve tutkal hattından ayrılma davranışları gözlemlenmiştir.

Panel türü ve çalışma gruplarının basınç direnci özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla yapılan tek yönlü, iki yönlü anova analizi ve Duncan analizi sonuçları Tablo 5.48; Tablo 5.49; Tablo 5.50 ve Tablo 5.51'de görülmektedir.

Tablo 5.48 Liflere paralel basınç direnci iki yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	**Ortalama Kare (Hata)**	**F değeri**	**Önem Düzeyi**
Doğrulanmış Model	6,727	16,979	0,000
Kesişme		4692,995	0,000
Panel Türü		36,270	**0,000**
Çalışma Grubu		1,106	0,305
Çalışma Grubu*Panel Türü		1,655	0,200
R2= 0,884 (Düzenlenmiş R2= 0,832)			

Anova analizi sonucunda liflere paralel basınç direnci üzerine panel türünün %95 güven aralığı düzeyinde anlamlı derece bir etkisinin olduğu ancak 90 derece ve 45 derece grupları arasında ise anlamlı derecede bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir.

Tablo 5.49 Liflere paralel basınç direnci panel türüne göre Duncan analizi

Çalışma Grubu	S	TS	K	D	TD
90 Derece Grubu	A (22,97)	B (28,12)	B (30,79)	C (40,94)	C (36,89)
45 Derece Grubu	A (26,9)	A (31,37)	A (28,25)	B (40,08)	B (38,08)

Tablo 5.50 Liflere paralel basınç direnci çalışma gruplarına göre Duncan analizi

Numune Grubu	90 Derece Grubu	45 Derece Grubu
S	A (22,97)	A (26,9)
TS	A (28,12)	A (31,37)
K	A (30,79)	A (28,25)
D	A (40,94)	A (40,08)
TD	A (36,89)	A (38,08)

Duncan analizi sonucunda da panel türünün gruplar arasında anlamlı derecede farka neden olduğu ancak çalışma grupları arasında anlamlı derecede farkın olmadığı görülmektedir.

Tablo 5.51 Liflere dik basınç direnci tek yönlü anova analizi

	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Liflere Dik Basınç Direnci	0,43	1,766	0,220

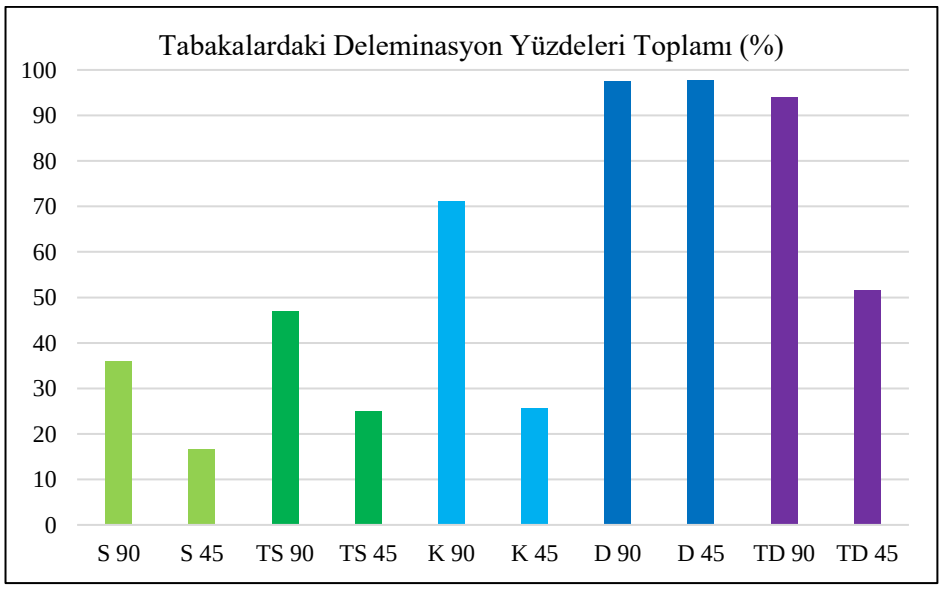
Liflere dik basınç direnci tek yönlü anova analizi sonuçları incelendiğinde gruplar arasında %95 güven aralığı düzeyinde anlamlı derecede bir farkın olmadığı gözlemlenmiştir. Bu duruma basınç direnci deneyi esnasında ilk olarak orta tabakada bulunan kavak malzemenin ezilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Anlamlı derecede fark bulunmadığı için Duncan analizi yapılmamıştır.

5.2.7 ÇLK Panellerin Delaminasyon Yüzdesi

Üretilen ÇLK panellerin tabakalar arasındaki ortalama delaminasyon yüzdesi toplamı Tablo 5.52'de, karşılaştırma grafiği ise Grafik 5.31'de görülmektedir.

Tablo 5.52 Tabakalar arasındaki delaminasyon yüzdesi toplamının ortalaması

Numune Grubu	Numune Adedi	Ortalama Değer (%)	Varyasyon Katsayısı (%)
S 90	3	**36**	4,21
S 45	3	**16,6**	45,62
TS 90	3	**47**	36,61
TS 45	3	**24,9**	25,29
K 90	3	**71**	14,7
K 45	3	**25,5**	57,97
D 90	3	**97,4**	1,23
D 45	3	**97,6**	0,21
TD 90	3	**93,9**	5
TD 45	3	**51,5**	13,24



Grafik 5.31 Delaminasyon yüzdeleri grafiği

Deney sonucunda en fazla yapışma alanı yüzdesi S 45 grubu numunelerde gözlemlenmiştir. Sonrasında sırası ile TS 45 ve K 45 grupları gelmektedir. D 90-45 gruplarında deney sonrası numuneler neredeyse dağılma noktasına gelmiştir.

Jiang vd. (2014), poliüretan tutkalı ve adi dişbudak (*Fraxinus excelsior*) kullanılarak üretilen panellerde delaminasyon yüzdesinin %81,4 olduğunu tespit etmişlerdir. En düşük delaminasyon fenol resorsinol formaldehit tutkalı kullanılan grupta gözlemlenmiştir.

Knorz vd. (2015), sert ağaç odunlarında yoğunluk artışının poroziteyi azalttığı ve hücre duvarlarının daha kalın oluşmasına neden olduğu, bu durumun hücre duvarları ve lümenlerin içerisine tutkal penetrasyonunu zorlaştırdığı görülmüştür. Sert ağaç odunlarının yapıştırılmasında tek komponentli poliüretan tutkal kullanımı durumunda delaminasyon değerinin artışının diğer bir nedeni olarak delaminasyon deneyi esnasında odundaki fonksiyonel OH grubu ile tutkal arasındaki hidrojen bağlarının su molekülleri tarafından deformasyona uğraması olduğu belirtilmiştir. Dişbudak odunu lifleri incelendiğinde liflerin lümen çaplarının dar, hücreler arası geçitlerinin küçük çaplı ve az sayıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum tutkalın daha derinde bulunan hücreler içerisine penetrasyonuna engel olmaktadır. Bu bağlamda, yapışma yüzeyinin büyük bir bölümünün oluşmasını sağlayan hücre duvarının yapısına tutkal penetrasyonu tutkal adezyon direnci için önemli bir unsur olarak görülmektedir. Halkalı traheli yapı sergileyen dişbudak odunu dağınık traheli kayın odunu ile kıyaslandığında tutkallama sonrası tutkal dağılımında daha az homojen bir yapının oluştuğu tespit edilmiştir.

Musah (2021), çalışmasında titrek kavak, Amerikan dişbudak, Veymut çamı ve altın huş türlerinden üretilen ÇLK panellerin delaminasyon yüzdesinin %50'den yüksek değerlerde çıktığını tespit etmiştir. Ayrıca, sert ağaç odunlarının anatomik özelliklerinin karmaşık oluşu ve odun yüzeyinin kimyasal yapısı nedeniyle odunun yapıştırılma özelliklerinin yumuşak ağaç odunlarına kıyasla daha komplike bir yapıda olduğunu belirtmiştir. Örnek olarak ise sert ağaçlarda bulunan ekstraktif maddelerin çeşitliliği yapışma bölgesinde yapışmayı zorlaştırıcı etki yaparak zayıf bir yapışmaya neden olabileceği belirtilmiştir. Tutkal penetrasyonu trahe ve traheitlerin çap özelliklerinden yüksek oranda etkilenmekte olduğu ve bu özelliklerin sert ağaç odunlarında çok daha fazla çeşitli olduğu ifade edilmektedir. Sert ağaçların yumuşak ağaçlara kıyasla daha yüksek yoğunluğa sahip olması odunun rutubet alışverişi esnasında daha fazla çalışmasına neden olarak tutkal hattında gerilime neden olmaktadır. Ayrıca, benzer yoğunluk değerine sahip sert ağaç odunlarının yumuşak ağaç odunlarına kıyasla %20 daha fazla daralma özelliği gösterdiği ve bu durumun nedeninin yumuşak ağaç odunlarına kıyasla sert ağaç odunlarının daha düşük oranda hidrofobik özellikteki lignin maddesi içermesi ve daha yüksek karbonhidrat yapılı ve hidrofilik özellikteki selüloz ve hemiselüloz içermesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Clerc vd. (2018), Adi dişbudak (*Fraxinus excelsior*) odununda tutkallama öncesi yüzeylere %10 primer içeren sulu çözelti uygulaması yapıldığında delaminasyon değerinin %82,3'ten %11,5'e, %20 primer içeren sulu çözelti uygulaması yapıldığında ise delaminasyonun %46,8'e düştüğü gözlemlenmiştir. Bockel vd. (2020), yüksek konsantrasyonda primer kullanımının odundaki hidroksil gruplarına ulaşılabilirliği azalttığı tespit edilmiştir. Clerc vd. (2018), ayrıca tabaka kalınlığının 5 mm azaltılması durumunda delaminasyonda %50'ye varan bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durumun incelen tabakada gerilme sonucunda delaminasyon yaşanmadan önce tabakanın deformasyona uğrayarak var olan gerilimin azalmasından kaynaklandığı görülmüştür. Luedtke vd. (2015), sert ağaçların yapıştırılmasında primer kullanımının yapışma direncini önemli derecede arttırdığını ancak tüm türler üzerinde aynı derecede bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Mohd Yusof vd. (2019), yaptıkları çalışmada *Acacia mangium* türü kullanarak ürettikleri ÇLK panellerde delaminasyon yüzdelerini fenol-resorsinol formaldehit tutkalı kullanımında %24,21 olarak, poliüretan tutkalı kullanımında ise %36,29 olarak tespit etmişleridir. Poliüretan tutkalı kullanımında delaminasyon yüzdesinde artış gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak ise poliüretan tutkalının kürleşme esnasında ortama karbondioksit gazı salgıladığı ve bu gazın tutkal hattında hava cepleri oluşumu ile tutkal hattı formasyonunda bozulmalara neden olduğu ve bu durumun birleşim yeri boyunca bazı zayıf alanların oluşumuna neden olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, poliüretan tutkalı ile üretilen ÇLK panellerin sıcak ve rutubetli alanlarda kullanımı durumunda uzun vadede delaminasyonların meydana gelebileceği tespit edilmiştir. Purba vd. (2022), çalışmalarında sadece meşe (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl) türü odunundan ve dış tabakalar meşe-orta tabaka kavak (*Populus alba*) odunundan melamin üre formaldehit ve poliüretan tutkalı kullanarak ürettikleri ÇLK panellerin delaminasyon yüzdelerini poliüretan tutkalı kullanımında meşe-kavak panellerde %25 olarak, meşe panellerde ise %87,5 olarak tespit etmişlerdir. Bu değerler MUF tutkalında ise sırasıyla %0 ve %44,44 olarak tespit edilmiştir. Sade meşe kullanılarak üretilen panellerde delaminasyon yüzdesi (%87,5) yüksek çıkmıştır. Ayrıca poliüretan tutkalı kullanımı da numunelerde en yüksek delaminasyon yüzdesi değerlerine neden olmuştur. Çalışma sonucunda üretilen panellerden EN 16351 (2015) standardında belirtilen şartları sade meşe kullanılarak üretilen panellerden hiçbiri

sağlayamamıştır. Meşe ve kayın gibi tamamen sert ağaç odunlarından üretilen ÇLK panellerin EN 16351 (2015) standardındaki değerleri karşılamasının yumuşak ağaç odunu kullanılarak üretilen ÇLK panellere kıyasla çok daha zor olduğunu göstermiştir. Meşe-kavak panellerin daha düşük delaminasyon yüzdesi vermesinin nedeni şu duruma bağlanmıştır: 3 tabakalı ÇLK panellerde dış tabakaların bağımsız bölgelerinin orta tabakaya kıyasla daha çok olmasından dolayı dış tabakalardaki odunun çalışmasının daha kolay olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum sonucunda rutubet değişimine bağlı olarak enine yönde uzanan orta tabakanın çalışması boyuna yönde uzanan ve anizotropik yapıdaki dış tabakalar tarafından engellenerek orta tabakadaki ahşap malzemenin yüksek oranda basınç direncine maruz kalmakta olduğu görülmüştür. İç ve dış tabakalar arasındaki bu gerilim makaslama direnci oluşumuna neden olmakta, bu gerilimin değeri tutkal tabakasının makaslama direnci değerini aştığında malzemede delaminasyon meydana geldiği belirtilmiştir. Ancak, orta tabakada kavak kullanımı durumunda ve malzemenin rutubet alması halinde oluşan bu gerilimin orta tabakada liflere dik bir basınç direnci oluşturduğu, kavak odununun basınç direncinin düşük olması nedeniyle de odunda deformasyon ve plastikleşme davranışı meydana geldiği görülmüştür. Bu durum orta tabaka tutkal hattındaki makaslama direncinde azalmaya neden olarak delaminasyonda azalma sağlamaktadır. Sadece meşe odunu ile üretilen panellerde ise odunun yüksek yoğunluk ve genişleme özelliği sonucunda tutkal hattında meydana gelen makaslama gerilimi artarak delaminasyonda artışa neden olmaktadır. Son olarak meşe-kavak ara yüzündeki tutkal hattında meydana gelen makaslama direnci ile meşe-meşe ara yüzündeki tutkal hattında meydana gelen makaslama direnci özelliklerinin farklı olabileceği belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise 45 derece gruplarında 90 derece gruplarına kıyasla daha az delaminasyon gözlemlenmesinin nedeninin şu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bozkurt ve Erdin (2011), ahşap malzemelerin rutubet değişimine bağlı boyuna yöndeki daralmasının nadiren %0,4'ü aştığını ve genellikle bu değerin altında olduğunu belirtmişlerdir. Purba vd. (2022), enine yönde uzanan orta tabakada meydana gelen genişlemenin dış tabakalar tarafından engellendiği belirtilmiştir. Bu durumunda tabakalar arasında makaslama gerilimi oluşturarak delaminasyonu arttırdığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise orta tabaka elyaf yönünün dış tabakaların

yönüne yaklaştırılarak meydana gelen gerilimde azalmaya neden olduğu ve bu azalmanın delaminasyonda azalmaya neden olduğu düşünülmektedir.

Brunetti vd. (2020), çalışmalarında kayın (*Fagus sylvatica* L.) odunu ve poliüretan tutkalı kullanılarak üretilen panellerde delaminasyon yüzdesinin %98,5'e ulaştığını gözlemlemiştir. Melamin üre formaldehit (MUF) tutkalında ise bu değer %55,7 olarak tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni olarak kayın odununun yoğunluğunun yüksekliğine bağlı olarak poliüretan tutkalının hücre çeperlerinin içerisine MUF tutkalına kıyasla yeterince penetrasyon sağlayamadığı gösterilmektedir. Kayın odununa tutkallama öncesi primer uygulaması ise numunelerin delaminasyon yüzdesini %98,5'ten %47,3'e indirgemiştir. Ayrıca dış tabakalarda kayın orta tabakada ladin (*Picea abies* L.) odunu kullanımında poliüretan tutkalında panellerin delaminasyon yüzdesi %55,2 olarak, primer+poliüretan tutkalı kullanımında ise delaminasyon %44,3 olarak MUF tutkalı kullanımında ise %29,2 olarak gözlemlenmiştir.

Amman vd. (2017), kışın ısıtılan ortamlarda sert ağaç kullanılarak üretilmiş ÇLK panel kullanımında ortamın düşük rutubeti nedeniyle panellerde delaminasyon görülebilmektedir.

Jiang vd. (2014), çalışmasında dişbudak ve kayın gibi yüksek yoğunluktaki ahşap malzemelerin yapıştırılmasında genellikle problemler yaşandığını belirtmiştir. Bu durumun nedenlerinden birinin ise kalın hücre duvarı ve dar lümenlerin tutkalın derinlere penetrasyonuna engel olduğunu ve bu durumun tutkalın mekanik olarak bağ yapmasına engel teşkil ettiğini ifade etmiştir. Ayrıca rutubet kaynaklı boyut değişiminin odunun yapısında çeşitli mekanik gerilmelere neden olduğu ve bu gerilimin tutkal ile odun arasındaki bağın kopmasına neden olabileceği tespit edilmiştir. Ek olarak karmaşık kimyasal yapıdaki ekstraktiflerin tutkal hattının performansını etkileyeceği, kurutma ve depolama esnasında suda çözünür ve uçucu yapıdaki ekstraktiflerin odun yüzeyinde toplanarak kimyasal zayıf sınır katmanı olarak adlandırılan bir tabaka oluşumuna neden olduğu, bu tabakanın reaksiyon alanında engelleyici etki yaptığı ve sonuç olarak yüzeyin tutkal tarafından gerçek manada ıslatılmasını engellediği belirtilmiştir.

Clerc vd. (2018), poliüretan tutkallarının makaslama direnci test standardındaki değerleri karşılayabilse bile delaminasyon test standardındaki gereksinimleri karşılayamaması nedeniyle sert ağaç odunlarının yapıştırılmasında daha az uygun bir tutkal olduğu belirtilmiştir. Ancak, oda sıcaklığında hızlı kürleşme, şeffaf tutkal tabakası oluşturma, yapısında formaldehit bulundurmama ve tek komponentli yapısı nedeniyle kolay uygulanabilir olması bakımlarından diğer tutkal türlerine kıyasla bazı avantajları bulunmaktadır. Bu durum tutkallama öncesi primer kullanılarak tutkalın performansının arttırılması çalışmalarını değerli kılmaktadır. Yaş aşamada tutkal hattını optimize edebilmek için hidrofilik emülsifiyer solüsyonu (primer) kullanımı odun ile tutkal arasında çekim oluşumunu sağlayarak numunelerde delaminasyon yüzdesinde azalma sağlamaktadır. TLK üretiminde delaminasyonun azaltılması arzu edildiği durumda üretimden önce ahşap rutubetinin %8-10 civarında tutularak üretim yapılması gerektiği ve üreticilerin bu şekilde üretim yaptığı belirtilmiş, bu durumun ise EN 302-2 standardında belirtilen ve istenen %12 rutubet değerine aykırı bir değer olduğu ifade edilmiştir.

Panel türünün numunelerin delaminasyon özellikleri üzerine etkisinin tespiti amacıyla yapılan iki yönlü anova analizi ve Duncan analizi sonuçları Tablo 5.53; Tablo 5.54 ve Tablo 5.55'te görülmektedir.

Tablo 5.53 Delaminasyon deneyi iki yönlü anova analizi

Varyasyon Kaynağı	Ortalama Kare (Hata)	F değeri	Önem Düzeyi
Doğrulanmış Model	99,1	50,773	0,000
Kesişme		1590,161	0,000
Çalışma Grubu		84,221	0,000
Panel Türü		84,389	0,000
Çalışma Grubu*Panel Türü		8,793	0,000
R2= 0,920 (Düzenlenmiş R2= 0,901)			

Anova analizi sonucuna göre panel türü ve çalışma grubuna (90 derece ve 45 derece) göre delaminasyon deneyi değerleri %95 güven aralığı düzeyinde birbirinden anlamlı derecede farklı olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.54 Delaminasyon deneyi panel türüne göre Duncan analizi

Çalışma Grubu	S	TS	K	D	TD
90 Derece Grubu	A (36)	A (47)	B (71)	C (97,4)	C (93,9)
45 Derece Grubu	A (16,6)	A (24,9)	A (25,5)	C (51,5)	B (51,5)

Duncan analizi sonucunda K 90-45 grupları ile TD 90-45 gruplarının verileri birbirinden farklı bölgelerde toplanmış, diğer grupların verileri ise birbiri ile aynı bölgelerde toplanmıştır.

Tablo 5.55 Delaminasyon deneyi çalışma gruplarına göre Duncan analizi

Numune Grubu	90 Derece Grubu	45 Derece Grubu
S	B (36)	A (16,6)
TS	B (47)	A (24,9)
K	B (71)	A (25,5)
D	A (97,4)	A (97,6)
TD	B (93,9)	A (51,5)

Duncan analizi sonucunda D 90-45 grupları haricinde kalan diğer grupların verileri birbirinden farklı bölgelerde toplanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada ThermoWood yöntemi ile ısıl işlem uygulaması yapılmış değişik ağaç türü odunlarından üretilen farklı çapraz laminasyonlu ahşap (ÇLK) panel çeşitlerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ÇLK panel üretiminde, Samsun kavağı (I 77-57 *Populus deltoides* Batr.), ithal sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Amerikan dişbudak (*Fraxinus americana*) türü odunları kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda ısıl işlem uygulamasının üretimde kullanılan ahşap malzemelerin yoğunluk, lif doygunluk noktası, denge rutubet miktarı, hacmen daralma-genişleme, eğilme direnci, çekme direnci, tutkal adezyon direnci değerlerinde azalmaya neden olduğu, ekstraktif madde yüzdesinde ise genellikle bir artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca malzemelerin elastikiyet modülü ve basınç direnci değerlerinde artış tespit edilmiştir.

Üretilen ÇLK panellerin özellikleri incelendiğinde ise suda bekletme deneyi sonucunda ısıl işlem uygulaması panellerin kalınlık artış yüzdelerinde azalma, ağırlık artış yüzdelerinde düşük oranda bir azalma sağladığı, orta tabaka açı oryantasyonunun ise kalınlık artışına etkili olmadığı, ağırlık artışına ise düşük oranda arttırıcı yönde etkili olduğu görülmüştür. Bu bağlamda kalınlık artışının önemli olduğu rutubetli alanlarda ısıl işlem uygulanmış malzeme kullanımı ileride yaşanacak sorunların önüne geçilebilme noktasında faydalı olacaktır.

Isıl işlem uygulaması panellerin su buharı iletimi üzerine TS 90-45 grubunda azalmaya, TD 90-45 grubunda ise düşük oranda azalmaya neden olmuş, orta tabaka açı oryantasyonu ise TD 45 grubu haricinde kalan S 45, TS 45, K 45 ve D 45 gruplarında düşük oranda azalmaya neden olmuştur. Yapılarda ısıl işlem uygulanmış yada orta tabaka açı oryantasyonu yapılmış panellerin kullanılması durumunda duvarların bünyesine rutubet alış verişi yavaşlayacağı için bu durum yapının ısıtma ve soğutma için harcanacak enerji giderlerinde azalma sağlayabilir ve yapı içerisinde rutubet dağılımının daha stabil olmasını sağlayarak insan sağlığına faydalı olabilir.

Isıl işlem uygulamasının panellerin termal iletkenlik özelliklerinde azalmaya neden olduğu, orta tabaka açı oryantasyonunun ise S 45 grubu dışında kalan TS 45, K 45, D 45 ve TD 45 gruplarında değerlerde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Bu bağlamda yapılarda ısıl işlem uygulanmış yada orta tabaka açı oryantasyonu yapılmış panellerin kullanılması yapı içerisinden dışarıya ısı kaybını ve dışarıdan yapı içerisine ısı geçişini yavaşlatarak yapının ısıtma ve soğutma için harcanacak enerjisi giderlerinde azalma sağlayabilir. Avrupa ülkelerinde yapılarda enerji verimliliğini arttırmak amacıyla ısı kayıplarının ve yapıların iç iklimlerinde meydana gelebilecek değişimlerin minimum seviyelerde tutulmasına yönelik çalışmalar yapılmakta ve bu doğrultuda hava ve ısı akışını minimum düzeylere indirecek yapılar tasarlanmaktadır. Bu bağlamda panel üretiminde ısıl işlem uygulanmış malzeme kullanımı yada orta tabaka açı oryantasyonu enerji verimliliği konusunda tasarımcılara yardımcı olabilir.

Isıl işlem uygulaması panellerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinde azalmaya, orta tabaka açı oryantasyonu ise TS 45, D 45 ve TD 45 gruplarında bu değerlerde artışa, S 45 ve K 45 gruplarında ise genellikle bu değerlerde azalmaya neden olmuştur. Değerler ANSI APA PRG 320 ÇLK üretim standardında belirtilen değerler ile kıyaslandığında D 45 grubu E1 sınıfı, S 90 ve S 45 grupları, TD 45 deney grubu ile D 90 grubu E3 sınıfı şartlarını sağlamaktadır. TS, K ve TD 90 grupları elastikiyet modüllerinin yeterli gelmemesi nedeniyle hiçbir gruba girememiştir. Bu bağlamda orta tabaka açı oryantasyonu TD 45 grubu panellerin standartta belirtilen özellikleri karşılamasını sağlayarak malzemelerin yapıda kullanılabilecek kaliteye gelmesine imkan tanımıştır. Yapılarda rutubet kaynaklı problemlerin çok yaşanabileceği tuvalet, banyo, balkon ve teras gibi kısımlarında TD 45 grubu panellerin kullanılması rutubet kaynaklı problemlerin önüne geçilmesi ve yapının uzun ömürlü olması bakımından yapıya çeşitli avantajlar sağlayabilecektir.

Isıl işlem uygulaması panellerin dış tabakalarına paralel doğrultuda basınç direnci üzerine S 90-45 gruplarında arttırıcı, D 90-45 gruplarında ise azaltıcı yönde etki etmiştir. Orta tabaka açı oryantasyonu ise K 45 ve D 45 grubunda azaltıcı yönde S 45, TS 45 ve TD 45 gruplarında ise arttırıcı yönde etki etmiştir. Değerler ÇLK üretim standardı ile kıyaslandığında tüm grupların E1 sınıfı şartlarını sağladığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda orta tabaka açı oryantasyonu S 45, TS 45 ve TD 45

gruplarında direnç özelliklerinde iyileşme sağlayarak yapılarda kullanımı durumunda yapının sağlamlığına katkıda bulunabilecektir. Ayrıca D 45 ve TD 45 grubu paneller diğer gruplara kıyasla daha yüksek direnç özelliği vermeleri sayesinde daha ince duvarlar ile daha yüksek katlı yapıların inşasına olanak sağlamakta ve yapı inşasını daha ekonomik hale getirebilecektir. K 90-45 grubu paneller ise S 90-45 grubu panellere kıyasla daha hafif olmalarına rağmen daha yüksek basınç direnci göstermektedirler. Eğer K 90-45 grubu panellerin elastikiyet modülleri farklı yöntemler ile arttırılarak E3 sınıfının özelliklerini karşılaması sağlanırsa paneller 3 kattan daha alçak yapılarda kullanılabilecek hale gelebilirler ve alçak yapıların ekonomik bir şekilde inşasında K 90-45 grubu panellerin kullanımı mümkün olabilir. ÇLK yapıların ekonomik olması için 3 kattan daha yüksek olması talep edilmektedir.

Isıl işlem uygulaması panellerin delaminasyon özellikleri üzerine S 90-45 gruplarında arttırıcı yönde etki etmiş, D 90-45 gruplarında ise etkili olmamıştır. Orta tabaka açı oryantasyonu ise D 90-45 grubu haricindeki gruplarda delaminasyonu azaltıcı yönde etki ederek panellerin suya karşı olan dayanıklılığında artış sağlamıştır. Bu bağlamda panellerin direnç özelliklerinde de genellikle artışa neden olan orta tabaka açı oryantasyonu panellerin kullanım alanında karşılaşabileceği rutubet değişimleri ile daha iyi başa çıkabilmesini sağlayarak panellerin kenarlarında kısmi açılmaların önüne geçilmesini sağlayabilir. Panel üretiminde klasik üretim yerine orta tabaka açı oryantasyonu yaparak üretim yapılması incelenen özellikler bakımından avantajlar sağlayacağı için genel olarak faydalı görülmektedir.

Bu çalışmanın devamı noktasında aşağıda belirtilen yeni çalışmalar yapılarak literatürde var olan eksikliklerin tamamlanması önemli görülmektedir. Bu sayede yapılarda güvenli ve ekonomik bir şekilde ÇLK panellerin kullanım imkanları tespit edilebilecektir.

- ÇLK panellerin şok direnci, yorma yükleme testi, yanal basma testleri ve deprem yükleri altındaki davranış testlerinin devam çalışma olarak yapılması faydalı olacaktır. Ayrıca akustik özellikleri, hava geçirgenlik özelliği ve yangın dayanımı testleri yapılması yapı konforu bakımından önemlidir.

- ÇLK panel üretiminde yerli veya endemik odun türleri kullanılarak üretilecek panellerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesi ekonomik üretim için önemli bir unsurdur.

- ÇLK panel üretiminde deneysel olarak sert ağaç kullanımı 2010'lu yıllarda başlamıştır ve yeni bir uygulama alanı olarak görülmektedir. Bu bağlamda farklı sert ağaç türlerinin ÇLK panel üretiminde uygunluğunun tespit edilmesi elzem görülmektedir. Bu sayede daha dayanıklı yapıların inşası sağlanabilir.

- Orta tabakada 45 derece uygulamasının diğer ağaç türleri üzerine etkilerinin tespiti amacıyla farklı türlerden üretilmiş ÇLK panellerin performanslarının tespit edilmesi faydalı olacaktır.

- Üretimlerde farklı tutkal türleri ve markaları kullanılarak ahşap malzemelerin ve tutkalların performanslarının tespit edilmesi üretimin daha ekonomik ve güvenli olmasına katkı sağlayacaktır.

- ÇLK panellerde kullanılan parmak dişli birleştirmelerin panel performansına etkilerinin tespiti amacıyla farklı diş derinlikleri ve farklı parça boyları kullanılarak üretilmiş panellerin özelliklerinin incelenmesi gereklidir. Ayrıca, parmak dişli birleştirmeye alternatif daha dayanıklı birleştirme çeşitleri hakkında kapsamlı çalışmalar yapılması elzem görülmektedir.

- ÇLK panel üretiminde ardışık tabakalarda farklı ağaç türü odunları kullanılarak panellerin performanslarında meydana gelen değişimlerin tespit edilmesi gereklidir. Uygulanan bu modifikasyon sonucunda ardışık tabakalarda dişbudak gibi dayanıklı türlerin odunlarının kullanımı panellerde tabaka kalınlıklarında değişiklik yapma gereksinimi duymadan panellerin direnç özelliklerinde artış sağlayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Acar, C. (2006). Paulownia'nın odun özelliklerinin kavak ve okaliptüs ile karşılaştırılması. *Ege Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Dergisi*, 1, 1-29.

Aicher, S., Hirsch, M., & Christian, Z., (2016). Hybrid Cross-Laminated Timber Plates with Beech Wood Cross Layers. *Construction ve Building Materials*, *124*, 1007-1018.

Akça, C. (2003). Masif Ahşap Panel Sektörüne Genel Bakış ve Masif Ahşap Paneller, *Laminart Dergisi*, İstanbul, 27, 92 – 95.

Alioğulları, S. (2010). Süleymaniye Plantasyonlarında Uygulanan Dikim Aralığının Dar Yapraklı Dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) Odununun Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Yüksek Lisans Tezi.

AlSayegh, G. (2012). Hygrothermal Properties of Cross Laminated Timber and Moisture Response of Wood at High Relative Humidity. Master Thesis, *Carleton University, Institute of Applied Sciences*, Ottawa, Ontario.

Altgen, M., & Militz, H. (2017). Thermally Modified Scots Sine and Norway Spruce Wood as Substrate for Coating Systems. *Journal of Coatings Technology and Research,* 14(3), 531-541.

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

Ammann, S., Schlegel, S., Beyer, M., Aehlig, K., Lehmann, M., Jung, H., & Niemz, P. (2016). Quality Assessment of Glued Ash Wood for Construction Engineering. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(1), 67-74.

Amman, S., Thomas Rohner, B. F. H., Pichelin, B. P. D. F., & BFH, B. (2017). Mechanical Performance of Structural Hardwood Elements. *7e Forum International Bois Construction FBC 2017*.

Anonim (2010), Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Edt. Ross, R. J. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v., 190.

ANSI/APA PRG 320, (2012). Standard for Performance Rated Cross-Laminated Timber. American National Standart. APA- *The Engineered Wood Association.* (Vol. ANSI/APA PRG 320-2012, pp. 29). Tacoma, WA.

ANSI A 190.1 (2017). Product Standard for Structural Glued Laminated Timber. American National Standart. APA- *The Engineered Wood Association.*

Ash, W. (1993). *Fraxinus americana*. Ironwood Ostrya Virginiana.

ASTM C518, (2012). Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. *The American Society for Testing ve Materials.*

ASTM E96, *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials*. The American Society for Testing ve Materials, Philadelphia.

Avlar, E., Limoncu, S., (2001), Yapı Malzemesi Olarak Ahşap ve Ahşap Yapı Sistemleri, *Yapı 241*, 2001/12, s.87-90, 2001).

Ayan, S. (2012). Isıl İşlemli Ahşap Lamine Panellerin Akustik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD, Doktora Tezi.

Ayata Ü. (2014). Isıl İşlem Görmüş (ThermoWood) Bazı Ağaç Türlerinde Kullanılan Su-Bazlı Vernik Katmanlarının Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Etkisine Karşı Direncinin Belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi.

Aydemir, D. (2007). Göknar (*Abies bormülleriana* Mattf.) ve Gürgen (*Carpinus betulu*s L.) Odunlarının Bazı Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi, *Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Bakır D., (2019). Biyolojik Yöntemle Permeabilitesi İyileştirilen Odunun Bazı Özelliklerinin ve Bakır Dağılımının İncelenmesi. İ*stanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,* Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

Balıkçı, E. (2016). Isıl İşlem Görmüş Ağaç Malzeme ile Hazırlanan Çerçeve Konstrüksiyonlu Mobilya Birleştirmelerinin Mekanik Özellikleri. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Baltacı S. (2010). Bazı Odunların Çivi ve Vida Tutma Direnci Üzerine Isıl İşlem Uygulamasının Etkisi. *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Baño, V., Godoy, D., & Vega, A., (2016). Experimental ve Numerical Evaluation of Cross-Laminated Timber (CLT) Panels Produced with Pine Timber from Thinnings in Uruguay. *World Conference on Timber Engineering*, Vienna, Austria.

Baştuğ İ. (2010). Isıl İşleme Maruz Bırakılan Lamine Ağaç Malzemenin Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Baydağ M. (2014). Isıl İşlem ve Hızlı Yaşlandırma Uygulanmış Ağaç Malzemenin Dielektrik Özellikleri. *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Berkel, A. (1970). Ağaç Malzeme Teknolojisi, *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları,* Yayın no: 147.

Bhat, J. A. (2021). Improved Strength and stiffness Characteristics of Cross-Laminated Poplar Timber Columns. *International Journal of Engineering*, 34(4), 803-810.

Bilgin, Y. (2010). Türkiye'de Masif Panel Sektörünün Yapısal Durumu ve Ağaç İşleri Endüstrisindeki Kullanım Olanakları. *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Birler, A. S. (2010). Türkiye'de kavak yetiştirme: fidanlık-ağaçlandırma-koruma-hâsılat-ekonomi-odun özellikleri. *Çevre ve Orman Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Yayını*, 223

Bockel, S., Harling, S., Grönquist, P., Niemz, P., Pichelin, F., Weiland, G., & Konnerth, J. (2020). Characterization of Wood-Adhesive Bonds in Wet Conditions by means of Nanoindentation and Tensile Shear Strength. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(3), 449-459.

Boruszewski, P. J., Borysiuk, P., Mamiński, M. Ł., & Grześkiewicz, M. (2011). Gluability of Thermally Modified Beech (*Fagus silvatica* L.) and Birch (*Betula pubescens* Ehrh.) Wood. *Wood Material Science & Engineering*, 6(4), 185-189.

Boonstra MJ. (2008). A Two-Stage Thermal Modification of Wood, *Ph.D. dissertation in cosupervision*, Ghent University and Université Henry Poincaré, Nancy-Fransa, (2008).

Bozkurt, Y. (1986). *Ağaç Teknolojisi,* İ. Ü. Orman Fakültesi yayını, Yayın No: 3403, İstanbul

Bozkurt, A. Y., & Erdin, N. (2011). Ağaç Teknolojisi, İ. Ü. Orman Fakültesi yayını, Yayın No 445, İstanbul

Brandner, R. (2018). Cross Laminated Timber (CLT) in Compression Perpendicular to Plane: Testing, Properties, Design and Recommendations for Harmonizing Design Provisions for Structural Timber Products. *Engineering Structures*, 171, 944-960.

Brunetti, M., Nocetti, M., Pizzo, B., Negro, F., Aminti, G., Burato, P., ... & Zanuttini, R. (2020). Comparison of Different Bonding Parameters in the Production of Beech and Combined Beech-Spruce CLT by Standard and Optimized Tests Methods. *Construction and Building Materials*, 265, 120168.

Buck, D., Hagman, O., Wang, A., & Gustafsson, A. (2016). Further Development of Cross-Laminated Timber (CLT): Mechanical Tests on 45 Alternating Layers. *In World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016)*, Vienna, August 22-25 2016.

Buck, D., & Hagman, O. (2018). Production and In-Plane Compression Mechanics of Alternatively Angled Layered Cross-Laminated Timber. *BioResources*, 13(2), 4029-4045.

Cai C. (2020). Effects of Long-Term Moisture and Weather Exposure on the Structure and Properties of Thermally Modified Wood. *Dissertationes Forestales* 298. 50 p. https://doi.org/10.14214/df.298

Candelier, K., Thévenon, M. F., Collet, R., Gérardin, P., & Dumarçay, S. (2020). Anti-Fungal and Anti-Termite Activity of Extractives Compounds from Thermally Modified Ash Woods. *Maderas Ciencia y tecnología*, 22(2), 223-240.

Cho, H. M., Park, J. H., Wi, S., Chang, S. J., Yun, G. Y., & Kim, S. (2019). Energy Retrofit Analysis of Cross-Laminated Timber Residential Buildings in Seoul, Korea: Insights From a Case Study of Packages. *Energy and Buildings*, 202, 109329.

Chapman, J., (2015). Timber Multi-Level Buildings to 20 Levels Based on a Central Core of Integrated CLT Panels. *New Zealand Timber Design Journal*, Vol 23· Issue 2

Choong, E. T., & Manwiller, F. G. (1979). Dimensional and relative hygroscopic properties of hardwoods from southern pine sites. *Wood Science* 9 (1): 39-43.

Cırrık, Ö. (2018). Tabaka Oryantasyonunun Kavak, Çam ve Ladin'den Üretilmiş Kontrplak ve LVL'lerin Bazı Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi. *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Clerc, G., Lehmann, M., Gabriel, J., Salzgeber, D., Pichelin, F., Strahm, T., & Niemz, P. (2018). Improvement of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) Bonding Quality with One-Component Polyurethane Adhesive and Hydrophilic Primer for Load-Bearing Application. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 85, 303-307.

Concu, G., De Nicolo, B., Fragiacomo, M., Trulli, N., & Valdes, M. (2016). Grading of Maritime Pine from Sardinia (Italy) for Use in Cross-Laminated Timber. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials*, 171(1), 11-21.

Crovella, P., Smith, W., & Bartczak, J. (2019). Experimental Verification of Shear Analogy Approach to Predict Bending Stiffness for Softwood and hardwood Cross-Laminated Timber Panels. *Construction and Building Materials*, 229, 116895.

Çalıova Z. (2011). Kızılağaç ve Doğu Ladini Odunlarının Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Isıl İşlemin Etkisi. *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD, , Yüksek Lisans Tezi.

Çetin, H. (2009). Deniz Zararlılarına Maruz Kalmış İğne Yapraklı Odunların Fiziksel ve Kimyasal Yönden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bartın.

Çolak, G. (2014). Isıl İşlemin (ThermoWood Yöntemi) Bazı Ağaç Türlerinin Fiziksel Özellikleri, Çürüklük ve Hava Koşullarına Karşı Dayanıklılığı Üzerine Etkileri. *Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Çolakoğlu, G., (2010). *Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları*, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Trabzon.

Dagenais C., White R., H., Sumathipala, K., (2013). *Fire Performance of Cross Laminated Timber Assemblies.* CLT Handbook, Chapter 8. FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council.

D'Aronco, G., (2015). An Algorithm for Numerical Modelling of Cross-Laminated Timber Structures. Università Degli Studi Di Padova, *Dipartimento Di Ingegneria Civile Edile E Ambientale Icea,* Corso Di Laurea İn Ingegneria Civile, Tesi Di Laurea Magistrale.

Dağlıoğlu, N. (2010). Tanalith-e ile Emprenye Etmenin Ağaç Malzemelerin Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkileri. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Demir, A. (2014). Yangın Geciktirici Emprenye Maddelerinin Çeşitli Ağaç Türlerinden Üretilen Kontrplakların Isıl İletkenliğine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

Demirci, S., Acar, M., Balıkcı, E., Dıler, H., & Erdıl, Y. Z. (2016). Comparison of Some Physical and Mechanical Properties of Various Heat-Treated and Untreated Wood. *In II.nd International Furniture Congress* (p. 121).

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

Dilik,T. (2005). "Masif Panel Pazarı ve Üretim Teknolojisindeki Yenilikler", *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, Kasım-Aralık 2005, sayı 69 S. 292-304, İstanbul.

Dillik, T. (2006). Masif Panel Pazarı ve Üretim Teknolojisindeki Yenilikler, *İstanbul Üniversitesi Yayınları,* 69, 292-304.

DIN 68140, (1971). *Wood Finger-jointing.* Deutsches Institut fur Normung E.V.

Döngel, N. (1999). Lamine Ahşap Malzemede Ağaç Türü, Katman Sayısı ve Tutkal Çeşidinin Eğilme Direncine Etkileri. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Doruk, Ş. (2009). Lamine Ağaç Malzemede Vernik ve Emprenye İşlemlerinin Yaşlandırmaya Etkisinin Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD, Doktora Tezi.

Doruk, Ş., Altınok, M., & Perçin, O. (2010). Isıl İşlemin Ağaç Malzemenin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(3), 262-270.

Dragoeva, S. B. (2014). Studies of the Leaf Structure of *Fraxinus Americana* L.-White Ash Growing in Polluted Area.

Durak, M. (2015). Yangın Geciktirici Üst Yüzey İşlemi Uygulanmış Lamine Ağaç Malzemelerin Isı İletkenliği ve Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD, Yüksek Lisans Tezi.

EN 302-2, (2013). *Adhesives For Load-Bearing Timber Structures - Test Methods - Part 2: Determination of Resistance to Delamination*. European Standart.

EN 16351 (2015). *Timber Structures. Cross Laminated Timber. Requirements.* European Standart.

Enjily V., Jones D. (2006). The potential for Modified Materials In The Panel Products Industry, *Wood Resources and Panel Properties Conference*, COST Action E44/E49, 12-14 June, Valencia, Spain, (2006).

Efe H. & Gürleyen, L. (2006). Farklı Numaralı Zımparalar İle İşlem Görmüş Çeşitli Ağaç Yüzeylerin Yapışma Direncinin Belirlenmesi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 7(2), 110-123.

Erkoç, E., (2004). Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-uygulama-Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi (İstanbul Örnekleri). Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Esmer, M. (2015). Isıl İşlem Görmüş Ağaç Malzemede Vernik Yapışma Direnci. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Espinoza, O., Trujillo, V., R., Mallo, M., F., L., & Buehlmann, U., (2015). Cross-Laminated Timber: Status ve Research Needs in Europe. *BioResources*, 11(1), 281-295.

Espinoza, O., & Buehlmann, U. (2017). Cross Laminated Timber in the United States: Opportunity for Hardwoods?. *In 6 th International Scientific Conference on Hardwood Processing* (p. 123).

Esteves, B., Pereira, H. (2009). Wood Modification by Heat Treatment A Review, *Bioresources*, 4 (1), 370-404.

Fang, C. H., Guibal, D., Clair, B., Gril, J., Liu, Y. M., & Liu, S. Q. (2008). Relationships Between Growth Stress and Wood Properties in Poplar I-69 (*Populus deltoides* Bartr. cv.“Lux” ex I-69/55). *Annals of forest science*, 65(3), 307-307.

Franke, S. (2016). Mechanical Properties of Beech CLT. *In Proceedings of the WCTE 2016 world conference on timber engineering*, Vienna, Austria (pp. 22-25).

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

Fengel D. ve Wegener G. (1989). Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter De Gruyter, Berlin /New York, 3(9):333–335.

Gasparri, E., Lam, F., & Liu, Y. (2016). Compression Perpendicular to Grain Behavior for the Design of a Prefabricated CLT Façade Horizontal Joint. *In 14th World Conference on Timber Engineering* (pp. 1-11).

Gagnon, S., Bilek, E., M., Podesto, L., ve Crespell, P. (2013a). Introduction to Cross-Laminated Timber, CLT Handbook, Chapter 1, *FPInnovations.* Montreal, Canada.

Gagnon, S., Francis, S., Stockton, B., M. (2013b). Lifting ve Handling of Cross-Laminated Timber Elements, CLT Handbook, Chapter 12, *FPInnovations.* Montreal, Canada.

Goetz, K., H., Moehler K., Natterer, J. (1992). Timber Design ve Construction Sourcebook, *McGraw-Hill Publishing Company*, New York.

Grasser, K., K., (2015). Development of Cross-Laminated Timber in the United States of America. A Thesis Presented for the *Master of Science Degree* The University of Tennessee, Knoxville.

Gültekin, G. (2014). Bazı Yapraklı ve İğne Yapraklı Ağaçların Diri ve Öz Odunlarının Kimyasal, Anatomik, Morfolojik, Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *K.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi.

Gürleyen T., (2018). Isıl İşlem Görmüş Bazı Ağaç Türlerine Uygulanan Sentetik Vernik, Su-Bazlı Vernik ve Tik Yağı Katmanlarının Hızlandırılmış UV Yaşlandırma Etkisine Karşı Direncinin Saptanması. *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi.

Gürsu, I. (1971). Süleymaniye Ormanı Sivri Meyveli Dişbudakları (*Fraxinus oxycarpa* Willd.) Odununun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ve değeriendirme İmkânları Hakkında Araştırmalar.

Hay green J.G., ve Bowyer J.L. (1996). *Forest Products and Wood Science*, Third Edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.

Hekimoğlu, V. (2014). Göknar ve Sarıçam Odunlarından Nanokil İlaveli Çapraz Lamine Kereste Üretim Olanaklarının İncelenmesi. *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Yüksek Lisans Tezi.

Hematabadi, H., Madhoushi, M., Khazaeian, A., & Ebrahimi, G. (2021). Structural Performance of Hybrid Poplar-Beech Cross-Laminated-Timber (CLT). *Journal of Building Engineering*, 44, 102959.

Hill, C.A.S. (2006). *Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes*, John Wiley& Sons Inc., ISBN-10: 0-470-02172-1.

Hindman D., Bouldin J., (2014). Development of Southern Pine Cross-Laminated Timber for Building Code Acceptance. *World Conference on Timber Engineering*, Quebec City, Canada, August 10-14.

Hizal, K. T. (2014). Doğal Meşcerelerde ve Plantasyonlarda Yetişen Dişbudak, Kızılağaç Odunları Yapısal Özelliklerinin Karşılaştırılması. *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, İstanbul.

Iždinský vd. (2021), Iždinský, J., Reinprecht, L., Sedliačik, J., Kúdela, J., & Kučerová, V. (2020). Bonding of Selected Hardwoods with PVAc Adhesive. *Applied Sciences*, 11(1), 67.

Jamsa, S. Viitaniemi, P. (2001). Heat treatment of Wood Better Durability Without Chemicals, Review on Heat Treatments of Wood, *Antibes*, 17-22 pp.

Jiang, Y., Schaffrath, J., Knorz, M., Winter, S., & van de Kuilen, J. W. (2014). Applicability of Various Wood Species in Glued Laminated Timber-Parameter Study on Delamination Resistance and Shear Strength. *In Proceedings of the World Conference on Timber Engineering WCTE.*

Johnson, T. S. (2010). Chemical Components of *Fraxinus americana* and *Fraxinus pennsylvanica* of Northern Alabama. *The University of Alabama* in Huntsville.

Kahraman N. (2010). Vakumlu Membran Preslerde Kavisli Lamine Ahşap Elemanların Üretilebilirliğinin Deneysel İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD, Doktora Tezi.

Kahveci, M. (2003). Masif Panel Üretimi ve Özellikleri, *Ahşap Teknik Dergisi*, İstanbul, 33, 76 – 87.

Karacabeyli, E., Douglas, B., edt., (2013). CLT Handbook: Cross Laminated Timber, U.S. Edition. *FPInnovations.* Montreal, Canada.

Katavic, I., Nore, K., & Aurlien, T., (2014). Measured Moisture Buffering and Latent Heat Capacities in CLT Test Houses. *35TH Air Infiltration and Ventilation Centre Conference*, POZNAN, SEPT, 2014.

Kaygin, B., & Tankut, A. N. (2008). Comparison of Bonding Strengths of the Sapwoods and Heartwoods of Tree Species Used in Wooden Shipboard Building. *African Journal of Biotechnology*, 7(24).

Keskin H. (2001). Lamine Masif Ağaç Malzemelerin Teknolojik Özellikleri ve Ağaç İşleri Endüstrisinde Kullanım İmkanları. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Ankara.

Keskin, H., Atar, M., & Akyildiz, M. H. (2009). Bonding Strengths of Poly (Vinyl Acetate), Desmodur-VTKA, Phenol–Formaldehyde and Urea–Formaldehyde Adhesives in Wood Materials İmpregnated with Vacsol Azure. *Materials & Design*, 30(9), 3789-3794.

Keskinkol, M. (1996). Rutubet Oranı ve Bazı Organik Çözücülerin Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) Odunu Gaz Permeabilitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

KLEIBERIT, (2010). "D3 ve D4 Tutkal Özellikleri" www.kleiberit.com.tr/D3 ve D4 adresinden indirilmiştir. Erişim: 05.05.2010

Knorz, M., Niemz, P., & van de Kuilen, J. W. (2015). Measurement of Moisture-Related Strain in Bonded Ash Depending on Adhesive Type and Glueline Thickness. *Holzforschung*, 70(2), 145-155.

Koçer, S., Diner A., Şener, G., (2007). Çevre Tarım Bakanlığı, Samsun (I-77/51 *P. deltoides* Bartr.) Kavağı İçin Hacim Tablosu Düzenlenmesi ve Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi. *Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü* Teknik Bülten, 204, 1-42.

Kol, H. Ş., Özbay, G., & Altun, S. (2009). Shear Strength of Heat-Treated Tali (*Erythrophleum ivorense* A. Chev.) and Iroko (*Chlorophora excelsa*) Woods with Various Adhesives. *BioResources,* 4(4), 1545-1554.

Kol, H. S., & Özbay, G. (2016). Adhesive Bond Performance of Heat-Treated Wood at Various Conditions. *Journal of Environmental Biology*, 37(4), 557-564.

Korkut, S., & Kocaefe, D., (2009). Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34.

Kothiyal, V. (2012), Studies on Wood Quality of Poplar. *24th Session of International Poplar Commission at Forest Research Institute*, Dehradun (India) 29th October - 2nd November 2012, Indıan Councıl Of Forestry Research And Education, Dehradun.

Kordziel, S. (2018). Study of moisture conditions in a multi-story mass timber building through the use of sensors and WUFI hygrothermal modeling. *Colorado School of Mines.*

Kurtoğlu (1984), Kurtoğlu, A. (1984). Ağaç malzeme-ağırlık ilişkileri. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 34(1), 150-163.

Kurtoğlu, A. (2004). *"Mobilya ve Ağaç Konstrüksiyonları" Basılmamış Ders Notları,* İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bahçeköy - İstanbul.

Liao, Y., Tu, D., Zhou, J., Zhou, H., Yun, H., Gu, J., & Hu, C., (2017). Feasibility of Manufacturing Cross-Laminated Timber Using Fast-Grown Small Diameter Eucalyptus Lumbers. *Construction and Building Materials*, *132*, 508-515.

Liu, J., & Lam, F., (2014). Numerical Simulation for the Seismic Behavior of Mid-Rise CLT Shear Walls with Coupling Beams. In *Proceedings 13th World Conference on Timber Engineering, Quebec City, Canada*.

Llana, D. F., González-Alegre, V., Portela, M., & Íñiguez-González, G. (2022). Cross Laminated Timber (CLT) Manufactured with European Oak Recovered from Demolition: Structural Properties and Non-Destructive Evaluation. *Construction and Building Materials*, 339, 127635.

Luedtke, J., Amen, C., van Ofen, A., & Lehringer, C. (2015). 1C-PUR-Bonded Hardwoods for Engineered Wood Products: Influence of Selected Processing Parameters. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73(2), 167-178.

Marchin, R. M. (2006). Population Variation in *Fraxinus americana* L.(white ash) in a Common Garden at the Edge of the Species Range. *Doctoral dissertation, University of Kansas*.

Marchin, R. (2010). Population-Level Variation of *Fraxinus americana* L. is İnfluenced by Climate Differences Across the Native Range. *United States Forest Service Northern General Technical Department of Research Station* Report NRS-P-72 Agriculture, 9, 45.

Marko, G., Bejó, L., & Takats, P., (2016). Cross-Laminated Timber Made of Hungarian Raw Materials. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 123, No. 1, p. 012059). IOP Publishing.

Mayes, D. and Oksanen, O. (2002). "ThermoWood Handbook", *Finnforest*, Finland, 5-15 (2002).

McClung, R., Ge, H., Straube, J., & Wang, J., (2014). Hygrothermal Performance of Cross-Laminated Timber Wall Assemblies with Built-In Moisture: Field Measurements and Simulations. *Building and Environment*, 71, 95-110.

Mıdıroğlu M. (2015). Isıl İşlem Görmüş Ladin Ağaçlarından Üretilen Masif Panellerin Vernik Etkilerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Mohd Yusof, N., Md Tahir, P., Lee, S. H., Khan, M. A., & Mohammad Suffian James, R. (2019). Mechanical and Physical Properties of Cross-Laminated Timber Made from *Acacia mangium* Wood as Function of Adhesive Types. *Journal of wood science*, 65(1), 1-11.

Musah, M., Wang, X., Dickinson, Y., Ross, R. J., Rudnicki, M., & Xie, X. (2021). Durability of the Adhesive Bond in Cross-Laminated Northern Hardwoods and Softwoods. *Construction and Building Materials*, 307, 124267.

Navaratnam, S., Christopher, P. B., Ngo, T., & Le, T. V. (2020). Bending and Shear Performance of Australian Radiata Pine Cross-Laminated Timber. *Construction and Building Materials*, 232, 117215.

Nuopponen M. (2005). 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 174 Technology, Laboratory of Forest Products Chemistry*, Reports Series A 23, Espoo-Finland, (2005).

Oh, J. K., Lee, J. J., & Hong, J. P. (2015). Prediction of Compressive Strength of Cross-Laminated Timber Panel. *Journal of wood science*, 61(1), 28-34.

Öktem, E. (1994). Kızılçam El Kitabı Dizisi 2. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Muhtelif Yayın* No: 52, Ankara.

Örs Y. (1987). *Kama Dişli Birleştirmeli Masif Ağaç Malzemede Mekanik Özellikler*, Yardımcı ders kitabı. KTÜ., Orman Fakültesi s 29-34, Trabzon.

Örs, Y., Togay, A., (2003). "Ahşap Yapı Endüstrisinin Tanımı, Sınıflandırılması, Türkiye'de Uygulanan Üretim Teknikleri" *Politeknik Dergisi*, 6 (3), 569-577.

Özcan C. (2007). Farklı Ağaç Malzemelerden Üretilen Emprenyeli Lamine Ağaç Malzemelerin Isı İletkenliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD,

Özdemir, S. (2020). Bükülmüş Tabakalı Kaplama Kereste Üretiminde Termo-Mekanik Yoğunlaştırma Uygulanması ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi. *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

Özkaya K. (2007). Farklı Yapım Teknikleri İle Üretilen Masif Ahşap Panellerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD, , Doktora Tezi.

Öztürk H. (2018). Formaldehit İçermeyen Yeni Nesil Ahşap Kompozit Yalıtım Malzemesi. *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi.

Öztürk, H., Yücesoy, D., & Çolak, S. (2020). Thermal Conductivity of Cross Laminated Timber (CLT) with a 45˚ Alternating Layer Configuration. *Wood Industry and Engineering*, 2(1), 13-16.

Palla, K. J., & Pijut, P. M. (2011). Regeneration of Plants from *Fraxinus americana* Hypocotyls and Cotyledons. In Vitro Cellular & Developmental Biology-*Plant*, 47(2), 250-256.

Pelit, H., & Sönmez, A., (2015). Termo-Mekanik Yoğunlaştırma ve Isıl İşlemin Doğu Kayını (*Fagus Orientalis* L.) Odununun Bazı Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(1).

Perçin O. (2007). Lamine Edilmiş Ahşap Malzemeye Deniz Suyunun Etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Perçin, O., Özbay, G., & Mustafa, O. R. D. U. (2009). Farklı Tutkallarla Lamine Edilmiş Ahşap Malzemelerin Mekaniksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (019), 109-120.

Perçin O. (2012). Isıl İşlemin Lamine Ahşap Malzemenin Bazı Teknolojik Özeliklerine Etkilerinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD, , Doktora Tezi.

Perçin, O., & Uzun, O. (2014). Isıl işlem Uygulanmış Bazı Ağaç Malzemelerde Yapışma Direncinin Belirlenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 72-76.

Poncsak S., Kocaefe D., Bouazara M., Pichette A. (2006). Effect of High Temperature Treatment on the Mechanical Properties of Birch (*Betula papyrifera*), *Wood Science and Technology* 40 (2006) 647-668.

Purba, C. Y. C., Pot, G., Collet, R., Chaplain, M., & Coureau, J. L. (2022). Assessment of Bonding Durability of CLT and Glulam Made from Oak and Mixed Poplar-Oak according to Bonding Pressure and Glue Type. *Construction and Building Materials*, 335, 127345.

PR EN 16351, Annex C, (2013). *Timber Structures - Cross Laminated Timber – Requirements, Delamination test of glue lines between layers.* SAI Global.

Rao, S., Gong, M., Chui, Y. H., & Mohammad, M. (2012). Effect of geometric parameters of finger joint profile on ultimate tensile strength of single finger-joined boards. *Wood and Fiber Science*, *44*(3), 263-270.

Repellin, V., and Guyonnet, R. (2005). "Evaluation of Heat-Treated Wood Swelling by Differential Scanning Calorimetry İn Relation To Chemical Composition", *Holzforschung*, 59(1): 28–34. (2005).

Rowell, Roger M. , Roger Pettersen and Mandla A. Tshabalala (2022). "*Cell Wall Chemistry*" , in Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites ed. Roger M. Rowell (Boca Raton: CRC Press, 06 Eyl 2012), Routledge Handbooks Online.

Rostampour Haftkhani, A., & Hematabadi, H. (2022). Effect of Layer Arrangement on Bending Strength of Cross-Laminated Timber (CLT) Manufactured from Poplar (*Populus deltoides* L.). *Buildings*, 12(5), 608.

Sefil Y. (2010). ThermoWood Yöntemiyle Isıl İşlem Uygulanmış Göknar ve Kayın Odunlarının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Yüksek Lisans Tezi.

Seo, J., Kang, Y., & Kim, S. (2016). Wood Thermal Conductivity Database Construction for the Application of Building Energy Simulation. *Journal of the Korea Furniture Society*, 27(2), 122-127.

Sernek, M., Boonstra, M., Pizzi, A., Despres, A., Gérardin, P. (2008). ''Bonding Performance of Heat Treated Wood with Structural Adhesives'', *European Journal of Wood and Wood Products,* 66(3): 163-242 (2008).

Sernek, M. (2017). Modern Technologıes for Bondıng of Heat Treated Wood. *RIM 2017 Proceedıngs Abstracts Zbornık Sažetaka*, 9.

Serrano, E., & Enquist, B. (2010). Compression Strength Perpendicular to Grain in Cross-Laminated Timber (CLT). *In World Conference on Timber Engineering WCTE*.

Sizüçen A. (2008). Titrek Kavak Yongalarından Üretilen (LSL, LVL, PSL) Lamine Ağaç Malzemelerin Direnç Özelliklerinin Belirlenmesi. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Bilim Uzmanlığı Tezi.

Song, Y. J., & Hong, S. I. (2019). Compressive Strength Properties Perpendicular to the Grain of Larch Cross-laminated Timber. *BioResources,* 14(2), 4304-4315.

Srivaro, S., Leelatanon, S., Setkit, M., Matan, N., Khongtong, S., Jantawee, S., & Tomad, J. (2021a). Effects of Manufacturing Parameters on Properties of Rubberwood-Cross Laminated Timber Manufactured Via Hot Pressing. *Journal of Building Engineering*, 44, 102703.

Srivaro, S., Pásztory, Z., Le Duong, H. A., Lim, H., Jantawee, S., & Tomad, J. (2021b). Physical, Mechanical and Thermal Properties of Cross Laminated Timber Made with Coconut Wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(6), 1519-1529.

Stalnaker, J., & Harris, E. (1997). Structural Design in Wood. *Springer Science & Business Media*. Boston, MA.

Stark, N. M., Cai, Z., & Carll, C. G. (2010). Wood handbook, Chapter 11: wood-based composite materials-panel products-glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-nonwood composite materials. Review Process: Informally Refereed (Peer-Reviewed).

Steiger, R., & Gülzow, A., (2010). Validity of Bending Tests on Strip-Shaped Specimens to Derive Bending Strength and Stiffness Properties of Cross-Laminated Solid Timber (X-lam). *The Future of quality control for wood and wood products,* 4-7.

Suna, Ö. (2019). Dimetilol dihidroksi etilen üre Reçinesi Modifikasyonunun Kavaktan Üretilen Paralel Şerit Kerestelerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.* Yüksek Lisans Tezi.

Şahin, H. İ., ve Guler C., (2018). "Effect of heat treatment on the dimensional stability of ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) wood." *Forestist*, vol. 68, no. 1, Jan. 2018, pp. 42+

Şeker C. (2011). Çeşitli Malzemeler ile Desteklenmiş Ahşap Lamine Elemanların Direnç Özellikleri. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mobilya Dekorasyon Eğitimi ABD, , Yüksek Lisans Tezi.

Tekdemir, V. (2020). Isıl İşlem Görmüş Dişbudak Odunlarının Kimyasal ve Termal Özeliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Artvin.

Tokdemir H., (2019). Isıl İşlem Görmüş Bazı Ağaç Malzemeden Elde Edilen Lamine Ağaç Malzemenin Mekaniksel Özelliklerinin Belirlenmesi. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Toker, R. (1960). Batı Karadeniz Sarıçamının Teknik Özellikleri ve Kullanım Yerleri hakkında Araştırmalar, *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayını,* Teknik Bülten Seri No:10, Ankara

Tripathi, J., & Rice, R. W. (2019). Finite Element Modelling of Heat and moisture Transfer through Cross Laminated Timber Panels. *BioResources*, 14(3), 6278-6293.

TS 3969 EN 314-1, *Kontrplak kaplanmış-Yapışma kalitesi bölüm 1: Deney metotları.* 1993, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

TS 53, *Odunun Fiziksel Özeliklerini Tayin İçin Numune Alma, Muayene ve Deney Metotları.* 2005, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

TS EN 14080, *Ahşap Yapılar -Tutkallı lamine kereste ve tutkallı masif ahşap-Özellikler.* 2013, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 205, *Yapıştırıcılar - Yapısal olmayan uygulamalar için ahşap yapıştırıcılar - Bindirmeyle yapıştırılmış eklerin çekmeyle kayma mukavemetinin tayini*. 2017, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 317, *Yonga levhalar ve lif levhalar-Su İçerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini.* 1999, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

TS EN 322, *Ahşap esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini*. 1999, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

TS EN 323, *Ahşap esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini*. 1999, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

TS EN 386, *Yapıştırılmış lamine ahşap- Performans ve asgari imalat şartları.* 1999, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

TS EN 408-A1, *Ahşap yapılar - Yapı kerestesi ve yapıştırılmış lamine kereste – Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini*. 2012, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

TS ISO 13061-1, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi.* 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-13, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri - Bölüm 13 : Radyal ve teğet yönde daralmanın belirlenmesi*. 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-14, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri - Bölüm 14 :Hacimsel daralmanın belirlenmesi*. 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-15, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri - Bölüm 15 : Radyal ve teğet yönde genişlemenin (şişmenin) belirlenmesi*. 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-16, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri - Bölüm 16 : Hacimsel genişlemenin belirlenmesi*. 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-17, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri – Bölüm 17: Liflere paralel basınç altında nihai gerilimin belirlenmesi*. 2019, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-2, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 2: Fiziksel ve mekanik deneyler için yoğunluğun belirlenmesi*. 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-3, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 3: Statik eğilmede nihai mukavemet tayini*. 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-4, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 4: Statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini*. 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS ISO 13061-6, *Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 6: Liflere paralel nihai çekme geriliminin tayini*. 2021, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Tuncer F., D. (2014). Isıl İşlemin Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Odununun Anatomik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. İst*anbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi.

Ulucan D. (2012). Isıl İşlem Koşullarının Ağaç Malzemenin Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Ulupınar, M. (1998). Lamine Edilmiş Melez Kavak (*Populus euramericana*)'ın Teknolojik Özelliklerinin Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

URL-1 11/05/2022 tarihinde https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fi.ytimg.com%2Fvi%2Fjdx1Y9iF-6Q%2Fmaxresdefault.jpg&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3DBxr96hqBtyw&tbnid=EpG7m208en-_SM&vet=10CDYQMyjnAWoXChMIqMfDn6TX9wIVAAAAAB0AAAAAEAM..i&docid=fG8pfj31QCspzM&w=1280&h=720&q=finger%20joint&ved=0CDYQMyjnAWoXChMIqMfDn6TX9wIVAAAAAB0AAAAAEAM adresinden alınmıştır.

URL-2 08/05/2017 tarihinde https://builditwithwood.org/faqs/ adresinden alınmıştır.

URL-3 08/05/2017 tarihinde http://hybrid-build.co/wp-content/uploads/2013/03/CLT2.jpg adresinden alınmıştır.

URL-4 04/09/2017 tarihinde http://newatlas.com/timbertower-wooden-wind-turbine/25007/#gallery adresinden alınmıştır.

URL-5 04/09/2017 tarihinde http://worldarchitecture.org/architecture-news/czecf/som-releases-timber-tower-research-project.html adresinden alınmıştır.

URL-6 08/05/2017 tarihinde http://www.europeanwood.org.cn/upload/media/media/5/.thumb_800_524_case67%5B216%5D.jpg adresinden alınmıştır.

URL-7 08/05/2017 tarihinde http://www.peterbrett.com/media/1821/pba_website_project_colville_banner2_2016.jpg adresinden alınmıştır.

URL-8 08/05/2017 tarihinde http://www.klhuk.com/portfolio/residential/stadthaus,-murray-grove.aspx adresinden alınmıştır.

URL-9 05/04/2022 tarihinde https://www.timberpolis.net/s205601/Amerika-di%C5%9Fbuda%C4%9F%C4%B1-Fraxinus-americana, adresinden alınmıştır.

URL-10 05/04/2022 tarihinde http://www.hazarahsap.com.tr/white-ashamerican-white-ashfraxinus-americana/ adresinden alınmıştır.

URL-11 05/04/2022 tarihinde https://www.tutkalmarket.com/deniz-tutkali-polyuretan20-kg-320 adresinden alınmıştır.

Van Sambeek, J. W., & Preece, J. E. (2007). In Vitro Propagation of *Fraxinus* Species. In Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits (pp. 179-192). *Springer,* Dordrecht.

Velioğlu, E., & Akgül, S. (2016). Poplars and Willows in Turkey: Country Progress Report of the National Poplar Commission Time Period: 2012-2015. *Poplar and Fast Growing Forest Trees Research Institute,* Kocaeli, Turkey.

Viitanen, H., Jämsä, S., Paajanen, L., Nurmi, A., & Viitaniemi, P. (1994). The Effect of Heat Treatment on the Properties of Spruce. A preliminary report. *Document-the International Research Group on Wood Preservation (Sweden)*. IRG/WP 94-40032, 06 May, Bali.

Viitaniemi, P. (2000). ‘‘New Properties for Thermally-Treated Wood. *Indust Horizons, 1*, 9-13.

Viitaniemi, P., Jamsa, S.P., Viitanen, H. (2001). Method for İncreasing the Resistance of Cellulosic Products Against Mould and Decay, *Patent: EP695408B1.*

Wang, Z., Fu, H., Chui, Y. H., & Gong, M. (2014). Feasibility of Using Poplar as Cross Layer to Fabricate Cross-Laminated Timber. *In Proceedings of the World Conference on Timber Engineering*.

Wei, P., Wang, B. J., Li, H., Wang, L., Peng, S., & Zhang, L. (2019). A Comparative Study of Compression Behaviors of Cross-Laminated Timber and Glued-Laminated Timber Columns. *Construction and Building Materials*, 222, 86-95.

Weissensteiner, J., & Barbu, M. C. (2013). Cross Laminated Timber-European Experiences. *Pro Ligno*, 9(4), 69-72.

Wiesner, F., Thomson, D., & Bisby, L. (2021). The Effect of Adhesive Type and Ply Number on the Compressive Strength Retention of CLT at Elevated Temperatures. *Construction and Building Materials*, 266, 121156.

Windeisen, E., & Wegener, G. (2009). Chemical Characterization and Comparison of Thermally Treated Beech and Ash Wood. *In Materials Science Forum* (Vol. 599, pp. 143-158). Trans Tech Publications Ltd.

Wright, J. W. (1959). *Silvical Characteristics of White Ash (Fraxinus americana).* Station Paper NE-123. Upper Darby, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 19 p., 123.

Xu, J., Zhang, S., Wu, G., Gong, Y., & Ren, H. (2021). Withdrawal Properties of Self-Tapping Screws in Japanese larch (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) Cross Laminated Timber. *Forests*, 12(5), 524.

Yalçın, M., & Ibrahim, H. (2015). Changes in the Chemical Structure and Decay Resistance of Heat-Treated Narrow-Leaved Ash Wood. *Maderas Ciencia y tecnología*, 17(2), 435-446.

Yapıcı, F. (2010). Compression and Bonding Strength of Heat Treated Scotch Pine (Pinus Slyvestrist L.) Wood Bonded with D-VTKA Adhesive. *Technological Applied Sciences*, 5(2), 196-200.

Yeh, B., Gagnon, S., Williamson, T., & Pirvu, C., (2012). The Cross-Laminated Timber Standard in North America. *World Conference on Timber Engineering*, 15, 19 July, Session 46, Standards 1, New Zealand.

Yıldız, S. (2002). Isıl İşlem Uygulanan Doğu Kayını ve Doğu Ladini Odunlarının Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özellikleri. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Trabzon.

Zaman, A., Alen, R., & Kotilainen, R. (2000). Thermal Behavior of Scots Pine (Pinus sylvestris) and Silver Birch (Betula pendula) at 200-230. Wood and fiber science, 138-143.

Zelinka, S. L., Glass, S. V., Jakes, J. E., & Stone, D. S. (2016). A Solution Thermodynamics Definition of the Fiber Saturation Point and the Derivation of a Wood–Water Phase (State) Diagram. Wood science and technology, 50(3), 443-462.