

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HİNDİSTAN CEVİZİ (*Cocos nucifera L.*) ODUNU İLE ÜRETİLEN ÇAPRAZ
YAPIŞTIRILMIŞ LAMİNE KERESTELERİN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orm. End. Müh. Barlas ORAN

ŞUBAT 2012

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HİNDİSTAN CEVİZİ (*Cocos nucifera L.*) ODUNU İLE ÜRETİLEN ÇAPRAZ
YAPIŞTIRILMIŞ LAMİNE KERESTELERİN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

Orman Endüstri Mühendisi Barlas ORAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
" ORMAN ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.01.2012
Tezin Savunma Tarihi : 24.02.2012

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU

Trabzon 2012

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Barlas ORAN Tarafından Hazırlanan

**HİNDİSTAN CEVİZİ (*Cocos nucifera L.*) ODUNU İLE ÜRETİLEN ÇAPRAZ
YAPIŞTIRILMIŞ LAMİNE KERESTELERİN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 31/01/ 2011 gün ve 1442 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU

Üye : Prof. Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU

Üye : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Farklı yoğunluklardaki Hindistan Cevizi Ağacı (*Cocos nucifera L.*) Odunu Lamellerinden Farklı Tutkallar İle Üretilen Yapısal Kompozit Levhaların Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli bu çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Programında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans Tez danışmanlığımı üstlenerek, araştırmanın planlama ve yürütülmesinde, bilimsel desteğini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’na teşekkürü bir borç bilirim.

Almanya’daki Hamburg Üniversitesinde, araştırmanın planlanması, yürütülmesi, deney örneklerinin üretimi ve testlerinin yapılmasına imkân sağlayan, bilgi, tecrübe ve yardımlarından faydalandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Marius BARBU’ ya teşekkür etmeyi zevkli bir borç bilirim.

Yapılan çalışmaya görüş ve önerileriyle katkı sağlayan Sayın Hocam Prof. Dr. Arno FRÜHWALD’e, deneme levhalarının üretiminde yardımlarını esirgemeyen Sayın Daniel HASEMANN’a, tutkal-odun ilişkisi ABES (Automated Bonding Evaluation System) testinde bana her zaman yardımcı olan Sayın Julius GURR’a ve tez yazım aşamasında tecrübesinden faydalandığım Arş. Gör. Ayfer DÖNMEZ ÇAVDAR’a teşekkür ederim.

Deney örneklerinin üretim ve testlerinin yapılması için gerekli olan tüm materyali tedarik eden Hamburg Üniversitesine, Sayın Dr. Fink SCHÖLLER ve büyük yardımlarını gördüğüm Hamburg Odun Bilimi ve Teknolojisi Enstitüsü’nün değerli çalışanlarına, akademik ve idari personeli ve emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

Son olarak, emeklerini asla ödeyemeyeceğim sevgili halam Leyla ORAN’a ve amcam Bülend ORAN’a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Barlas ORAN
Trabzon 2012

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Yoğunluklardaki Hindistan Cevizi Ağacı (*Cocos nucifera L.*) Odunu Lamellerinden Farklı Tutkallar ile Üretilen Yapısal Kompozit Levhaların Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. ..././2012

Barlas ORAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	X
SUMMARY	XI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XII
TABLolar LİSTESİ	XIV
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Odun Kompozitleri	4
1.3. Odun Esaslı Levhaların Sınıflandırılması.....	5
1.3.1. Yongalevha.....	5
1.3.2. Liflevha.....	6
1.3.3. Kontrplak	7
1.3.4. Masif Ahşap Paneller.....	8
1.3.5. Yapısal Kompozit Keresteler (Structural Composite Lumber-SCL)	9
1.3.5.1. Lamine Kaplamalı Kereste (Laminated Veneer Lumber-LVL)	9
1.3.5.2. Paralel Yönlendirilmiş Şeritli Keresteler (Parallel Strand Lumber-PSL)	12
1.3.5.3. GLULAM (Glued Laminated Timber).....	13
1.3.5.4. Yönlendirilmiş Lamine Kereste (Laminated Strand Lumber-LSL)	14
1.3.5.5. Paralel Yönlendirilmiş Kereste (Oriented Strand Lumber-OSL)	15
1.5. Odun Esaslı Levhaların Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	16
1.5.1. Ağaç Malzeme	16
1.5.1.1. Hindistan Cevizi Ağacı (<i>Cocos nucifera L.</i>) Odunu Hakkında Genel Bilgiler	17
1.5.1.2. Hindistan Cevizi Ağacı (<i>Cocos nucifera L.</i>) Odunu Kimyasal Özellikleri	19

1.5.1.3.	Hindistan Cevizi Ağacı (<i>Cocos nucifera L.</i>) Odununun Mekanik Özellikleri	20
1.5.1.4.	Hindistan Cevizi Ağacının (<i>Cocos nucifera L.</i>) Faydalı ve Sakıncalı Yönleri	21
1.5.1.5.	Hindistan Cevizi Ağacının (<i>Cocos nucifera L.</i>) Bazı Yerli ve Yabancı Ağaç Türleri ile Karşılaştırılması	21
1.5.2.	Tutkallar.....	22
1.5.2.1.	Sentetik Tutkallar	22
1.5.2.1.1.	Üre Formaldehit (ÜF) Tutkalı	22
1.5.2.1.2.	Fenol Formaldehit (FF) Tutkalı.....	26
1.5.2.1.3.	Melamin Formaldehit (MF) ve Melamin-Üre-Formaldehit (MÜF) Tutkalları	27
1.5.2.1.4.	Resorsin Formaldehit (RF) Tutkalı.....	28
1.5.2.1.5.	Epoksi Tutkalları	28
1.5.2.1.6.	İzosiyanat Tutkalları	29
1.5.2.1.7.	Polivinil Asetat (PVAc) Tutkalları	30
1.5.3.	Katkı Maddeleri	31
1.5.3.1.	Sertleştirici Maddeler	31
1.5.3.2.	Hidrofobik Maddeler	31
1.5.3.3.	Koruyucu Maddeler	32
1.6.	Odun Esaslı Kompozit Levhalarda Yapışma Teorisi	32
1.6.1.	Yapışma Mekanizması	33
1.6.2.	Yapışma Direncini Etkileyen Faktörler	34
1.6.2.1.	Yüzey Pürüzlülüğü	34
1.6.2.2.	Rutubet Miktarı.....	34
1.6.2.3.	Yüzeydeki İlkbahar ve Yaz Odunu Miktarları	35
1.6.2.4.	Öz Odun ve Diri Odun Miktarları	35
1.6.2.5.	Permeabilite (Geçirgenlik)	35
1.6.2.6.	Ekstraktif Maddeler	35
1.6.2.7.	Islanabilme Özelliği.....	36
1.6.2.8.	Presleme Şartları	37
1.6.2.9.	Tutkal Türü	37
1.7.	Kalite Kontrol Tekniklerinin Yaşam Döngüsü Analizi İçinde Değerlendirilmesi (Life Cycle Analysis: LCA)	37
1.7.1.	Odun Hammaddesinden Uçucu Organik Bileşiklerin Yayılma Teorisi	38

1.7.2.	Uçucu Organik Bileşik Türleri	39
1.7.3.	Uçucu Organik Bileşik Miktarını Etkileyen Faktörler	40
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	41
2.1.	Materyal.....	41
2.1.1.	Ağaç Malzeme	41
2.1.2.	Tutkal.....	42
2.2.	Deneme Levhalarının Üretimi	43
2.3.	Araştırma Yöntemi	48
2.3.1.	Üretim Öncesi Yapılan Testler	48
2.3.1.1.	Hindistan Cevizi Odunu pH Değeri Belirlenmesi	48
2.3.1.2.	Uçucu Organik Bileşiklerin Belirlenmesi (Volatile Organic Compound-VOC)	48
2.3.1.3.	Kopma Makaslama Direnci Testi (Automated Bonding Evaluation System-ABES)	50
2.3.2.	Üretilen Levhalara Ait Testler	52
2.3.2.1.	Levhaların Fiziksel Özellikleri	52
2.3.2.1.1.	Yoğunluk	52
2.3.2.1.2.	Rutubet Miktarı.....	53
2.3.2.2.	Levhaların Mekanik Özellikleri.....	53
2.3.2.2.1.	Eğilme Direnci.....	53
2.3.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü	55
2.4.	İstatistik Yöntemler	55
3.	BULGULAR	56
3.1.	Üretim Öncesi Testlere Ait Bulgular	56
3.1.1.	Hindistan Cevizi Odunu pH Değerinin Belirlenmesi	56
3.1.2.	Uçucu Organik Bileşenlerin Belirlenmesi (Volatile Organic Compounds-VOC)	56
3.1.3.	Kopma Makaslama Direnci Testlerine Ait Bulgular (Automated Bonding Evaluation System-ABES)	57
3.1.3.1.	PVAc Tutkalı ile Tutkallanan Örneklerdeki Kopma Makaslama (ABES) Testlerine Ait Bulgular	57
3.1.3.2.	MÜF Tutkalı ile Tutkallanan Örneklerdeki Kopma Makaslama (ABES) Testlerine Ait Bulgular	58
3.1.3.3.	ÜF Tutkalı ile Tutkallanan Örneklerdeki Kopma Makaslama (ABES) Testlerine Ait Bulgular	58

3.2.	Üretilen Levhalara Ait Testler	59
3.2.1.	Levhaların Fiziksel Özellikleri	59
3.2.1.1.	Yoğunluk Değeri	59
3.2.1.2.	Rutubet Miktarı.....	60
3.2.2.	Mekanik Özellikler	61
3.2.2.1.	Eğilme Direnci.....	61
3.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü	63
4.	İRDELEME	65
4.1.	Üretim Öncesi Yapılan Testler	65
4.1.1.	Hindistan Cevizi Odunu pH Değeri.....	65
4.1.2.	Belirlenen Uçucu Organik Bileşenler (Volatile Organic Compounds- VOC)	65
4.1.3.	Kopma Makaslama Direnci Değerleri (Automated Bonding Evaluation System-ABES)	67
4.1.3.1.	PVAc Kopma Makaslama Direnci Değerleri	67
4.1.3.2.	MÜF Kopma Makaslama Direnci Değerleri	69
4.1.3.3.	ÜF Kopma Makaslama Direnci Değerleri	70
4.2.	Üretilen Levhalara Ait Testler	71
4.2.1.	Levhaların Fiziksel Özellikleri	71
4.2.1.1.	Yoğunluk Değeri	71
4.2.1.2.	Rutubet Miktarı.....	73
4.2.2.	Mekanik Özellikler	74
4.2.2.1.	Eğilme Direnci.....	74
4.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü	76
5.	SONUÇLAR.....	79
5.1.	Üretim Öncesi Yapılan Testlere ait Sonuçlar	79
5.1.1.	Hindistan Cevizi Odunu pH Değeri.....	79
5.1.2.	Belirlenen Uçucu Organik Bileşenler (Volatile Organic Compounds- VOC)	79
5.1.3.	Kopma Makaslama Direnci Değerleri ABES (Automated Bonding Evaluation System)	80
5.2.	Üretilen Levhalara Ait Test Sonuçları.....	80
5.2.1.	Levhaların Fiziksel Özellikleri	80
5.2.1.1.	Yoğunluk Değeri	80

5.2.1.2.	Rutubet Miktarı.....	81
5.2.2.	Levhaların Mekanik Özellikleri.....	81
5.2.2.1.	Eğilme Direnci.....	81
5.2.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü	82
6.	ÖNERİLER	83
7.	KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

HİNDİSTAN CEVİZİ (*Cocos nucifera L.*) ODUNU İLE ÜRETİLEN ÇAPRAZ
YAPIŞTIRILMIŞ LAMİNE KERESTELERİN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Barlas ORAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
2012, 89 Sayfa

Bu çalışmada, Hindistan cevizi ağacı odunlarının kimyasal özelliklerinden pH ve uçucu organik (Volatile Organic Compounds) değeri, mekanik özelliklerinden ise kopma makaslama direnci (ABES=Adhesive Bonding Evaluation System) belirlenmiştir. Bunu takiben elde edilen lamellerden levha sanayinde sıklıkla kullanılan PVAc, MÜF ve ÜF tutkalları ile yapısal kompozit levhaları üretilmiş ve bunların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda gerekli pres parametreleri hazırlanarak deneme levhalarının üretimine geçilmiştir. Lamine levhaların kalınlığı 40mm olarak belirlenmiş ve bu doğrultuda tabaka kombinasyonlarında; dış tabakalar 9mm kalınlığındaki, orta tabaka ise 22mm kalınlığındaki lamellerden hazırlanmıştır. Dış tabakalarda sadece yüksek yoğunlukta odun kısımları kullanılırken, orta tabakada orta ve düşük yoğunlukta odun kısımları kullanılmıştır. Lamellerden tabaka oluşturmak için PVAc tutkalı, tabakaların birbirleri ile yapıştırılmasında ise PVAc, MÜF ve ÜF tutkallarından biri kullanılmıştır. Tutkallanan tabakalar birbirlerine zıt yönde yerleştirilerek preslenmiştir. Üretilen lamine levhaların, rutubet ve özgül ağırlık gibi fiziksel özellikleri, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; üretilen yapısal kompozit levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri standart değerlerin üzerinde çıkmıştır. Lamel simetrisi, lamellerin birleştirilmesi ve üretim parametreleri kalite özellikleri üzerinde etkili olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hindistan cevizi ağacı, Lamel, Yapısal Kompozit Kereste, VOC, ABES, Kopma Makaslama, Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özellikler.

Master Thesis

SUMMARY

SOME TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS IN CROSS LAMINATED TIMBERS
PRODUCED FROM COCONUT (*Cocos nucifera L.*) WOOD

Barlas ORAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industrial Engineering Graduate program
Supervisor: Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU
2012, 89 Pages,

In this study; before the production session; some chemical properties of wood material were analyzed such as pH and Volatile Organic Compounds. In an addition to this; for searching the bonding strength between wood and adhesive (ABES=Adhesive Bonding Evaluation System), the shear strength was defined. In this study; some physical and mechanical properties of structural composite boards based on coconut lamella produced with widely used industrial PVAc, MUF and UF adhesives were defined. According to the data of the researches, the needed press parameters were prepared and then the production was started. The thickness of the board was defined as 40mm and for this aim; face layers lamella thickness 9mm, core layer lamella thickness 22mm were prepared. The high density lamellas only used for the face layers and the medium and low density lamellas were used for core layers. For creating layers from lamellas, PVAc glue, for bonding the layers with each other, the PVAc, MUF and UF adhesives were used. The layers were prepared by caring the opposite direction. After pressed boards; some physical properties, such as; Moisture content, density, bending strength and some mechanical properties like; modulus of elasticity were described. According to gotten results; the physical and mechanical properties of the produced boards are higher than the standards. On the other hand; lamella symmetry, the bonding of lamellas and production parameters were found as important factors on product quality.

Key Words: Coconut tree, lamella, structural composite lumber, VOC, ABES, bending and shear strength, physical, mechanical and chemical Properties.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Türkiye’de 2010 yılında üretilen endüstriyel odun miktarları.....	2
Şekil 2. Türkiye’de yapraklı ve ibrelili endüstriyel ağaç odun üretimi, 2005-2009	3
Şekil 3. 3 Tabakalı masif ahşap panel örneği	8
Şekil 4. LVL örneği	10
Şekil 5. LVL uygulama örnekleri	11
Şekil 6. LVL-I giriş ve uygulama örneği	11
Şekil 7. LVL, LSL ve PSL örnekleri	12
Şekil 8. PSL örnekleri.....	13
Şekil 9. PSL uygulama örnekleri	13
Şekil 10. GLULAM ve uygulama örnekleri	14
Şekil 11. LSL ve uygulama örnekleri	15
Şekil 12. OSB üretiminde kullanılan yongaların elde edilmesi ve OSB örneği	16
Şekil 13. OSB kullanım uygulamaları	16
Şekil 14. Hindistan cevizi ağacı meyvesi ve ağaçtaki yeri	17
Şekil 15. Hindistan cevizi ağacı genel görüntüsü	18
Şekil 16. Hindistan cevizi ağacı odununun anatomik yapısı	18
Şekil 17. Yüksek yoğunluktaki Hindistan cevizi ağacı odunu örnekleri.....	19
Şekil 18. Kondenzasyon reaksiyonu ürünleri ve üre-formaldehit tutkalının oluşumu	24
Şekil 19. Şematik olarak tutkal-yapışma zincir modeli ve odun-tutkal yapışma sistemine uygulanması.....	33
Şekil 20. Yoğunluğun ağaç içinde ve enine kesitteki değişimi	41
Şekil 21. Lamel örneği.....	42
Şekil 22. Lamellerden masif panel hazırlanması	43
Şekil 23. Preslenmiş masif panel taslaklarının kalibrasyonu.....	44
Şekil 24. Levha taslağı hazırlanmasında kullanılan tutkal sürme silindiri	45
Şekil 25. Pres makinesi.....	46
Şekil 26. Liflere paralel ve dik yönde üretilmiş levha örnekleri	47
Şekil 27. Üretilen levhaların yüzey görüntüsü.....	47
Şekil 28. 1m ³ ’lük VOC test kabini	49

Şekil 29. Lamellere tutkal sürülmesi	51
Şekil 30. ABES test makinesinin çalışma prensibi.....	51
Şekil 31. ABES test makinesi	52
Şekil 32. Odun örneklerinin ABES test makinesindeki yeri	52
Şekil 33. Eğilme direnci deney düzeneği.....	54
Şekil 34. Hindistan cevizi odunlarının pH değerleri.....	65
Şekil 35. Yüksek yoğunluktaki odun hammaddesi için VOC emisyon değerleri	66
Şekil 36. Orta yoğunluktaki odun hammaddesi için VOC emisyon değerleri.....	66
Şekil 37. PVAc tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama direnci değerleri	68
Şekil 38. MÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama direnci değerleri	69
Şekil 39. ÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama direnci değerleri	70
Şekil 40. Levha dış tabakalarının lif yönüne dik yoğunluk değeri	72
Şekil 41. Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel yoğunluk değeri	72
Şekil 42. Ortalama yoğunluk değişimi	72
Şekil 43. Deneme levhalarının rutubet değerleri	73
Şekil 44. Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel eğilme direnci değerleri	74
Şekil 45. Levha dış tabakalarının lif yönüne dik eğilme direnci değerleri	75
Şekil 46. Ortalama eğilme direnci değerleri	75
Şekil 47. Levha dış tabakalarının lif yönüne dik elastikiyet modülü değerleri	76
Şekil 48. Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel elastikiyet modülü değerleri.....	77
Şekil 49. Ortalama elastikiyet modülü değerleri	77

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye’de 2005-2010 yılları arasında gerçekleştirilen endüstriyel ve yakacak odun arz-talep karşılaştırılması.....	4
Tablo 2. Hindistan cevizi ağacının kimyasal yapısı.....	20
Tablo 3. Hindistan cevizi ağacı meyvesinin kimyasal yapısı	20
Tablo 4. Hindistan cevizi ağacı odununun bazı mekanik özellikleri	20
Tablo 5. Hindistan cevizi ağacının bazı ağaç türleri ile karşılaştırılması	21
Tablo 6. MÜF, ÜF ve PVAc tutkallarının özellikleri	42
Tablo 7. Presleme şartları	46
Tablo 8. Levha tipleri.....	47
Tablo 9. Hindistan cevizi ağacının pH ölçümü sonuçları	56
Tablo 10. Yüksek yoğunluktaki Hindistan cevizi odunlarının uçucu organik emisyon değerleri.....	56
Tablo 11. Orta yoğunluktaki Hindistan cevizi odunlarının uçucu organik emisyon değerleri.....	57
Tablo 12. PVAc tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama testi sonuçları.....	57
Tablo 13. MÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama testi sonuçları.....	58
Tablo 14. ÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama testi sonuçları.....	58
Tablo 15. Deneme levhalarına ait yoğunluk değerleri.....	59
Tablo 16. Levhaların yoğunluğu üzerine; tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları	60
Tablo 17. Yoğunluk üzerine tutkal türünün etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	60
Tablo 18. Deneme levhalarına ait rutubet değerleri.....	61
Tablo 19. Deneme levhalarına ait eğilme direnci sonuçları	61
Tablo 20. Panellerin eğilme direnci değerleri üzerine tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönü etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları	62
Tablo 21. Eğilme direnci üzerine kullanılan tutkal türünün etkisine ait Duncan testi sonuçları.....	62
Tablo 22. Deneme levhalarına ait elastikiyet modülü sonuçları.....	63

Tablo 23. Levhaların elastikiyet modülü üzerine tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönü etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları	63
Tablo 24. Elastikiyet modülü üzerine tutkal türünün etkisine ait Duncan testi sonuçları	64
Tablo 25. Bazı ağaç türleri ile Hindistan cevizi ağacı odunlarının VOC miktarları	80

KISALTMALAR LİSTESİ

ABES	: Automated Bonding Evaluation System (Kopma makaslama direnci değerlendirme sistemi)
GLULAM	: Glued laminated timber (tabakalanmış ağaç malzeme)
HLH	: Dış tabakada yüksek yoğunlukta (H), orta tabakada düşük yoğunlukta (L), dış tabakada yüksek yoğunlukta kullanılan odun hammaddesi
HMH	: Dış tabakada yüksek yoğunlukta (H), orta tabakada orta yoğunlukta (M), dış tabakada yüksek yoğunlukta kullanılan odun hammaddesi
LSL	: Laminated Strand Lumber (yönlendirilmiş lamine kereste)
LVL	: Laminated Veneer Lumber (lamine kaplamalı kereste)
MAP	: Masif ahşap panel
MÜF	: Melamin-üre-formaldehit
OSB	: Yönlendirilmiş yongalevha
OSL	: Oriented strand lumber (paralel yönlendirilmiş kereste)
Pa.s	: $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
PSL	: Parallel Strand Lumber (paralel yönlendirilmiş şeritli keresteler)
PVAc	: Polivinil asetat
SCL	: Yapısal kompozit keresteler
ÜF	: Üre-formaldehit
VOCs	: Volatile Organic Compounds (uçucu organik bileşikler)

1. GENEL BİLGİLER

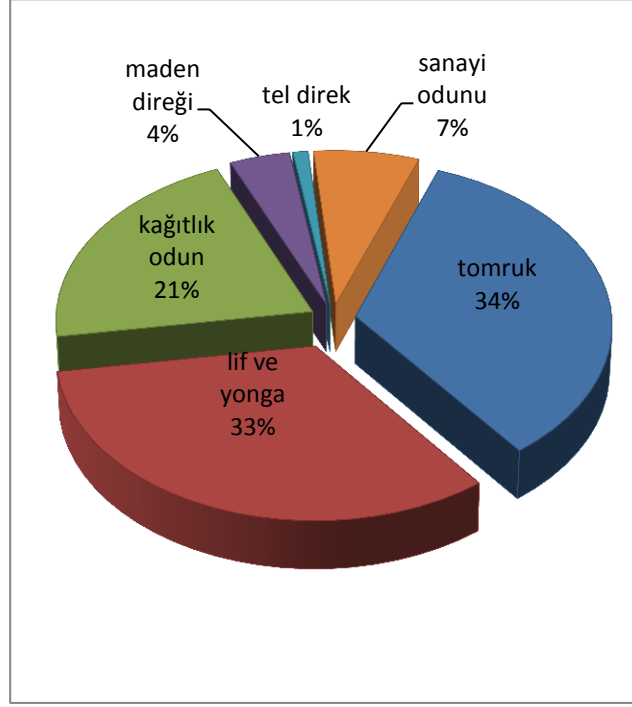
1.1. Giriş

Doğal kaynakların azalması son yıllarda sıkça karşılaşılan sorunlardan birisidir. Bu azalışın başlıca sebebi dünya nüfusu ve buna bağlı olarak artan barınma ihtiyacı, kentleşme ve sanayileşmedeki gelişmelerdir. Azalan doğal kaynakların birincisi ormanlardır. Ormanların en önemli varlığı ise on bin farklı kullanım alanına sahip odun hammaddesidir. Artan barınma ihtiyacı ile ağaç malzemeye olan talep giderek artmakta, ancak mevcut ormanların miktar ve kalitesi de her geçen gün azalmaktadır. Bunun sonucunda bazı tedbirler almak yeni ürünlerin geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Mevcut malzemelerin kullanım ömrünün uzatılması, geri dönüşümlü kullanımı, yeni mamullerin geliştirilmesi bu yeniliklere örnek olarak verilebilir.

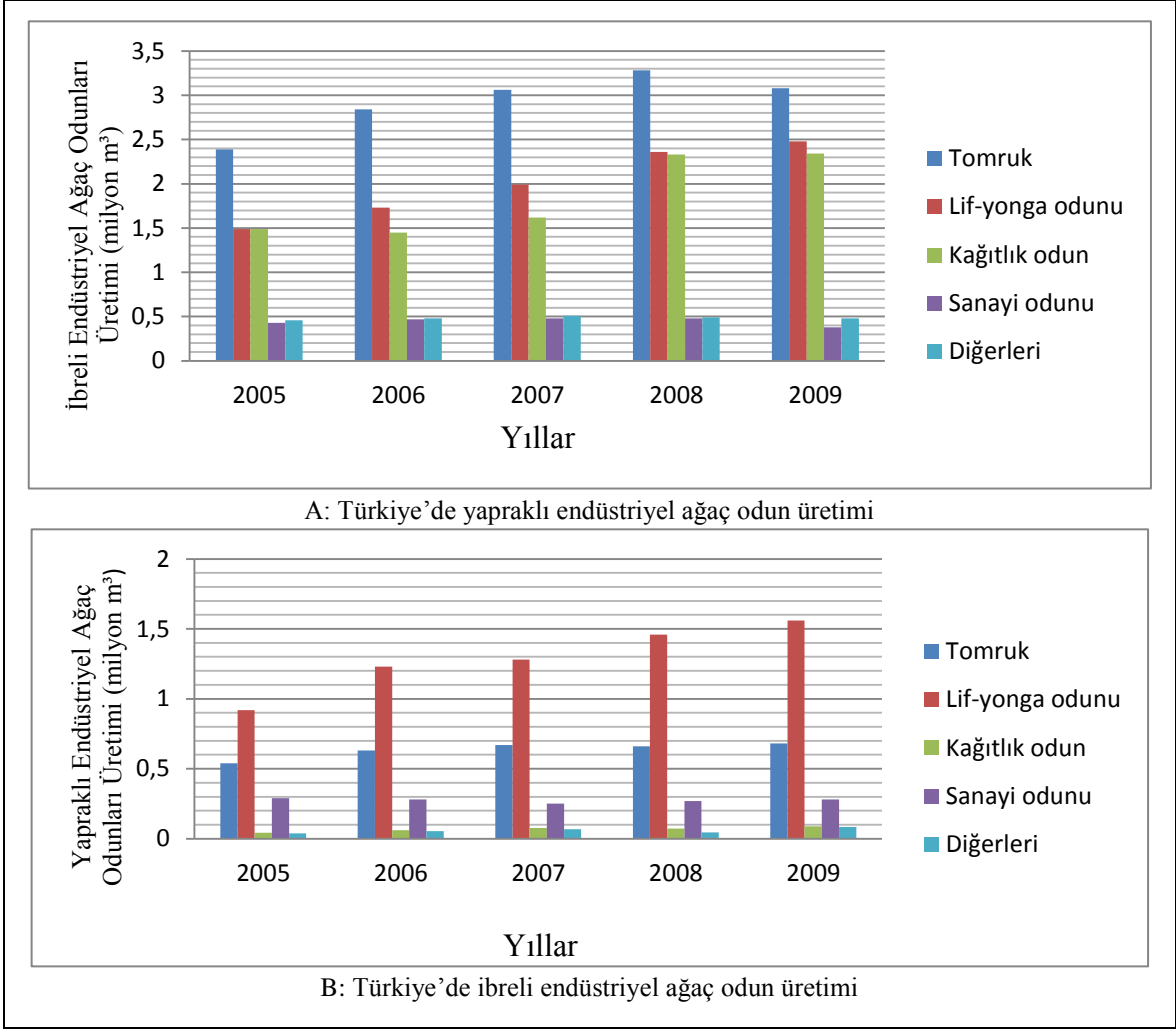
Orman kaynakları dünyada 3.689 milyar hektar alana sahiptir. Bu alan yeryüzünün yaklaşık % 29'unu kaplamaktadır. Bu kaynaklardan yıllık toplam odun üretimi yaklaşık 3,4 milyar m³ olup, ekonomiye katkısı yaklaşık %2 civarındadır. FAO verilerine göre mevcut ormanların yaklaşık %5'i plantasyon, %95'i ise doğal ormanlardan oluşmaktadır. Plantasyon orman alanı oranının az olmasına karşılık, genellikle hızlı gelişen türlerle tesis edildiklerinden toplam yuvarlak odun arzı içindeki pay ve öneminin gittikçe artışı dikkat çekmektedir (Güller, 2001).

Odun hammaddesi basitçe endüstriyel ve yakacak odun olarak iki kısma ayrılabilir. Dünya yuvarlak odun üretimi yıllık 3,4 milyar m³ civarında olup bunun %53'ü yakacak odun, %47'si endüstriyel odundur. Dünya endüstriyel odun üretimi sıralamasında Kuzey ve Orta Amerika %40'luk payıyla birinci sırada yer almaktadır. Bunu Avrupa (%30), Asya (%13), Güney Amerika (%10), Afrika (%4) ve Okyanusya (%3) takip etmektedir. Endüstriyel odunlardan; kerestelik tomruk, lif ve yonga odunu, kağıtlık odun, maden direği, tel direği ve sanayi odunu üretilebilir. Yakacak odun üretiminde ise %44 ile Asya başı çekmektedir. Bunu Afrika (%30), Güney Amerika (%10), Kuzey ve Orta Amerika (%9), Avrupa (%6) ve Okyanusya (%1) takip etmektedir. Yakacak odunun yaklaşık %90'nı geliştirmekte olan ülkeler tarafından üretilip tüketilmektedir. Buna karşılık 1,58 milyar m³ olan endüstriyel odun üretiminin %79'u gelişmiş ülkeler tarafından değerlendirilmektedir. Türkiye'de ise 2010 yılında üretilen endüstriyel odun miktarı 12,5

milyon m³ olup dağılımı Şekil 1’de verilmiştir (URL-1, 2011). Buna ek olarak yine 2010 yılında 7,2 milyon ster yakacak odun üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 2005-2009 yılları arasında üretilen ibrelı ve yapraklı endüstriyel ağaç odun üretimleri Şekil 2’de belirtilmiştir (Anonim, 2011).



Şekil 1. Türkiye’de 2010 yılında üretilen endüstriyel odun miktarları (URL-1, 2011).



Şekil 2. Türkiye’de yapraklı ve ibrelil endüstriyel ağaç odun üretimi, 2005-2009 (Anonim, 2011).

Ülkemizde, yılda 12–13 milyon m³ yuvarlak odun tüketilmekte olup bunun yaklaşık %75’i devlet ormanlarından karşılanmaktadır. Tüketimin geriye kalan kısmı; özel ormanlar, 3 hektardan küçük alanlardan yapılan tapulu kesimler, tarım alanlarında yer alan kavak, okaliptüs gibi hızlı gelişen tür plantasyonlarından yapılan üretim ve ithalat yoluyla karşılanmaktadır. 2005-2010 yılları arasında gerçekleştirilen endüstriyel ve yakacak odun arz-talep karşılaştırılması Tablo 1’de gösterilmiştir (Anonim, 2011).

Tablo1. Türkiye’de 2005-2010 yılları arasında gerçekleştirilen endüstriyel ve yakacak odun arz-talep karşılaştırılması

Yıllar	Endüstriyel Odun			Yakacak Odun		
	Arz (m ³)	Talep (m ³)	Fark (m ³)	Arz (ster)	Talep (ster)	Fark (ster)
2005	15.513.543	20.269.606	-4.756.063	21.629.255	22.173.536	-544.281
2006	15.758.609	20.826.611	-5.068.002	22.064.325	21.846.489	217.836
2007	15.978.248	21.396.575	-5.418.327	23.625.989	21.544.534	2.081.455
2008	16.185.249	21.979.920	-5.794.671	23.242.034	21.250.962	1.991.072
2009	16.343.766	22.577.074	-6.233.308	23.205.390	20.969.569	2.235.821
2010	16.542.425	23.188.449	-6.646.024	22.626.873	20.688.504	1.938.369

Tablo1’den de anlaşılacağı üzere endüstriyel odun üretiminde arz-talep arasındaki fark giderek artmaktadır. Bunun sonucunda orman ürünleri sanayisinde odun esaslı levhaların (yongalevha, liflevha, kontrplak) yanında yeni malzemelerinde geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur. Bu tip yeni malzemeleri yapısal kompozit keresteler adı altında açıklamak mümkündür.

1.2. Odun Kompozitleri

Orman ürünleri endüstrisinde küçük partiküller, lifler ya da daha geniş parçaların yapıştırılmasıyla geliştirilmiş olan pek çok malzeme değişik isimlerle anılmaktadır. Farklı isimlerle anılan bu ürünlerin odun kompozitleri başlığı altında değerlendirilmesi son 15-20 yılı kapsamaktadır (Maloney, 1986). Genel olarak, kompozit farklı iki ya da daha fazla materyalin değişik bağlayıcılarla bir araya getirilerek oluşturulan malzemeleri ifade etmektedir (Mallick, 1997). Odun kompozitleri ise odunsu materyalin odunsu bir materyal ya da başka bir materyal ile yapıştırıcılar kullanılarak birleştirilmesiyle elde edilen malzemeleri ifade eder (Anonim, 2010).

Kompozitler; presleme, kalıpta şekillendirme (enjeksiyon) ve ekstruder yönteminden birisi kullanılarak üretilmektedirler (Maloney, 1986; Anonim, 2010).

Masif odunun özellikleri; türden türe, aynı türe ait ağaçlar arasında hatta aynı ağacın değişik kısımlarında farklılıklar gösterdiğinden, prosesi kontrol edilerek özelliklerine müdahale edilebilen kompozit malzemelerin özelliklerinden farklıdır. Bu malzemelerin

özellikleri üretim proseslerine (hammadde kombinasyonu, kullanım miktarı, işlem süreçleri, tabakaların organizasyonu vb.) müdahale edilerek değiştirilebilir (Anonim, 2010).

Kompozit malzemelerin mobilya endüstrisi, inşaat sektörü ve bina içi-dışı mekanlarında geniş bir kullanım yelpazesi vardır. Odun türü, levha yoğunluğu, tutkal tür ve miktarının değiştirilmesiyle bu ürünlerin özellikleri geliştirilmektedir. Günümüzde odun esaslı kompozit malzemeler gruplandırılarak “Engineered Wood Products (EWP)” olarak adlandırılmaktadır (Güler, 2001).

Masif ahşap panellerde diğer odun kompozit malzemelerde olduğu gibi mobilya endüstrisi ve dekorasyon sektörü için oldukça önemlidir. Masif ahşap paneller son yıllarda kompozit pazarındaki yerini giderek arttırmaktadır. Bu artışın sebebi, yüksek boyut ve yüzey stabilitesi, üretim teknolojilerindeki gelişim, gerek üretim gerekse kalite kontrolünün hızlı ve ekonomik olunmasıdır. Özellikle tutkallama tekniklerinde uygulanan yenilikler ile masif ağaç panellerin hem ekonomik hem de kaliteli üretilmesi sağlanmıştır. Masif paneller bu özellikleri ile mobilya ve dekorasyon sektöründe geniş bir pazar payına sahip hale gelmişlerdir.

1.3. Odun Esaslı Levhaların Sınıflandırılması

1.3.1. Yongalevha

Yongalevha; genellikle odun hammaddesinden elde olunan yonga veya küçük parçacıkların sentetik bir reçine ya da uygun bir yapıştırıcı ile ısı ve basınç altında geniş ve büyük yüzeyli levhalar haline getirilmesi ile oluşan ve bina yapımı yada mobilyacılıkta kullanılan bir malzemedir (Kalaycıoğlu, 2009; T.S.E., 1980). Standartlara göre yongalevha; odun (odun yongası, testere talaşı vb.) ve/veya diğer ligno-selülozik lifli materyallerin (keten, kenevir lifleri, şeker kamışı vb.) bir tutkal ilavesi ile sıcaklık ve basınç etkisi altında şekillendirilmesi ile oluşan levhalardır (Kalaycıoğlu, 2009)

Yongalevhalar özgül ağırlıklarına göre; hafif (0.590 g/cm^3 'ten daha düşük), orta ($0.590-0.800 \text{ g/cm}^3$) ve yüksek özgül ağırlıktaki (0.800 g/cm^3 'ten yukarı) olarak 3 grup'ta toplanmıştır.

Yongalevhaları serme sistemlerine göre yatay ve dik yongalı levhalar (Okal) olarak iki, tabaka sayılarına göre üç gruba ayırmak mümkündür.

Yonga boyut ve şekillerine göre; Normal (Particleboard), Etiket (Waferboard), Şerit (Flakeboard), Yönlendirilmiş (Oriented Structural Board: OSB) yongalevhalar olmak üzere 4 grup altında toplanmıştır.

Levhalar normal preslerde üretilen veya özel preslerde kalıplanmış olarak üretilen olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Kalıplanmış levhalar; Termodin, Collipres ve Werzalit yöntemi olarak üç guruba ayrılır.

1.3.2. Liflevha

Lif levha, odun lifi, bitkisel lif ve lif demetlerinin doğal yapışma ve keçeleşme özelliğinden yararlanılarak ve/veya tutkal ilavesiyle oluşturulan levha taslağının kurutulması yada preslenmesiyle üretilmiş, kalınlığı 1,5 mm ve daha fazla olan levhalardır. Lif levhalar liflerden oluştuğu için, masif ağaç malzemedeki olduğu gibi yüksek mekanik ve özelliklere sahiptir. Masif ağaç malzemenin aksine direnç özellikleri, değişik yönlerde farklı değildir yani homojen yapıda bir malzemedir (ISO 818- E; Usta, 2000).

Lif levhalar üretim işlemlerine göre yaş, yarı kuru ve kuru yöntem ile üretilen lif levhalar olmak üzere 3 gruba ayrılır.

Yöntemleri birbirinden ayıran en önemli etken, levha taslağının oluşumu sırasındaki liflerin içerdiği rutubet oranıdır. Bu oran, yaş yöntemde %100 veya daha fazla, yarı kuru yöntemde %12-45, kuru yöntemde ise %5-10 arasındadır. Diğer bir etken ise, liflerin taşınmasını ve levha taslağının oluşumunu sağlayan ortamdır. Yaş yöntemde bu işler su yardımı ile sağlanırken, yarı kuru ve kuru yöntemde hava ve mekanik araçlarla sağlanır. Bunlardan başka, yapıştırıcı kullanılıp kullanılmaması da önemli bir ayırım özelliğidir. Bilindiği üzere, yaş yöntemde ancak özel hallerde yapıştırıcı kullanılırken, yarı kuru ve kuru yöntemle yapılan üretimlerde olağan olarak yapıştırıcı kullanılır (Usta, 2000).

Yaş Yöntem: Bu yöntemde formasyon ortamı sulu süspansiyonu olup %1-2 konsantrasyondaki lif süspansiyonu bir elek üzerine verilmekte, mümkün olduğun kadar düzenli lif dağılımı sağlanarak lif keçesi haline getirilmektedir. Burada en önemli sorun, uniform bir levha taslağı elde etmektir. Çünkü lifler daima kümelenmeye meyillidir. Bunun içinde düşük konsantrasyon ve mekanik karıştırmadan yararlanılır. Yaş yöntemde elde edilen levhaların sadece bir yüzü düzdür. (S1S= smooth one surface) Diğer yüzünde elek izi bulunur. Çünkü oluşturulan lif keçesi preslerde sıcaklık ve basınç altında preslenerek kurutulur ve presin bir yüzünde de elek bulunur. Bu levhalar yoğunluklarına

göre; yumuşak ($<400 \text{ kg/m}^3$), orta sert ($\geq 400 \text{ kg/m}^3 \leq 900 \text{ kg/m}^3$), sert levhalar ($\geq 900 \text{ kg/m}^3$) olmak üzere üç gruba ayrılır (Usta, 2000).

Yarı Kuru Yöntem: Bu yöntemde levha taslağının oluşumu sırasında nem oranı %12-45 olup, taslağın oluşmasında sulu ortamın yerine hava veya mekanik araçlardan yararlanılır. Ayrıca, liflerin doğal yapışma özelliklerinden ziyade yapıştırıcılar kullanılarak gerekli sağlamlılık elde edilmektedir (Usta, 2000).

Kuru Yöntem: Burada, nem oranı %5-10 arasındadır. Elde edilen lifler rutubetin uzaklaştırılması için özel olarak kurutmaya tabii tutulur. Daha sonra hava veya mekanik araçlarla serme yapılarak levha taslağı oluşturulur ve presleme ile ve kullanılan %8-11 oranındaki tutkal ile gerekli levha sağlamlığı elde edilir. Levha yoğunluğu $\geq 600 \text{ kg/m}^3$ olan lif levhalarıdır

MDF termomekanik olarak odun veya diğer lignoselülozik hammaddelerden elde edilen liflerin belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra yaklaşık %9-11 oranında termoset esaslı yapıştırıcılar ile tutkalanarak sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle oluşan geniş levhalarıdır. Bugün Dünya’da MDF üretiminin %90’ı kuru yöntemle gerçekleştirilmektedir.

Lif levhalar liflerin yönlendirilmesine göre; lifleri yönlendirilmeden üretilen ve lifleri yönlendirilmiş lif levhalar (Oriented Fiberboard) olarak iki gruba, yüzey yapısına göre; bir yüzü düzgün diğer yüzünde elek izi olan levhalar (SIS-Smooth one Surface) ve her iki yüzü düzgün olan levhalar, (S2S- Smooth two Surfaces) olarak sınıflandırılır (ISO 818- E; Usta, 2000).

1.3.3. Kontrplak

TS EN 313-2 standartlarına göre kontrplak; birbiri üzerine genellikle lif yönü dik olacak şekilde yapıştırılmış tabakalardan oluşan odun esaslı panel olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle kontrplak; belirli özelliklerdeki tomrukların özel makinelerde soyulması ile elde edilen tabakaların, lif doğrultuları birbirine dik ve en az üç tabakadan oluşacak şekilde üst üste yapıştırılmış levhalar olarak tanımlanmaktadır. Bu tip levhalarda orta tabaka veya özün her iki tarafında yer alan iç ve dış tabakalar genellikle birbirine simetriktir. Kontrplakların kalınlıkları 3-70 mm arasında olup, genellikle 130x220 cm ya da 170x220 cm boyutlarında üretilmektedir (Çolakoğlu, 2001; Bozkurt, A.Y. ve Göker, Y., 1986; Göker, Y., 2000; Anonim, 1965; T.S.E., 1971). Kontrplaklar iki ana sınıfta

toplanmaktadır. Bunlar; odun kaplamalarında üretilen kontrplaklar (veneer plywood) ve orta tabakası odun çıtalara, yongalevha veya MDF olup yüzeyleri odun kaplama ile kaplanmış kontrplaklardır (core plywood) (Çolakoğlu, 2001).

1.3.4. Masif Ahşap Paneller

Masif panel; aynı ağaç türünden küçük kesitli masif parçalarının (lamellerin) tek parça ya da uç uca ekli parçalar halindeyken özellikle lifleri paralel olacak şekilde birbirine enine ve boyuna yönde yapıştırılmasıyla elde edilen levhalar olarak tanımlanmaktadır (Dillik, 2006).

Masif ahşap paneller, daha çok iç mimari ve dekorasyon işleri ile mobilya üretiminde kullanılmaktadır (Akça, 2003). Özellikle yüzeyde düzgün ve temiz ahşap görüntüsü sağlaması diğer ahşap esaslı panellere göre avantaj olarak kabul edilmektedir. Masif panellerin mobilya endüstrisinde kullanım nedenlerinden biri genişliklerinin istenildiği gibi ayarlanabilmesi ve kullanım sırasında fire miktarının azaltılabilesidir (Kahveci, 2003).

Gelişen tutkallama tekniğindeki gelişime de paralel olarak her kullanım alanı için uygun olan laminasyon teknolojisi, ağaç malzemenin rasyonel kullanımı ve masif oduna göre daha stabil, kusursuz ve estetik bir malzeme elde edilmesi olanağı sağlamaktadır (Dillik, 2006).



Şekil 3. 3 Tabakalı masif ahşap panel örneği

TS EN 12275'e göre Masif ahşap paneller;

- Levhaların kompozisyonuna göre; tek ve çok tabakalı levhalar olmak üzere iki grupta,
- Kullanım şartlarına göre; kuru şartlarda, nemli şartlarda, dış mekanlarda kullanım için olmak üzere 3 grupta,
- Mekanik özelliklerine göre; genel amaçlar ve yapılarda kullanılan levhalar olmak üzere 2 grupta,
- Yüzey görünümlerine göre; Dış tabakada bulunan ağaç türleri (yapraklı veya iğne yapraklı) ve parçaların uzunluklarına (boyuna kesilmiş parçalar içeren veya içermeyen levhalar) olmak üzere 2 grupta,
- Yüzey durumlarına göre; İşlenmemiş (ham), zımparalanmış, pütürlü yüzeye sahip, üst yüzeyi işlem görmüş (örneğin; kaplanmış, astar çekilmiş, verniklenmiş, yağlanmış) levhalar olmak üzere 4 grupta incelenir (T.S.E., 2003).

1.3.5. Yapısal Kompozit Keresteler (Structural Composite Lumber-SCL)

Yapısal kompozit keresteler; ahşap elemanların suya dayanıklı reçinelerle kereste şeklinde birleştirilmesiyle oluşturulan ürünlerdir. Kompozit kereste ürünlerinin en önemli avantajı küçük boyutlu ve düşük değerdeki ağaç malzemedan oldukça büyük boyutlu ve direnç değerleri yüksek ürünler elde edilebilmesidir. Yapısal kompozit keresteler azalan doğal kaynaklar ve buna karşılık sürekli artış gösteren yapısal ürün talebine cevap vermek amacıyla geliştirilmişlerdir. Bunlar; PSL(Parallel Strand Lumber), LSL(Laminated Strand Lumber), LVL(Laminated Veneer Lumber), GLULAM(Glued Laminated Timber) ve OSL(Oriented Strand Lumber) olmak üzere 5 gruba ayrılır. Bu ürünler yaklaşık 100 yıldır üretilmektedir. Türkiye'de bu ürünlerin üretimi yapılmamaktadır (Hay green ve Bowyer, 1996)

1.3.5.1. Lamine Kaplamalı Kereste (LVL- Laminated Veneer Lumber)

Piyasada lamine ahşap kaplama LVL (Laminated Veneer Lumber) ya da mikro-lam isimleriyle tanınmaktadır. ABD, Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda, Finlandiya, İsveç, Japonya ve Endonezya da daha fazla olmak üzere birçok ülkede üretimi yapılmaktadır.

Türkiye’de bazı kontrplak fabrikalarında bükme mobilya üretiminde kullanılmak üzere az miktarda üretilmektedir. Son yıllarda Avrupa’da üretim hacminin arttığı bildirilmektedir. Kuzey Amerika’da 1998 yılında 1997’ ye göre %25 bir artışla üretim miktarı 1,3milyon m³ ulaşmıştır. Günümüzde üretim miktarlarının Dünyada 2 milyon m³’ü aşacağı ifade edilmiştir. Avrupa’daki üretim miktarı 2002 yılında yaklaşık 100.000m³ kadar olmuştur. Avrupa’da en önemli iki fabrikadan biri Finlandiya’da, diğeri ise İsveç’te bulunmaktadır (Çolakoğlu, 2005).

LVL’yi oluştururken masif kaplamalar birbirine paralel olarak dizilirler. Tabakaları oluşturan her bir kaplamanın lif yönü üretilmiş LVL’nin uzunluğuna paraleldir. Finlandiya’da özel kullanım yerleri için yaklaşık %20’si diğer kaplamalara dik yerleştirilerek üretimde gerçekleştirilmektedir. Bükme mobilya üretiminde kullanılacak LVL’lerde tabakaların lif yönlerinin paralel düzenlenmesi gerekir. Kaplamaların kalınlıkları 2,5-6,4 mm arasında değişmektedir. Genelde 3,0-3,2 mm kalınlıklar kullanılmaktadır. LVL kalınlıkları normalde 19-45 mm arasında olup, istenirse 89 mm kalınlığa kadar üretilebilir. Genişlikler 1800 mm uzunluklar ise 24 m’ye kadar olabilmektedir (Çolakoğlu, 2005). Şekil 4 ve 5’te LVL ve uygulama örnekleri görülmektedir.



Şekil 4. LVL örneği



Şekil 5. LVL uygulama örnekleri

Uygulama alanları kıta ve ülkelere göre değişmekte olup, genelde yapısal yada yapısal olmayan konstrüksiyon amaçları ile kullanılmaktadır. Türkiye’de bu tür kullanım alanı şimdilik yaygın değildir. Kuzey Amerika’da en genel uygulaması Şekil 6’da gösterilen I-kirişlerin kenar çitası olarak değerlendirilmesidir. Bir kısmı bina konstrüksiyonlarında direk olarak kullanılmaktadır. Çok az kısmı ise yapı iskelesi kalası ve beton kalıbı olarak üretilmektedir. Ayrıca lamine kağıtlarla kaplanmış Clear-Lam ticari adıyla da üretim yapan firmada bulunmaktadır. Şekil 6’da I kirişi ve uygulama örneği görülmektedir.



Şekil 6. LVL-I kiriş ve uygulama örneği

Avrupa'da LVL'nin direk ve kiriş olarak kullanımı yaygındır. Almanya'da büyük boyutlu mühendislik malzemeleri olarak yapılarda, onarım ve restorasyon çalışmalarında değerlendirilmektedir. Orta Avrupa'da özellikle İsviçre'de çatıların kaplanmasında, Fransa'da kapı çerçevelerinde, ABD ve Avrupa'da ise bazı köprülerde kullanılmaktadır. Az bir kısmı da mobilya endüstrisi ile kapı ve pencere çerçevelerinin üretiminde değerlendirilmektedir. Kamyon, gemi ve vagon döşemeleri için de üretilmektedir (URL-2, 2008).

Şekil 7'de sırasıyla Laminated Veneer Lumber (LVL), Laminated Strand Lumber (LSL), ve Parallel Strand Lumber (PSL) levha örnekleri görülmektedir.



Şekil 7. LVL, LSL ve PSL örnekleri

1.3.5.2. Paralel Yönlendirilmiş Şeritli Keresteler (Parallel Strand Lumber-PSL)

Soyma kaplamalarının büyük boyutlu parçalar haline getirilerek birbirine paralel yapıştirilmesi ile yüksek direnç özelliklerine sahip kereste şeklinde üretilen kompozit malzemedir.

Üretilen malzemenin enine kesit ölçüleri maksimum 280x485 mm kadar olup, boy 20 m'ye kadar uzatılmaktadır. PSL üretiminde LVL üretiminde olduğu gibi öncelikle 3 mm kalınlığında soyma kaplama üretilir. Daha sonra sonsuz bant halindeki kaplamalar kesilerek yaklaşık 20 mm genişlikte şeritler haline getirilmektedir. Şeritlerin (kaplama şerit yongaları) boyları en az 60 cm uzunluğundadır. Şeritler genellikle dış ortam ve suya dayanıklı fenol formaldehit tutkalı ile tutkallanarak levha taslağı oluşturulur ve özel ekipmanlar sayesinde yönlendirilerek mikrodalga enerjili sonsuz preslerde (Continuous press) preslenir.

%11 sonuç rutubet değerine sahip olan PSL, suya dayanıklı olmasının yanında, yüksek eğilme, çekme ve elastikiyet modülü gibi teknolojik özelliklere sahiptir.

PSL, Parallam ticari adıyla satılmaktadır. Bu ürün Kanada'daki Mac Millan Bloedel Ltd. tarafından geliştirilmiştir. Kuzey Amerika'da genellikle iğne yapraklı ağaçlar ve lale ağacı tomruklarından üretilmektedir (Çolakoğlu, 2005). PSL levhalar yapısal konstrüksiyonlarda sütun ve kiriş olarak kullanılmaktadır. Şekil 8'de PSL örneği gösterilmiştir. ABD'de iki, Kanada da bir fabrikada üretilmektedir.



Şekil 8. PSL örnekleri



Şekil 9. PSL uygulama örnekleri

1.3.5.3. GLULAM (Glued Laminated Timber)

Glued laminated timber (GLULAM), laminasyon tekniği ile yapıştırılmış ağaç malzeme yada tabakalanmış ağaç malzeme olarak adlandırılabilir (Eckelman, 1999).

GLULAM masif kerestelerin büyük boyut oluşturmak için uç uca, yan yana ve üst üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanıdır. Kavisli elemanlarda ortalama 1inç (2.54 cm) kalınlıktaki keresteler kullanılırken, az kavisli ya da düz elemanlar için ortalama 2inç (5.08 cm ~5 cm) kalınlıktaki keresteler kullanılmaktadır. İlk kez 1893'de İsviçre Basel'de bir oditoryum inşaatında kullanılmıştır. Yatay, dikey ve eğimli elemanlar olarak dizayn edilerek meskenler ve diğer yapılarda yüksek yük taşıyıcı yapısal elemanlar olarak kullanılırlar. GLULAM'ı oluşturan tabaka elemanlarının lif yönlerinin birbirine paralel olarak düzenlenmesi daha yaygındır. Eğimli elemanlarda ise lif yönünün paralel olarak düzenlenmesi zorunludur. GLULAM, üretimindeki son gelişmeler liflerin plastikte takviye edilmesidir. Bu yenilikler ile enine kesitte daha çok miktarda düşük kalitede ahşap eleman kullanarak daha yüksek dirençli ve sert bir eleman elde etmek mümkün olmuştur (Hay green ve Bowyer 1996; Çolakoğlu, 2005; T.S.E., 1983; Göker, 2000; Moslemi, 1990).



Şekil 10. GLULAM ve uygulama örnekleri

1.3.5.4. Yönlendirilmiş Lamine Kereste (Laminated Strand Lumber-LSL)

LSL ticarete giren en son ahşap mühendislik malzemesidir. Görünüş olarak OSB'ye benzer. Ancak daha uzun yongalardan üretilir. OSB üretim teknolojisinin biraz daha geliştirilmiş şekliyle üretilir. Üretiminde kullanılan şerit yongaların uzunluğu 300 mm'dir. Kalınlıklar ise 0,7- 1,2 mm arasındadır. Uzun şerit yongalar levhanın uzunluk yönüne paralel olarak dizilirler. Bu nedenle LSL'ların uzunluk yönündeki dirençleri yüksektir. LVL ve PSL'nin aksine, LSL üretiminde kullanılan tomrukların geniş çaplı ve silindirik olmasına gerek yoktur. Genelde hızlı gelişen kavak ve söğüt gibi ağaçlar kullanılır. LSL

üretim teknolojisinde polimer-di-fenilmetan-di-isosiyanat tutkalı kullanılmaktadır. Tutkal şerit yongaların üzerine püskürtülerek uygulanmaktadır. Bu teknolojiyle 2,5 m genişlik ve 14,5 m uzunlukta üretilen levhalar daha sonra istenilen boyutlara getirilebilir.

LSL'nin reçine ile oluşturduğu bağlanma direnci mükemmeldir. Boyutsal kararlılığı (özellikle kalınlıkça genişlemesi) LVL ve PSL kadar iyi değildir (Çolakoğlu, 2005). Şekil 11'de LSL örneği ve LSL ile yapılmış yapı elemanları görülmektedir.



Şekil 11. LSL ve uygulama örnekleri

1.3.5.5. Paralel Yönlendirilmiş Kereste (Oriented Strand Lumber-OSL)

Paralel yönlendirilmiş yongalevhalar diğer ürünlere nazaran daha yeni bir ürün olup, geliştirilme aşamasındadır. OSL 300 mm uzunlukta, 10-15 mm genişlikte ve 25-80 mm kalınlıktaki yongalardan üretilmektedir. Tüm yongalar aynı doğrultuda yönlendirilmekte ve ürünün her yerinde üniform bir yoğunluk sağlanacak şekilde preslenmektedir (Hay green ve Bowyer 1996; Çolakoğlu, 2005; Maloney, 1996). OSL kalın prizmalar şeklinde üretilerek kereste boyutlarına biçilir. Düşük değerli sert ağaç odunlarından üretilebilir. Masif haldeki keresteden daha yüksek dirence sahiptir. Kiriş ve direk olarak kullanılır. OSL üretiminde kullanılan yongalar ve OSL örneğini Şekil 12'de görülmektedir. Şekil 13'te ise OSL kullanım uygulamaları görülmektedir.



Şekil 12. OSL üretiminde kullanılan yongaların elde edilmesi ve OSL örneği



Şekil 13. OSL kullanım uygulamaları

1.5. Odun Esaslı Levhaların Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

1.5.1. Ağaç Malzeme

Odun esaslı levhaların üretiminde %80-90 gibi büyük oranda odun hammaddesi kullanılmaktadır. Odun hammaddesi üretilecek kompozitinin türüne göre değişiklik göstermekte olup, bu amaçla iğne yapraklı ve yapraklı ağaç türleri kullanılabilir. Tomrukların kabuklarının mutlaka soyulmuş olması gerekir ve çürüklük kusuruna izin verilmez. Tomrukların çap ve diğer özellikleri büyük sorun yaratmaz. Dünyada odun hammaddesine olan talebin artmasına paralel olarak hemen bütün türlerin levha sektöründe kullanımı araştırmaları gündeme gelmiştir. Bu çalışmada da Hindistan cevizi odunlarının masif levha üretiminde kullanımı üzerinde durulmuştur.

1.5.1.1. Hindistan Cevizi Ağacı (*Cocos nucifera L.*) Odunu Hakkında Genel Bilgiler

Hindistancevizi ağacı (*Cocos nucifera L.*) Palmae familyasına ait olup, Doğu Afrika, Güneydoğu Asya'da Endonezya, Hindistan ve Filipinler gibi ülkelerin özellikle sahil kesimlerinde yetişmektedir. Bu bölgede yaklaşık 10 milyon hektarlık alanda yayılım göstermektedir. Hindistancevizi ağacı (*Cocos nucifera L.*) tropik bir tür olup, 4000 yıllık bir geçmişe sahiptir. Hindistan cevizi ağacı gövdesinden ve meyvesinden birçok kullanım alanına ait hammadde üretilir (Killmann ve Fink, 1996).

Bunlardan bazıları;

- Bitkisel yağlar (ağacın meyvesinden)
- Çatı örtü malzemeleri (gövde ve yapraklardan)
- Halat (liflerinden)
- Yakıt (kabuk ve meyvesinden)
- Kereste (gövdesinden)
- Cilt bakım ürünleri (meyvesinden elde edilen yağdan)'dir.

Hindistancevizi ağacı 25-30 m yüksekliğe kadar uzayabilmekte ve 90-100 yıl kadar yaşayabilmektedir. Her ağaç 7-13 yılları arasında meyve vermeye başlar ve 60 yıl süre ile meyve verebilir. Yetişkin bir ağaç senede 60 ila 120 arasında meyve verebilir.



Şekil 14. Hindistan cevizi ağacı meyvesi ve ağaçtaki yeri

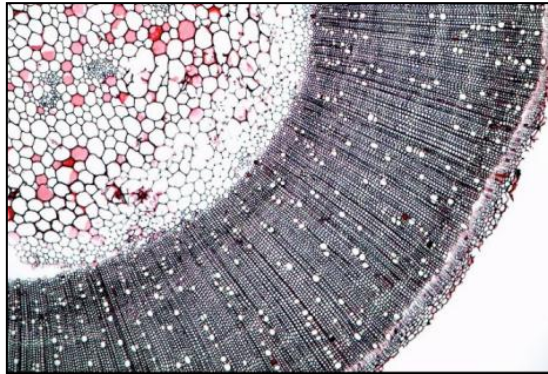
Hindistan cevizi ağacını diğer ağaçlardan ayıran en büyük özellik yapraklarının sadece gövdenin üst kısmında bulunması ve yoğunluğun gövde içindeki değişimidir. Gövde içindeki yoğunluk farkı oldukça fazladır. Bu fark 200 kg/m^3 ile 900 kg/m^3 arasında değişir. Bu değişimden dolayı Hindistancevizi ağacı odunu yoğunluklara göre değişik

kullanım alanlarında kullanılabilir. Örneğin yüksek ve orta yoğunlukta ki kısımlar yapı, pencere ve kapı doğramaları, yer döşemeleri ve mutfak tezgahları gibi alanlarda kullanılabilir. Düşük yoğunluktaki bölgelerin kullanım alanları ise daha sınırlı olup yer ve duvar kaplamaları, direnç gerektirmeyen kasa imalatı ve briket imalatında kullanılabilir (Killmann ve Fink, 1996).



Şekil 15. Hindistan cevizi ağacı genel görüntüsü

Hindistan cevizi ağacı odunlarının öz odun kısımlarında yoğunluğun düşük olduğu görülmektedir. Tropik bir tür olduğundan yıllık halka belirgin değildir. Diri odun kısımlarında ise öz oduna oranla oldukça yüksek yoğunluk değeri görülmektedir. Şekil 16'da Hindistan cevizi ağacı odununun anatomik yapısı görülmektedir.



Şekil 16. Hindistan cevizi ağacı odununun anatomik yapısı



Şekil 17. Yüksek yoğunluktaki Hindistan cevizi ağacı odunu örnekleri

Hindistancevizi ağacı odunu kullanımında göz önünde bulundurulması gereken özellikler;

- Yoğunluk grupları ve odun yapısı,
- Kullanım yerindeki rutubet miktarı,
- Odunun işlenebilme özelliğidir.

Yoğunluk grupları ve odun yapısı odunun direnç özellikleri ile ilgilidir. Direnç gerektiren alanlarda yüksek yoğunlukta odunlar kullanılmalıdır. Yoğunluk farkının yüksek olmasından dolayı farklı yoğunluktaki kısımlar aynı işlenebilme özelliğine sahip değildir. Yoğunluğu fazla olduğu kısımların işlenebilme özelliği düşük olanlara göre daha zordur. Bunun sonucunda da yüksek yoğunluk gerektiren alanların işlenmesinde daha hassas işleme makinelerine ihtiyaç vardır (Killmann ve Fink, 1996).

1.5.1.2. Hindistan Cevizi Ağacı (*Cocos nucifera L.*) Odunu Kimyasal Özellikleri

Hindistan cevizi ağacı odunlarının kimyasal özellikleri Tablo 2’de, 100g meyve örneğinde bulunan kimyasal madde miktarları ve ekstrasyonu sonucu elde edilen ürünler Tablo 3’te belirtilmiştir (Maloney, 1986 ve 1996; Killmann ve Fink, 1996). 100g Hindistan cevizi meyvesi içeriğinde; 10 mg Ca (kalsiyum), 24 mg P (fosfor), 1,7 mg Fe (demir) ve çok az miktarda β -karoten bulunmaktadır.

Tablo 2. Hindistan cevizi ağacının kimyasal yapısı

Kimyasal bileşikler	Oran (%)
Holoseülüz	56.3
α - Selüloz	12.1
Lignin	22.8
Ekstraktif Madde	6.6
Kül	2.2

Tablo 3. Hindistan cevizi ağacı meyvesinin kimyasal yapısı

Kimyasal bileşikler	Miktarı (g)	Meyvesinden ekstrasyon sonucu elde edilen kimyasal maddelerin oranı (%)
H ₂ O	36.3	10.0-13,3
Yağ	41.6	6.0-26.7
Protein	4.5	14.3-19.8
Toplam karbonhidrat	13	-
Lif	3.6	-
Kül	1	-

1.5.1.3. Hindistan Cevizi Ağacı (*Cocos nucifera L.*) Odununun Mekanik Özellikleri

Killmann ve Fink tarafından 2006 yılında gerçekleştirilen çalışmalarda Hindistan cevizi ağacı odunlarının mekanik özellikleri belirlenmiştir. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü belirlenirken testler liflere paralel yönde yapılmıştır (Maloney, 1986 ve 1996; Killmann ve Fink, 1996).

Tablo 4. Hindistan cevizi ağacı odununun bazı mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	Yoğunluk (kg/m ³)		
	200-400	400-800	>800
Eğilme Direnci N/mm ²	16.34	41.68	109.21
Elastikiyet modülü N/mm ²	3633	7116	14414
Kopma direnci N/mm ²	33	63	104
Makaslama direnci N/mm ²	2.1	8	17
Ezme Mukavemeti N/mm ²	9.84	37.87	77.56
Sertlik (KN) N/mm ²	0.66	4.19	14.95
İşlenebilme	Oldukça kolay	Normal	Oldukça zor
Kuruma Hızı	Düşük	Normal	Yüksek

1.5.1.4. Hindistan Cevizi Ağacının (*Cocos nucifera L.*) Faydalı ve Sakıncalı Yönleri

Hindistan cevizi ağacının faydalarından en önemlisi meyveleridir. Meyvelerden birçok kullanım alanı için hammadde üretilmektedir. Bunlardan en önemlileri bitkisel yağ ve cilt bakım ürünleridir. Ayrıca son yıllarda geliştirilen yöntemlerle bio-yakıt olarak ta kullanılmaktadır. Hindistan cevizi ağacı odunları uzun yıllardır dekoratif ahşap malzemeler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle yüksek yoğunluktaki odunlardan oyma mobilyalar üretilmektedir. Bunun yanında ahşap döşemeler, pencere ve kapı doğramaları gibi inşaat sektörü için yapı malzemeleri de üretilmektedir.

Hindistan cevizi ağacı odunlarının sakıncaları ise; Odunlarda yoğunluk değişimi fazla olduğundan dolayı işlenmesi için gerekli teçhizatlar farklıdır. Özellikle yüksek yoğunluktaki odunların işlenebilmesi için özel makineler gereklidir. Ayrıca Hindistan cevizi ağacı odunlarında mantar tahribatı görülmektedir. Özellikle odunları dış koşullarda kullanım için uygun değildir (Killmann ve Fink, 1996).

1.5.1.5. Hindistan Cevizi Ağacının (*Cocos nucifera L.*) Bazı Yerli ve Yabancı Ağaç Türleri ile Karşılaştırılması

Hindistan Cevizi Ağacının bazı yerli ve yabancı ağaç türleri ile karşılaştırılması Tablo 5’te verilmiştir (Killmann ve Fink, 1996).

Tablo 5. Hindistan cevizi ağacının bazı ağaç türleri ile karşılaştırılması

Ağaç Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Makaslama Direnci (N/mm ²)	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
Hindistan Cevizi Ağacı	0.40-0.80	41.68	8	7116
Dağ Akçaağacı,	0.59	95	9-15	9400
Avrupa Ceviz,	0.49	100	10	12000
Çoruh Meşesi,	0.68	128	10.4	-
Avrupa Göknaarı	0.41	73	5	11000
Sarı Çam	0.49	100	10	12000
Avrupa Ladini	0.43	78	6.7	11000
Abachi	0.35	109	3.7	9600-13200
Okaliptus	0.55	75	-	13900
Okoume	0.41	72	6	-
Teak	0.63	148	9	13400
Wenge	0.75	125-180	11.3	16800-18000

1.5.2. Tutkallar

1.5.2.1. Sentetik Tutkallar

Sentetik reçineler, fiziksel özellikler açısından doğal tutkallara benzeyen yapay polimerlerdir. Bu tutkalların suya karşı dayanımları doğal tutkallara göre daha yüksektir. Ağaç işleme endüstrisi, sentetik tutkallar ile 1930'lu yıllarda tanışmış, ancak bu tutkalların asıl gelişmesi II. Dünya Savaşı sırasında olmuştur. Günümüzde de sentetik tutkalların kullanımı giderek artmaktadır (Eckelman, 1999; Aydın, 2004).

Sentetik tutkallar; “termoset” ve “termoplastik” tutkallar olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Termoset tutkalların bağlanma reaksiyonu esnasında tutkal, geri döndürülmez fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğrayarak çözünmez hale gelir. Bu reaksiyon, ısı veya kimyasal madde veya bunların her ikisinin yardımıyla kendiliğinden başlayabilir. Üre, fenol, melamin, resorsin ve fenol-resorsin formaldehit tutkalları bu gruba dahil olan yapıştırıcılardır. Bu tutkalların tamamı formaldehit esaslıdır (Aydın, 2004).

Termoplastik tutkallar sertleşirken kimyasal bir çapraz bağlanma reaksiyonuna oluşmaz, bu yüzden reaksiyon geri döndürülebilir ve ısıtma ile tutkal kolayca yumuşayabilmektedir. Polivinil asetat emülsiyonları ve hot-melt tutkalları bu gruba dahil olan yapıştırıcılardır (Aydın, 2004).

1.5.2.1.1. Üre Formaldehit (ÜF) Tutkalı

Üre formaldehit tutkalları (ÜF) dünyada ağaç malzemelerin yapıştırılmasında en yaygın olarak kullanılan yapıştırıcılardır (Eckelman, 1999; Pizzi, ve Mittal, 1994; Jang, 1997). Üre formaldehit tutkallarının orman ürünleri endüstrisinde tercih edilmesinin sebepleri; düşük maliyeti, kısa sertleşme süresi (sertleştirici madde ve ısı etkisinde) ve şeffaf renkli olması nedeniyle özellikle iç uygulamalarda kullanılan kontrplak, yonga ve lif levha gibi odun esaslı levhaların yapıştırılmasına uygun olmasıdır (Humphrey, 1993).

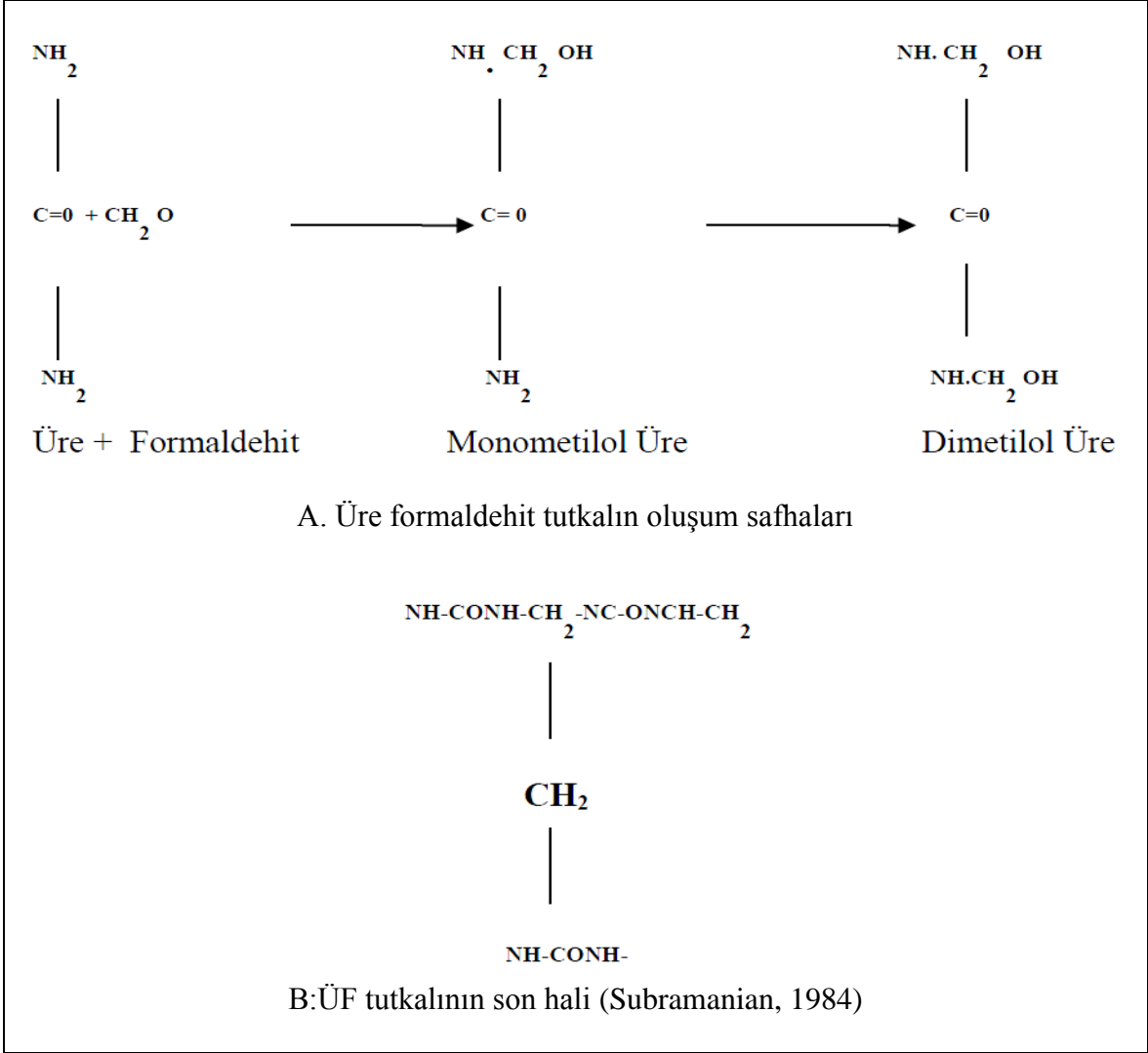
Amino grubu tutkallarından olan üre formaldehit, termoset bir polimer olup üre ile formaldehitin kondenzasyonu sonucunda meydana gelmektedir. Formaldehit/üre oranı 1,1:1'den 2,0:1'e kadar değişmektedir. Daha önceleri formaldehit/üre oranı 1,5-2/1 iken, günümüzde bu oran 1.25-1.15/1'e kadar düşürülmüştür. ÜF tutkalları asidik ortamda sertleşen bir tutkaldır. ÜF reçinesini oluşturan üre ve formaldehitin yapısında benzen ve

aromatik bileşikler bulunmadığı için, diğer birçok emülsiyon polimerler ve termoset reçineler ile karşılaştırıldığında, daha ucuzdur. Ayrıca, aromatik bileşenlere sahip olmadığı için fenolik ve stiren esaslı tutkallara göre kirlilik oluşturma potansiyeli daha düşüktür (Aydın, 2004; Wallace, 1983).

Üre formaldehit tutkalları, doğrusal ve dallanmış oligomerik ve polimerik moleküllerden oluşmaktadır. Tepkimeye girmemiş üre, çoğunlukla depolama sırasında daha iyi stabilite sağlamaktadır. Serbest formaldehitin varlığı sertleşme reaksiyonunun gerçekleşmesi için gereklidir. Ancak presleme esnasında ve sonrasında formaldehit ayrışmasına neden olmaktadır. Öte taraftan formaldehit oranının azaltılması, serbest formaldehit ayrışmasını azaltmakta, fakat sertleşme süresinin uzamasına neden olmaktadır. (Aydın, 2004; Dunky, 1998).

ÜF tutkalları, iki parçalı sistemlerdir. ÜF tutkalları normalde sıvı halde satılırlar, toz haldeki sertleştiricinin ilave edilmesiyle sıvı tutkalın sertleşmesi sağlanır. Tutkalın sertleşmesi, tutkal ile sertleştiricinin karıştırılması ile başlar. Sertleşme reaksiyonunun hızı ısı ile artar. Normal oda sıcaklığında tutkalın sertleşmesi için birkaç saat gerekirken, 80°C'de birkaç dakika ve 125 °C'de ise 1 dakikadan daha az bir zaman gerekmektedir. Bazı ÜF tutkalları reçine ve sertleştiriciyi birlikte içeren toz halinde de satılmakta olup, reaksiyon su ilavesiyle başlatılabilmektedir. Toz halindeki ÜF tutkalları küçük işletmelerde düşük miktardaki kullanımlar için uygundur (Aydın, 2004; Tout, 2000).

Üre ile formaldehit arasındaki reaksiyon temel olarak, alkali metilolasyon ve ardından da asidik bir kondenzasyon olmak üzere iki aşamalı bir işlemdir. Alkali metilolasyon aşamasında mono-, di- ve tri-metilol üreler oluşmaktadır. Bu reaksiyonun geri dönüşümlü bir reaksiyon olması, ÜF tutkallarının en önemli özelliklerinden biridir. Bu ayrıca, formaldehit ayrışmasının ve ÜF reçinelerinin rutubet ve suyun sebep olduğu hidroliz olayına karşı düşük dirençli olmasının sebebidir. Metilol gruplarının oluşması büyük oranda fenol/üre mol oranına bağlıdır ve yüksek mol oranı, metilol gruplarının oluşma eğilimini artırır. Metilol grupları, alkali koşullarda daha az stabildir. Şekil 18'de kondenzasyon reaksiyonu ürünleri ve üre-formaldehit oluşumu gösterilmektedir (Aydın, 2004; Humphrey, 1993; Schmidt, 1998).



Şekil 18. Kondenzasyon reaksiyonu ürünleri ve üre-formaldehit tutkalının oluşumu

Bu kondenzasyon ürünleri, yukarıda belirtildiği gibi henüz suda çözülen bileşiklerdir. Bu safhada iken pH 7- 8'e yükseltilerek reaksiyon durdurulur ve bunu takiben soğutulur. Yarıda kesilmiş olan kondenzasyon sıcak presleme sırasında tekrar başlar ve sonuna kadar devam eder.

ÜF polimeri, asidik kondenzasyon aşamalarında oluşur. Sistem içinde var olan metilol, üre ve serbest formaldehit; orta hatta yüksek molekül ağırlığına sahip doğrusal ve kısmen dallanmış moleküller oluşturacak şekilde reaksiyona girer. Üre molekülleri arasındaki bağın türü, kullanılan koşullara bağlıdır. Yüksek sıcaklıklar ve düşük pH'lar daha stabil metilen (-CH₂-) köprülerinin oluşmasını sağlarken, düşük sıcaklık ve zayıf asidik pH metilen köprülerinin (-CH₂-O-CH₂-) oluşmasına yardımcı olur. Eter köprüleri, formaldehiti parçalayarak metilen köprülerini yeniden düzenleyebilir. Bir eter köprüsü, iki

formaldehit molekülüne ihtiyaç duyar ve bir metilen köprüsü kadar stabil değildir. Bu nedenle, ÜF reçinelerinde bu tür eter gruplarından kaçınmak gerektiği tavsiye edilmektedir (Aydın, 2004).

Asidik kondenzasyon aşaması, alkali metilolasyon aşamasında verildiği gibi aynı yüksek mol oranında ($F/\bar{U}=1,8-2,5$) tamamlanır. Arzu edilen kondenzasyon aşamasına ulaşıldığında reaksiyon hafif asidik olan çözeltinin soğutulması ve nötralleşmesi ile kesilir (Aydın, 2004; Dunky, 1998).

Üre-formaldehit oduna selüloz zincirlerinin (OH^-) grupları ile bağlanır, mükemmel bir adezyon oluşturur, güçlü ve dayanıklı yapışmalar sağlar, sıcaklık ve rutubete karşı dayanıklıdır. Dispersiyonun sulu olması ve polar özelliği sebebiyle yongaları iyi ıslatır. Tutkal oranları odun yongalarının sertliğine göre değişir. Tam kuru ağırlığa oranla yumuşak odunlar için %7-10, sert odunlar için %5-7 oranında tutkal kullanılır. Yapı malzemesi olarak kullanılan üç tabakalı yonga levhaların iç kısımlarında tam kuru tutkal miktarı %5-8 arasında, dış tabakalarda ise daha yüksek oranda olmak üzere %9-12 arasındadır (Kalaycıoğlu, 2009; Burdurlu, 1994; Aydın, 2004).

Üre-formaldehit tutkallarının en önemli dezavantajı, normal oda sıcaklığında sertleşmelerinin uzun zaman almasıdır. Bu nedenle üre-formaldehit tutkalı genellikle sertleştirici maddeler ile birlikte kullanılır. Üre-formaldehit sertleştiricileri, konsantrasyonlu asitler veya asit oluşturabilen maddelerdir. Sertleştirici maddeler tutkal çözeltisi pH değeri reaksiyonun devamını sağlayacak şekilde ayarlamaktır. Bunlar çözeltiliye ilave edildikten sonra yarıda kesilmiş olan kondenzasyon reaksiyonu devam eder. Çözelti belli bir süre sonra (birkaç saat) katılaşarak, katı hale gelir. Bu aşamadan sonra tutkalın geri dönüşümü imkansızdır (Kalaycıoğlu, 2009; Aydın, 2004).

Sertleşmiş halde ÜF tutkalları zehirli değildir. Üre bileşeni zehirli olmamakla beraber, serbest formaldehit oldukça reaktiftir ve insan vücudundaki proteinlerle birleşebilir. Avrupa ve Amerika'da serbest formaldehitin miktarı ile ilgili sınırlamalar getirilmiştir. Yine de ÜF tutkalları, diğer tüm tutkallar arasında en kullanışlı olanıdır. Ayrıca, diğer tutkallar ile karıştırılarak da kullanılabilir (Aydın, 2004; Pizzi, ve Mittal, 1994).

1.5.2.1.2. Fenol Formaldehit (FF) Tutkalı

Fenol formaldehit (FF) tutkalları 1872'de A. Von Bayer tarafından keşfedilmiştir. Endüstriyel olarak, fenol ve formaldehitin bir katalizör varlığında kondenzasyon reaksiyonu ile üretilmektedir. FF reçineleri genel olarak, kullanılan katalizörün türü ve tepkimeye giren maddelerin mol oranlarına göre “novalak” ve “resol” adı verilen iki gruba ayrılır. Bu iki tür sahip oldukları özellik ve uygulamaları bakımından birbirinden farklıdır (Aydın, 2004; Schmidt, 1998).

Novalaklar, formaldehitin aşırı miktarda fenol ile asidik koşullar altında (pH=1-6) reaksiyonu ile elde edilmektedir. Tipik fenol/formaldehit oranları yaklaşık olarak 1/0.70-0.85'tir. En yaygın olarak kullanılan endüstriyel katalizörler; oksalik, hidroklorik, sülfürik, fosforik ve tolüen sülfonik asitlerdir (Schmidt, 1998). Bu tür tutkallar yapılarında reaktif metilol grubu içermediklerinden sertleştirici kullanılmadan sertleşmezler. Reaksiyonu tamamlamak için çapraz bağlı novalak tutkalına formaldehit ilave edilir (Aydın, 2004; Sellers, McSween, ve Nearn, 1998).

Resol tipi fenol formaldehit reçineleri ise alkali koşullar altında elde edilmektedir. Odun kompozit ürünlerinin üretiminde resol tipi fenol formaldehit kullanılmaktadır. Kontrplak, OSB, waferboard, yongalevha ve LVL gibi odun kompozitlerinin üretiminde bu reçinelerden yararlanılmaktadır. Tutkalın sertleşme hızı, formaldehit/fenol mol oranı, tutkal karışımının pH'ı ve sıcaklık ile kontrol edilebilmektedir. Odunun yapıştırılmasında kullanılan resol tipi reçine için formaldehit/fenol mol oranı 1,6-2,5/1.0 arasındadır. Formaldehitin fazla olması; sertleşmiş durumda rutubete karşı mükemmel bir direnç, düşük tutuşma kabiliyeti ve yüksek çekme direnci sağlamaktadır (Aydın, 2004; Baldwin, 1995).

Son zamanlarda ahşap malzeme ürünlerinin üretiminde, fenol-üre-formaldehit (PÜF) adı verilen ve genellikle üre formaldehit ile resol tipi fenol formaldehit reçinelerinin mekanik olarak karıştırılması sonucunda elde edilen tutkallar da kullanılmaktadır. Bu tutkal; üre formaldehitin ucuz olması ve iç mekanlarda kullanılabilmesi özelliklerinden faydalanarak ve fenol formaldehitin yüksek olan fiyatını düşürerek dış mekanlara karşı dayanıklı ürünler üretmek amacı ile geliştirilmiştir (Aydın, 2004; Tomita, ve Hse, 1998).

Fenol formaldehit reçineleri, üre formaldehit reçinelerine göre daha yüksek pres sıcaklıkları ve daha uzun presleme süresi gerektirmektedir. Bu ise, üretim hızının yavaş ve enerji tüketiminin fazla olmasına neden olmaktadır. FF reçineleri, kullanıldığı ürünün

boyutsal stabilitesini düşürebilmektedir. Ayrıca sahip olduğu koyu renk nedeniyle mobilya gibi dekoratif ürünlerin üretimi için uygun değildir (Aydın, 2004; Youngquist, 1999).

1.5.2.1.3. Melamin Formaldehit (MF) ve Melamin-Üre-Formaldehit (MÜF) Tutkalları

Melamin formaldehit (MF) reçineleri, üre formaldehit reçinesine benzer şekilde melamin ve formaldehitin kondenzasyonu sonucunda elde edilir. Bu reçineler sertleşmek için ısı ve asit katalizör gerektirmektedir (Aydın, 2004). Açık renkli, mükemmel bir dayanıklılığa sahip olan melamin formaldehit tutkalı, 60-70°C sıcaklıkta sertleşebilmektedir (Anonim, 1998). Ancak, birçok uygulama için sertleşme sıcaklığı en az 115°C'dir (Eckelman, C. A., 1999). Melamin-üre formaldehit (MÜF) reçinesi ise, sıcak pres tutkallarının özel bir grubudur. Kuru toz halindeki üre ve melamin reçinelerinin karışımıyla veya iki ayrı reçinenin solüsyon halindeki karışımlarıyla üretilmektedir (Gillespie, Countryman ve Blomquist, 1978; Çolakoğlu, Aydın, Nemli ve Çolak, 2002).

Melamin (MF) ve melamin-üre formaldehit (MÜF) reçineleri daha çok dış ve iç ortamlardaki rutubetli yerlerde kullanılacak levhalarının üretiminde, düşük ve yüksek basınçlı kağıt laminatların hazırlanması ve yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Üre formaldehit reçinesine göre en önemli üstünlüğü suya karşı çok daha dayanıklı olmasıdır. MF tutkalı ÜF tutkalına göre daha pahalıdır. Bu nedenle günümüzde MF tutkalının içine ÜF tutkalı katılarak fiyatının düşürülmesi amaçlanmış ve ortaya melamin-üre formaldehit (MÜF) tutkalı çıkmıştır (Gillespie, Countryman ve Blomquist, 1978; Çolakoğlu, Aydın, Nemli ve Çolak, 2002).

MÜF tutkalı formülasyonları çeşitli faktörlere bağlı olarak üretilir. Bunlar arasında en önemli olanlardan bir tanesi reaksiyon süresidir. Reaksiyon süresine pH, sıcaklık, formaldehit ile reaksiyona girecek üre/melamin oranı etki etmektedir. Üretimde bu faktörlerin miktarları değiştirildiğinde; raf ömrü, katı madde oranı, viskozite gibi kaliteyi etkileyen özelliklerde değişecektir. Örneğin Breyer ve arkadaşlarının 1997'de ki araştırmasında %2-10 oranında melamin kullanılmış ve bunun sonucunda tutkal da kimyasal özellikler, çizilme ve yanma direnci belirgin şekilde düşmüştür. Başka bir araştırma da ise melamin oranı %40, üre oranı ise %3 kullanılmıştır. Burada ürenin kullanılmasıyla serbest formaldehit miktarı azalmış, melamin oranının artmasıyla ise tutkalın fiziksel ve kimyasal özellikleri artmıştır. Fakat bu formülasyonda melamin oranının

fazlalığı ve üre oranının az olmasından dolayı tutkal ekonomik olamamıştır. Bu araştırmaların sonucunda %30 oranında melamin,%12 oranında üre en iyi sonuçları vermiştir. MÜF yapıştırıcısı fiyatının ucuz olması açısından MF'e göre, daha caziptir. Ancak, MÜF'in suya karşı direnci, üre bileşeninden dolayı daha azdır (Gillespie, Countryman, ve Blomquist, 1978; Çolakoğlu, Aydın, Nemli ve Çolak, 2002).

1.5.2.1.4. Resorsin Formaldehit (RF) Tutkalı

Resorsin formaldehit yapıştırıcıları, fenolün resorsinole tesir etmesi suretiyle elde edilmektedir. Resorsinol, fenolik bir maddedir, ancak fenole göre çok daha fazla reaktiviteye sahiptir. Bu reçinelerin en önemli avantajı, ortam sıcaklığında sertleşebilmesidir (Aydın, 2004).

Bu tutkallar, fenol formaldehit tutkalına göre daha pahalı olup, uçaklarda kullanılan odun elamanlarının yapıştırılması gibi bazı özel amaçlar için kullanılmaktadır. Koyu kırmızı bir renge sahip olan RF tutkalları genellikle sıvı halde satılmaktadır. Kullanımdan önce toz veya sıvı haldeki sertleştirici ilave edilmektedir. Sertleştirici madde olarak genellikle para-formaldehit kullanılmaktadır (Bozkurt ve Göker, 1986). Sertleşme sıcaklığı 20-65°C arasındadır. Açık hava ve suya karşı dayanıklılığın gerektiği masif odun ürünleri için montaj tutkalı olarak kullanım alanı bulmaktadır (Eckelman, 1999; Aydın, 2004).

Resorsin formaldehit reçinelerinin üstün özelliklerinden yararlanarak daha ucuz bir tutkal elde etmek için fenol-resorsinol-formaldehit (PRF) reçineleri geliştirilmiştir. Bu reçineler, fenol ve formaldehitin alkali ortamda birleştirilmesi ve ardından resorsinol ilavesi ile hazırlanmaktadır. PRF reçineleri oldukça dayanıklı olup, yapıştırılması zor olan türlerin kullanılmasında iyi bir yapışma kalitesi ortaya koymaktadır (Aydın, 2004).

1.5.2.1.5. Epoksi Tutkalları

Epoksi tutkalları, özellikle tekne yapımı ile yapısal odun bileşenlerinin tamir ve restorasyon işlerinde kullanılmaktadır. Genellikle termoset tutkallar sınıfı içinde yer alırlar. Reçine ve katalizör veya sertleştiricininin karışımından oluşan iki bileşenli bir tutkaldır. Bu tutkallar, yüksek makaslama direncine sahiptir ve rutubete karşı dirençlidir (Anonim, 1998).

Epoksi tutkalları, sodyum hidroksit bulunan bir ortamda epiklorohidrin ve fenol ile reaksiyonundan elde edilmektedir. 21°C sıcaklıkta ayrı ayrı depolanması durumunda, hem reçine hem de sertleştirici aylarca bozulmadan kalabilmektedir. Epoksi reçinesi ve sertleştiricisi %100 reaktif bir karışımdır. Tutkal karşımı, kullanım sırasında reçine ve sertleştiricinin uygun oranlarda karıştırılması ile hazırlanır. Sertleştirici olarak genellikle poliamin bileşiklerinden biri kullanılmaktadır.

Epoksi tutkallar ağaç malzemelerin yapıştırılmasında iyi bir direnç sağlamaktadır. Ayrıca metal ve seramik malzemeler ile mükemmel bir yapışma sağlamaktadır. Özellikle yapısal konstrüksiyonlarda odunun beton gibi malzemeler ile yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Epoksi tutkalları ile yapıştırılmış odunlarda elde edilen direnç genellikle masif odunun kendi direncinden daha azdır. Bu yüzden epoksi sistemleri genellikle odun birleştirmeleri için tavsiye edilmemektedir. Bununla birlikte, epoksi tutkalları mükemmel bir termal stabilite ve mikroorganizmalara karşı yüksek bir dayanıma sahiptir (Gillespie, Countryman, ve Blomquist, 1978; Çolakoğlu, Aydın, Nemli ve Çolak, 2002).

1.5.2.1.6. İzosiyanat Tutkalları

İzosiyanat esaslı tutkallar ilk defa 1940'lı yıllarda kullanılmıştır. Fiyatlarının yüksek olması, uygulamadaki teknik güçlükler ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle uygulamalarda çok fazla yer almamıştır. Levha ürünlerine olan talebin artışıyla bu ürünlerden ayrılan serbest formaldehit miktarı ile ilgili sınırlamalar, yongalevha üretiminde izosiyanat tutkallarının kullanımına ön ayak olmuştur. Rutubete karşı gösterdikleri mükemmel direnç nedeniyle dış ortamlardaki uygulamalar için uygundur. İzosiyanatlar odunun yanı sıra saman, şeker kamışı gibi tarımsal selülozik atıkların yapıştırılmasında da kullanılmaktadır. Ancak fiyatının yüksek olması nedeniyle günümüzde kullanımları sınırlıdır (Eckelman, 1999; Aydın, 2004).

Bu tutkalların genel yapışma mekanizması, selülozun hidroksil grupları ile üretan köprülerinin oluşmasını içermektedir (Eckelman, 1999). Üretan gruplarının polaritesi ve hidrojen bağı oluşturma yeteneği bunlara, farklı yüzeyler üzerinde güçlü bir adezyon sağlamaktır (Jang, 1997).

İzosiyanat tutkalları odun yüzeyini kolayca ıslatabilmekte ve düşük molekül ağırlığı sayesinde ağaç malzeme içerisine iyi bir şekilde penetre olmaktadır. İzosiyanat tutkalları fenol formaldehitten daha pahalıdır. Termal stabilitesi fenol formaldehit kadar iyi değildir,

ancak daha hızlı sertleşir. Yapısındaki zehirli maddeler nedeniyle taşınmasındaki zorluklar olsa da, bu tutkalların en önemli avantajı, formaldehit emülsiyonun olmayışıdır (Scoville, 2001).

İzosiyanat tutkalları oda sıcaklığı veya daha yüksek sıcaklıklarda sertleşebilmektedir ve bu tutkal ile yüksek rutubete sahip ağaç malzemenin de yapıştırılması mümkündür (Wilson, 1981).

1.5.2.1.7. Polivinil Asetat (PVAc) Tutkalları

Polivinil asetat (PVAc) tutkalları, asetilen ve asetik asitten üretilmektedir. Polimerizasyonu kolay ve fiyatı düşük olan bir tutkaldır. Odunun yapıştırılmasında çözücü olarak su kullanılır. Diğer malzemelin yapıştırılmasında ise alkoller, esterler ve ketonlar gibi kaynama noktası düşük çözücüler kullanılmaktadır. Bu tutkalların en büyük avantajları; kullanımı uygulanması ve temizlenmesinin kolay olması, herhangi bir sertleştirici ihtiyacı olmaması, hızlı bir şekilde sertleşmesi ve düşük basınçların yeterli olmasıdır. Bu tutkallar çoğunlukla soğuk olarak kullanılmaktadır. Sıcak tutkallanması da mümkündür. Ancak, bu durumda 50°C altında bir sıcaklık uygulanmalıdır. PVAc tutkalları 60°C'nin üzerindeki bir sıcaklıkta ısıtılırsa yumuşamaya başlar (Anonim, 1989).

PVAc tutkalları; ucuz, uygulanması kolay ve çevreye zararlı etkileri minimum olan tutkallardır. Ancak açık hava koşulları, ısı ve uzun süre ağır bir yük altında kalmaya karşı direnci iyi değildir. Yüksek rutubet koşulları altında veya suda asetil grupları kısmen hidrolize uğrayabilir. Oduna uygulandığında, asetil ve hidroksil grupları kovalent bağlar oluşturmazlar. Bunun yerine etkileşim sekonder kuvvetleri üzerinden olmaktadır. Su molekülleri tutkal hattı boyunca odun/PVAc ara yüzeyine kolayca penetre olarak tutkalın yumuşamasına neden olup, yapıştırıcının kohezyon direncini azaltabilmektedir. Bu eksiklikler, PVAc tutkallarının kullanım yerlerini büyük oranda sınırlamaktadır (Qiao ve Wastel, 2001).

Polivinil asetat tutkalları genellikle kullanıma hazır sulu çözelti halinde satılmaktadır. Fiyatlarının oldukça ucuz olması nedeniyle mobilya montaj işleminde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Eckelman, 1999; Aydın, 2004).

1.5.3. Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri; odun esaslı levha üretiminde sentetik tutkalların özelliklerini iyileştirmek amacıyla tutkala ilave edilmektedir. Bunlar; pres süresini kısaltma, stabilite sağlama, yanmayı geciktirme, koku giderme, sıcak preste tutkaldan gaz çıkışını dengeleme, bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı koruyucu özelliklerde olabilirler (Kalaycıoğlu 1991 ve 2009).

1.5.3.1. Sertleştirici Maddeler

Levha endüstrisinde sertleştirici maddeler, kullanılan tutkal türüne göre değişiklik göstermektedir. Bazı tutkallar için çok gerekli olmamakla birlikte üre formaldehit tutkalı kullanımında mutlaka bir sertleştirici maddeye ihtiyaç vardır. Bu amaçla kimyasal reaksiyon sırasında asit ayrıştıran maddeler kullanılır. En çok kullanılan amonyum sülfattır. Az miktarda da amonyum klorür kullanılabilir. Özellikle yaz aylarında amonyum tuzunun düşük sıcaklıklarda çözeltinin formaldehit ile reaksiyona girmesi yani tutkal reaksiyonunun prese girmeden başlamasını önlemek için çözelti içerisine üre veya amonyak ilave edilir.

Presleme sırasında ısının, levha ortasında bulunduğu varsayılan simetri eksenine iletimini ve ortada yoğunlaşan buharın dış tabakalara akışını engellemek amacıyla orta tabakalarda kullanılan sertleştirici oranının dış tabakalar için kullanılan oranından daha fazla olması gerekir. Mevsimlere göre değişmekle birlikte bu oran 1-4 katı kadardır.

Suda çözünebilir fenol-formaldehit tutkalı, herhangi bir sertleştiriciye gerek kalmaksızın, yalnızca sıcaklık etkisiyle sertleşebilir. Bu durumda sıcaklığın 135-155°C arasında olması gerekmektedir. Fakat sertleştirici kullanmak sureti ile sertleşme hızlandırılabilirdiği gibi sıcaklığın düşürülmesinde etkin olmaktadır. Bu maksatla, hekzametilen tetra-amin veya kalsiyum karbonat kullanılabilir (Özen, 1980).

1.5.3.2. Hidrofobik Maddeler

Odun esaslı levha endüstrisinde levhaların su alarak şişmesi sonucunda fiziksel ve mekanik özellikler olumsuz yönde etkilenebilir. Odun esaslı levhaların özellikle taşıma,

depolama ve yüzeylerin kaplanması esnasında ortamda bulunan rutubete karşı boyutsal stabilite sağlamak ve levhanın su alarak kalınlığına şişmesini önlemek amacıyla hidrofobik maddeler kullanılmaktadır. En çok kullanılan hidrofobik madde parafindir. Genellikle, iğne yapraklı ağaçlarda tam kuru yonga ağırlığına oranla %0,3-0,5, yapraklı ağaçlarda ise %0.5-1 oranında parafin kullanılmaktadır. Özellikle, %0,2-0,3 oranında parafin kullanılması durumunda, levhanın kalınlık artış miktarında dikkate değer bir azalma ve mekanik özelliklerde ise değişiklik olmamaktadır (Özen, 1980).

1.5.3.3. Koruyucu Maddeler

Ağaç malzemenin empenyesi, odunun çeşitli koruyucu özelliklere sahip kimyasal maddelerle işleme sokulması anlamına gelmekte olup, bu amaçla yüzyıllardır çok çeşitli maddeler kullanılmış ve sistemler geliştirilmiştir. Bu maddeler genel olarak organik solventler ve suda çözünen ve yağlı empenye maddeleri olarak sınıflandırılmaktadır. Her bir sınıfa ait maddeler farklı kullanımlarda ve de gredasyon şartlarında farklı etkinliklere sahip olmaktadır.

Odun esaslı levhalarda bu maksatla, fenol ve pentaklor fenol tuzları, kromlu bakır arsenat (CCA-Tip C) ve amonyaklı bakır arsenik gibi maddeler, yanmaya karşı ise; çinko, arsenik, bakır, boraks, borik asit ve borat ihtiva eden maddeler kullanılmaktadır (Özen, 1980; Bozkurt ve Göker, 1990).

1.6. Odun Esaslı Kompozit Levhalarda Yapışma Teorisi

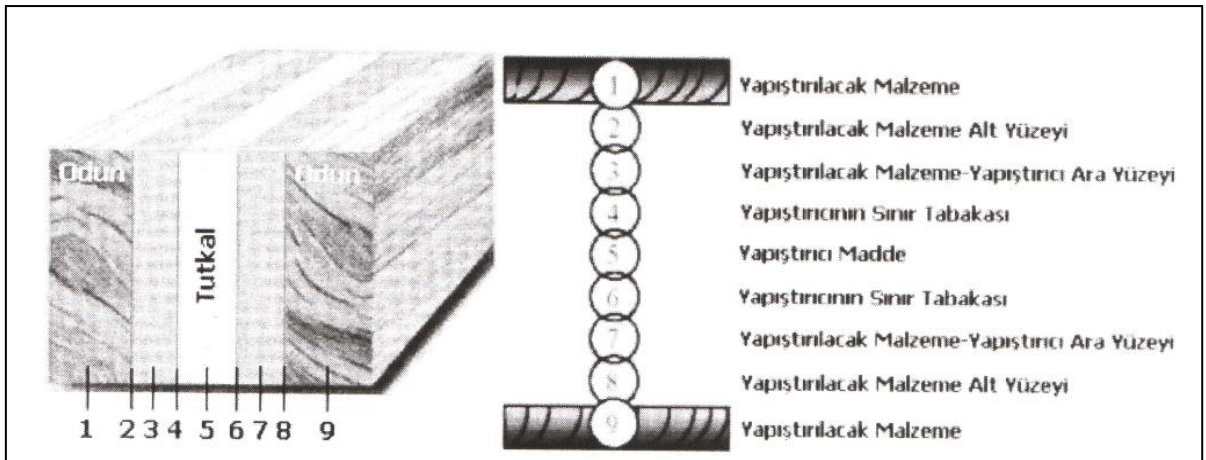
Yapıştırıcılar; iki malzemeyi birbirine yapıştırmada kullanılan sıvı kıvamda metalik olmayan malzemelerdir. Orman ürünleri endüstrisinde tutkallar ahşabın -ahşapla veya ahşabı bir başka malzemeye yapıştırma amacıyla kullanılır. Bütün maddeler gibi; yapıştırıcılar hangi durumda bulunurlarsa bulunsun (katı-sıvı), kendi molekülleri arasında elektromanyetik ve elektrostatik kurallara bağlı olarak bir çekim kuvvetine sahiptir. Katı veya sıvı maddelerin kendi molekülleri arasındaki bu çekim kuvvetine “Kohezyon Kuvveti” denir. Kohezyon kuvvetinin tür ve büyüklüğü malzemenin fiziksel yapısına bağlı mekanik özelliklerini belirler. Bir yapıştırıcının kohezyon kuvvetinin büyüklüğü genellikle

kimyasal yapısına bağlı olmaktadır. Kohezyon kuvvetini olumsuz olarak etkileyen en önemli faktörlerden biri, aşırı dolgu maddesi kullanımınıdır (Burdurlu, 1994).

Her maddenin özellikleri, yapısına bağlı olarak değişir. Katı ve sıvı maddelerin içerisinde bulunan her bir molekül, diğer moleküllerle çevrilidir. Bu durumda, her bir molekül, her yönde olmak üzere diğer moleküllerin kohezyon kuvvetinin etkisine girmektedir. Malzemenin yüzeyinde gelişen serbest enerji, katı ve sıvıların üzerindeki doymamış molekülleri birbirine çekerek temas etmelerini sağlar. Bu oluşuma bağlı olarak, iki maddenin yüzey molekülleri arasındaki moleküler veya atomik çekim kuvvetine “Adezyon kuvveti” denilmektedir. Yapıştırma işleminde “mekanik adhezyon” ve “özümlü adhezyon” olmak üzere iki adezyon kuvvetiyle karşılaşılır. Akışkanlığa (viskozite) bağlı olarak, yapıştırıcının ağaç içerisine nüfuz edip, sertleşmesi ve bir bağ oluşturması “mekanik adhezyon”, bu nüfuz olayında etkili olan ve elektrostatik kurallara bağlı olarak ortaya çıkan moleküler veya atomik çekim kuvvetine “özümlü adhezyon” denilmektedir. Ancak her ikisi birbirinden bağımsız olmayıp, birbirini tamamlar (Burdurlu, 1994).

1.6.1. Yapışma Mekanizması

Bir yapışma sisteminin (yapışacak yüzey-yapıştırıcı-yapışacak yüzey), dokuz halkaya sahip bir zincire benzer yapıda olduğu düşünülebilir. Marra tarafından ifade edilen bu kurumsal zincir yapısı Şekil 19’da görülmektedir (Aydın, 2004; Marra,1983).



Şekil 19. Şematik olarak tutkal-yapışma zincir modeli ve odun-tutkal yapışma sistemine uygulanması (Marra,1983).

Şekil 19’da zincirdeki her halka, sistem içindeki bir kısmı veya belirli bir yeri temsil etmektedir. Buna göre; 1,2 ve 9 yada 1,8 ve 9 numaralı halkalar, yapıştırıcının ve yapışacak iki maddenin asıl bağlanma kuvvetinin oluşacağı yeri temsil etmektedir. 2, 3 ve 7, 8 numaralı halkalar yapıştırıcı içindeki sınır tabakalarını belirtmektedir. 4 ve 5 (yada 5 ve 6) numaralı halkalar, gerçek yapıştırıcı kuvvetlerinin var olduğu bölgedir (Aydın, 2004; Blomquist, 1983). Bu teorik zincir yapısı içindeki herhangi bir yerde veya halkaların herhangi birinde bir aksaklık oluşması, tüm yapışma sisteminin bozulmasına neden olacaktır (Aydın, 2004; Carpenter, 1999).

1.6.2. Yapışma Direncini Etkileyen Faktörler

1.6.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü

Odunun hammadde olarak en önemli özelliği, çeşitli karakterlerde hücre ve hücre gruplarından meydana gelmiş heterojen bir madde oluşudur. Bu bakımdan, odundan elde edilen levhaların yüzeyleri pürüzlü olmaktadır. Yüzey pürüzlülüğü fazla olan parçaların tutkallanması düzgün yüzeyli parçalara göre daha düşük değerdedir. Ayrıca, pürüzlü yüzeyler tutkal katmanında kabarıklıklara neden olduğundan yapışma zayıf olmaktadır (Ulupınar, M., 1998).

1.6.2.2. Rutubet Miktarı

Odunun tutkallanma anındaki rutubeti, bağ kalitesini ve tutkallanmış ürünün kullanım performansını etkilemesi bakımından önemlidir. Rutubet miktarı; birleştirmenin sonuç direnç ve dayanımını, odunda yüzey çatlaklarının oluşumunu ve yapıştırılmış ürünün boyutsal stabilitesini ciddi şekilde etkilemektedir. Sonuç olarak odunun rutubet miktarının, kullanılan tutkal türü ve yapıştırma şartları ile uyumlu olması gerekir. Yapıştırılmış parçalarda rutubet miktarının artması, hem odunu hem de yapışma direncini zayıflatan, çarpılma bükülme veya yüzey düzensizliklerine neden olabilecek genişleme veya daralma gerilimlerine neden olur (Çolak, 2004). Ağaç malzeme; açık hava koşullarında kullanılacak ise rutubet miktarı %16–19, yarı açık ortamda kullanılacak ise %12–16, kapalı ortamda kullanılacak ise %8–12 oranında rutubet içermelidir (Kılıç, 2004).

1.6.2.3. Yüzeydeki İlbahar ve Yaz Odunu Miktarları

Yıllık halkalardaki ilkbahar ve yaz odunları arasındaki oran farklılıkları yapışmayı her iki yönde (kolaylaştırma veya zorlaştırma) etkileyebilmektedir. Zira ilkbahar odunu, yaz odununa göre daha düşük yoğunlukta olup, porozitesi daha yüksektir. Bu sebeple, tutkalların ilkbahar odununa nüfuz etmesi, daha yoğun ve porozitesi az olan, kapalı yapıdaki yaz odununa göre daha kolaydır (Şahin, 2005). Yapısal kompozit kereste üretiminde dağınık traheli ağaçların kullanılması yapışma kalitesini arttıracaktır.

1.6.2.4. Öz Odun ve Diri Odun Miktarları

Öz ve diri odun miktarları da yapışma dayanımı üzerinde etkilidir. Yıllık halka içinde ilkbahar ve diri odun katılım oranı fazla olan odunların genellikle daha iyi yapışma göstermesine karşılık, yıllık halka içinde yaz odunu ve öz odun katılım oranı fazla olan odunlar daha zayıf yapışma özelliği göstermektedir (Kılıç, 2004).

1.6.2.5. Permeabilite (Geçirgenlik)

Ağaç malzemenin geçirgenliği (permeabilitesi), tutkal hattının dayanımı açısından önemlidir. Dağınık traheli ağaçların permeabilitesi, halkalı traheli ağaçlarından daha yüksektir. Permeabilitenin yüksek olması, ağaç malzemenin tutkal ile birleştirilmesinde tutkal hattı dayanımı yönünden önemlidir. Bundan dolayı, yapraklı ağaç odunları iğne yapraklı ağaç odunlarına nazaran daha iyi yapışma özelliği göstermektedir (Kılıç, 2004).

1.6.2.6. Ekstraktif Maddeler

Ağaç malzemenin bünyesinde bulunan ekstraktif maddeler yapışma direnci üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Yapısında reçine, tanen, eterik yağ ve balsam bulunan ağaç ürünlerinin yapıştırılması oldukça güç olmaktadır. Ekstraktif maddelerin temizlenmesi ile odunun ıslanma yeteneği artar. Ağaç yüzeyinin kirliliği tutkalın akışını ve nüfuz etme özelliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Kılıç, 2004).

1.6.2.7. Islanabilme Özelliği

Spesifik adhezyon kuvvet veya ıslanma teorisi olarak bilinen adsorpsiyon teorisi, günümüz adhezyon kuvvet biliminde yaygın olarak kullanılan mekanizmadır. Islanma teorisi, çok yakın bir temasın gerçekleşmesi koşuluyla, bir ara yüzeyde etkili olan atomlar ve moleküler arası kuvvetleri içermektedir. Bunlar, sekonder (Van der Waals ve hidrojen bağları ile elektrostatik kuvvetler) ve primer (iyon, kovalent ve metalik bağlar) kuvvetler olarak açıklanmaktadır. Islanma teorisine göre, odunun yapıştırılmasında sekonder kuvvetlerin etkilerinin daha fazla olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Adsorpsiyon teorisi; iki yüzeyin birbiri ile angström düzeyinde temas ettiğinde, aralarında moleküler arası kuvvetlerin var olduğunu ifade etmektedir (Aydın, 2004; Pizzi, 1992). Spesifik adhezyonun, odunun ve hatta diğer birçok materyalin adhezyonu için en etkili mekanizma olduğu kabul edilmektedir (Aydın 2004; green, Winandy ve Kretschmann, 1999).

Odunun moleküler yapısı ve tutkal polimerleri arasındaki bağım oluşumunda etkili olan Van der Waals kuvvetleri; moleküller arası üç çekim kuvvetinden ibarettir. Bunlar;

- Dipol-dipol kuvvetler; pozitif ve negatif yüklü polar moleküller olup, diğer polar moleküller için güçlü çekimlere sahiptirler.
- London dispersiyon kuvvetleri; polar olmayan moleküllerin birbiri için sahip oldukları zayıf çekim kuvvetlerini içermektedir.
- Hidrojen bağları; dipol dipol kuvvetlerinin özel bir tipi olup, polar molekülün pozitif yüklü hidrojen atomları ile diğer molekülün elektronegatif atomu arasındaki güçlü çekimleri ifade etmektedir.

Hidrojen bağ kuvvetleri, polar hidroksil grupları bakımından zengin olan hemiselüloz ve selüloz molekülleri ile ara yüzeydeki polar tutkal polimerlerinin çekiminde önem taşımaktadır. Bu fiziksel çekim kuvvetleri, ıslanma olayında ve tutkal polimerlerinin odunun moleküler yapısı üzerindeki adsorpsiyonunda özel bir önem taşımaktadır. Ayrıca moleküler çekim kuvvetleri bir sıvı yapıştırıcı-katı madde ara yüzeyi boyunca sıralanmışlardır. Yapıştırıcı moleküller, primer ve sekonder bağ oluşumları tarafından yapışacak madde yüzeyindeki belirli bölgelere çekilirler (Subramanian, 1984).

1.6.2.8. Presleme Şartları

İki veya daha fazla ağaç malzemenin birbirine yapıştırılması sırasında uygulanacak basınç, parçaların her noktasında aynı oranda olmalıdır. Gerekli basınç miktarı ağaç türü, yüzey özellikleri ve tutkalın viskozitesine göre farklılık gösterir. Çam türü yumuşak ağaçlarda 4 kg/cm² basınç yeterli olurken, yumuşak ağaçlarda 8-10 kg/cm², sert ağaçlarda ise 16 kg/cm² 'ye kadar çıkmaktadır (Göker ve Bozkurt, 1996). Bunun yanında basınç süresi ve sıcaklıkta oldukça önemlidir. Kullanılan tutkal türü ve odun hammaddesine göre bu etkenler değişik varyasyonlarda üretimlerde uygulanmaktadır.

1.6.2.9. Tutkal Türü

Kullanılması düşünülen tutkal, kullanım yerinde beklenen direnç ve performans özellikleri dikkate alınarak seçilmelidir. Örneğin, ısı, rutubet, kimyasallar ve mikroorganizmalara dayanıklılık gereken yerlerde dikkatli davranılmalıdır. Sadece tek bir tutkal çeşidi tüm yapısal işlemler için uygun değildir. Bu nedenle seçim; performans, malzeme tipi, üretim hızı ve maliyeti dikkate alınarak yapılmalıdır. Dikkatli kullanım yapılmazsa birleştirme işlemlerinde tutkalların kullanılmasıyla sağlanabilecek fayda ve avantajlar dezavantaja dönüşebilir (Şahin, 2005).

1.7. Kalite Kontrol Tekniklerinin Yaşam Döngüsü Analizi İçinde Değerlendirilmesi (Life Cycle Analysis-LCA)

Üretimde kalite kontrol teknikleri her geçen gün gelişmektedir. Kalite kontrol; işletmelerin üretim biriminde hataları saptamak ve gereksinimleri sağlamak amacı ile kullanılan teknik ve araçlardır. Yani kalite isteklerini sağlamak için kullanılan teknikler ve faaliyetlerdir (DIN ISO 8402/04.1989). Orman ürünleri endüstrisinde kalite kontrol; hammadde ürünün fabrikaya girişinden, ürünün ömrünün sona ermesine kadar geçen sürenin tamamında geçerlidir. Son yıllardaki araştırmalara göre; elde edilen ürünlerin kullanım yerinde gösterdiği çevresel özelliklerde yaşam döngüsü analizi adı altında kalite kontrolü kapsamına alınmaktadır. Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Analysis) ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment), bir üretimin tüm çevresel boyutlarını; hammaddenin doğadan elde edilmesinden, tüm atıklar tekrar doğaya dönene

kadar değerlendiren bir sistemdir. Bu değerlendirme, ürünün işlenmesinde olduğu kadar enerji dahil olmak üzere hammaddenin üretilmesi, kullanılması ve kullanım ömrünün tamamlaması sırasında hava, toprak ve suya olan tüm etkileri içerir. LCA'lar hem doğrudan (üretim aşamasında oluşan emisyonlar ve kullanılan enerji giderleri v.s.) hem de dolaylı (hammadde-ürün eldesi, ürünün dağıtılması, tüketici tarafından kullanılması ve kullanım ömrünün tamamlanması v.s.) etkileri belirlemek ve ölçmek için kullanılmaktadır. 1990'ların sonlarında ISO, ISO 14000 çevre yönetim standartları kapsamında LCA'nın uygulanmasına yönelik olarak ISO 14040 serisini yayımlamıştır. Ülkemizde de Yaşam Döngüsü Analizi/Değerlendirmesi, ISO standartlarına dayanarak hazırlanan TSE Standartlarında 14040 serisinde (14040, 14041, 14042, 14043) ele alınmıştır (Çokaygil, ve Banar, 2008).

Odun esaslı levha endüstrisi yaşam döngüsü analizi kapsamında incelediğinde, levhalardan yayılan emisyon ürünlerinin son derece önemli olduğu görülmektedir. Yaygın olarak kullanılan tutkalların büyük çoğunluğu formaldehit esaslıdır. Bu nedenle odun esaslı levhaların kullanım alanlarındaki formaldehit emisyonlarına ait çeşitli standartlar getirilmiştir. Ayrıca odun hammaddesinin uçucu organik bileşiklerin belirlenmesine ait çalışmalarda son yıllarda önem kazanmıştır. Aşağıda uçucu organik bileşikler (Volatile Organic Compounds) ile ilgili bilgiler açıklanmaya çalışılmıştır.

1.7.1. Odun Hammaddesinden Uçucu Organik Bileşiklerin Yayılma Teorisi

Uçucu organik bileşikler (VOC: Volatile Organic Compounds) atmosferde serbestçe dolaşabilen uçucu hidrokarbonlar yada diğer organik moleküllerden oluşurlar. Uçucu organik bileşiklerin %80'ine yakını emisyon ürünü olan solventlerden meydana gelir. Emisyon ürünü türüne göre her odun hammaddesinde farklı miktarlarda bulduklarından odun esaslı levhalarda da farklı tür ve miktarda bulunmaktadır. Örneğin; yüzeyi kaplanmamış odun esaslı levhalar ile bu levhaların üretiminde kullanılan odun hammaddesinin içerdiği uçucu organik bileşiklerin türleri hemen hemen aynıdır. Ancak levha üretiminde, odun hammaddesine mekanik ve ısı işlemler uygulandığından uçucu organik bileşik miktarlarında az miktarda azalma meydana gelebilir. Odun esaslı levha üretiminde uçucu organik bileşikler açısından sağlığı tehdit eden bir unsur yoktur. Buna rağmen günümüz dünyasında üretime standart getirme çabası ve bağlantılı olarak açığa çıkan her maddenin kontrol edilmesi şarttır. Örneğin, levha üretiminde formaldehit esaslı

tutkallardan kaynaklanan formaldehit emisyonu meydana gelmektedir. Formaldehitler insan sağlığı açısından ciddi sorunlar teşkil ettiği için, bu levhaların emisyon değerlerine standartlar getirilmiştir. Ayrıca değişen üretim teknolojilerine bağlı olarak üretimde birçok yeni katkı maddeleri kullanılabilirlerdir. Buda yeni uçucu maddeler meydana getirmekte ve bunların belirlenmesi insan sağlığı açısından önemli olmaktadır. Dünyada konu ile ilgili çalışmalar sürdürölmekte olup, ölkelerin sağlık örgütleri sınır değerler üzerinde dikkatle durmaktadır. Buna bağlı olarak kapalı kullanım alanları için belirlenmiş uçucu organik bileşikleri standartları kullanılmaktadır (Anonim, 2005).

1.7.2. Uçucu Organik Bileşik Türleri

Dünya sağlık örgütüne (The World Health Organization: WHO) göre uçucu organik bileşikler 3 gruba ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmada faktör olarak kaynama noktası belirtilmiştir.

1. Uçuculuğu yüksek organik bileşikler (kaynama noktası 0-50°C arasında olan bileşikler)
2. Normal derecede uçucu organik bileşikler (kaynama noktası 50-100°C ile 240-260°C arasında olan bileşikler)
3. Uçuculuğu düşük organik bileşikler (kaynama noktası 240-260°C ile 380-400°C arasında olan bileşikler)

Bu genel sınıflandırmanın yanında, üretim parametreleri ve odun türüne göre yüzlerce uçucu organik bileşik olduğu belirtilmektedir. Uçucu organik bileşiklerden en fazla olanlar terpenler (α -pinen, 3-karen, limonen), aldehitler (pentanal, hexanal, heptanal) ve bazı organik asitler (asetik asit ve formik asit)'dir.

Ohlmeyer tarafından 2008 yılında yapılan çalışma sonucunda odun esaslı ürünlerden yayılan uçucu organik bileşik miktarının 500-2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında, sadece 2-heptenal bileşiklerinin 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ değerinden daha az olması gerektiği belirtilmiştir (Hague, Mann, Reilly, Ryan, ve Young, 2009).

1.7.3. Uçucu Organik Bileşik Miktarını Etkileyen Faktörler

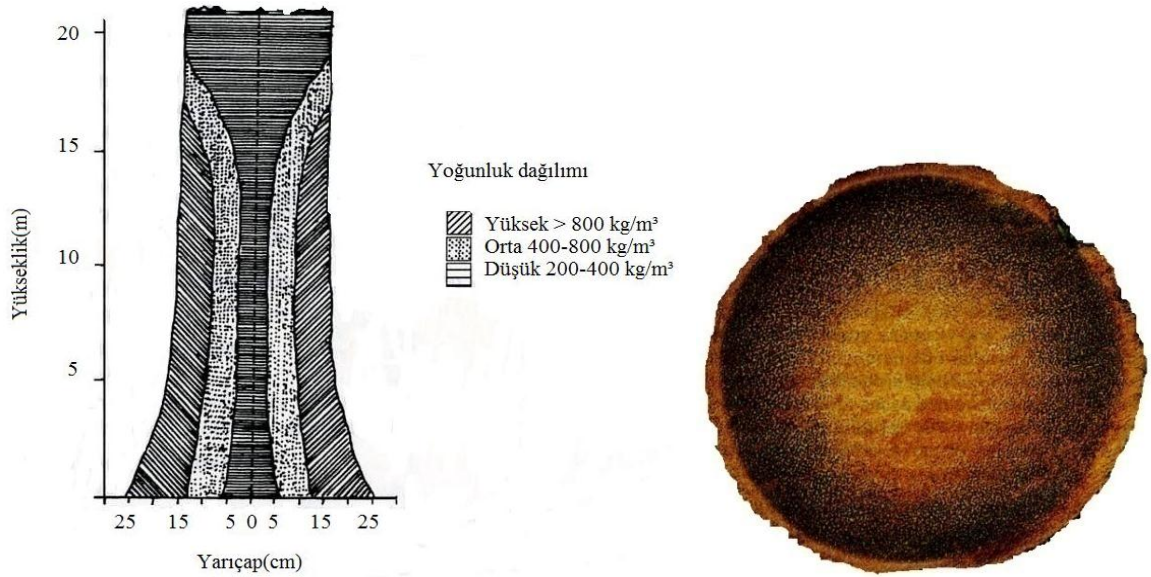
Odun hammaddesinin kesilmesini takiben uçucu organik bileşikler oluşmaya başlar. Odunun enine ve teğet kesitlerinden hızlı bir şekilde yayılmaya başlar. Daha sonraları uçucu organik bileşiklerin yayılma hızı düşse de yayılım uzun bir süre devam etmektedir. Bu süre hızlandırılmış test koşullarında 45 güne kadar sürmektedir. Teğet kesit alanının genişliği yayılma hızını arttıran faktörlerdendir. Bunun yanında odun içeriğindeki bileşikler (selüloz, hemiselüloz ve lignin) ve ekstraktif maddelerde uçucu organik bileşik türü yayılma miktar ve hızını etkilemektedir. Odun hammaddesinin bulunduğu ortamın havalandırılmasına bağlı olarak yayılma hızı değişmektedir. İyi şekilde havalandırılan ortamlarda yayılma daha kolay ve hızlı şekilde sağlanmaktadır. Ayrıca ortam sıcaklığının artması da yayılma hızını arttırmaktadır (Hague, Mann, Reilly, Ryan, ve Young, 2009).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada kullanılan Hindistan cevizi ağacı (*Cocos nucifera L.*) odunları Freiburg Orman Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (Applikatio of Freiburg) tarafından Endonezya'dan getirilmiştir. Hindistan cevizi ağacı odunları şekilde görüldüğü üzere ağaç içinde farklı bölgelerde farklı yoğunluk değerlerine sahip olduğu için bu çalışmada; kullanılan lameller 3 farklı yoğunluk grubunu temsil edecek şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 20. Yoğunluğun ağaç içinde ve enine kesitteki değişimi (Killmann ve Fink, 1996)

Yoğunluk değerleri;

Düşük yoğunluk = 300 – 400 kg/m³ ± 25

Orta yoğunluk = 500 – 600 kg/m³ ± 25

Yüksek yoğunluk = 800 kg/m³ ± 25

Lamellerin boyutları; uzunluk 800-1200 mm genişlik 60-100 mm ve kalınlık 32 mm olacak şekilde ve her yoğunluk bölgesinden farklı örnekler halinde alınmıştır. Şekil 21’de lamel örnekleri görülmektedir.



Şekil 21. Lamel örneği

2.1.2. Tutkal

Deneme levhalarının üretilmesinde ÜF, MÜF ve PVAc tutkalları kullanılmıştır. PVAc tutkalı Henkel, MÜF tutkalı Dynea, ÜF tutkalı ise BASF firmalarından temin edilmiştir. Tutkallara ait sertleştirici maddeler de aynı firmalardan temin edilmiştir. Üretimde kullanılan tutkallara ait özellikler Tablo 6’da belirtilmiştir.

Tablo 6. MÜF, ÜF ve PVAc tutkallarının özellikleri

Özellikler	Kullanılan Tutkal Türleri		
	MÜF	ÜF	PVAc
Görünüm	Şeffaf Beyaz Renkli	Şeffaf beyaz renkli	Şeffaf beyaz renkli
Katı Madde Oranı (%) (ISO 3251)	63-65	66,5 ± 1	50±2
Viskozite (20 °C) (Pa.s) (ISO 3219-B)	3000-3500	850 – 1100	7.500 - 13.500
pH (20 °C) (ISO 976)	9,5-10,0	7,5 – 9,5	2,8 - 3,6
Yoğunluk (20 °C) (g/cm ³) (ISO 2811-3)	1,22-1,24 g/cm ³	1,294 – 1,305	1,06 - 1,10

2.2. Deneme Levhalarının Üretimi

Levhalar; 3 farklı yoğunlukta hazırlanmış lameller ile 3 farklı türde tutkal kullanılarak üretilmiştir. Planlanan üretim şekline göre; dış tabakalarda 9 mm, orta tabakada ise 22 mm kalınlığındaki lameller kullanılmıştır. Lameller seçilirken düzgün olmasına dikkat edilmiştir. Hazırlanan lameller %65±5 bağıl nem ve 20°C sıcaklıktaki klima odasında iklimlendirilmiştir. Lamellerden tabakaların hazırlanmasında PVAc tutkalı kullanılmıştır. Lameller kalınlıklar homojen olacak şekilde seçilerek uzunluk yönünde tutkalandıktan sonra yan yana dizilmiş ve işkence (basit el presleri) ile preslenmiştir. Bu şekilde 3 saat boyunca sıkıştırılmış olarak bekletilerek masif paneller elde edilmiştir. Hazırlanan masif paneller %65±5 bağıl nem ve 20°C sıcaklıktaki klima odasında iklimlendirilmiştir. İklimlendirilen panel taslakları kalibrasyon makinasına gönderilmiştir. Burada amaç lamel kalınlıklarına bağlı olarak ortaya çıkan tabaka yüzeyindeki kalınlık farklarının giderilmesidir. Daha sonra masif panellerden tabakalı malzeme üretmek üzere 3 farklı tutkaldan (melamin-üre-formaldehit, üre-formaldehit ve polivinil-asetat (PVAc) tutkalları) çözeltiler hazırlanarak dış tabakaların iç yüzeylerine manüel tutkallama aleti ile sürülmüştür. Tutkallanan 9 mm kalınlıklardaki paneller dış tabakada 22 mm kalınlığındaki paneller ise orta tabakada olacak ve lifleri birbirine dik gelecek şekilde 3 tabakalı olarak üst üste yerleştirilmiştir. Levhaların dış tabakalarında sadece yüksek yoğunluktaki lameller, orta tabakaların yarısında orta yoğunluktaki diğer yarısında ise düşük yoğunluktaki paneller kullanılmıştır. Tutkal miktarı her tutkal türü için ayrı belirlenmiştir.



Şekil 22. Lamellerden masif panel hazırlanması



Şekil 23. Preslenmiş masif panel taslaklarının kalibrasyonu

• PVAc Tutkal Miktarının Belirlenmesi: PVAc tutkalı kullanılan levhalarda, üretici firma tarafından belirlenen standartlar doğrultusunda m^2 'ye 300 gr ve tutkal ve %5 oranında sertleştirici ilave edilerek hazırlanan çözelti kullanılmıştır. $1,2 m^2$ 'lik levha alanı için gerekli tutkal ve sertleştirici miktarı aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir;

$$\frac{300g}{m^2} = \frac{x}{1,2m^2}$$

Bu denkleme göre her bir masif panel tabakası için 360 gr PVAc tutkalı ve 18 gr sertleştirici kullanılmıştır.

• ÜF Miktarının Belirlenmesi: ÜF tutkalı kullanılan levhalarda, m^2 'ye 330 gr ve tutkal ve %10 oranında sertleştirici ilave edilerek hazırlanan çözelti kullanılmıştır. $1,2 m^2$ 'lik levha alanı için gerekli tutkal ve sertleştirici miktarı aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir;

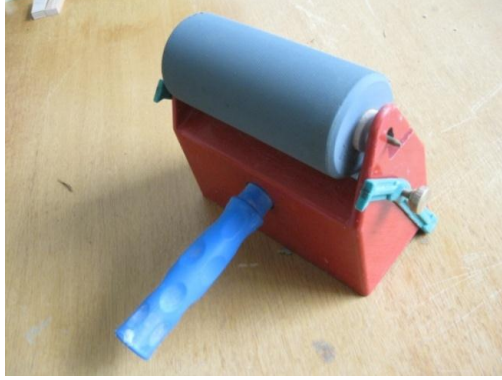
$$\frac{330g}{m^2} = \frac{x}{1,2m^2}$$

Bu denkleme göre her bir masif panel tabakası için 396 gr PVAc tutkalı ve 39,6 gr sertleştirici kullanılmıştır.

• MÜF Miktarının Belirlenmesi: MÜF tutkalı kullanılan levhalarda, m^2 'ye 330 gr ve tutkal ve %20 oranında sertleştirici ilave edilerek hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır. $1,2 m^2$ 'lik levha alanı için gerekli tutkal ve sertleştirici miktarı aşağıdaki eşitlikten belirlenmiştir;

$$\frac{330g}{m^2} = \frac{x}{1,2m^2}$$

Bu denkleme göre her bir masif panel tabakası için 396 gram MÜF tutkalı ve 80 gram sertleştirici kullanılmıştır.



Şekil 24. Levha taslağı hazırlanmasında kullanılan tutkal sürme silindiri

Her levha türünden 1 adet olmak üzere toplam 6 adet levha üretilmiştir. Levhalar üretilirken gerekli toplam basınç aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$P = \frac{P_s \times A_1}{A_2}$$

Burada;

P : Göstergedeki basınç (bar)

P_s : Spesifik basınç (bar)

A_1 : Levha alanı (m^2)

A_2 : piston yüzey alanı (m^2)'dir.

Buna göre; 1,2 m^2 alana sahip levhanın 0.02 m^2 piston yüzey alanı ve 3 bar spesifik basınçta levhaya uygulanması gereken pres basıncı 180 bar olarak hesaplanmıştır. Hazırlanan levha taslakları 180*100 cm boyutlarında presleme alanı olan, elektrikle ısıtılan tek katlı hidrolik preste üretilmiştir.



Şekil 25. Pres makinesi

Üretici firmalar tarafından belirtilen gerekli pres sıcaklığı ve pres süreleri Tablo 7’de belirtilmiştir.

Tablo 7. Presleme şartları

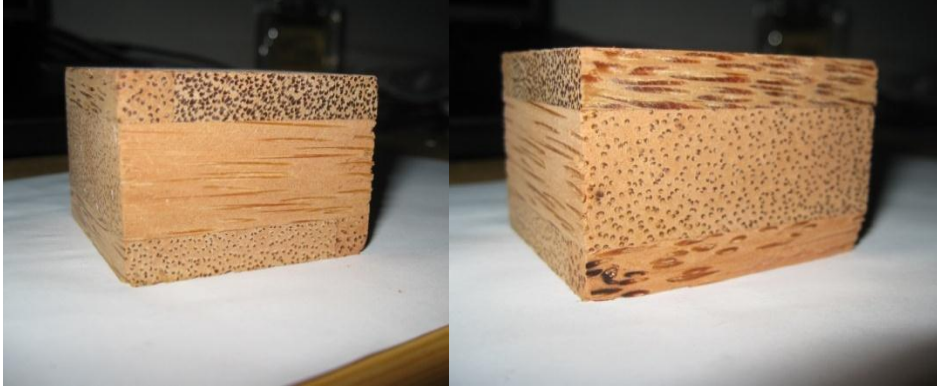
Tutkal türü	Spesifik basınç (bar)	Pres basıncı (bar)	Pres sıcaklığı (°C)	Pres süresi (dakika)
MÜF	3	180	70	25
ÜF	3	180	70	25
PVAc	3	180	20	60

Masif levhalarda yoğunluk grupları, kullanılan tutkal türleri ve gerekli tutkal miktarları Tablo 8’de belirtilmiştir.

Tablo 8. Levha tipleri

Levha tipi (yoğunluk sınıfları)	Kullanılan tutkal tür ve miktarı	
	Tutkal türü	Tutkal miktarı (g/m ²)
L-1 HMH (Y-O-Y)	PVAc	300
L-2 HMH (Y-O-Y)	MÜF	330
L-3 HMH (Y-O-Y)	ÜF	330
L-4 HLH (Y-D-Y)	PVAc	300
L-5 HLH (Y-D-Y)	MÜF	330
L-6 HLH (Y-D-Y)	ÜF	330

*: Y=Yüksek, O=Orta, D= Düşük Yoğunluk



Şekil 26. Liflere paralel ve dik yönde üretilmiş levha örnekleri



Şekil 27. Üretilen levhaların yüzey görüntüsü

2.3. Araştırma Yöntemi

2.3.1. Üretim Öncesi Yapılan Testler

2.3.1.1. Hindistan Cevizi Odunu pH Değerinin Belirlenmesi

Üretim öncesinde hammaddenin pH değerinin belirlenmesi, tutkal ve hammadde arasındaki adhezyonu açısından oldukça önemlidir (Kalaycıoğlu, 2009). Levhaların üretiminde kullanılacak Hindistan cevizi ağacı lamellerinden alınan örneklerin pH ölçümü yapılmıştır. Ölçümler TAPPI t m-45'e göre gerçekleştirilmiştir (Anonim, 1992). Her test grubuna ait 5 gr odun örneği, içerisinde 150 ml destile su bulunan bir erlenmayer'e konulmuş ve bir çalkalayıcı ile 24 saat karıştırılmıştır. Bu süre sonunda elde edilen çözelti bir vakum pompası yardımıyla süzülerek pH ölçümleri oda sıcaklığında ve her yoğunluk değeri için 3'er örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.

2.3.1.2. Uçucu Organik Bileşenlerin Belirlenmesi (Volatile Organic Compounds-VOC)

Hindistan cevizi ağacı odunu içeriğindeki uçucu organik bileşiklerin bazıları; terpenler, terpenoidler, aldehytler, asitler ve diğer uçucu bileşiklerdir. VOC (Volatile Organic Compounds) emisyon test aşamaları aşağıda belirtilmiştir:

- Deneysel parçacıklarının hazırlanması

1 m³ lük odalar için;

Deneysel parçalarının ölçüleri 0,5m*0,5m*levha kalınlığı olarak ayarlanmıştır. Kesilen deneysel parçalarının bir kısmının kenarları kaplanmıştır. Kaplanma işlemi için şu formül kullanılmıştır. Kapatılmamış yanların uzunluğu U, Yüzey alanı A olarak kabul edildiğinde $U/A = 1,5 \text{ m/m}^2$ oranının elde edilmesi için, kapatılmış olan yanlar 1,25 m, açık olan yanlar 0,75 m olmalıdır. Odaya bu ölçülerde iki adet deneysel parçası yerleştirmiştir. Kenarları kaplanan örnekler 1 m³ lük test odasının merkezinde yer alacak şekilde, hava akışına paralel olarak ve yüzeyleri arasında en az 200 mm mesafe olacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 28'de 1 m³ lük VOC test kabini görülmektedir.



Şekil 28. 1m³'lük VOC test kabini

1. Test odası metodu: Bu amaçla TS EN 717-1 standardı esas alınmıştır. Deney örneklerinin alınması TSE EN 326-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Parçaların ölçüleri her grup 1 m³ toplam yükleme alanına uyacak şekilde alınmıştır. Deney parçaları kesildikten hemen sonra hava geçirmeyecek şekilde sıkıca sarılarak örtülür ve deney başlayıncaya kadar saklanmıştır (T.S.E., 2006; T.S.E., 2008).

- Deney odasının hazırlanması;

Sıcaklık: 23 C° (±0,5)

Bağıl nem: %45 (± %3)

Hava pompa basıncı 40KPa (en fazla. 60 KPa)

Oda içerisindeki deney parçasının yüzeyinden geçen hava hızı: 0,1-0.3 m/sn

Yükleme faktörü (Deney parçasının kenar alanları dışındaki toplam yüzey alanının, odanın hacmine oranı): 1,0 (±0,02) m²/m³ şartlara uygun olarak hazırlanmıştır. Test çemberi en az 1saat boş çalıştırılmış ve boş odanın formaldehit konsantrasyonu tayin edilmiştir.

Formaldehit konsantrasyonu 0,006 mg/m³ veya daha düşük olduğunda deney parçaları odaya yerleştirilmiştir. Yerleştirilen örnekler makine çalıştırılmadan 3 saat kadar bekletilmiş ve 3. saatin sonunda makine 1 saat çalıştırılmıştır. Formaldehit konsantrasyonu

0,006 mg/m³ 'ten daha fazla ise, kabul edilebilir başlangıç seviyesi olan 0,006 mg/m³ e düşüncüye kadar oda içerisindeki hava hızlı bir şekilde boşaltılmıştır. Gerekiyorsa, temizleme işlemine başlanılmadan önce odanın duvarları ve içeride kalan diğer yüzeyler temizlenmiş ve tabandaki toz ve diğer parçacıklar uzaklaştırılmıştır.

Odaların temizlenmesi için hava filtresinden geçirilmiş basınçlı hava kullanılmaktadır. Hava değişim oranı izleyici gaz (nitrojen) ile kontrol edilmiştir. Sistemin içindeki hava koşulları, bilgi yükleme sistemindeki sensorlar ile izlenmiştir. Test odaları tamamıyla yalıtılmış malzemelerden üretilmiştir. Tüm uçucu bileşiklerin uzaklaşabilmesi için, odalar teste başlamadan önce 60°C'de 12 saat süre ile ısıtılmıştır.

Deney odasına temiz hava verilir. Hava değişim oranı saate 0,05 ten daha fazla olmayacak şekilde ayarlanmıştır. Deneyden önce deney parçaları yerleştirilmiş deney odasındaki havanın akış hızı 0,1-0,3 m/sn arasında ayarlanmıştır (T.S.E., 2006).

- Havadan deney numunesi alınması

Gaz yıkama şişelerinin her birine en az 25 ml destile su ilave edilmiş ve düzeneğe bağlanmıştır. Odadaki havanın en az 120lt'lik kısmı periyodik olarak gaz yıkama kaplarının içinden 2 lt/dak'lık bir hızla geçirilmiştir. 50 ml'lik ölçülü balon içerisine soğurulan çözeltinin her birinden pipetle 10 ml. örnek alınarak üzerine 10 ml. Asetilen aseton ve 10 ml. Amonyum asetat çözeltisi ilave edilmiştir. Balonların ağzı kapatıldıktan sonra çözeltinin VOC sonuçları tayin edilmesi amacıyla Hamburg Üniversitesi Kimya Bölümü'ne gönderilmiştir.

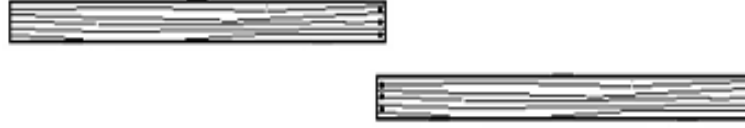
2. Örnekleme ve Analiz: Absorbentlerin analizi, gaz kromato grafi emisyon sistemi (GC/MC) ile ASTM D3960 – 05 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2005).

2.3.1.3. Kopma Makaslama Direnci Testi (Automated Bonding Evaluation System-ABES)

Kopma Makaslama Direnci Testi (Automated Bonding Evaluation System- ABES) tutkal ile ahşap malzeme arasındaki bağ kuvvetini araştırmak için planlanmıştır. Reçinelerin yapışma özellikleri ve karşılaştırmasının yanında, gerekli pres basıncı, sıcaklık, yayılma oranı ve tutkalın jelleşme zamanı gibi önemli üretim faktörlerini belirlemek amacıyla kullanılır.

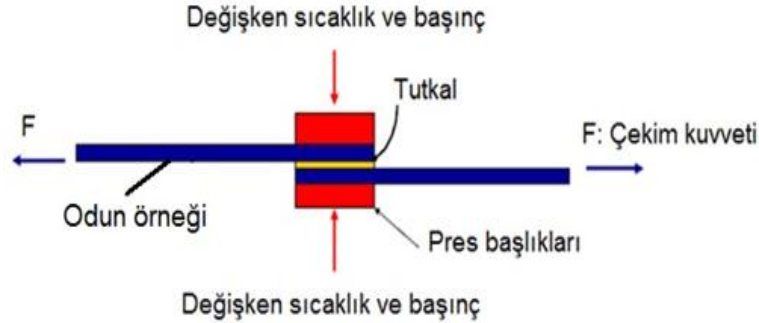
Deneme yapılacak odun hammaddesi 100*25*2 mm³ boyutlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan deney lamellerinin uç bölgelerine Şekil 29'da gösterildiği gibi testi yapılacak

tutkal örneğinden özel aparat yardımıyla 3 damla tutkal damlatılmıştır. Lameller; yapışma genişliği 2-4 mm olacak şekilde birbirlerine yapıştırılıp, test cihazına yerleştirilmiştir. Testler, ASTM D7247- 071 standartlarına göre yapılmıştır. Burada; tutkalların uygulanan pres basıncı, sıcaklık ve süreye bağlı olarak sertleşmesi gerekmektedir (Anonim, 2006).



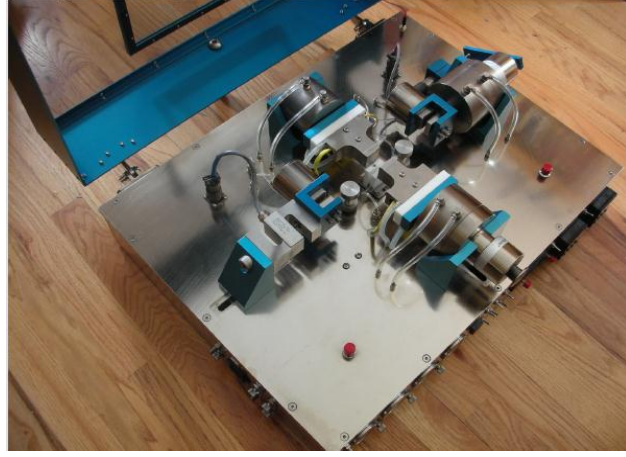
Şekil 29. Lamellere tutkal sürülmesi

Çekme ve makaslama direnci sonuçları ve aynı zamanda uygulanan basınç ve sıcaklık değerleri bilgisayar ortamında elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile önceden belirlenmiş kontrol örneği sonuçları karşılaştırılarak gerekli pres parametreleri belirlenmiştir. Şekil 30'da ABES test makinesinin çalışma prensibi görülmektedir.

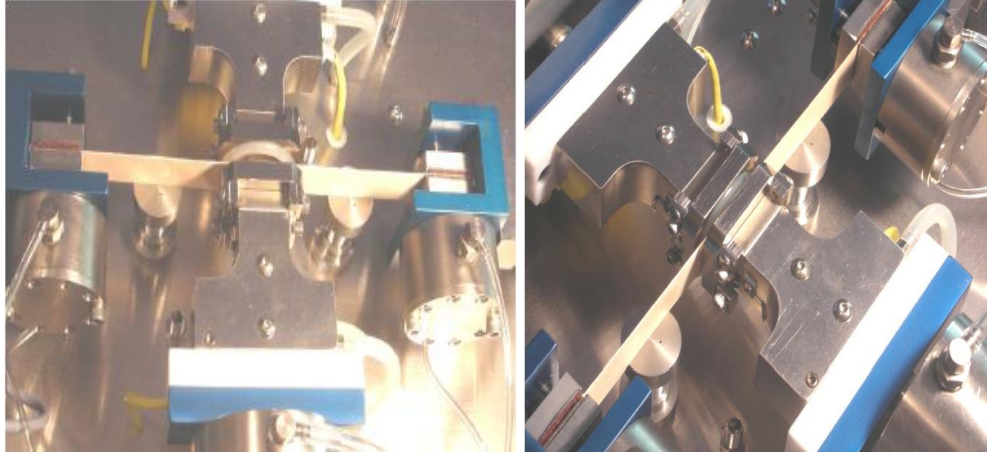


Şekil 30. ABES test makinesinin çalışma prensibi

Şekil 30'dan da görüldüğü üzere, tutkallanan odun örnekleri yapışma bölgesinde uygulanan sıcaklık ve pres etkisi altında birbirine yapışmaktadır. Odun örnekleri F ile gösterilen bölgelerden çekilerek yapışma bölgelerinde meydana gelen kopma ve makaslama dirençleri belirlenmiştir. Şekil 31'de ABES kopma makaslama direnci test cihazı görülmektedir.



Şekil 31. ABES test makinesi



Şekil 32. Odun örneklerinin ABES test makinesindeki yeri

2.3.2. Üretilen Levhalara Ait Testler

2.3.2.1. Levhaların Fiziksel Özellikleri

2.3.2.1.1. Yoğunluk

Örneklerin yoğunluk değerlerini belirlenmesinde hava kurusu birim hacim ağırlık değeri esas alınmıştır. Odun esaslı levhaların fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi yoğunluk olup, bu değerler TS EN 323/1 (1999)'de belirlenen esaslara uygun olarak belirlenmiştir (T.S.E., 1993). Birim hacim ağırlık değeri:

$$\delta = \frac{m_r}{a_1 \times a_2 \times t} \text{ (gr / cm}^3\text{)}$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Burada;

δ : Birim hacim ağırlık (gr/cm³)

m_r : Hava kurusu ağırlık (gr)

a_1 : Örnek genişliği (cm)

a_2 : Örnek uzunluğu (cm)

t : Örnek kalınlığı (cm)

2.3.2.1.2. Rutubet Miktarı

Üretilen levhalarının rutubet miktarı TS EN 322’de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir (T.S.E., 1993). Bunun için 50*50*40 mm³ boyutlarında hazırlanan örnekler kullanılmıştır. Örneklerin ağırlıkları $\pm 0,01$ gr duyarlıklı hassas terazi ile tartılmış, 103 \pm 2°C sıcaklığındaki etüvde değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletilerek tam kuru ağırlıkları tartılmıştır. Bunlara göre örneklerin rutubet miktarları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$r = \left(\frac{m_1 - m_0}{m_0} \right) \times 100$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

m_1 :Klimatize edilmiş örnek ağırlığı(gr),

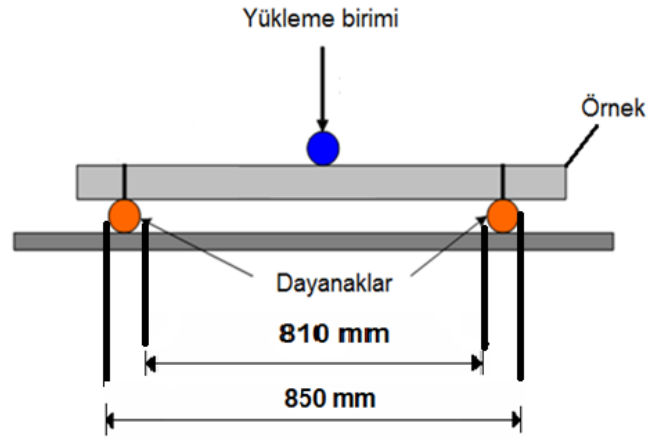
m_0 :Tam kuru haldeki örnek ağırlığı(gr),

2.3.2.2. Levhaların Mekanik Özellikleri

2.3.2.2.1. Eğilme Direnci

Eğilme direnci deneyi TS EN 310 (1999) standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. (T.S.E., 1993). Örnekler 850x50 mm² boyutlarında hazırlanmıştır. Eğilme direnci denemeleri liflere paralel ve dik olmak üzere 2 farklı yönde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığı

18-22°C ve bağıl nemi %60–70 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilen örneklerde genişlik; dijital kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlıklar ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde iki noktanın ortalaması alınarak 0.01 mm duyarlıklı mikrometre ile ölçülmüştür. Boyutları ölçülmüş ve iklimlendirilmiş deney örnekleri universal test makinesinde kırılmanın 60±30 saniye içerisinde gerçekleşmesini sağlayacak şekilde sabit hızda kırılma yüküne tabi tutulmuştur. Eğilme direnci değerleri hesaplanmış olarak makineye ait yazıcıdan alınmıştır. Eğilme direnci testinin uygulanması Şekil 33’te görülmektedir.



Şekil 33. Eğilme direnci deney düzeneği

Eğilme direnci;

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} (N / mm^2)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada,

F= Kırılma anındaki max. Kuvvet (N)

L= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

b= Örnek genişliği (mm)

2.3.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülü TS EN 310 (1999) standardında belirtilen esaslara uygun olarak eğilme direnci örnekleri üzerinde belirlenmiştir (T.S.E., 1993). Bu amaçla örnekler üniversal test makinesinde kırılma anına kadar sabit bir basınç ile yüklenmişlerdir. Yükleme esnasında yük- deformasyon eğrileri grafikler halinde çıkarılmış ve elastik bölge ile eğilmede elastikiyet modülü değerleri grafikler halinde makineye ait yazıcıdan alınmıştır.

Eğilmede elastikiyet modülü:

$$E = \frac{F \times l^3}{4 \times b \times d^3 \times \Delta} (N / mm^2)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Burada,

F= Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

l= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

b= Örnek genişliği (mm)

Δ =Eğilme miktarı (sehim) (mm)

2.4. İstatistik Yöntemler

Denemeler sonunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla ikiden fazla örnek ve bir faktör söz konusu olduğunda basit varyans analizi, ikiden fazla örnek ve iki faktör söz konusu olunca da çoğul varyans analizi kullanılarak değişkenlerin etkili olup olmadığı SPSS programı kullanılarak belirlenmiştir. Etkilenmenin anlamlı çıkması halinde ortalama değerler DUNCAN testi ile karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Üretim Öncesi Testlere Ait Bulgular

3.1.1. Hindistan Cevizi Odunu pH Değerinin Belirlenmesi

Deneme levhalarının üretildiği Hindistan cevizi ağacı lamellerinden alınan örneklerin pH ölçüm sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. Denemeler 3'er örnek üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Tablo 9. Hindistan cevizi ağacının pH ölçümü sonuçları

Örneğin Alındığı Yoğunluk Bölgesi	pH
Düşük (200-400 kg/m ³)	5,19
Orta (400-800 kg/m ³)	5,40
Yüksek (>800 kg/m ³)	5,65

3.1.2. Uçucu Organik Bileşenlerin Belirlenmesi (Volatile Organic Compounds-VOC)

Hindistan cevizi ağacı lamellerinden alınan örneklerin VOC ölçüm sonuçları Tablo 10 ve 11'de verilmiştir. Denemeler 3'er örnek üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Tablo 10. Yüksek yoğunluktaki Hindistan cevizi odunlarının uçucu organik emisyon değerleri

Uygulama Süresi (gün)	Uçucu Organik Bileşik Türü ve Miktarı (µg/m ³)					
	Terpen	Terpenoid	Aldehit	Asit	Diğer	Toplam VOC
1	10	23	4	307	8	352
3	2	12	3	206	6	229
7	1	8	4	161	4	178
11	0	3	3	162	3	171
14	0	2	3	144	2	151
21	0	0	2	140	1	143
28	0	0	1	92	0	93

Tablo 11. Orta yoğunluktaki Hindistan cevizi odunlarının uçucu organik emisyon değerleri

Uygulama Süresi (gün)	Uçucu Organik Bileşik Türü ve Miktarı ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Terpen	Terpenoid	Aldehit	Asit	Diğer	Toplam VOC
1	5	33	3	903	6	950
3	2	17	3	713	3	738
7	1	8	3	401	1	414
11	1	3	2	392	0	398
14	1	2	2	329	0	334
21	0	0	1	319	0	320
28	0	0	0	240	0	240

3.1.3. Kopma Makaslama Direnci Testlerine Ait Bulgular (Automated Bonding Evaluation System-ABES)

3.1.3.1. PVAc Tutkalı ile Tutkallanan Örneklerdeki Kopma Makaslama (ABES) Testlerine Ait Bulgular

PVAc tutkalı kullanılan örneklerde kopma makaslama testi (ABES) sonuçları Tablo 12'de belirtilmiştir.

Tablo 12. PVAc tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi odunlarının kopma ve makaslama testi sonuçları

Pres süresi	Orta yoğunluktaki örnekler		Yüksek yoğunluktaki örnekler		Kayın kontrol örneği	
	Ortalama kopma direnç (N/mm^2)	Makaslama direnci (N/mm^2)	Ortalama kopma direnç (N/mm^2)	Makaslama direnci (N/mm^2)	Ortalama kopma direnç (N/mm^2)	Makaslama direnci (N/mm^2)
20	71.73(19.35)	0.71	30.92 (10.21)	0.30	99.69 (8.20)	0.99
30	123.43 (12.79)	1.23	87.26 (17.01)	0.87	141.48 (9.23)	1.44
60	195.28 (21.52)	1.95	194.99 (8.71)	1.95	217.17 (17.43)	2.17
90	227.9 (21.98)	2.28	250.35 (10.37)	2.51	268.42 (17.38)	2.69
120	271.24 (28.14)	2.71	279.15 (15.41)	2.80	318.27 (20.51)	3.18
150	286.35 (23.26)	2.86	304.99 (17.82)	3.05	338.31 (7.53)	3.19
180	306.40 (19.07)	3.06	320.95 (25.26)	3.21	335.35 (13.12)	3.35
240	319.62 (24.10)	3.20	333.23 (35.93)	3.34	381.10 (13.06)	3.81

*Parantez içindeki değerler standart sapma değerleridir.

3.1.3.2. MÜF Tutkalı ile Tutkallanan Örneklerdeki Kopma Makaslama (ABES) Testlerine Ait Bulgular

MÜF tutkalı kullanılan örneklerde kopma makaslama testi (ABES) sonuçları Tablo 13'te belirtilmiştir.

Tablo 13. MÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi odunlarının kopma ve makaslama testi sonuçları

Pres süresi	Orta yoğunluktaki örnekler		Yüksek yoğunluktaki örnekler		Kayın kontrol örneği	
	Ortalama kopma direnç (N/mm ²)	Makaslama direnci (N/mm ²)	Ortalama kopma direnç (N/mm ²)	Makaslama direnci (N/mm ²)	Ortalama kopma direnç (N/mm ²)	Makaslama direnci (N/mm ²)
30	58.59 (14.87)	0.59	-	-	73.14 (29.51)	0.73
60	172.83 (30.15)	1.73	157.72 (11.59)	1.58	205.45 (27.14)	2.05
90	273.22 (40.69)	2.73	280.85 (13.52)	2.80	326.17 (39.91)	3.27
120	373.90 (40.69)	3.74	390.56 (32.65)	3.91	484.03 (51.49)	4.85
150	438.01 (37.42)	4.38	476.55 (36.42)	4.77	625.15 (25.39)	6.25
180	486.35 (23.26)	4.86	565.37 (22,2)	5.65	764.88 (19.85)	7.65

*Parantez içindeki değerler standart sapma değerleridir.

3.1.3.3. ÜF Tutkalı ile Tutkallanan Örneklerdeki Kopma Makaslama (ABES) Testlerine Ait Bulgular

ÜF tutkalı kullanılan örneklerde kopma makaslama testi (ABES) sonuçları Tablo 14'te belirtilmiştir.

Tablo 14. ÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi odunlarının kopma ve makaslama testi sonuçları

Pres süresi	Orta yoğunluktaki örnekler		Yüksek yoğunluktaki örnekler		Kayın kontrol örneği	
	Ortalama kopma direnç (N/mm ²)	Makaslama direnci (N/mm ²)	Ortalama kopma direnç (N/mm ²)	Makaslama direnci (N/mm ²)	Ortalama kopma direnç (N/mm ²)	Makaslama direnci (N/mm ²)
100	59.42 (11.10)	0.59	Başarısız	Başarısız	121.57 (12.22)	1.22
120	75.83 (21.62)	0.76	42.332 (13.25)	0.084	162.42 (8.52)	1.62
150	153.07 (19.48)	1.53	86.55 (22.08)	0.87	232.70 (27.42)	2.33
180	226.90 (35.28)	2.27	196.27 (25.22)	1.96	343.54 (57.91)	3.44
210	332.10 (29.93)	3.33	443.51 (53.35)	4.44	468.64 (79.33)	4.69
240	440.90 (78.31)	4.41	630.31 (44.84)	6.31	774.43 (34.89)	7.74

*Parantez içindeki değerler standart sapma değerleridir.

3.2. Üretilen Levhalara Ait Testler

3.2.1. Levhaların Fiziksel Özellikleri

3.2.1.1. Yoğunluk Değeri

Deneme levhalarının yoğunluğuna ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 15'te belirtilmiştir. Örneklerin yarısı levha dış tabakalarının lif yönüne paralel, diğer yarısı ise dik olacak şekilde alınmıştır. Toplam 48 örnek kullanılmıştır.

Tablo 15. Deneme levhalarına ait yoğunluk değerleri

Levha tipi	Levha dış tabakasına paralel (g/cm ³)			Levha dış tabakasına dik (g/cm ³)		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
Levha 1(HLH-PVAc)	0.572	0.05	0.08	0.580	0.08	0.13
Levha 2(HLH-MÜF)	0.576	0.05	0.08	0.583	0.05	0.08
Levha 3(HLH-ÜF)	0.589	0.08	0.13	0.595	0.05	0.08
Levha 4(HMH-PVAc)	0.673	0.05	0.07	0.674	0.05	0.07
Levha 5(HMH-MÜF)	0.678	0.05	0.07	0.681	0.00	0.00
Levha 6(HMH-ÜF)	0.681	0.05	0.07	0.687	0.05	0.07

\bar{X} :Aritmetik ortalama, S:Standart sapma, V:Varyans katsayısı

Levhaların yoğunluğu üzerine, kullanılan tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönü etkilerinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Levhaların yoğunluğu üzerine; tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönünün etkisine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	SD	Kareler Ort.	F- Hes.	ÖD
Tutkal (A)	0,001	2	0,001	21,937	***
Orta tabaka yoğunluğu (B)	0,112	1	0,112	3364,000	***
Lif yönü (C)	0,000	1	0,000	9,000	***
(A)*(B) (Etkileşim)	0,000	2	0.05208	1,563	***
(A)*(C) (Etkileşim)	0.0125	2	0.00625	,187	***
(B)*(C) (Etkileşim)	0.075	1	0.075	2,250	***
(A)*(B)*(C) (Etkileşim)	0.0375	2	0.01875	0,563	***
Hata	0,001	36	0.03333		
Toplam	19,242	48			

Yapılan çoğul varyans analizi sonucuna göre; kullanılan tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve örneğin alındığı yönünün, levhaların yoğunluğuna etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı, bu faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ise %5 hata payı ile anlamsız bulunmuştur. Bunu takiben yapılan Duncan testi sonucuna göre %5 hata payı ile ÜF tutkalıyla elde edilen levhaların, PVAc ve MÜF tutkallarıyla elde edilen levhalardan farklı bir grupta yer alarak daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Tablo 17. Yoğunluk üzerine tutkal türünün etkisine ait Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynağı	Yoğunluk grupları	
PVAc	0,63 (a)	
MÜF	0,63 (a)	
ÜF		0,64 (b)

3.2.1.2. Rutubet Miktarı

Deneme levhalarının rutubet değerlerine ilişkin ortalama, rutubet miktarları Tablo 18’de verilmiştir. Denemeler 18 örnek üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Tablo 18. Deneme levhalarına ait rutubet değerleri

Levha tipi	Ortalama Rutubet Miktarı (%)
Levha 1(HLH-PVAc)	8.1
Levha 2(HLH-MÜF)	7.9
Levha 3(HLH-ÜF)	7.7
Levha 4(HMH-PVAc)	7.8
Levha 5(HMH-MÜF)	7.7
Levha 6(HMH-ÜF)	7.3

X:Aritmetik ortalama, S:Standart sapma, V:Varyans katsayısı

Levha rutubet değerleri EN 312-1 (1996) standartlarında belirtildiği gibi 9 ± 4 arasında olduğundan herhangi bir istatistiksel analiz uygulanmamıştır.

3.2.2. Mekanik Özellikler

3.2.2.1. Eğilme Direnci

Deneme levhalarının eğilme direncine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 19’da belirtilmiştir. Örneklerin yarısı levha dış tabakalarının lif yönüne paralel, diğer yarısı ise dik olacak şekilde alınmıştır. Toplam 48 örnek kullanılmıştır.

Tablo 19. Deneme levhalarına ait eğilme direnci sonuçları

Levha tipi	Levha dış tabakasına paralel (N/mm ²)			Levha dış tabakasına dik (N/mm ²)		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
Levha 1(HLH-PVAc)	37.84	4,00	0,10	21.25	3,93	0,18
Levha 2(HLH-MÜF)	50.55	6,30	0,12	24.26	4,04	0,16
Levha 3(HLH-ÜF)	47.25	6,12	0,12	15.59	3,81	0,24
Levha 4(HMH-PVAc)	49.86	12,17	0,24	20.22	12,17	0,60
Levha 5(HMH-MÜF)	57.07	7,62	0,13	31.82	8,89	0,27
Levha 6(HMH-ÜF)	54.29	4,28	0,07	20.17	3,89	0,19

*: \bar{X} :Aritmetik ortalama, S:Standart sapma, V:Varyans katsayısı

Levha eğilme direnci üzerine, kullanılan tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönü etkilerinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Panellerin eğilme direnci değerleri üzerine tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönü etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	SD	Kareler Ort.	F- Hes.	ÖD
Tutkal (A)	541,77	2	270,89	7,03	***
Orta tabaka yoğunluğu (B)	435,13	1	435,13	11,29	***
Lif yönü (C)	8696,78	1	8696,78	225,67	***
(A)*(B) (Etkileşim)	21,63	2	10,82	0,28	***
(A)*(C) (Etkileşim)	141,38	2	70,69	1,83	***
(B)*(C) (Etkileşim)	85,07	1	85,07	2,21	***
(A)*(B)*(C) (Etkileşim)	87,44	2	43,72	1,13	***
Hata	1387,38	36	38,54		
Toplam	73434,77	48			

Yapılan çoğul varyans analizi sonucuna göre; levhanın eğilme direncine kullanılan tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönünün etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı, bu faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ise %5 hata payı ile anlamsız bulunmuştur. Bunu takiben yapılan Duncan testi sonucuna göre %5 hata payı ile MÜF tutkalıyla elde edilen levhaların, PVAc ve ÜF tutkallarıyla elde edilen levhalardan farklı bir grupta yer aldığı belirlenmiştir.

Tablo 21. Eğilme direnci üzerine kullanılan tutkal türünün etkisine ait Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynağı	Eğilme Direnci grupları	
PVAc	32,35 (a)	
ÜF	35,07 (a)	
MÜF		40,44 (b)

3.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deneme levhalarının elastikiyet modülüne ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 22’de belirtilmiştir. Örneklerin yarısı levha dış tabakalarının lif yönüne paralel, diğer yarısı ise dik olacak şekilde alınmıştır. Toplam 48 örnek kullanılmıştır.

Tablo 22. Deneme levhalarına ait elastikiyet modülü sonuçları

Levha tipi	Liflere paralel sonuçlar (N/mm ²)			Liflere dik sonuçlar (N/mm ²)		
	\bar{X}	S	V	\bar{X}	S	V
Levha 1(HLH-PVAc)	8380	229,93	0,02	1360	243,71	0,17
Levha 2(HLH-MÜF)	9556	300,84	0,03	1564	125,16	0,07
Levha 3(HLH-ÜF)	9002	777,12	0,08	1331	166,74	0,12
Levha 4(HMH-PVAc)	10229	946,52	0,09	1817	313,11	0,17
Levha 5(HMH-MÜF)	10300	429,27	0,04	2370	389,43	0,16
Levha 6(HMH-ÜF)	9216	168,8	0,02	1818	530,27	0,29

*: X:Aritmetik ortalama, S:Standart sapma, V:Varyans katsayısı

Levhaların elastikiyet modülü üzerine, kullanılan tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönü etkilerinin anlamlı olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23. Levhaların elastikiyet modülü üzerine tutkal türü, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönü etkilerine ait çoğul varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	SD	Kareler Ort.	F- Hes.	ÖD
Tutkal (A)	1960637,79	2	980318,9	2,26	***
Orta tabaka yoğunluğu (B)	4262592,00	1	4262592,0	9,81	***
Lif yönü (C)	692724856,33	1	692724856,3	1594,68	***
(A)*(B) (Etkileşim)	802953,38	2	401476,69	0,92	***
(A)*(C) (Etkileşim)	1657738,54	2	828869,27	1,91	***
(B)*(C) (Etkileşim)	17100,75	1	17100,75	0,04	***
(A)*(B)*(C) (Etkileşim)	2258426,63	2	1129213,31	2,60	***
Hata	15638356,50	36	434398,79		
Toplam	216943264,00	48			

Çoğul varyans analizi sonucuna göre, orta tabaka yoğunluğu ve lif yönünün levhanın elastikiyet modülüne etkisi %0,1 hata payı ile anlamlı, kullanılan tutkal türü ve bu faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ise %5 hata payı ile anlamsız bulunmuştur. Bunu takiben yapılan Duncan testi sonucu %5 hata payı ile tüm tutkal grupları ile elde edilen levhaların aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir.

Tablo 24. Elastikiyet modülü üzerine tutkal türünün etkisine ait Duncan testi sonuçları

Varyans Kaynağı	Elastikiyet Modülü grubu
PVAc	5215,13 (a)
ÜF	5593,44 (a)
MÜF	5680,81 (a)

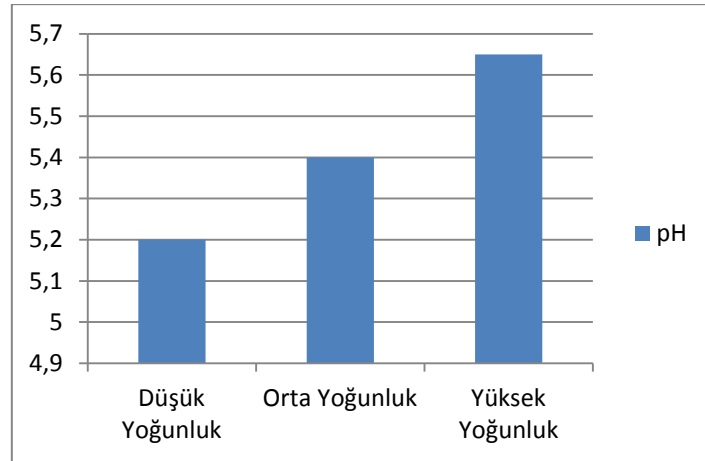
4. İRDELEME

Bu bölümde Hindistan cevizi ağacı odunlarının kimyasal analizleri ile 3 farklı tutkal (PVAc, MÜF ve ÜF), ve 3 farklı yoğunluk grubundaki Hindistan cevizi ağacı odunları kullanılarak üretilen masif panellerin fiziksel ve mekanik özellikleri irdelenmiştir.

4.1. Üretim Öncesi Yapılan Testler

4.1.1. Hindistan Cevizi Odunu pH Değeri

Hindistan cevizi ağacı odunu örneklerinin pH değerleri Şekil 34’te verilmiştir.

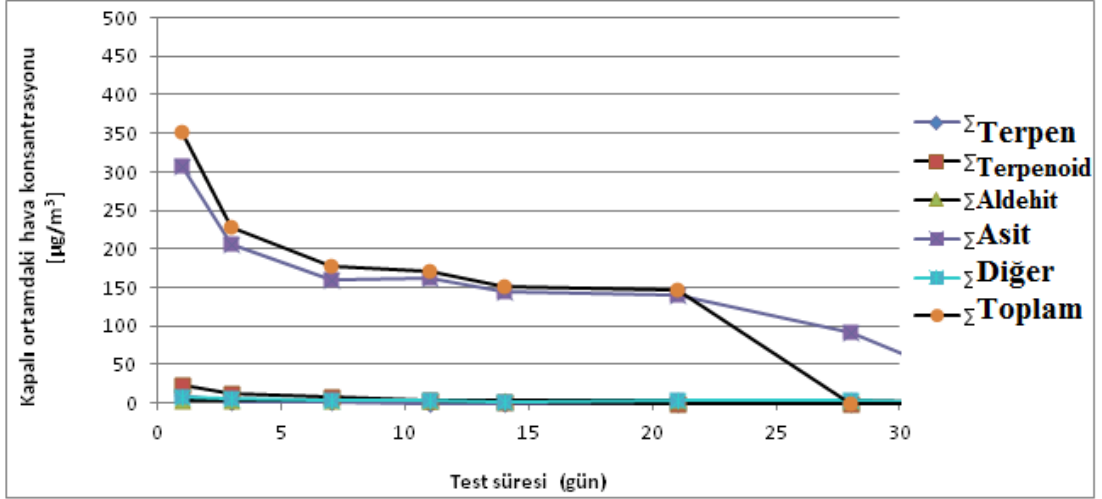


Şekil 34. Hindistan cevizi odunlarının pH değerleri

Hindistan cevizi ağacı odunlarının pH değerleri yoğunluk değerlerine göre farklılık göstermektedir. Düşük yoğunluklu odunlarda pH değeri 5,2, orta yoğunluklu odunlarda 5,4 ve yüksek yoğunluklu odunlarda ise 5,65 olarak belirlenmiştir.

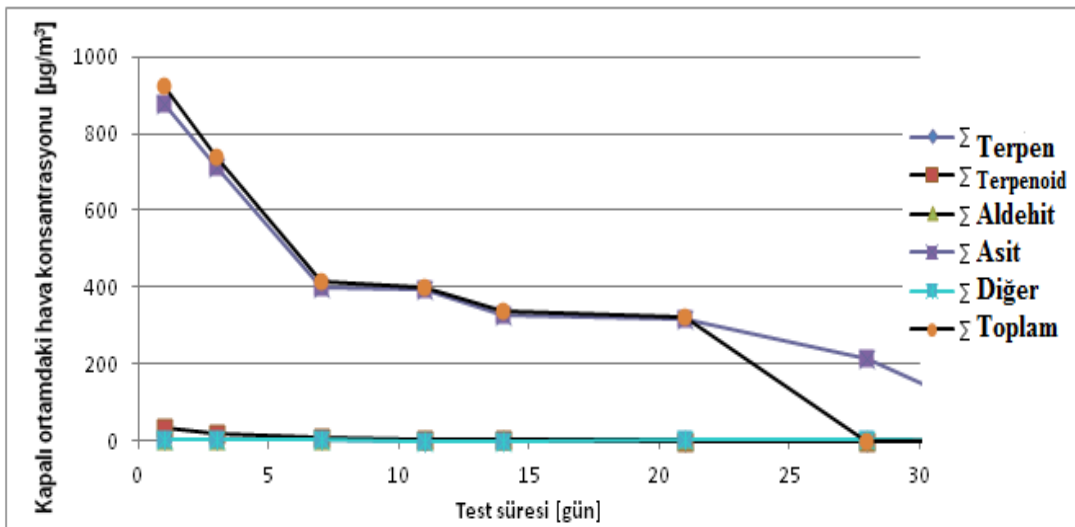
4.1.2. Belirlenen Uçucu Organik Bileşenler (Volatile Organic Compounds-VOC)

VOC emisyon testi ile üretimde kullanılan yüksek ve orta yoğunluktaki Hindistan cevizi ağacı odunlarının uçucu organik bileşikleri Şekil 35 ve 36’da belirtilmiştir.



Şekil 35. Yüksek yoğunluktaki odun hammaddesi için VOC emisyon değerleri

Yüksek yoğunluktaki odun kısmı için testin başlarında asit değeri $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten daha fazladır. Terpenler, terpenoidler ve aldehitlerin miktarları ise $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten daha azdır. Toplam uçucu organik bileşik miktarı $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ civarındadır. Yüksek yoğunluktaki Hindistan cevizi odunları için uçucu organik bileşiklerin uzaklaşması ilk günlerde oldukça hızlı olmuştur. 5. günün sonunda toplam VOC değeri yarıya düşmüştür. 11. günün sonunda terpen, 21. günün sonunda terpenoid ve 28. günün sonunda da aldehitler ortamdan tamamen uzaklaşmıştır. 28. Günün sonunda kalan asit miktarı $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve toplam VOC miktarı ise $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ değerine kadar inmiştir. 28. gün sonunda test bitirilmiştir.



Şekil 36. Orta yoğunluktaki odun hammaddesi için VOC emisyon değerleri

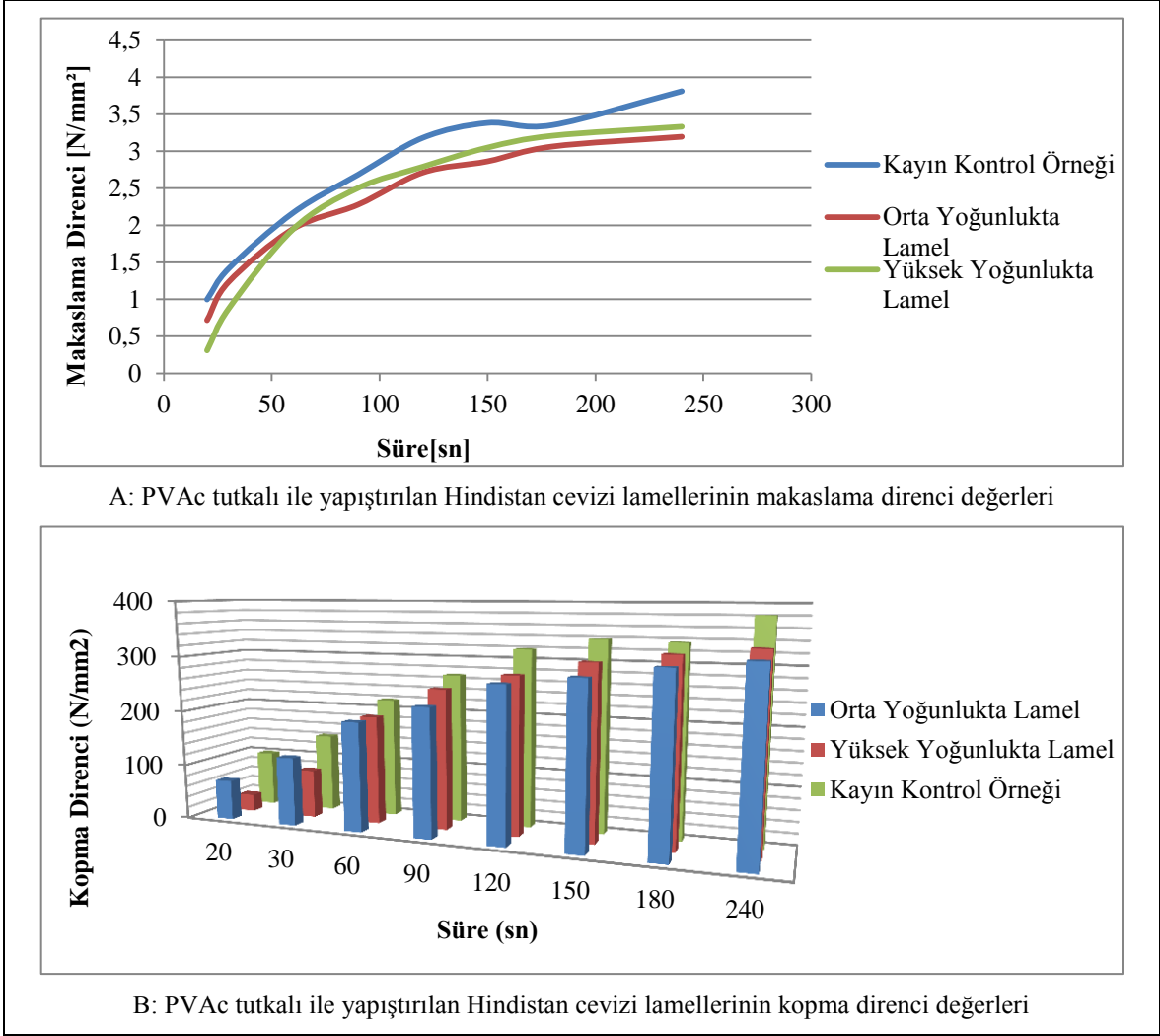
Orta yoğunluktaki odun kısmı için testin başlarında asit değeri $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten daha fazladır. Terpenler, terpenoidler ve aldehitlerin miktarları ise $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ civarındadır. Toplam uçucu organik bileşik miktarı $950 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kadardır. Orta yoğunluktaki Hindistan cevizi odunları için uçucu organik bileşiklerin uzaklaşması ilk günlerde oldukça hızlı olmuştur. 5. günün sonunda toplam VOC değeri yarıya düşmüştür. 7. gün sonunda toplam VOC azalmasında bir yavaşlama görülmüştür. 14. günün sonunda terpenler ve terpenoidler, 21. gün sonunda aldehit ortamdan tamamen uzaklaşmıştır. 28. Günün sonunda kalan asit miktarı $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve toplam VOC miktarı da asit miktarına eşittir. 28. gün sonunda test bitirilmiştir.

4.1.3. Kopma Makaslama Direnci Değerleri (Automated Bonding Evaluation System-ABES)

Üretimde kullanılan PVAc, MÜF ve ÜF tutkalları için Hindistan cevizi ağacı odunları ayrı ayrı test edilmiş olup, sonuçların güvenilirliği açısından kayın kontrol örneği ile karşılaştırılmıştır. Her tutkal türü için ayrı irdeleme yapılmıştır.

4.1.3.1. PVAc Kopma Makaslama Direnci Değerleri

PVAc tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin makaslama ve kopma direnci test sonuçları Şekil 37'de belirtilmiştir.

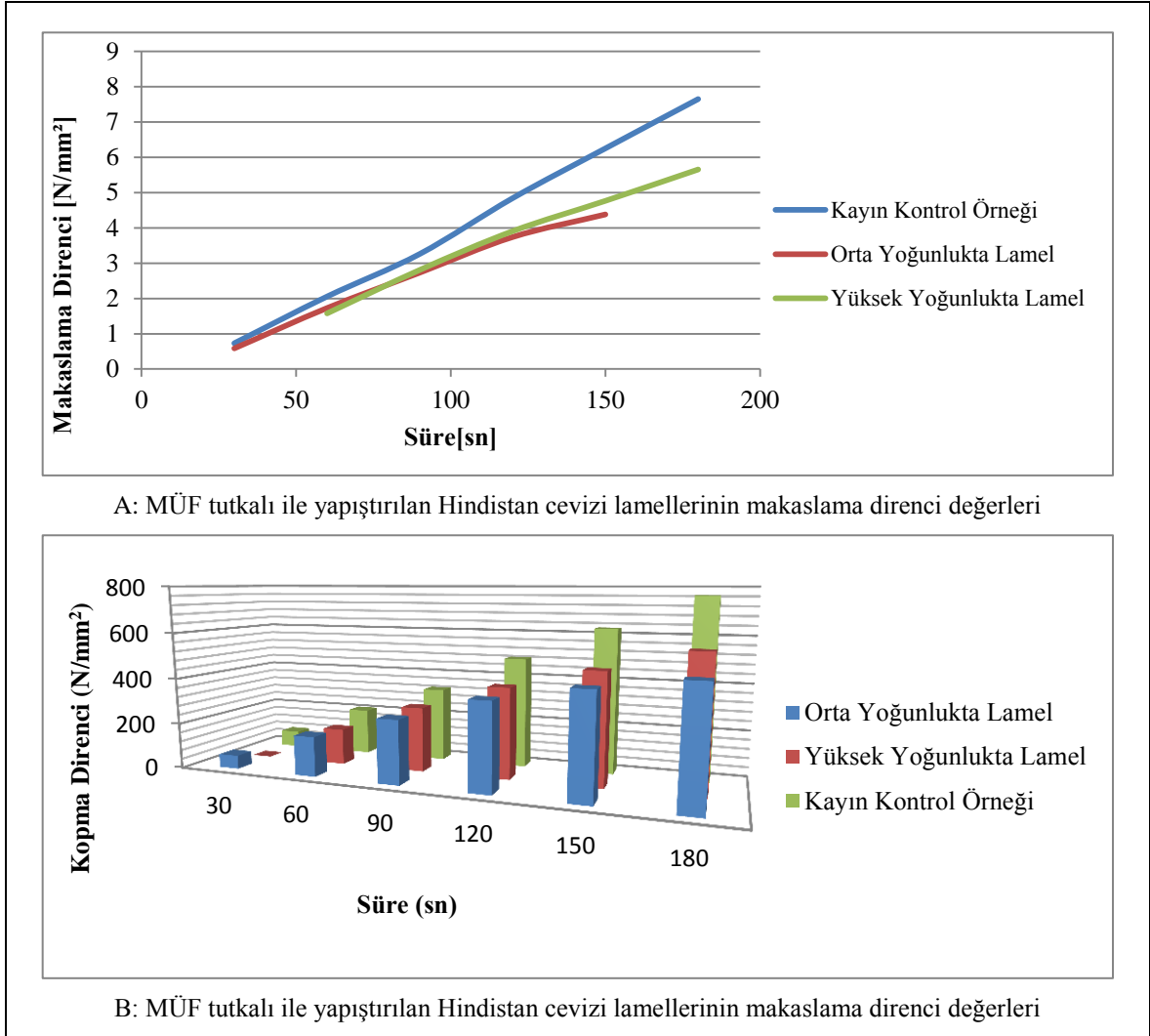


Şekil 37. PVAc tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama direnci değerleri

PVAc tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi orta ve yüksek yoğunlukta lamellerinin kopma ve makaslama dirençleri kayın kontrol örneğine yakın sonuçlar vermiştir. En yüksek kopma direncine kayın kontrol örneğinde belirlenmiştir. Bunu yüksek yoğunlukta Hindistan cevizi ağacı odunları takip etmiştir. En düşük değerler ise orta yoğunlukta Hindistan cevizi ağacı lamellerinde belirlenmiştir. İlk anlamlı değerler 30. saniyeden sonra alınmaya başlanmıştır. 60. saniyeden sonra 200 N/mm^2 değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. 240. saniye sonunda en yüksek değerler elde edilmiştir.

4.1.3.2. MÜF Kopma Makaslama Direnci Değerleri

MÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin makaslama ve kopma direnci test sonuçları Şekil 38’ de belirtilmiştir.



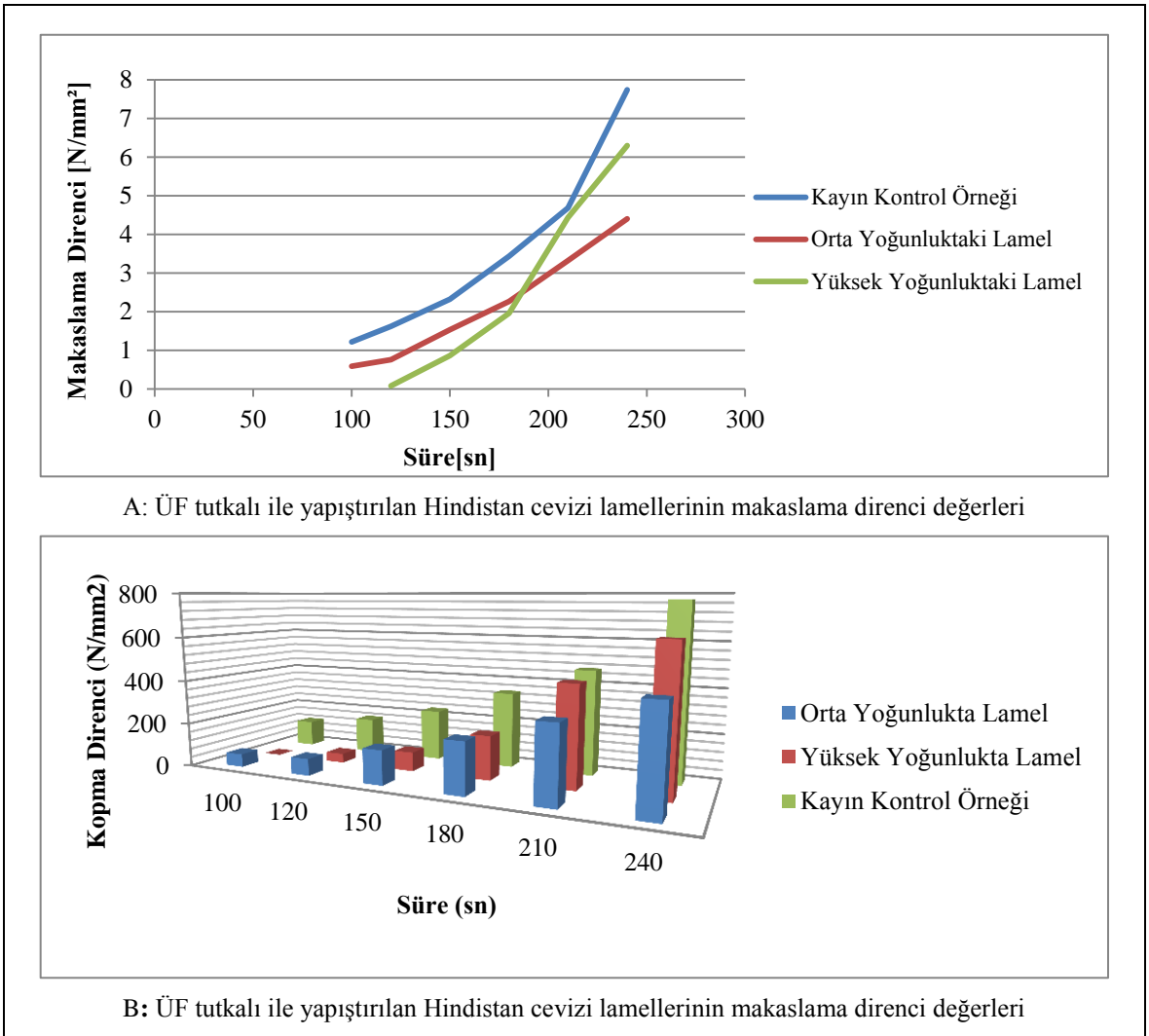
Şekil 38. MÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama direnci değerleri

MÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi ağacının orta ve yüksek yoğunluktaki odunları kayın kontrol örneğine göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Özellikle 150. Saniyeden sonra bu fark giderek artmıştır. Kayın kontrol örneğini yüksek yoğunluktaki Hindistan cevizi ağacı odunları takip etmiştir. En düşük değerler ise orta yoğunluktaki Hindistan cevizi ağacı odunlarında belirlenmiştir. İlk anlamlı sonuçlar 60. saniyenin

sonunda elde edilmiştir. 90. saniye sonunda Hindistan cevizi ağacı lamellerinde 250 N/mm^2 değerinde, kayın kontrol örneğinde ise 320 N/mm^2 değerinde sonuçlar elde edilmiştir. 150. saniyede tüm odun örnekleri 400 N/mm^2 'den fazla kopma direnci sağlamıştır. 180. saniye sonunda en yüksek değerler elde edilmiştir.

4.1.3.3. ÜF Kopma Makaslama Direnci Değerleri

ÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin makaslama ve kopma direnci test sonuçları Şekil 39' da belirtilmiştir.



Şekil 39. ÜF tutkalı ile yapıştırılan Hindistan cevizi lamellerinin kopma ve makaslama direnci değerleri

Şekil 39’da görüldüğü üzere ÜF tutkalı ile Hindistan cevizi ağacının orta ve yüksek yoğunluktaki odunları kayın kontrol örneğine göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Özellikle 240. saniyede bu fark belirgin bir şekilde artmıştır. Kayın kontrol örneğini yüksek yoğunluktaki Hindistan cevizi ağacı odunları takip etmiştir. En düşük değerler ise orta yoğunluktaki Hindistan cevizi ağacı odunlarında belirlenmiştir. İlk anlamlı sonuçlar 180. saniyede elde edilse de belirgin farklar yine 240. saniyede oluşmaya başlamıştır. Hindistan cevizi ağacı odunlar ile ÜF tutkalları arasında 100. saniyeye kadar belirgin kopma ve makaslama direnci elde edilememiştir. 180. saniye sonunda Hindistan cevizi ağacı lamellerinde 20 N/mm^2 değerinde, kayın kontrol örneğinde ise 340 N/mm^2 değerinde sonuçlar elde edilmiştir. 210. saniyede yüksek yoğunluktaki lameller ile kayın kontrol örnekleri odun örnekleri 400 N/mm^2 ’den fazla kopma direnci sağlamıştır. Orta yoğunluktaki lameller de ise 330 N/mm^2 değerinde kopma direnci gözlenmiştir. 240. saniye sonunda en yüksek değerler elde edilmiştir.

Denemeler sonucunda en yüksek kopma ve makaslama direnci sonuçları ÜF tutkalları ile sağlanmıştır. Bunu takiben MÜF tutkalları ve en son olarak PVAc tutkalları gelmektedir. ÜF tutkalı ile yapılan kopma makaslama direnci sonuçlarına göre 240. saniyede yüksek yoğunlukta lamelerde 630 N/mm^2 , orta yoğunlukta lamellerden ise 440 N/mm^2 ’lik direnç değeri sağlanmıştır. MÜF tutkalı ile yapılan kopma makaslama direnci sonuçlarına göre 180. saniyede yüksek yoğunlukta lamelerde 565 N/mm^2 , orta yoğunlukta lamellerden ise 486 N/mm^2 direnç değerleri sağlanmıştır. PVAc tutkalı ile yapılan kopma makaslama direnci sonuçlarına göre 240. saniyede yüksek yoğunlukta lamelerde 330 N/mm^2 , orta yoğunlukta lamellerden ise 319 N/mm^2 direnç değerleri sağlanmıştır.

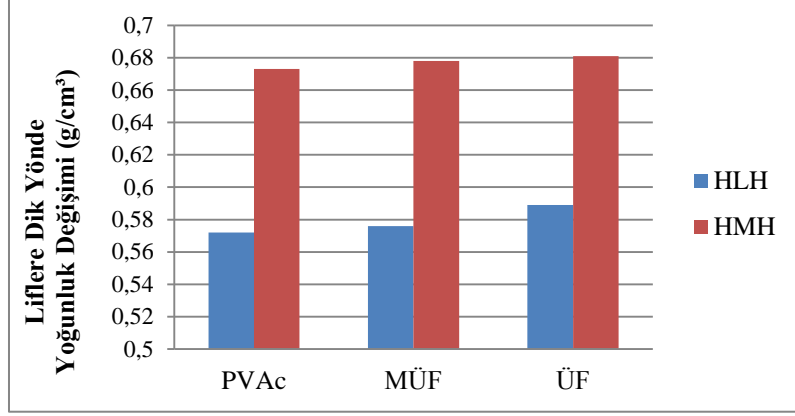
4.2. Üretilen Levhalara Ait Testler

4.2.1. Levhaların Fiziksel Özellikleri

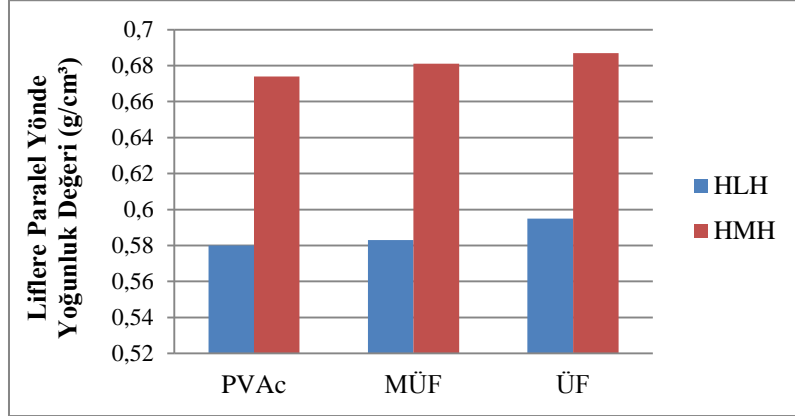
4.2.1.1. Yoğunluk Değeri

Deneme levhaların yoğunluk değerleri levha dış tabakalarının lif yönüne dik olduğunda $0.572-0.681 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişirken, dış tabakalarının lif yönüne paralel

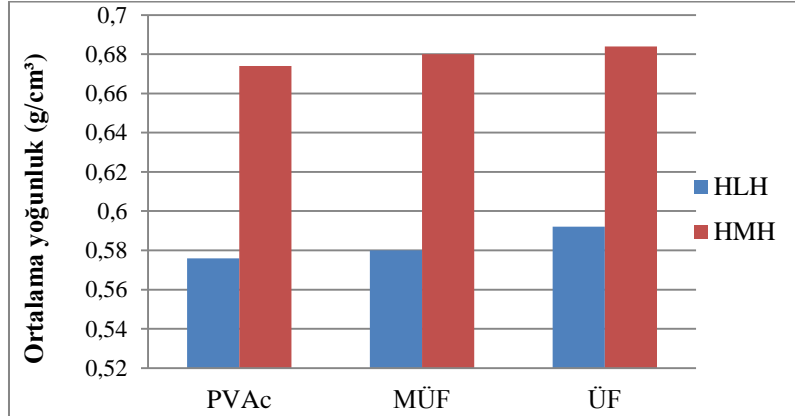
olduğunda ise $0.580-0.687 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Levhaların yoğunluk değerlerine ilişkin grafikler Şekil 40, 41 ve 42’de belirtilmiştir.



Şekil 40. Levha dış tabakalarının lif yönüne dik yoğunluk değeri



Şekil 41. Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel yoğunluk değeri



Şekil 42. Ortalama yoğunluk değeri

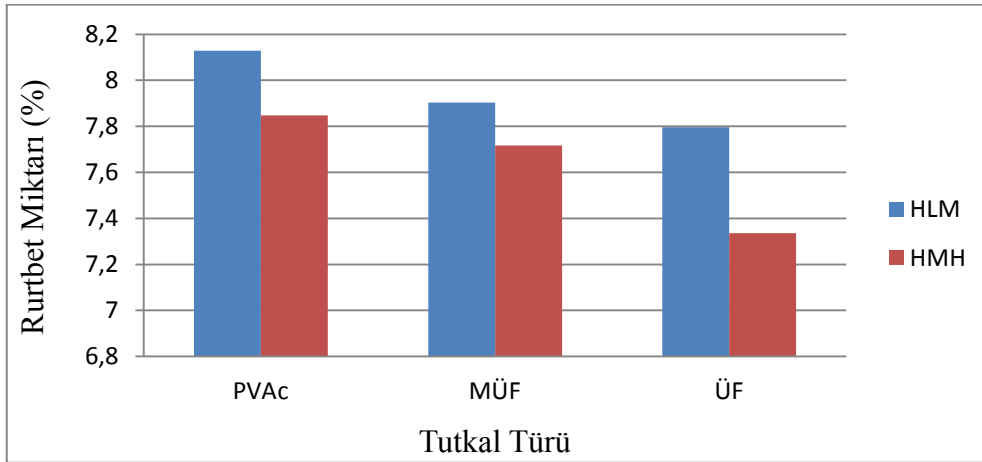
Yoğunluk levhanın son kullanım yerindeki kalite özelliklerini etkilemektedir. Bu amaçla levhaların üretim aşamasında kullanılan malzemelerin ve üretim sonrasında son ürünün birim hacim yoğunluk değeri sürekli kontrol edilmelidir.

Denemeler sonucunda orta tabakada kullanılan malzemenin yoğunluk değeri levhanın yoğunluk değerini etkileyen ilk faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Orta tabakada düşük yoğunlukta malzeme kullanıldığında, levhanın yoğunluk değeri $0.576-0.592 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir. Orta tabakada orta yoğunlukta levhalar kullanıldığında ise levha yoğunluk değeri $0.674-0.684 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir.

İkinci olarak dış tabakanın lif yönü yoğunluk değerini etkilemektedir. Dış tabakada lif yönüne göre paralel alınan örneklerin yoğunluğunun dik yönde olanlara göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Kullanılan tutkal miktarı levhaların yoğunluk değerinde fazla değişikliğe yol açmamıştır.

4.2.1.2. Rutubet Miktarı

Yapılan testler sonucunda üretilen levhaların rutubet değerlerinin %7.34-8.12 arasında değiştiği gözlenmiştir. Üretilen levha gruplarına göre elde edilen rutubet değerlerine ilişkin grafik Şekil 43’de verilmiştir.



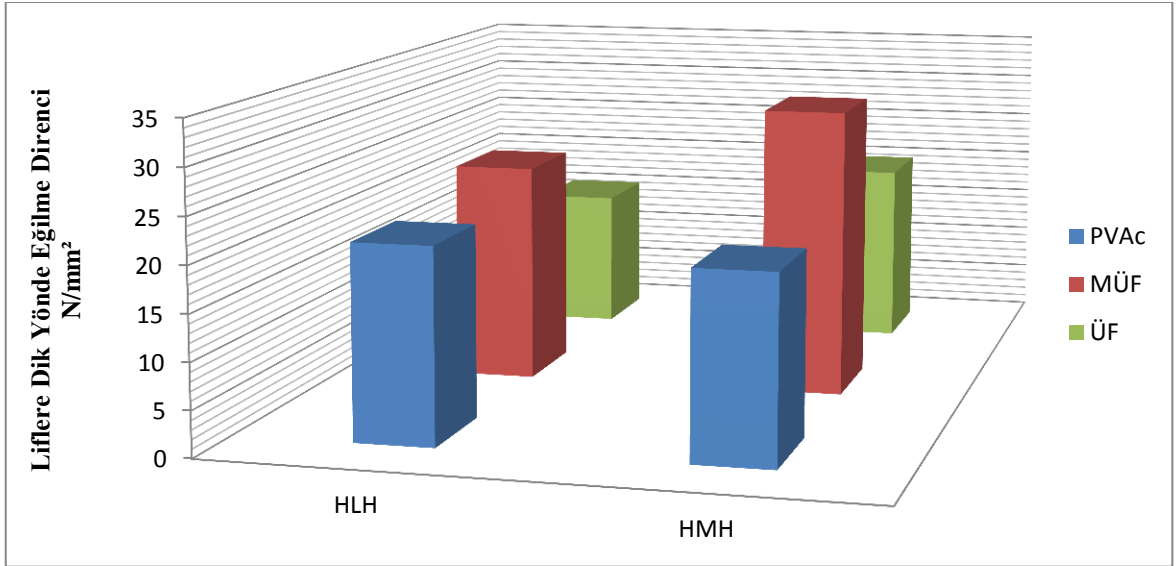
Şekil 43. Deneme levhalarının rutubet değerleri

EN 312-1 (1996)'nolu standartta belirtilen değerlere göre levhalarda istenen rutubet miktarı $\%9\pm4$ arasında olması öngörülmektedir. Üretilen 6 levhadaki rutubet değerleri standartta belirtilen esaslara uymaktadır.

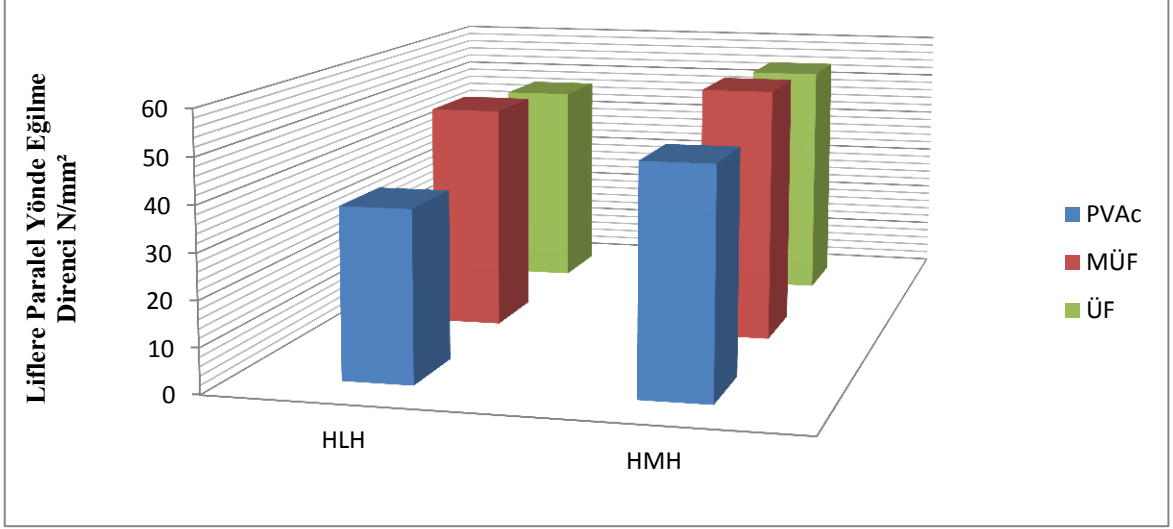
4.2.2. Mekanik Özellikler

4.2.2.1. Eğilme Direnci

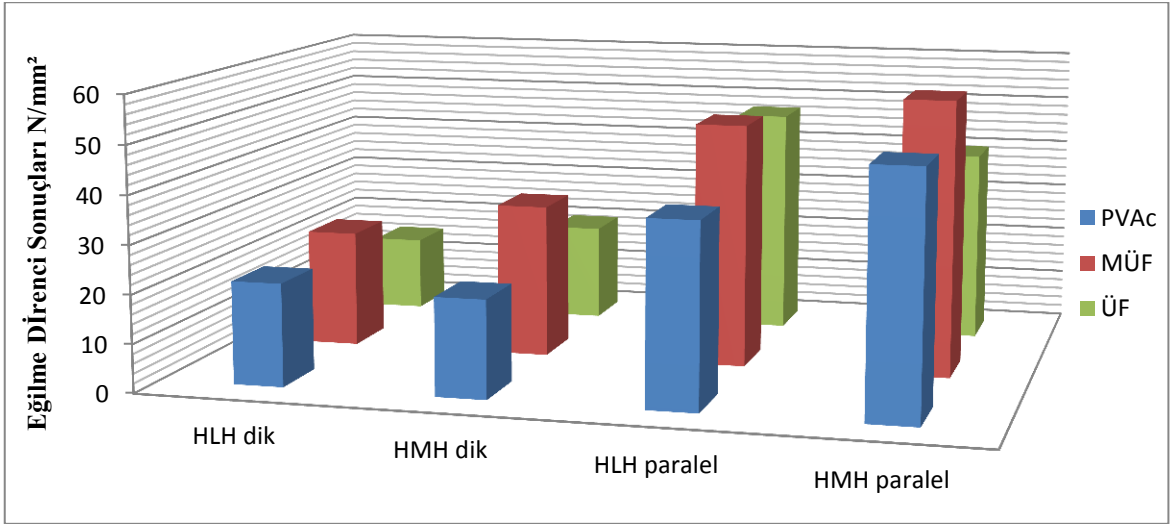
Deneme levhalarının eğilme dirençleri test edilirken sonuçların daha iyi irdelenebilmesi için levha dış tabakalarının lif yönüne paralel ve dik olmak üzere ayrı ayrı testler yapılmıştır. Testler sonucunda elde edilen eğilme direnci değerleri levha dış tabakalarının lif yönüne paralel olduğunda 30.11 N/mm^2 ile 67.82 N/mm^2 arasında değişirken, dik yönde olduğunda $13,20 \text{ N/mm}^2$ ile $43,98 \text{ N/mm}^2$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Üretilen levha gruplarına göre elde edilen eğilme dirençleri değerleri Şekil 44 ve 45'te belirtilmiştir.



Şekil 44. Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel eğilme direnci değerleri



Şekil 45. Levha dış tabakalarının lif yönüne dik eğilme direnci değerleri



Şekil 46. Ortalama eğilme direnci değerleri

Eğilme direnci levhanın kullanım yerindeki güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Her levhanın kullanım yerine göre belirli eğilme direncine sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla her odun esaslı levhaların sahip olması gereken eğilme direnci standartlar ile ayrılmıştır.

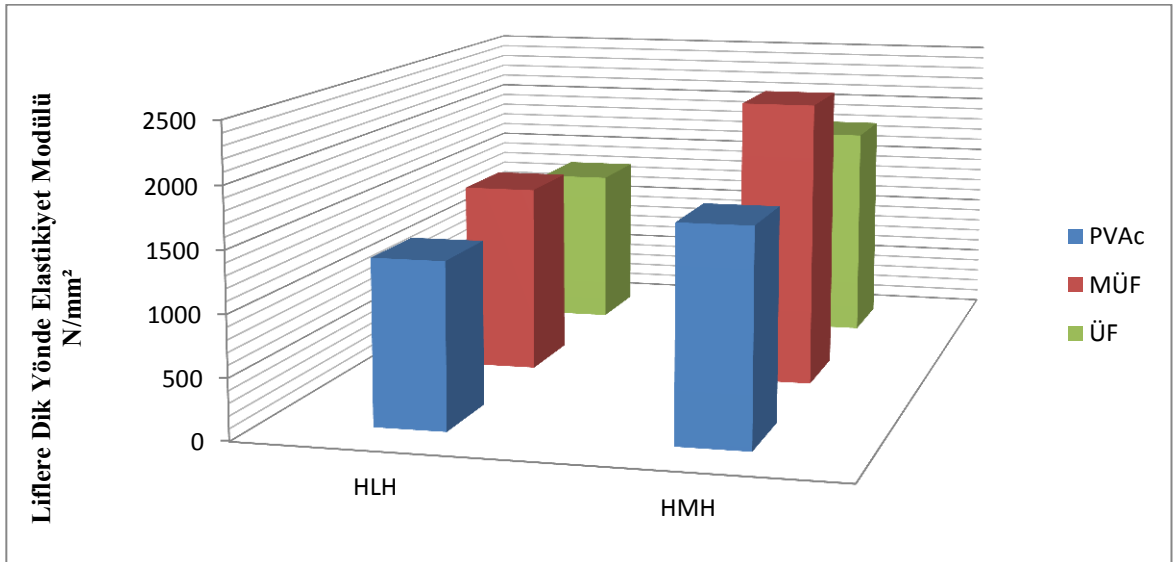
Denemeler sonucunda eğilme direncine etki eden en önemli faktör lif yönü olarak ortaya çıkmaktadır. Liflere paralel yönde alınan örneklerin eğilme direnci değeri dik yönde alınan örneklere göre oldukça fazladır. Eğilme direncine etki eden ikinci faktör olarak kullanılan tutkal türüdür. MÜF tutkalının PVAc ve ÜF tutkallarına göre eğilme direnci daha iyi sonuç vermiştir. Eğilme direncine etki eden diğer bir faktör ise orta tabakada

kullanılan malzemenin yoğunluğudur. Orta tabaka da kullanılan orta yoğunluktaki hammadde düşük yoğunluktaki hammaddeye göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

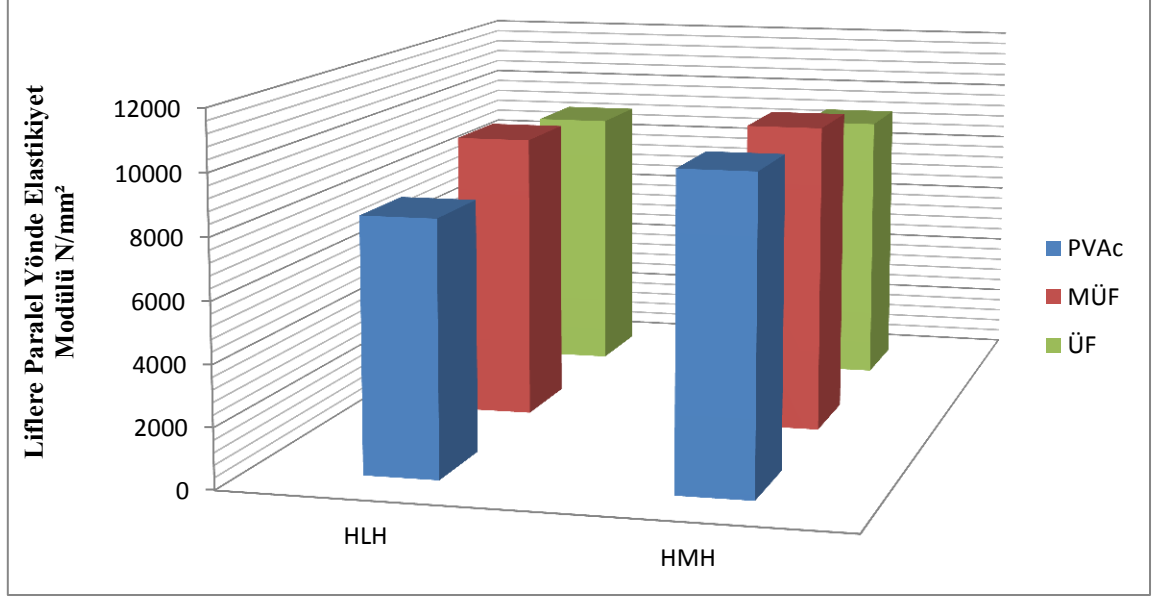
Yapılan çalışmaların anlamlı olması için TS EN 13353'e göre masif levhaların gerekleri olarak belirtilen standartlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Standartlara göre 30-80 mm arasındaki kalınlıklar için; eğilme direnci dış tabakanın lif yönüne paralel olduğunda en düşük 10 N/mm^2 , dik olduğunda en düşük 5 N/mm^2 olmalıdır. Üretilen levhaların eğilme direnci sonuçları dış tabakanın lif yönüne paralel olduğundaki en düşük 37.84 N/mm^2 , dik olduğunda en düşük $15,59 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, üretilen levhaların TS EN 13353 masif levha gereksinimlerine göre uygun olduğu söylenebilir.

4.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

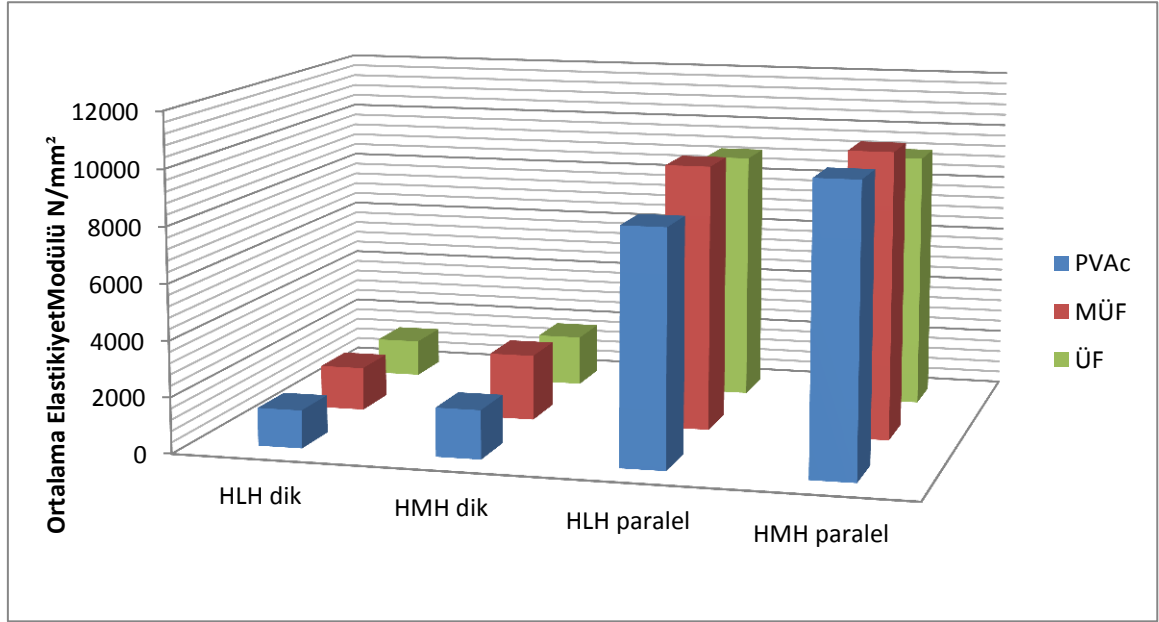
Testler sonucunda uzunluk eksenleri dış tabakanın lif yönüne paralel alınan örneklerin elastikiyet modülü değerleri 8142 N/mm^2 - 11413 N/mm^2 arasında değişirken, uzunluk eksenleri dış tabakanın lif yönüne paralel dik olanlarda ise 1048 N/mm^2 - 2290 N/mm^2 arasında değişmiştir. Levhaların elastikiyet modülü değerlerine ilişkin grafikler Şekil 47 ve 48'de belirtilmiştir.



Şekil 47. Levha dış tabakalarının lif yönüne dik elastikiyet modülü değerleri



Şekil 48. Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel elastikiyet modülü değerleri



Şekil 49. Ortalama elastikiyet modülü değerleri

Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel yönde alınan örneklerin elastikiyet modülü değerleri dik yönde alınan örneklere göre oldukça fazladır. Eğilme direnci sonuçları elastikiyet modülü ile direkt ilişkili olduğundan eğilme direncine etki eden faktörler elastikiyet modülünü de aynı şekilde etkilemiştir. Burada da MÜF tutkalının diğer tutkallardan daha iyi sonuç verdiğini grafikten görülebilir. Aynı şekilde orta tabakada

kullanılan hammadde yoğunluğu da elastikiyet modülünü etkilemiştir. Orta tabaka da kullanılan orta yoğunluktaki hammadde düşük yoğunluktaki hammaddeye göre daha iyi sonuç vermiştir.

Yapılan çalışmaların anlamlı olması için TS EN 13353'e göre masif levhaların gerekleri olarak belirtilen standartlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Standartlara göre 30-80 mm arasındaki kalınlıklar için; elastikiyet modülü dış tabakanın lif yönüne paralel olduğunda en düşük 5000 N/mm², dik olduğunda en düşük 500 N/mm² olmalıdır. Üretilen levhaların elastikiyet modülü sonuçları dış tabakanın lif yönüne paralel olduğundaki en düşük 8380 N/mm², dik olduğunda en düşük elastikiyet modülü 1331 N/mm² olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, üretilen levhaların TS EN 13353 masif levha gereksinimlerine göre uygun olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR

5.1. Üretim Öncesi Yapılan Testlere Ait Sonuçlar

5.1.1. Hindistan Cevizi Odunu pH Değeri

Hindistan cevizi ağacı odunların pH değeri 5,2 ile 5,65 arasında değiştiği belirlenmiştir. Üretimde kullanılan ÜF (üre-formaldehit) tutkalının pH değeri 7,5-9,5 MÜF (melamin-üre-formaldehit) tutkalının pH değeri 9,5-10,0 ve PVAc (polivinil asetat) tutkalının pH değeri 2,8 - 3,6 arasındadır. İyi bir bağlanma reaksiyonu sağlanabilmesi için tutkallara uyumlu sertleştirici maddeler eklenmiştir. Bu sayede tutkallar ile odun hammaddesi arasındaki pH değerleri arasındaki farklılıklar giderilerek güçlü bağlanma reaksiyonlarının oluşması sağlanmıştır.

5.1.2. Belirlenen Uçucu Organik Bileşenler (Volatile Organic Compounds-VOC)

Hindistan cevizi ağacı odunlarında yapılan VOCs (Uçucu organik bileşikler) emisyon testi sonucunda uçucu organik bileşik olarak; terpen, terpenoid, aldehit ve asitler belirlenmiştir. Asitler, Hindistan cevizi ağacı odunları içinde en fazla miktarda bulunan uçucu organik bileşiklerdir. Yüksek yoğunluklu odunlarda toplam VOC miktarı $352 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü asit, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü ise terpen, terpenoid, aldehit bileşikleridir. Orta yoğunluklu odunlarda ise toplam VOC miktarı $950 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü asit, $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü ise terpen, terpenoid, aldehit bileşikleridir. Ayrıca yapılan testler sonucunda odun hammaddesinde herhangi bir 2-heptenal bileşiğine rastlanmamıştır. Ohlmeyer'in çalışmasında da belirttiği gibi Hindistan cevizi ağacı odunlarından yayılan uçucu organik bileşik miktarı $500-2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında olduğu ve iç mekanlarda kullanım için uygun olduğu belirlenmiştir. Tablo 25'de Hindistan cevizi ağacı odunlar ile bazı ağaç türlerinin uçucu organik bileşik miktarlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 25. Bazı ağaç türleri ile Hindistan cevizi ağacı odunlarının VOC miktarları (Fruehwald, 2005).

Ağaç türü	VOC miktarı ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Yüksek yoğunlukta Hindistan cevizi ağacı odunları	352
Orta yoğunlukta Hindistan cevizi ağacı odunları	950
Kayın	30
Huş	110
Meşe	210
Çam	3700
Ladin	1400

5.1.3. Kopma Makaslama Direnci Değerleri (Automated Bonding Evaluation System-ABES)

Hindistan cevizi ağacı odunlarının kopma makaslama direncinin belirlenmesinde kıyaslama yapılabilmesi için odun esaslı levha üretiminde sıkça kullanılan kayın odunları ile karşılatılmıştır. ÜF, MÜF ve PVAc tutkalları ile gerçekleştirilen kopma makaslama direnci test sonuçlarının kayın odunlarından elde edilen sonuçlara yakın sonuç verdiği belirlenmiştir. ÜF ve MÜF tutkalları test edilirken, kayın kontrol örnekleri 180. saniyeden sonra Hindistan cevizi ağacı lamellerinden daha fazla kopma direnci değeri sağlamıştır. Yine de bu süreler içinde Hindistan cevizi ağacı lamelleri yeterli düzeyde kopma ve makaslama direnci sağladığı belirlenmiştir.

5.2. Üretilen Levhalara Ait Test Sonuçları

5.2.1. Levhaların Fiziksel Özellikleri

5.2.1.1. Yoğunluk Değeri

1. Levhaların yoğunluğunu etkileyen en önemli faktör orta tabakada kullanılan hammaddenin yoğunluk değerleridir. Orta tabakada düşük yoğunluktaki lameller kullanılırken levhanın yoğunluk değeri $0.576\text{--}0.592\text{ gr}/\text{cm}^3$ arasında değişmektedir. Orta tabakada orta yoğunlukta lameller kullanıldığında ise levha yoğunluk değerinin $0.674\text{--}0.684\text{ gr}/\text{cm}^3$ arasında olduğu belirlenmiştir.

2. Kullanılan tutkal türünün levha yoğunluğuna fazla etkili olmadığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak düşük yoğunluktaki lamellerden üretilen paneller orta tabakada kullanıldığında yoğunluk değeri 0.566-0.598 gr/cm³ arasında değişmekte olup, değerlerin öngörülen yoğunluk değerine (0.580 gr/cm³) yakın olduğu belirlenmiştir. Orta tabakada orta yoğunluktaki lamellerden üretilen paneller kullanıldığında ise yoğunluk değerleri 0.667 – 0.689 gr/cm³ arasında değişmekte olup, değerlerin öngörülen yoğunluk değerine (0.680 gr/cm³) yakın olduğu belirlenmiştir.

5.2.1.2. Rutubet Miktarı

Levhaların rutubet değerlerinin %7.36-8.12 arasında değiştiği gözlenmiştir. Orta tabakada düşük yoğunluktaki lameller kullanıldığında (H-L-H), orta yoğunluktaki lamellere göre (H-M-H) denge rutubet miktarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Literatürde odun özgül ağırlığı ile denge rutubet miktarları arasında ters orantılı bir denge olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar da literatür ile desteklenmekte olup, düşük yoğunluktaki odunların denge rutubet oranları daha yüksek bulunmuştur.

EN 312-1 (1996)'nolu standartta belirtilen değerlere göre levhalarda istenen rutubet miktarı %9 ± 4 arasında olması öngörülmektedir.

5.2.2. Levhaların Mekanik Özellikleri

5.2.2.1. Eğilme Direnci

1. Kullanılan tutkal türü, orta tabaka lamel yoğunluğunun ve lif yönünün eğilme direncini etkilediği belirlenmiştir.

2. Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel olarak alınan deney örneklerinin eğilme direnci değerleri lif yönüne dik yönde alınan örneklere göre çok daha fazladır.

3. MÜF tutkalı ile üretilen levhaların eğilme direnci değerlerinin PVAc ve ÜF tutkalları ile üretilen levhaların eğilme direnci değerlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir.

4. Orta tabakada kullanılan lamel yoğunluğu eğilme direncini etkileyen diğer faktördür. Orta tabakası; orta yoğunluktaki lamellerden üretilen levhaların eğilme direnci

değerleri, düşük yoğunluktaki lamellerden üretilen levhalara göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

5.2.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

1. Kullanılan tutkal türü, orta tabaka lamel yoğunluğu ve lif yönünün elastikiyet modülü değerleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

2. Elastikiyet modülünü en fazla etkileyen faktör lif yönüdür. Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel olarak alınan örneklerinin elastikiyet modülü değeri dik yönde alınanlara göre çok daha fazladır.

3. MÜF tutkalı ile üretilen levhaların elastikiyet modülü değerinin PVAc ve ÜF tutkalları ile üretilen levhalara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4. Orta tabakada kullanılan lamel yoğunluğu elastikiyet modülü değerini etkileyen bir diğer faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Levhaların üretiminde, orta tabakada orta yoğunlukta lamel kullanıldığında elastikiyet modülü değeri düşük yoğunluktaki lamellere göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

6. ÖNERİLER

Günümüzde orman kaynaklarının giderek azalmasına bağlı olarak yeni ürünlerin geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu sayede tropik ağaçlardan odun esaslı levha üretimi de kullanılmaya konu olmuştur.

Fiziksel ve mekanik özellikler odun esaslı levhaların kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. Bunun yanında insan sağlığı açısından da kimyasal özellikler önem arz etmektedir. Bu çalışmada kullanılan Hindistan cevizi ağacı odunları PVAc, MÜF ve ÜF tutkallar ile yeterli direnç özellikleri göstererek levha endüstrisi için yeni bir malzeme olarak levha endüstrisi için yeni bir alternatif olmuştur.

Literatürde iç koşullarda kullanılan odun hammaddesi için en fazla 2 µg/m³ terpen bulunmasına izin verildiği belirtilmiştir. Hindistan cevizi ağacından elde edilen yüksek ve orta yoğunluktaki odunların 3. gün sonunda bu değerlere geldiği gözlenmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi; uçucu organik bileşenlerin miktarları ağaç türü, kesimden sonraki depolama süresi, ortam havasının ıslığı gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan Hindistan cevizi ağaçları da üretim öncesinde uygun alanlarda ve şartlarda depolanarak uçucu organik bileşenlerin miktarlarının azalması sağlanabilir. Çalışmada ne yazık ki üretilen levhaların uçucu organik bileşenlerin miktarları belirlenememiştir. Bunun nedeni Hamburg Üniversitesi Kimya bölümü laboratuvarlarına bağımlı hareket etme zorunluluğudur.

Denemeler sonucunda, MÜF tutkalları ile üretilen levhaların direnç değerleri, PVAc ve ÜF tutkalları ile üretilen levhalara göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Bütün levha grupların fiziksel ve mekanik özellikleri standartların üzerinde sonuçlar verdiği için normal odunlar ile üretilen levhaların kullanıldığı tüm alanlarda kullanımı mümkün görülmektedir.

MÜF tutkalları, ÜF ve PVAc tutkallarına göre dış koşullar için uygun olsa da Hindistan cevizi ağacı odunları mantar ve böcek tahribatına karşı dayanıklı olmadığı için bu odunlardan üretilen levhalar dış koşullar için uygun değildir. İç koşullar için tüm tutkal türleri ile üretilen levhalar grupları uygundur. Ancak tutkal fiyatları arasında farklar olması ve ÜF tutkalının sıcak preslerde kullanılması daha kolay olduğundan, levhaların üretilmesinde bu tutkalların kullanılması önerilmektedir.

Levha dış tabakalarının lif yönüne paralel olarak elde edilmiş levha ürünlerinin eğilme direnci denemelerinde elde edilen eğilme direnci sonuçlarının yüksek olması sayesinde direnç gerektiren kullanım alanları için güven arz etmektedir. Bu tip levhalar inşaat sektöründe çatı malzemesi olarak kullanım alanı bulabilmektedir.

Levha dış tabakalarının lif yönüne dik olarak elde edilmiş levha ürünlerinin eğilme dirençleri paralel olarak üretilen levhalarda olduğu kadar yüksek değildir. Bu tip levhalar genellikle direnç gerektirmeyen alanlarda kullanım için uygundur

7. KAYNAKLAR

- Akça, C., 2003. Masif Ashap Panel Sektörüne Genel Bakış ve Masif Ahşap Paneller, Laminart Dergisi, İstanbul, 27, 92 – 95.
- Anonim, 1965. FAO, Plywood and Other Wood–Based Panels, Cilt: I,II, III, IV, V, Roma.
- Anonim, 1989. UNIDO, Furniture and Joinery for Developing Countries, United Nations Industrial Development Organization, UNIDO Publications, Sales No: E.88.III.E.7, Vienna.
- Anonim, 1992. TAPPI t m-44, TAPPI Test Methods 1992-1993, Atlanta, Georgia, USA.
- Anonim, 1998. APA, Structural Adhesives for Plywood-Lumber Assemblies Technical Note, Number Y391 C.
- Anonim, 2005. Wood Based Panel Industry-WPIF Industry Statement Volatile Organic Compound (VOC) Emissions from Wood Based Panels.
- Anonim, 2010. Forest Products Laboratory, Wood Handbook, Yayın no: 2009, USA.
- Anonim, 2011. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ormancılık İstatistikleri, Yayın No: 2009, Ankara.
- ASTM D7247- 071, 2006. Standard Test Method for Evaluating the Shear Strength of Adhesive Bonds in Laminated Wood Products at Elevated Temperatures.
- Aydın, İ., 2004. Çeşitli Ağaç Türlerinden Elde Edilen Kaplamaların Islanabilme Yeteneği ve Yapışma Direnci Üzerine Bazı Üretim Şartlarının Etkileri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Baldwin, R.F., 1995. Plywood and Veneer-Based Products: Manufacturing Practices, Miller Freeman Books, San Francisco, California USA.
- Blomquist, R.F., 1983. Adhesives-An Overview, Adhesive Bonding of Wood and Other Structural Materials, Pennsylvania State University, University Park, P.A., USA.
- Bozkurt, A.Y. ve Göker, Y., 1986. Tabakalı Ağaç Malzeme Teknolojisi, İ.Ü. Yayın No:3401, Orman Fak.Yayın No:378, İstanbul.
- Bozkurt, Y. ve Göker, Y., 1990. Yongalevha Endüstrisi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 3614/413, İstanbul.
- Burdurlu, E., 1994. Ahşap Kökenli Kaplama ve Levha Üretim – Kullanım Teknolojisi, Bizim Büro Basımevi, Ankara, 1-64, 165-179.

- Carpenter, M.W., 1999. Characterizing the Chemistry of Yellow-Poplar Surfaces Exposed to Different Surface Energy Environments, Using DCA, DCS and XPS, Master Thesis, West Virginia University, Collage of Agriculture, Forestry and Consumer Sciences, Department of Wood Science, Morgantown, West Virginia.
- Çokaygil, Z. ve Banar, M., 2008. Yaşam Döngüsü Analizi ve Standartlar Açısından Bir Değerlendirme, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- Çolak, S., 2004. Odun Rutubeti Yapışma Direncini Nasıl Etkiler?, Ahsap Dergisi, İstanbul, 18, 42 – 48.
- Çolakoğlu G., 2005. K.T.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mobilya Dekorasyon Dergisi Sayı:67.
- Çolakoğlu, G., 2001. Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Kitabı. K.T.Ü. Orman Fakültesi Ders Notları, Trabzon.
- Çolakoğlu, G., Aydın, İ., Nemli, G.ve Çolak, S., 2002. Ahşap Sanayinde Melamin Formaldehit (MF) ve Melamin/Üre Formaldehit (MÜF) Yapıştırıcılarının Kullanımı, Mobilya Dekorasyon, 47, 130-138.
- Dillik, T., 2006. Masif Panel Pazarı ve Üretim Teknolojisindeki Yenilikler, İstanbul Üniversitesi Yayınları, 69, 292-304.
- Dunky, M., 1998. Urea- Formaldehyde (UF) Adhesive Resin for Wood, International Journal of Adhesion and Adhesives, 18, 95-107.
- Eckelman, C. A., 1999. Brief Survey of Wood Adhesives, Forestry and Natural Resources. 154, Purdue University, Cooperative Extension Service West Lafayette, USA.
- EN-310, 1993. Wood Based Panels- Determination of Modulus Elasticity Bending and Bending Strength, European Co mmittee for Standardization, Brussels, Belgium.
- EN-322, 1993. Wood-Based Panels- Determination of Moisture Content, European Co mmittee for Standardization, Brussels, Belgium.
- EN-323, 1993. Wood-Based Panels- Determination of Density, European Co mmittee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Fruehwald, A., 2005. Life Cycle Assessment,International Wood Academy Journal,Wood Based Panels, 67, 224-228.
- Gillespie, R.H., Countryman, D. and Blomquist, R.F., 1978. Adhesives in Building Construction, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No: 516.
- Göker Y., 2000. Değişik Yöntemlerle Üretilmiş Yonga Levhaların Kullanım Yerleri, Laminart Dergisi, 12, 62-80.
- Göker, Y. ve Bozkurt, A.Y., 1996. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, Yayın No: 3944, 374.
- Göker, Y., 2000. Kontrplaklar, Laminart Dergisi, 17, 102-108.

- green, D.W., Winandy, J.E. and Kretschmann, D.E., 1999. Mechanical Properties of Wood, Wood Handbook- Wood as An Engineering Material, Forest Products Society, 41-45.
- Güler, C., 2001. Pamuk Saplarından Yonga Levha Üretimi Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Güller B., 2001. Odun Kompozitleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2, 135-160.
- Hague,J., Mann, R., Reilly, M., Ryan, G., ve Young, S., 2009. A review of the potential impact of VOC emissions on the future market share for engineered wood products, Forest & Wood Products, Australia.
- Hay green J.G., ve Bowyer J.L., 1996. Forest Products and Wood Science, Third Edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Humphrey P.E., 1993. A Device to Test Adhesive Bonds, The State of Oregon Acting By and Through The Oregon State Board of Higher Education on Behalf of Oregon Stante University, Eugne, Oreg., USA.
- ISO 818- (E), 1975. Fiber Building Boards, International Standard, USA.
- Jang, E.G.Y., 1997. Adhesive Properties of Soy Protein as Wood Adhesive, Ph.D. Thesis, Texas A&M University, Texas.
- Kahveci, M., 2003. Masif Panel Üretimi ve Özellikleri, Ahşap Teknik Dergisi, İstanbul, 33, 76 – 87.
- Kalaycıoğlu H., 1991. Sahil Çamı (Pinus pinaster Ail) Odunlarının Yongalevha Üretiminde Kullanılması İmkanları, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 163.
- Kalaycıoğlu H., 2009. Yongalevha Endüstrisi Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi, Trabzon, 17-24.
- Kılıç, M., 2004. Kayın ve Kavak'tan Üretilen Kompozit Lamine Yapı Malzemesinin Performans Özelliklerinin Saptanması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 178.
- Killmann W., ve Fink D., 1996. Coconut Palm Stem Processing, Technical Handbook, Dept. Furniture and Wooden Products, Germany.
- Mallick, P. K., 1997. Composites Engineering Handbook, Marcel Dekker, CRC Press, New York USA.
- Maloney, T.M., 1986. Terminology and Products Definitions A Suggested Approach to Uniformity Worldwide, 18th International Union of Forest Research Organization World Con gress, September, Ljubljana, Yugoslavia.
- Maloney, T.M., 1996. The Family of Wood Composite Materials, Forest Products Journal, 46, 19-26.

- Marra, A.A., 1983. Application of Wood Bonding, Adhesive Bonding, of Wood and Other Structural Material, Pennsylvania State University, University Park, P.A., Ch. 9.
- Moslemi A., 1990. Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials, II. International Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Material Conference, Idaho USA.
- Özen, R., 1980. Yongalevha Endüstrisi Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi Ders Notları Yayın No: 30, Trabzon.
- Pizzi, A. and Mittal, K.L., 1994. Handbook of Adhesive Technology, Chapter 13, Marcel Dekker, Inc.
- Pizzi, A., 1992. Brief Nonmathematical Review of Adhesion Theories as Regards Their Applicability to Wood, Holzforschung und Holzverwertung, 6-10.
- Qiao, L. and Wastel. A.J., 2001. Aspects of The Performance of PVAc Adhesives in Wood Joints, Pigment and Resin Technology, 30, 79-87
- Şahin, H.T., 2005. Ahşap Malzemelerin Birleştirilmesinde Tutkal Kullanımı, Laminart Dergisi, İstanbul, 37, 128 – 131.
- Schmidt, R.G., 1998. Aspects of Wood Adhesion: Applications of ¹³C CP/MAS NMR and Fracture Testing, Ph.D. Thesis, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- Scoville, C.R., 2001. Characterizing the Durability of PF and pMDI Adhesive Wood Composites Through Fracture Testing, MSc. Thesis, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Department of Wood Science and Forest Products, Blacksburg, Virginia.
- Sellers, T., McSween, J.R. and Nearn, W., 1998. Gluing of Eastern Hardwoods: A Review, USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, General Technical Report, SO-71, New Orleans, Louisiana.
- Subramanian, R.V., 1984. Chemistry of Adhesion, the Chemistry of Solid Wood, Chapter 9, and ACS Advances in Chemistry Series 207, R. Rowel, ed. American Chemical Society, Washington, D.C.
- T.S.E., 1971. Kontrplaklar, TS EN 46, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1980., Odun Lifi ve Yongalevhalar (Terimler ve Tarifler), TS EN 2129, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 1983. Yapıştırılmış Lamine Ahşap Yapı Elemanları, TS EN 3842, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 2003. Masif Ahşap Levhalar – Sınıflandırma ve Terminoloji, TS EN 12275, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- T.S.E., 2006. EN 717-1 Ahşap Esaslı Levhalar-Formaldehit Salınım Tayini-Bölüm 1: Oda Metodu ile Formaldehit Yayılması, TS EN 717-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- T.S.E., 2008. Ahşap Esaslı Levhalar- Numune Alma Kesme ve Muayene Bölüm 1:Deney Numunelerinin Seçimi, Kesimi ve Deney Sonuçlarının Gösterilmesi, TS EN 13353, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tomita, B. and Hse, C.Y., 1998. Phenol-Urea-Formaldehyde (PUF) Co-Condensed Wood Adhesives, International Journal of Adhesion and Adhesives, 18, 69-79.
- Tout, R., 2000. A Review of Adhesives for Furniture, International Journal of Adhesion and Adhesives, 20, 269-272.
- Ulupınar, M., 1998. Lamine edilmiş Melez Kavak (*Populus euramericana*)'ın Teknolojik Özelliklerinin Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- URL-1 Endüstriyel Odun Ürün Cinsleri İtibariyle Üretim Durumu, <http://web.ogm.gov.tr/birimler/merkez/isletmepazarlama/Sayfalar/End%C3%BCstriyel.aspx> 11 Haziran 2011.
- URL-2 www.lesliestructuralsales.com 20.01.2012.
- Usta, M., 2000. Liflevha Üretim Teknolojisi Ders Notları, K.T.Ü. Orman Fakültesi Ders Notları Yayın No: 200, Trabzon.
- Wallace, P.D., 1983. Urea- Formaldehyde Resin, Presented at: Technical Association of Pulp& Paper Industry (TAPPI), Nonwoven Binders Chemistry and Use, Borden Adhesives and Resin Packaging and Industrial Products Division.
- Wilson, J.B., 1981. Isocyanate Adhesives as Binders for Composition Boards, Adhesive Age, 1-4.
- Youngquist, J.A., 1999. Wood Based Composites and Panel Products, In: Wood Handbook- Wood as An Engineering Material, Chapter 10, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Kastamonu'nun İnebolu ilçesinde doğdu. 2005 yılında Mustafakemalpaşa Lisesi'nde eğitimini tamamladıktan sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2009 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2009-2010 eğitim-öğretim yılının ilk döneminde KTÜ Yabancı Diller Yüksek Okulu'nda İngilizce hazırlık okudu. Eylül 2010 ve Temmuz 2011 tarihleri arasında Sokrates-Erasmus programıyla Almanya/Hamburg Üniversitesi, Orman Ürünleri Araştırma Merkezi Kampüsü'ne Erasmus öğrencisi olarak gönderildi. İyi derecede İngilizce ve orta derecede Almanca bilmektedir.