



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİŞASTA KATKI MADDESİNİN MDF ÜRETİMİNDE KULLANIM
İMKÂNLARININ ARAŞTIRILMASI**

ALİ KEMAL YÜKSEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. CENGİZ GÜLER**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NİŞASTA KATKI MADDESİNİN MDF ÜRETİMİNDE KULLANIM
İMKÂNLARININ ARAŞTIRILMASI

Ali Kemal YÜKSEK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Cengiz GÜLER

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Cengiz GÜLER

Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ayhan TOZLUOĞLU

Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ayhan GENÇER

Bartın Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 16/01/2017

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

16 Ocak 2017

(İmza)

Ali Kemal Yüksek



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Cengiz GÜLER'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim ŞAHİN'e de şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2017

Ali Kemal YÜKSEK



İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	X
KISALTMALAR.....	XII
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1.1 MDF ÜRETİMİNİN TARİHİ GELİŞİMİ	3
1.2 MDF’NİN YONGALEVHA İLE KARŞILAŞTIRILMASI	9
1.2.1 Orta Yoğunlukta Lif Levhanın Özellikleri.....	9
1.2.2 Kuru ve Yaş Yöntemlerle Liflevha Üretiminin Karşılaştırılması	9
1.3 MDF SINIFLANDIRMASI	11
1.3.1 İnce MDF	11
1.3.2 Kalın MDF.....	11
1.3.3 Rutubete Dayanıklı MDF	12
1.3.4 Açık Havada Kullanılan MDF.....	12
1.3.5 Yangına Dayanıklı MDF	12
1.4 MDF ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER.....	12
1.4.1 Odun veya Diğer Ligno-Selülozik Lifli Maddeler	12
1.4.2 MDF Üretiminde Kullanılan Yapıştırıcı Maddeler	14
1.4.2.1 Organik Yapıştırıcılar.....	14
1.4.2.2 Sentetik Yapıştırıcılar	14
1.4.2.2.1 Üre Formaldehit Tutkalı (ÜF).....	15
1.4.2.2.2 Fenol Formaldehit Tutkalı (FF)	21
1.4.2.2.3 Melamin Formaldehit Tutkalı (MF)	24
1.4.2.2.4 Melamin Üre Formaldehit Tutkalı (MÜF)	25
1.4.2.2.5 Resorsin Formaldehit Tutkalı.....	27
1.4.2.2.6 İzosiyanat Tutkalı (İS).....	28
1.4.2.2.7 Termoplastik Tutkallar	29

1.4.2.3 Doğal Yapıştırıcılar.....	29
1.4.2.3.1 Bitkisel Yapıştırıcılar.....	29
1.4.2.3.1.1 Tanen Tutkalı.....	29
1.4.2.3.1.2 Lignin Tutkalı	30
1.4.2.3.1.3 Soya Tutkalı	30
1.4.2.3.2 Hayvansal Tutkallar	30
1.4.2.3.2.1 Kazein Tutkalı.....	31
1.4.2.3.2.2 Kan Albümini Tutkalı.....	31
1.4.2.4 Anorganik Yapıştırıcılar.....	31
1.4.3 Katkı Maddeleri.....	32
1.4.4 Sertleştirici Maddeler	32
1.4.5 Hidrofobik Maddeler.....	33
1.4.6 Diğer Katkı Madde Nişasta (Starch).....	34
1.5 LİF LEVHA ÜRETİM TEKNOLOJİSİ.....	38
1.5.1 Hammadde Odununun Depolanması	38
1.5.2 Kabuk Soyma (Debarkink).....	39
1.5.3 Yongalama (Chipping)	41
1.5.4 Yongaların Depolanması (Storing).....	41
1.5.5 Yongaların Elenmesi (Screening).....	42
1.5.6 Yongaların Yıkınması.....	42
1.5.7 Liflendirme Ünitesi (Defibratör-Pulping)	43
1.5.7.1 Pişirme Kazanı Silosu.....	43
1.5.7.2 Pişirme Kazanı	43
1.5.7.3 Rafinör	43
1.5.7.4 Lif Boyutları.....	44
1.5.8 Liflerin Tutkallanması (Glueing).....	45
1.5.9 Liflerin Kurutulması (Drying).....	45
1.5.10 Lif Bunkeri ve Serme İstasyonu (Fiber Bin end Matforming)	45
1.5.11 Presleme.....	46
1.5.11.1 Ön Presleme (Precom Pressing)	46
1.5.11.2 Sıcak Presleme (Hot Pressing)	46
1.5.12 Liflerin Klimatize Edilmesi.....	47
1.5.13 Zımparalama, Boyutlandırma ve Depolama.....	48

1.6 FORMALDEHİT EMİSYONU VE OLUŞUMU.....	49
1.6.1 Formaldehit Emisyonuna Etki Eden Faktörler	51
1.6.2 Formaldehit Emisyonu Belirleme Yöntemleri	52
1.6.2.1 Gaz Analiz Yöntemi	53
1.6.2.2 Kabin Yöntemi	53
1.6.2.3 Deney Odası Yöntemi	54
1.6.2.4 WKI-Şişe Yöntemi	54
1.6.2.5 Desikatör Yöntemi	54
1.6.2.6 Perforatör Yöntemi	55
1.6.2.7 Chamber Yöntemi	55
1.6.2.8 Flask Yöntemi	55
1.6.3 Formaldehitin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri ve Günümüzde Formaldehit Sınırlamaları	56
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	58
2.1 MATERYAL	58
2.1.1 Odun.....	58
2.1.2 Tutkal.....	58
2.1.3 Nişasta (Starch)	59
2.1.4 Parafin.....	59
2.2 METOD	59
2.2.1 Fiziksel Özellikler	59
2.2.1.1 Özgül Kütle	59
2.2.1.2 Rutubet Miktarı.....	60
2.2.1.3 Su Alma Miktarı.....	61
2.2.1.4 Kalınlık Artışı	61
2.2.2 Mekanik Özellikler	62
2.2.2.1 Eğilme Direnci.....	62
2.2.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	64
2.2.2.3 Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci	65
2.2.2.4 Yüzey Sağlamlığı.....	66
2.2.3. Formaldehit Emisyonu	67

3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	70
3.1 FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	70
3.1.1 Yoğunluk	70
3.1.2 Rutubet Değeri	72
3.1.3 Kalınlık Artışı.....	74
3.1.4 Su Alma.....	77
3.1.5 Yüzey Ağırlık.....	81
3.2 MEKANİK ÖZELLİKLER.....	83
3.2.1 Eğilme Direnci.....	83
3.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	85
3.2.3 Yüzeye Dik Çekme.....	87
3.3 FORMALDEHİT EMİSYONU.....	89
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
5. KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	99

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Avrupa’da levha ürünleriendüstrisindeki alt sektörlerin üretimdeki payları (Unece/Fao,2014).	1
Şekil 1.2. Dünyadaki MDF üretim kapasiteleri (1000 m ³).	4
Şekil 1.3. 2009-2013 yıllarına ait dünya ahşap esaslı levhaların toplam üretim miktarları.	6
Şekil 1.4. Dünya’da 2009-2013 yıllarına aite ahşap esaslı levhaların üretim miktarı.	7
Şekil 1.5. Üre ile formaldehitin reaksiyonu sonucu mono metilol üre ve dimetilol üre oluşumu - üre ile formaldehitin kondenzasyonu.	18
Şekil 1.6. Üre formaldehit reçinesi.	19
Şekil 1.7. Fenol formaldehit reçinesi.	22
Şekil 1.8. Melamin formaldehit reçinesi.	25
Şekil 1.9. MÜF tutkalı üretiminde II.aşama=Kondensasyon.	26
Şekil 1.10. Melamin üre formaldehit reçinesi.	26
Şekil 1.11. Melamin üre formaldehit reçinesi polimerizasyonu.	27
Şekil 1.12. Yüksek fruktozlu mısır şurubu üretimi.	37
Şekil 1.13. MDF üretim akış şeması.	38
Şekil 1.14. Yongalardaki kabuk oranının eğilme direnci üzerine etkisi.	40
Şekil 1.15. Yonga deposu.	41
Şekil 1.16. Elek ünitesi.	42
Şekil 1.17. Diskli rafinör.	44
Şekil 1.18. Pres ünitesi.	47
Şekil 1.19. Yıldız soğutucu.	48
Şekil 1.20. Avrupa, Avustralya, Amerika ve Japonya’daki odun esaslı paneller için formaldehit emisyon standartları.	57
Şekil 2.1. Yoğunluk hesaplanmasında deney parçasının kenar uzunluklarının ölçme noktaları.	60
Şekil 2.2. Su alma ve kalınlık artımı testi için parçaların suda bekletilmesi.	62
Şekil 2.3. Eğilme direnci testinin yapılışı.	63
Şekil 2.4. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği.	64
Şekil 2.5. Yük-Sehim diyagramı içerisindeki deformasyon sınırı.	65
Şekil 2.6. Levha yüzeyine dik çekme dayanımı tayini için deney makinası düzeneği.	66
Şekil 2.7. Perferatör metodu deney düzeneği ve deney örnek boyutları.	68
Şekil 3.1. Deneme levhalarına ait yoğunluk grafiği.	71
Şekil 3.2. Deneme levhalarına ait rutubet değeri grafiği.	73
Şekil 3.3. Deneme levhalarına ait 2 saatteki kalınlık artış değeri grafiği.	75
Şekil 3.4. Deneme levhalarına ait 24 saatteki kalınlık artış değeri grafiği.	77
Şekil 3.5. Deneme levhalarına ait 2 saatteki su alma değeri grafiği.	79
Şekil 3.6. Deneme levhalarına ait 24 saatteki su alma değeri grafiği.	81
Şekil 3.7. Deneme levhalarına ait yüzey ağırlık değeri grafiği.	83
Şekil 3.8. Deneme levhalarına ait eğilme direnci değeri grafiği.	84
Şekil 3.9. Deneme levhalarına ait elastikiyet modülü değeri grafiği.	87
Şekil 3.10. Deneme levhalarına ait yüzeye dik çekme değeri grafiği.	89

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Türkiye levha sanayi sektörünün tesis sayısı ve tahmini üretim miktarı.....	4
Çizelge 1.2. Ağaç bazlı levha üreten ülkeler Avrupa sıralaması.....	5
Çizelge 1.3. Ağaç bazlı levha üreten ülkeler Dünya sıralaması.....	5
Çizelge 1.4. Standart MDF'lerin teknolojik özellikleri ve üretiminde kullanılan hammadde oranları.....	11
Çizelge 1.5. Nişastanın genel özellikleri.....	34
Çizelge 2.1. Üre formaldehit tutkalına ait teknik özellikler.....	58
Çizelge 2.2. Levha üretim planı.....	59
Çizelge 2.3. Perforatör metodu deney düzeneğinde kullanılan malzemeler.....	69
Çizelge 3.1. Deneme levhaların herbirine ait ortalama yoğunluk değerleri.....	70
Çizelge 3.2. Deneme levhaların yoğunluk değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.....	70
Çizelge 3.3. Özgül ağırlık duncan test sonuçları.....	71
Çizelge 3.4. Deneme levhaların herbirine ait ortalama rutubet değerleri.....	72
Çizelge 3.5. Deneme levhaların rutubet değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.....	72
Çizelge 3.6. Rutubet duncan test sonuçları.....	73
Çizelge 3.7. Deneme levhaların herbirine ait ortalama 2 saatteki kalınlık artış değerleri.....	74
Çizelge 3.8. Deneme levhaların 2 saatteki kalınlık artış değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.....	74
Çizelge 3.9. 2 saatteki kalınlık artışı duncan test sonuçları.....	75
Çizelge 3.10. Deneme levhaların herbirine ait ortalama 24 saatteki kalınlık artım değerleri.....	76
Çizelge 3.11. Deneme levhaların 24 saatteki kalınlık artış değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.....	76
Çizelge 3.12. 24 saatteki kalınlık artışı duncan test sonuçları.....	76
Çizelge 3.13. Deneme levhaların herbirine ait ortalama 2 saatteki su alma değerleri.....	78
Çizelge 3.14. Deneme levhaların 2 saatteki su alma değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.....	78
Çizelge 3.15. 2 saatteki su alma duncan test sonuçları.....	78
Çizelge 3.16. Deneme levhaların herbirine ait ortalama 24 saatteki su alma değerleri.....	79
Çizelge 3.17. Deneme levhaların 24 saatteki su alma değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.....	80
Çizelge 3.18. 24 saatteki su alma duncan test sonuçları.....	80
Çizelge 3.19. Deneme levhaların herbirine ait ortalama yüzey ağırlığı değerleri.....	81
Çizelge 3.20. Deneme levhaların yüzey ağırlığı artış değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.....	82
Çizelge 3.21. Yüzey ağırlığı duncan test sonuçları.....	82
Çizelge 3.22. Deneme levhaların herbirine ait ortalama eğilme direnci değerleri.....	83

Çizelge 3.23. Deneme levhaların eğilme dirençi değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.	84
Çizelge 3.24. Eğilme direnci duncan test sonuçları.	84
Çizelge 3.25. Deneme levhaların herbirine ait ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri.	85
Çizelge 3.26. Deneme levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.	86
Çizelge 3.27. Elastikiyet modülü duncan test sonuçları.	86
Çizelge 3.28. Deneme levhaların herbirine ait ortalama yüzeye dik çekme değerleri.	87
Çizelge 3.29. Deneme levhaların yüzeye dik çekme değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.	88
Çizelge 3.30. Yüzeye dik çekme duncan test sonuçları.	88
Çizelge 3.31. Formaldehit emisyonu değerleri.	90



KISALTMALAR

FF	Fenol formaldehit
HDF	Yüksek yoğunlukta lif levha
IARC	Dünya sağlık organizasyonu bölümü
İS	İzosiyanat
MDF	Orta yoğunlukta lif levha
MÜF	Melamin üre formaldehit
OSB	Yönlendirilmiş yonga levha
PB	Yonga levha
PMDI	Polimerik metilen diizosiyanat
PVAC	Polivinil asetat tutkal
PW	Kontraplak
S	Standart sapma
S.D.	Serbestlik derecesi
S.E.	Standart hata
ÜF	Üre formaldehit
V	Varyasyon katsayısı
WHO	Dünya sağlık örgütü
X	Aritmetik ortalama
YFMŞ	Yüksek fruktozlu mısır şurubu

ÖZET

NIŞASTA KATKI MADDESİNİN MDF ÜRETİMİNDE KULLANIM İMKÂNLARININ ARAŞTIRILMASI

Ali Kemal YÜKSEK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Cengiz GÜLER

Ocak 2017, 99 sayfa

Son yıllarda odun bazı panellerin geniş kullanım alanları sayesinde, uygulama alanları giderek artmaktadır. Ancak kullanım alanlarındaki rutubet şartları, sıvıya ve su buharına karşı olan hassasiyetleri kullanım yerlerini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle MDF kompozit malzemelerin üretiminde çeşitli katkı maddelerinin ilavesi ile bazı teknolojik özelliklerinin iyileştirilmesi ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi piyasanın istek ve hedeflerine ışık tutmak AR-GE çalışmalarının en önemli amaçlarından biridir. Starch'in kullanılması ile üretilen kompozit MDF levhalarda su alma, kalınlık artışı, yüzeye dik çekme mukavemeti ile formaldehit emisyon miktarlarının tespit edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada; katkı maddesi olarak nişasta içerikli ve ticari adıyla bilinen Glucidex (starch)' ın sırasıyla ÜF tutkal katı maddesine oranla % 0, % 3, % 5, % 8, % 11 ve % 15 katılarak üretilen orta yoğunluktaki MDF levhaların bazı teknolojik özellikleri, boyutsal stabilite ile formaldehit emisyonu özellikleri incelenmiş olup kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen testler sonucunda; Glucidex kullanılarak üretilen levhaların boyutsal stabilite sağladığını söylemek mümkün değildir. Nişasta kullanım oranı arttıkça mekanik özelliklerde bir azalma meydana gelirken formaldehit emisyonu azalma eğilimi göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Fiziksel ve mekanik özellikler, Formaldehit emisyonu, Lif levha, Nişasta.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF STARCH ADDITIVES IN MDF MANUFACTURING POSSIBILITIES

Ali Kemal YÜKSEK

Düzce University

Institute of Science and Technology, Department of Composite Materials Technology

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Cengiz GÜLER

January 2017, 99 pages

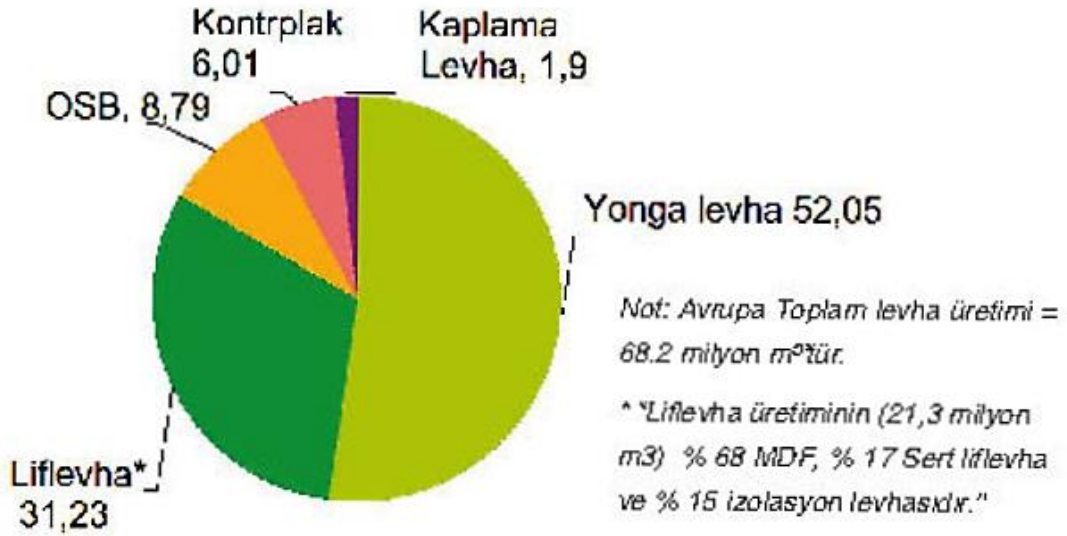
In recent years wood based panels have found widely use area and because of this demand increased day by day. But placea of use moisture condition, liquid and vapor sensitivity effects using areas. Due to the fact that R&D researchs trying to enlight fiberboard composite materials production proces and add different additive improve some technological properties, find new way to development for market requirments. In this case changing of fiberboards properties with using Starch and examine boards exchanging water, increasing thickness, surface vertical tensile strenght and formaldehyde emission amount detection. In this study use as a additive Starch as known as commercial name Glucidex, adding ratio of UF glue sequentially 0%, 3%, 5%, 8%, 11% and 15% produced Medium Density Fiberboard's (MDF) different tecnological properties, dimentional stability and formaldehyde emission properties analysed and compare to control specimens. Achieving datas, using Glucidex produced boards dimentional stabilities are not changed. Increasing Starch use decrease mechanical properties and formaldehyde emission.

Keywords: Fiberboard, Formaldehyde emission, Physical and mechanical properties, Starch.

1. GİRİŞ

Kompozit levha üretimine olan ihtiyaç, dünya nüfusunun artmasına paralel olarak, her geçen gün artmaktadır. Orman ürünleri sektöründe ikinci en büyük endüstriyel ürün MDF olarak yer almaktadır.

2013 yılı itibariyle Avrupa’da odun kökenli levha ürünleri üretimi, toplam 68,2 milyon m³ olarak gerçekleşmiş olup bunların toplam levha üretimindeki oranları ise Şekil 1.1’de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere 35,5 milyon m³ (%52) yongalevha, Avrupa’da odun kökenli levha ürünleri sektörü içerisinde en büyük paya sahip olup, bunu 21,3 milyon m³ (%31,23) ile liflevha takip etmektedir [1].



Şekil 1.1. Avrupa’da levha ürünleriendüstrisindeki alt sektörlerin üretimdeki payları (Unece/Fao,2014).

MDF (Medium density fiberboard, orta yoğunluktaki lif levha) odun veya diğer lignoselülozik hammaddelerden termomekanik yöntemler sonucu elde edilen liflerin, belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulduktan sonra sentetik yapıştırıcı ilavesiyle oluşturulan levha taslağının sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle elde edilen bir ürün olarak tanımlanmaktadır.

Liflevhaların ana hammaddesini odun veya diğer ligno-selülozik maddeler ile tutkal oluşturmaktadır. Levha üretiminde kullanılan odunun türü, kullanılan tutkal miktarı ve türü, değişik amaçlar için kullanılan kimyasal maddeler üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerini oldukça etkilemektedir [2].

MDF üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan üre formaldehit, melamin üre formaldehit tutkalı gibi kimyasalların kullanılması canlıların sağlığına zararlı etkileri göstermesi büyük bir sağlık sorunu meydana getirmektedir. Bunun sebebi bu tutkalların üretiminde kullanılan formaldehitin zamanla kanserojen etki göstermesidir. Özellikle kapalı ortamda, açığa çıkan serbest haldeki formaldehit miktarını sınırlandırmak için standartlar getirilmiştir.

MDF sektöründe kullanılan üre formaldehit tutkalı üretiminde formaldehitin ve ürenin reaksiyona girmesi belirli koşullarda gerçekleşir. Mol oranına bağlı olarak reaksiyona girmeyen formaldehit serbest halde kalmaktadır. MDF üretimi sırasında pres aşamasında oluşan ikinci bir kondenzasyon reaksiyonu sırasında bağ oluşumu nedeniyle de bir miktar formaldehit serbest kalmaktadır. Bu iki nedenle üretilen MDF'lerde yapısında serbest halde bir miktar formaldehit kalmaktadır. MDF'lerde çıkan serbest formaldehit miktarı için insan ve canlı sağlığına etkisini en az olması için Avrupa Birliği ülkeleri serbest formaldehit miktarının sınırlandırılmasını öngörmüşlerdir. Bu miktar 2-8mg formaldehit/100gr levha olarak kabul etmişlerdir. Hatta, E0 olarak kabul edilen 2mg formaldehit/100gr levha üretmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Odun esaslı levha ürünlerinde formaldehit emisyonunu sınırlandırmak için E1 standardı geliştirilmiştir. 10 yıl öncesine kadar üre/formaldehit mol oranı 1/2 olan tutkallar kullanılmaktaydı. Günümüzde ise MDF ve yonga levha üretiminde ortalama formaldehit emisyonu düşük (1:1.1) üre formaldehit tutkalları tercih edilmektedir [3].

Levha üretimini E1 özelliğinde olması için bazı kimyasallar hatta formaldehit tutucular tutkala karıştırılıp, mol oranları değiştirilerek tutkal üretilmesi yoluna gidilmiştir.

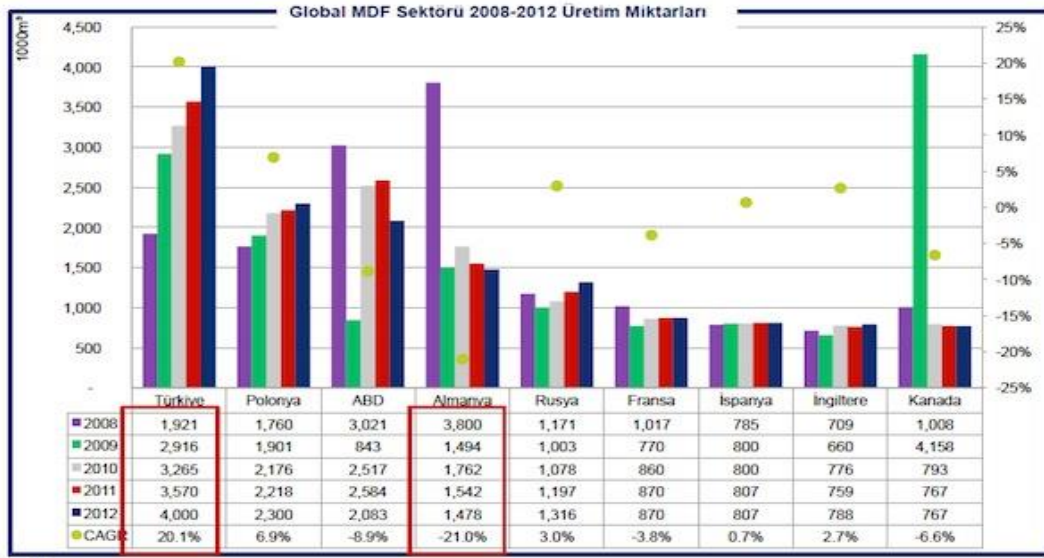
Abbott ve ark. (2012)'de yaptıkları bir çalışmada üre formaldehit yerine termoplastik nişasta kullanarak ürettikleri MDF levhaların mekanik özelliklerinin kabul edilebilir seviyede ve çevre dostu bir ürün olduğunu ifade etmektedirler [4]. Kowaluk ve ark. (2013)'de yaptıkları bir çalışmada ise termoplastik nişasta kullanarak üretilmiş MDF panellerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve kalınlık artımı gibi özellikleri incelenmiş ve üre formaldehit ile üretilen levhalara göre %10 direnç özelliklerini düşük olduğu, kalınlık artımının ise %90 daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir [5]. Jarusombuti ve ark. (2012) yaptıkları bir çalışmada %3 ve %10 oranında nişasta kullanarak üretilmiş levhaların teknolojik özelliklerini incelemişler ve sonuçta nişasta

kullanılmış levhalarda formaldehit emisyonu daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir [6]. Ulbrich ve ark. (2012)'da patates nişastasını selüloz liflerinde kağıt hamuru üretiminde kullanarak kağıdın katyonik özelliklerine etkisini incelemişlerdir [7]. Yine Müller ve ark. (2014)'de termoplastik nişastanın ahşap kompozit malzeme üretiminde kullanıldığına dair araştırmalar yapılmıştır [8].

Bu çalışmada; katkı maddesi olarak nişasta içerikli ve ticari adıyla bilinen Glucidex (starch)' ın ÜF tutkal katı maddesine oranla sırasıyla % 0, % 3, % 5, % 8, % 11 ve % 15 katılarak üretilen orta yoğunluktaki MDF levhaların bazı teknolojik özellikleri, boyutsal stabilite ile formaldehit emisyonu özellikleri incelenmiş ve kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır.

1.1 MDF ÜRETİMİNİN TARİHİ GELİŞİMİ

MDF, odun veya ligno-selülozik kökenli levha ürünleri (yongalevha, kontrplak, kontratabla, lamine levha) içerisinde geliştirilen levha ürünü olup, 1960'lı yılların ikinci yarısından itibaren başta Amerika olmak üzere Avrupa'da Almanya, İngiltere, Fransa gibi ülkelerde de büyüyerek üretilmektedir. Dünya'da ilk MDF fabrikası 1965 yılında Net York Deposit'te kurulmuştur. Daha sonra 1966 yılında Net York'ta Allied Chimal Corporation firması takip etmiştir. 1973 yılından itibaren çeşitli Avrupa ülkelerinde MDF üretilmeye başlamıştır [9]. Özellikle, 1980'li yıllardan itibaren Dünya'da MDF üretimi hızlı bir şekilde artış göstererek yıllık artış oranı yonga levhayı geride bırakmıştır. Lif levhalar 1973 yılından itibaren Avrupa ülkelerinde üretilmeye başlamıştır. Ülkemizde ilk lif levha fabrikası Çamsan Ağaç sanayii tarafından 1985 yılında Ordu'da kurulmuştur. 1990'lı yıllarda Türkiye de ve diğer ülkelerde lif levha fabrika sayıları ve üretim hızı da artış göstermiştir. MDF'nin hızla yükselmesinin en önemli nedenleri; hammadde isteğinin yonga levhadan daha geniş yelpazade olması, masif ağaç gibi işlenebilmesinden dolayı başta mobilya endüstrisi olmak üzere birçok kullanım alanında yonga levha ve kontrplak yerine fazla tercih edilmesi, fiziksel özelliklerinin iyi ve mekanik direnç değerlerinin yüksek olmasıdır [10]. Dünyada 2008-2012 yılları arasında MDF üretimi yapan ülkelerin üretim kapasiteleri Şekil 1.2'de verilmiştir [11].



Şekil 1.2. Dünyadaki MDF üretim kapasiteleri (1000 m³).

Ülkemizde lif levha sektöründe toplam 11 adet özel fabrikada 16 tesis ile faaliyet göstermektedir. Türkiye’de faaliyette bulunan levha sanayi fabrikalarının üretim kapasiteleri Çizelge.1.1’de gösterilmiştir [12].

Çizelge 1.1. Türkiye levha sanayi sektörünün tesis sayısı ve tahmini üretim miktarı.

	Tesis Sayısı	Şirket Sayısı	Türkiye Üretim Kapasitesi (bin m ³ /yıl)	Üretim Miktarı (bin m ³ /yıl)
Yonga Levha	16	12	5.100	3.570
MDF	16	11	5.100	3.774
OSB	2	2	100	80
Toplam	34	25	10.300	7.424

Bu sektörün en önemli iki alt sektörü bulunmaktadır. Birincisi mobilya ve dekorasyon sektörü, ikincisi mobilya sektörünün yarı mamul ihtiyacını karşılayan yonga ve lif levha ile ağaç ürünleri sektörüdür. Ülkemizde yonga ve lif levha sektöründe, son yıllarda artan yatırımlarla dünya standartlarında ileri teknolojiyle üretim yapan tesisler kurulmuş ve dünyada söz sahibi bir kapasite ve üretim teknolojisine ulaşmıştır.

Son yıllarda artan yatırımlarla dünya standartlarında ileri teknoloji ile üretim yapan tesisler kurulmuş ve dünya da söz sahibi kapasite ve üretim teknolojisine ulaşılmıştır. Son MDF yatırımlar sonrasında Almanya'yı geçerek Avrupa'nın birincisi, Dünyanın Çin ve Amerika Birleşik Devletlerinden sonra üçüncü büyük lif levha üreticisi konumundadır.

Sektörde 2014 verilerine göre;

Lif levha (MDF) üretiminde Avrupa'da 1. , Dünya'da 2.sırada

Yonga levha üretiminde; Avrupa'da 3. , Dünya'da 5.sırada

Laminat parke üretiminde Avrupa'da 2., Dünya'da 3. sırada yer almaktadır.

Levha sektöründe 34 farklı lokasyonda toplam 25 farklı firma üretimini sürdürmektedir. Türkiye'de üretim gerçekleştiren tüm şirketler Yonga-Lif Levha Sanayicileri Derneği altında toplanmış bulunmaktadır. Sektörün toplam kurulu kapasitesi 11.517.120 m³/yıl'dır.

Yonga Levha: 5.545.920 m³/yıl

Lif Levha (MDF): 5.971.200 m³/yıl

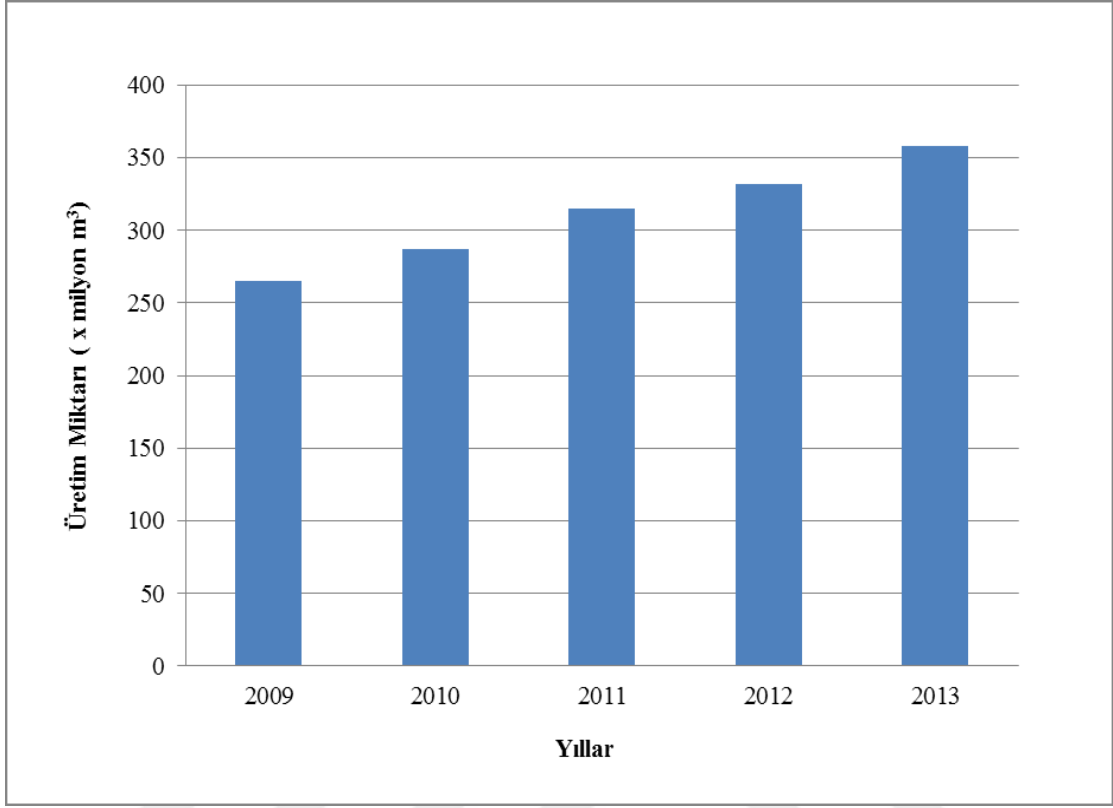
Çizelge 1.2. Ağaç bazlı levha üreten ülkeler Avrupa sıralaması.

Ülkeler	MDF milyon m ³ /yıl	YONGALEVHA milyon m ³ /yıl	LAMİNAT PARKE milyon m ² /yıl
Türkiye	5,54	5,30	110
Almanya	3,79	5,52	272
A.B.D.			
Rusya		6,64	75

Çizelge 1.3. Ağaç bazlı levha üreten ülkeler Dünya sıralaması.

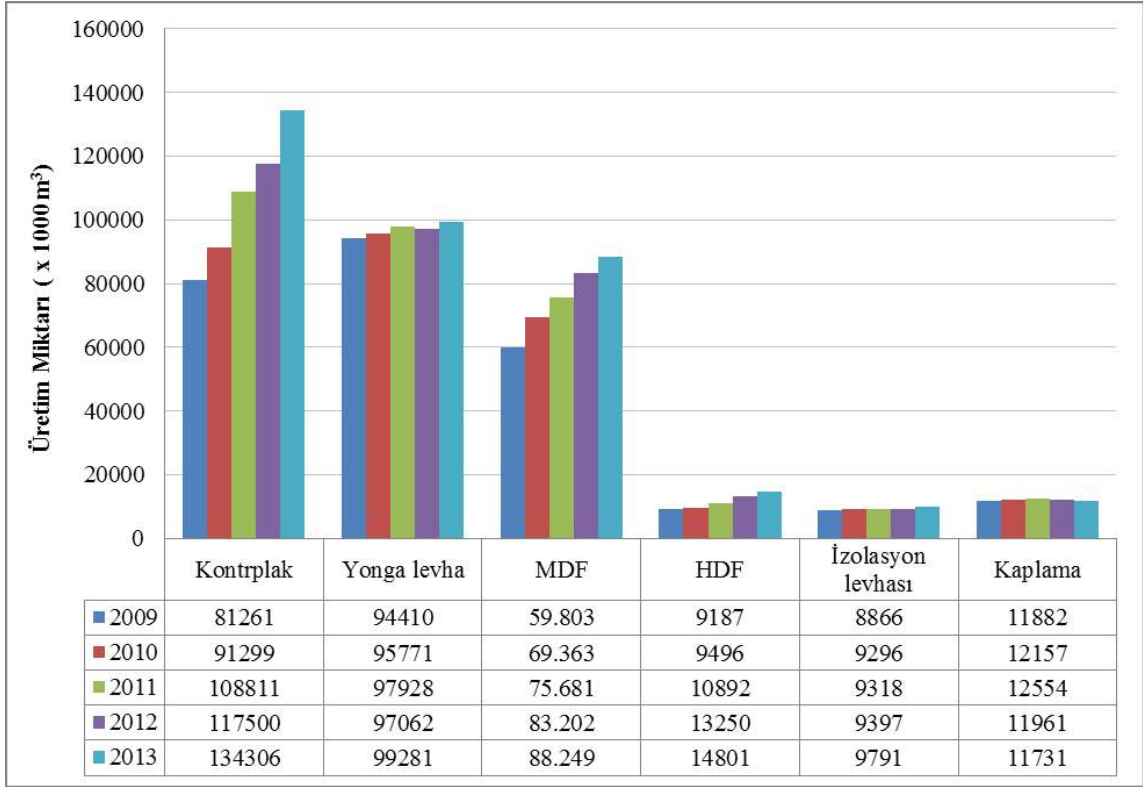
Ülkeler	MDF milyon m ³ /yıl	YONGALEVHA milyon m ³ /yıl	LAMİNAT PARKE milyon m ² /yıl
Çin	40,6	10,09	222
Türkiye	5,54	5,30	110
Almanya	3,79	5,52	
A.B.D.	3,66	7,43	
Rusya		6,64	75

Şekil 1.3’de 2009-2013 yıllarına ait dünya ahşap esaslı levhaların toplam üretim miktarları verilmiştir [13].



Şekil 1.3. 2009-2013 yıllarına ait dünya ahşap esaslı levhaların toplam üretim miktarları.

Şekil 1.4’de verilen grafik incelendiğinde 2013 yılında ahşap esaslı levha grupları arasında üretim miktarı olarak ilk sırayı %37’lik bir pay ile kontrplak alırken bunu %28 ile yonga levha ve % 24’lük bir oranla MDF üretimi takip etmiştir [13].



Şekil 1.4. Dünya’da 2009-2013 yıllarına aite ahşap esaslı levhaların üretim miktarı.

Ülkemizde yapılan odun esaslı panel yatırımları mobilya sektörünün ihtiyaçlarını karşılamak için özellikle yonga levha ve MDF üzerinde odaklanmıştır. MDF üretim hatlarında aynı zamanda laminat parke üretimi için gerekli olan HDF’nin (yüksek yoğunluklu lif levha: high density fiberboard) üretimi de yapılmaktadır.

Sektörün en önemli problemi; ana hammaddesi olan odun temininin yeterli olmaması ve yurt dışına göre pahalı olmasıdır.

Ülkemizdeki odun fiyatları, Avrupa’ya göre 2 kat, Amerika, Brezilya, Kanada, Venezuela, Ukrayna, Rusya’ya göre 3 kat daha pahalıdır. (Levha maliyeti içinde, odun hammaddesinin payı % 45-50 civarındadır.)

Ülkemiz dünyanın en pahalı odununu kullanmakta olup, toplam odun hammaddesi ihtiyacının % 30-35’ini ithal odun ve odun yongası (chips) ile karşılamaktadır.

Sektörün toplam hammadde ihtiyacının % 25- 30’u yurtdışından ithal edilmekte, % 70-75’i yurtiçinden temin edilmektedir.

Odun; yurt içinde orman işletmelerinden ve piyasadan satın alınmaktadır. Ayrıca yurt dışından ithal getirilmektedir. Yerli odunların tutkal tüketim değerleri; odunun cinsine

ve rutubetine göre çok büyük değişkenlik gösterir. (tutkal sarfiyatı; 120-185 kg/m³) İthal odunlar ise; Homojen yapısı vardır, değişkenliği çok azdır. Tutkal tüketim değerleri; dalgalanma yok denilecek kadar az olup stabildir (tutkal sarfiyatı; 115-125 kg/m³).

İthal Çam chipsi; Amerikan'dan ithal edilmektedir. Homojen yapısı vardır, değişkenliği çok azdır. Tutkal tüketim değerleri; dalgalanma yok denilecek kadar az olup stabildir (tutkal sarfiyatı; 115-120 kg/m³).

Akçaağaç chipsi; Kanada ve Amerika ithal edilmektedir. Levha üretim aşamalarında elektrik sarfiyatları düşük, ancak tutkal tüketim değerleri çok yüksektir. Homojen yapısı vardır, değişkenliği çok azdır. Tutkal tüketim değerleri; dalgalanma yok denilecek kadar az olup stabildir (tutkal sarfiyatı; 170-180 kg/m³).

İç dinamiklerimize (arz/talep durumuna) göre; işletme veya piyasalardan gelen yumuşak odunları; yonga levha üretimine de kaydırılabilmektedir. Yongalevha hammaddesi; piyasadaki gelen hızar talaşı; tahta parçası (kereste atıkları); hurda palet ve işletme-piyasadaki gelen kavak ağaçlarıdır.

Yeni Yatırımlar;

Starwood A.Ş. MDF Yatırımı - Bursa- 1.325 m³/gün – 2016 yılı II. Yarı,

Çamsan Entegre A.Ş. MDF Yatırımı - Adapazarı- 700 m³/gün – 2016 yılı II. Yarı devrede.

SFC A.Ş. MDF Yatırımı-Kastamonu - 850 m³/gün – 2016 yılı II. Yarı devrede.

AGT A.Ş. MDF Yatırımı - Antalya - (Proje aşaması)

2016 yılında eklenecek bu yeni kapasitelerin devreye girmesiyle ülke kurulu kapasitesi: 12.500.000 ton/yıl a çıkacaktır. % 75-80 kapasite kullanım oranları doğrultusunda üretim miktarımız 10.000.000 m³/yıl seviyesinde olacaktır.

Bu üretime karşılık hammadde ihtiyacı 11.500.000 ton/yıl a ulaşacaktır.

1.2 MDF’NİN YONGALEVHA İLE KARŞILAŞTIRILMASI

1.2.1 Orta Yoğunlukta Lif Levhanın Özellikleri

MDF sert lif levha ile yonga levhanın üstün özelliklerinin kombine edildiği bir levha ürünüdür. Zira, sert lif levhada olduğu gibi lifler, yonga levhada olduğu gibi tutkal kullanılmaktadır.

Böylece liflerin kullanılmasıyla sert lif levha gibi yüzeyleri düzgün ve yeknesak, tutkal kullanılmasıyla yonga levha gibi yapışma direnci yüksek olmaktadır. Ayrıca fiziksel ve mekanik özellikleri masif ağaç malzemeye yakın olduğu için pek çok kullanım yerinde masif ağaç malzemeye alternatif olarak kullanılmasına imkan sağlamaktadır.

Kompozit levhalarda bileşen boyutu küçüldükçe levhaların yüzey düzgünlüğü de artmaktadır. Bu nedenle MDF levhalarının yüzey düzgünlüğü yongalevhalarla göre daha düzgündür. MDF levhalarda liflerin kullanılmasıyla yüzey yoğunluğu yüksek ve yongalevhadan az pürüzlü olmakta, bunun sonucu olarak levha yüzeylerine her çeşit lake, boya, laminant, reçineli kağıt, folyo ve ahşap kaplama, vernik gibi sıvı yüzey işlemleri uygulanabilmektedir.

MDF’nin kenarları son derece düzgün ve sıkı olup, masif çita yapıştırılmadan lambazıvana açılabilen ve her türlü profil verilebilmektedir.

MDF’nin yonga levhaya göre bir diğer üstün yanı ise eğilme direnci, elastikiyet modülü, vida ve çivi tutma gücünün daha yüksek olmasıdır.

1.2.2 Kuru ve Yaş Yöntemlerle Liflevha Üretiminin Karşılaştırılması

Liflevhalar yaş yöntem ve kuru yöntem kullanılarak üretilmektedir.

Yaş yöntemle lif levha üretimi kuru yöntemden daha eski olup, buharlı defibratörlerde elde edilen kaba lifler gerek görülmesi durumunda rafinörlerden inceltilerek önce soğuk pres (ön pres) ve ardından sıcak pres yardımı ile üretilir.

Kuru yöntemde elde edilen lifler %1-2-3 rutubete kadar kurutulduktan sonra tutkallarak taslak halinde serilir, önce ön presten sonra sıcak preste levha haline dönüştürülmektedir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kuru yöntem ile liflevha üretimi olup yaş yöntemine göre avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

Avantajları,

Her iki yüzeyinin düzgün olması (Yaş yöntemle elde edilen levhanın bir yüzeyinde elek izi vardır),

Verimin daha yüksek olması,

Çok katlı levha yapma imkânı,

Yüksek iç yapışma direnci,

Her türlü odunsu maddenin kullanılma imkânı

Levhanın kalınlık ölçülerinin daha geniş sınırlar içinde değişmesi (1.8-60 mm),

Suyun az olduğu bölgelerde de üretim yapılabilmesi,

Taslak rutubetinin düşük olması nedeni ile presleme süresinin daha kısa olması.

Dezavantajları,

Yaş yöntemde olduğu gibi hidrojen bağlarının bulunmayışı,

İlave bir yapıştırıcının gerekli oluşu,

Yangın tehlikesinin daha fazla oluşu,

Hava kirliliği problemi olması,

Levhanın yüzey kalitesinin sert lif levhaya göre düşük olması,

Rutubet değişimleri sonucu daha yüksek oranda boyuna uzama,

Liflerin yoğunluğunun düşük olması nedeniyle kullanma ve depolama zorlukları.

MDF'nin Kullanım Alanları

Dekorasyon işlerinde;

Tavan kaplamaları, lambri, panolar, ara bölmelerde akustik uygulamalarda,

Mobilya yapımında, gardrop arkaları, çekmece içleri, çekyat altlığı ve arkılığı,

Otomotiv sektöründe kapı içlerinde, otobüs gibi araçların tavan ve yan kaplamalarında kullanılır.

İnce MDF'ler özel kalıplarla bükülerek şekil verilebildiğinden kontrplak ve yongalevhanın kullanılmadığı bükme mobilya üretiminde değerlendirilebilmektedir. Günümüzde pres kapı olarak bilinen kapıların üst yüzeyleri özel kalıp preslerde çeşitli formlar verilmiş ince MDF'lerden yapılmaktadır [10]. Mobilya üretiminde çok fazla miktarda kullanılan Standart MDF'lerin teknolojik özellikleri ve üretiminde kullanılan hammadde oranları Çizelge 1.4'de verilmiştir [14], [15].

Çizelge 1.4. Standart MDF'lerin teknolojik özellikleri ve üretiminde kullanılan hammadde oranları [14], [16].

Odun Lifleri	% 80-90
Üre - Formaldehit Tutkalı	% 9-11
Parafin	% 1-2
Rutubet Oranı	% 6-9
Kalınlık	6-19 mm
Yoğunluk	680-750 kg/m ³
Eğilme Direnci	200-400 kg/cm ²
Elastikiyet Modülü	20000-22000 kg/cm ²
Levha Yüzeyine Dik Yönde Çekme Direnci	7 kg/cm ²
Kalınlığına şişme	
2 Saatte	% 3
24 Saatte	% 6
120 Saatte	% 22
Boyuna Yönde Genişleme	% 0,2-0,3
Boyuna Yönde Daralma	% 0,4

1.3 MDF SINIFLANDIRMASI

Çeşitli amaçlar için üretilmiş MDF'lerin kullanım yerlerini aşağıda belirtilen şekilde sınıflandırabiliriz [17].

1.3.1 İnce MDF

1.8-2.5 mm kalınlıklardaki bu levhalar ince kontrplağa alternatif olarak üretilmiştir. Tipik kullanıma yerleri; çekmece altlıkları, mobilya ya da kabin arkalıkları, kapı yüzeyleri, sergi paneli, üzerine delikler açılarak dekoratif paneller ve kolayca bükülebildiklerinden dolayı eğik yüzeylerin oluşturulmasıdır.

1.3.2 Kalın MDF

45-60 mm kalınlıklarda üretilen levhaların en geniş kullanım alanı binalarda sütun, plaster ve kemer gibi mimari amaçlarla değerlendirilmesidir. Ayrıca, ağır döşeme ve raf, merdiven basamağı, çalışma tezgâhı ve bank oturakları olarak kullanılır.

1.3.3 Rutubete Dayanıklı MDF

Bu tür levhalar rutubete dayanıklı tutkallarla (fenol-formaldehit vb.) üretilmiş ve şişmeyi azaltmak için katkı maddeleri (parafin) ilave edilmiştir. Kapalı yerlerde %80 bağıl neme kadar kullanılabilir. Bu levhalar, banyo ve mutfak tezgâhı ve mobilyası, döşeme, pencere, merdiven ve mimari kalıp ürünlerde kullanılır.

1.3.4 Açık Havada Kullanılan MDF

Rutubete dayanıklı tutkallarla üretilmiş olmasının yanında, bütün yüzey ve kenarları açık havaya dayanıklı olacak şekilde kaplanmış olmalıdır. Bu levhalar; yol işaretleri, reklam panolarında, mağaza vitrinlerinde, bahçe mobilyalarında, bot kabinlerinde, açık depolama alanlarında, raf ve açık havada kullanılan kapı panellerinde kullanılır.

1.3.5 Yangına Dayanıklı MDF

Bu tür MDF'lerin yoğunluğu 0.8gr/cm³'den fazla olup HDF (High Density Fiberboard) olarak adlandırılmaktadır. İşlenme özellikleri ve yüzey işlemlerine uygunluğu daha iyidir.

Standart MDF'ler, üretimden sonra yüzeylerine alev almayı geciktiren kimyasal maddeler sürme ve ya levhaların bazı tuzlarla emprenye edilmesi suretiyle yangına karşı dayanıklı hale getirilirler. Bu levhalar, duvar ve pano kaplamalarında, büro bölme sistemlerinde, sergi panolarında, gemilerde kabin ve bölme elamanları ile binalara bitişik yapılan ekipmanlarda kullanılır.

1.4 MDF ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

1.4.1 Odun veya Diğer Ligno-Selülozik Lifli Maddeler

MDF üretiminde hammadde olarak odun veya diğer ligno-selülozik lifli maddeler, yapıştırıcılar ve katkı maddeleri kullanılmaktadır. Kuru yöntemle elde edilen liflevhaların (MDF-Orta yoğunlukta lif levha ve HDF-Yüksek yoğunlukta liflevha) yaklaşık %80-90'ı odun veya diğer ligno-selülozik maddeler oluşturmaktadır. Liflevha üretiminde çürüksüz ve orta yoğunlukta, fazla budak ihtiva etmeyen, reçine ve tanen gibi ekstraktif madde oranı yüksek olmayan ve p^H değeri 4-5 civarında olan her türlü ligno-selülozik odunsu materyal kullanılabilir. Yongaların yumuşatıldığı pişirme

kazanına p^H değerleri yakın ağaç türlerinin yongaları verilmelidir. Kestane ağacı gibi p^H değeri yüksek ağaç türleri pişirme süresini etkilediğinden, p^H değeri düşük ağaç türleri ile birlikte pişirme kazanına verilmemelidir. Bu tür odunların yongaları ayrı olarak pişirme kazanına alınmalıdır. Yoğunluğu $0.35-0.65 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen ağaç türleri MDF üretimi için uygundur.

MDF üretiminde lif-yonga odunu, aralama kesimlerinden elde edilen odunlar kereste endüstrisi artıkları, yakacak odunlar, soyma kaplama artık silindiri, kesme kaplama artık tahtası, soyma ve kesme artık kaplamaları, testere ve planya talaşı, çeşitli odun işleyen fabrika artıkları ve levha üretimi için gerekli lif uzunluğuna sahip bitkisel artıklar kullanılabilir. Yuvarlak odunların çaplarının 6 cm ile 40 cm arasında, boylarının ise 2 m daha kısa olması aranan özelliklerdendir. Özellikle orman kaynakları yetersiz olan bölgelerde şeker kamışı, keten sapsarı, tahıl sapsarı, ayçiçeği sapsarı vb. yıllık bitkiler hammadde olarak kullanılmaktadır. Sunds Defibrator firması tarafından yapılan bir araştırmaya göre dünyada MDF üretimi yapan fabrikaların %7'si yıllık bitkiler kullanmaktadır [18].

Yapraklı ağaçlarda lif uzunlukları ortalama 0.8-2 mm arasında değişmektedir. Buna karşılık iğne yapraklı ağaçlarda lif uzunlukları ortalama 3-7 mm arasındadır [19]. Lif levha endüstrisinde uzun lifli odunlar kısa lifli odunlardan daha fazla tercih edilir. Bilindiği gibi yaş yöntemle lif levha üretiminde keçeleşme özelliklerinin iyi olması nedeni ile iğne yapraklı ağaçlar tercih edilmektedir. Böylece elde edilen levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri yüksek olmaktadır. Kuru yöntemde de iğne yapraklı ağaçlar tercih edilmesine rağmen, yapıştırıcı olarak termoset tutkallar kullanıldığından kısa lifli ağaçlar da büyük oranda üretimde değerlendirilebilmektedir [20].

Lif levha endüstrisinde odun hammaddesinin önemi büyüktür. Enerji sarfiyatını önlemek, düzgün yüzeyli yongalar elde etmek ve hammadde kayıplarını asgariye indirmek için %40 ile %60 rutubette odun kullanmak idealdir. Pratikte yongalanacak odunun rutubet değeri %80-90' a kadar çıkabilmektedir. Odunun rutubet değeri lif doyunluğu noktasından düşük olduğu takdirde yongalama makinesinden istenilen boyut ve kalitede yonga alınamaz. Kuru odunlar yongalanırken toz miktarı artar.

MDF, yonga levha ve diğer odun kökenli levhalara oranla daha düşük kaliteli odunlardan üretilebilir. Kısmen mantar tahribatına uğramış odunlar, lif levha

endüstrisinde değerlendirilebilmektedir. MDF üretiminde kullanılan ağaç cinsleri geniş sınırlar içinde bulunmakta ve şeker kamışı, buğday sapları vb. yeterli lif uzunluğuna sahip yıllık bitkiler de bugün dünyanın bazı bölgelerinde bu kaynaklara yakın olana MDF fabrikalarında değerlendirilebilmektedir. Hatta yapılan araştırmalar atık kağıtların bile MDF üretiminde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Bu avantajlardan dolayı MDF'nin, hammadde isteği yonga levhadan daha geniş sınırlar içindedir. Odun kalitesi bakımından isteklerin örneğin, dolgun gövde, düzgün liflilik, boy, çap, budak vb. gibi özellikler, bu endüstri için pek önemli bulunmamaktadır. Yapraklı ve iğne yapraklı ağaç odunlarının büyük bir kısmı, bu endüstride kullanılmaktadır [20].

1.4.2 MDF Üretiminde Kullanılan Yapıştırıcı Maddeler

Odun esaslı levha üretiminde yapıştırıcılar büyük bir öneme sahiptir. Yapışma kalitesi ile birlikte odun esaslı levhaların niteliği değişmektedir. Odun esaslı levhaların niteliğini yapıştırıcının türü ve kalitesi belirlemektedir. Bu nedenle yapıştırıcıların kalitesinin geliştirilmesi, odun esaslı levhaların niteliğinin gelişmesini sağlar [21].

1.4.2.1 Organik Yapıştırıcılar

Organik yapıştırıcılar kendi aralarında "Sentetik Yapıştırıcılar" ve "Doğal Yapıştırıcılar" olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

Sentetik reçineler fiziksel özellikleri bakımından doğal reçinelere benzer yapay polimerlerdir. Orman ürünleri endüstrisinde sentetik reçine kullanımı 1930'lu yıllarda başlamış olup II. Dünya savaşıdan sonra yaygınlaşmıştır. Bugün ise sentetik reçinelerin kullanımı giderek artmaktadır [22].

Doğal yapıştırıcılar ise düşük zehirlilik, biyolojik bozunabilirlik, elde edilebilirlik ve alternatiflerine oranla üretim metotlarının daha etkili olması ve düşük maliyet gerektirmesi özelliklerine sahip olmasına rağmen kullanımında sentetik reçinelerin kullanımındaki gibi bir artış olmamıştır. Doğal yapıştırıcıların endüstride kullanımı uzun yıllar araştırılmış fakat henüz yaygın bir şekilde kullanımı gerçekleştirilememiştir [21].

1.4.2.2 Sentetik Yapıştırıcılar

Odun esaslı panel üretiminde çeşitli sentetik reçineler kullanılmaktadır. Yapısında formaldehit bulunduran yapıştırıcılar bunlardan en yaygın olarak kullanılanıdır. Sentetik reçineler, üre, melamin, fenol, resorsinol veya bunların kombinasyonu sonucu oluşan

kimyasalların formaldehit ile reaksiyona girmesi sonucu elde edilir. Bu yapıştırıcılar genellikle akıcıdır ve dispersiyon veya sulu çözeltide dallanmış veya doğrusal polimer oligomerler olarak bulunurlar. Sertleşme ve jelleşme esnasında üç boyutlu çapraz bağlanma oluşturdıklarından dolayı erimez ve çözülmezler [21].

1.4.2.2.1 Üre Formaldehit Tutkalı (ÜF)

Üre formaldehit tutkalları aminoresin tutkallar sınıfında ucuzluğu, kullanım kolaylığı ve teknik üstünlüğü nedeniyle en önemli tutkallardan birisidir. ÜF tutkalı, üre ile formaldehitin reaksiyonu sonucu oluşan bir kondenzasyon ürünüdür. Üreden üretilen sıcakta sertleşen amino tutkalları, polimerlerin kondenzasyonu ile ortaya çıkmaktadır. Üre, formaldehit ile reaksiyona girmekte, bu reaksiyon sonrası metilenol bileşikler gibi ilave ürünler meydana gelmektedir [3], [23], [24].

Dünya’da MDF üretiminde yaklaşık %90’dan daha yüksek oranda üre formaldehit tutkalı kullanılmaktadır. Üre formaldehit tutkalının odun kökenli levha üretiminde en fazla kullanılmasının nedenleri; kullanımının kolay, sıcak presleme sırasında sertleşme süresinin kısa olması, fiyatının ucuz ve bu tutkaldan üretilen levhaların kalitesinin mevcut kullanım yerlerinin çoğu için yeterli olmasıdır. Bunun yanı sıra rengi mol oranına göre beyaz veya renksizdir. Üre formaldehit tutkalının sahip olduğu bu avantajlardan ayrı olarak bazı dezavantajları da vardır. Bu tutkal, aminometil bağların bozulmasından dolayı neme bağlı olarak suya karşı dirençlerinin az olduğu için, dış hava şartlarına dayanıklı levhaların üretiminde kullanılmamakta ve zamanla ham levhalardan serbest formaldehit ayrışması meydana gelmektedir. Bu nedenden dolayı üre formaldehit tutkalı sadece iç ortamlarda kullanılmaktadır [3], [23]-[25]. Üre formaldehit tutkalının özelliklerini; sıcaklık, reaksiyon süresi, p^H değeri ve üre ile formaldehitin molar oranı etkilemektedir. Ürenin formaldehite mol oranının azaltılması, serbest formaldehit ayrışmasını düşürmekte, fakat sertleşme jell süresinin uzamasına neden olmaktadır. Üre formaldehit tutkalının sertleşmesi için mutlaka bir asit olan kimyasal gereklidir. Aynı zamanda ısı etkisi de olursa sertleşme çok daha hızlanmaktadır. Ancak, ısı tek başına sertleştirme ve suda çözünmezlik için yeterli olmamaktadır. Levha üretiminde kullanılan odun türlerinin p^H değerlerine göre tutkal içindeki sertleştirici oranı belirlenmektedir. Eğer, odun türünün p^H değeri düşük (asidik) ise sertleştirici oranı azaltılır. Aksi takdirde, tutkal sıcak prese gelmeden ön sertleşmeye uğrar. Üre formaldehit tutkalı kullanıldığı takdirde son sertleşme için taslak orta kısmının 100°C olması gerekmektedir. Bunun

yanında odunun türü ve rutubeti, pres sıcaklığı ve katkı maddeleri de etkili olan diğer faktörlerdir [25].

Üre ile Formaldehitin Kondenzasyonu

Üre-formaldehit tutkalı üre ve formaldehitin sulu çözeltilerinin kademeli bir şekilde asit katalizörler kullanılarak sıcaklık etkisi altında kondanse olmasıyla elde edilir. Elde edilecek tutkalın özelliklerini; sıcaklık, reaksiyon süresi, p^H değeri, katalizör konsantrasyonu ve üre ile formaldehitin mol oranı etkilemektedir.

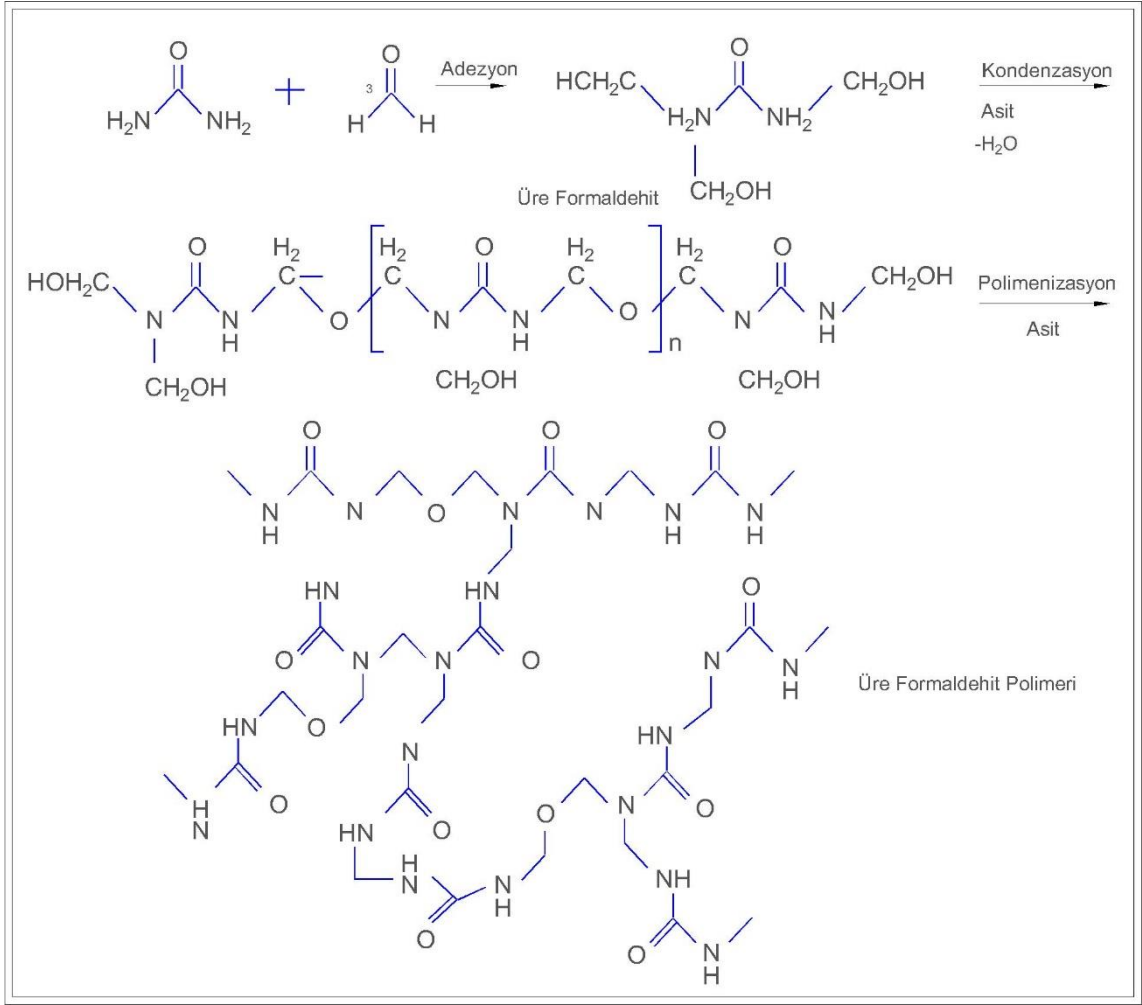
Tutkal hazırlamada daha önceleri ürenin formaldehite mol oranı 1:1.5-2 iken, günümüzde bu oran 1:1.25 1.15'e kadar düşürülmüştür. Formaldehit oranının azaltılması, sert formaldehit ayrışmasını düşürmekte fakat sertleşme süresinin uzamasına neden olmaktadır. Amaca uygun olarak alkali ortamda başlatılan kondenzasyon reaksiyonu ile Monometilol-Üre, daha sonra dimetilol üreye dönüşmektedir.

Üre formaldehit tutkalı ürenin formaldehit ile yaptığı bir kondenzasyon ürünüdür ve sıvı ile toz şekillerinde elde edilebilmektedir. Üre, basınç ve katalizör altında amonyak ve karbondioksitten oluşmaktadır. Formaldehit ise; buhar şeklindeki metanolün havanın oksijeni ile oksite edilmesinden oluşur. Elde edilen üre ve formaldehitin kademeli bir şekilde kondense olmasıyla üre formaldehit tutkalı oluşurken kondenzasyon henüz suda çözülebilir duruma geldiğinde reaksiyon hafif asitik olan çözeltinin soğutulması ve nötrleştirilmesi ile durdurulmaktadır. Üre ve formaldehit arasındaki reaksiyon kızı seyri, çeşitli kondenzasyon kademelerinde bulunan p^H değeri, üre formaldehit arasındaki mol oranının yanında kondenzasyon sırasında çeşitli bileşiklerin konsantrasyonu, kondenzasyon süresi ve sıcaklığı gibi faktörlerden etkilenmektedir. Kondenzasyon yapıştırma işleminde sertleştirici ve ısı aracılığı ile yeniden başlatılmaktadır [26].

Üre ile formaldehit arasındaki kondenzasyon reaksiyonu oldukça karmaşıktır. Bu iki bileşiğin bir araya gelmesiyle lineer ve dallanmış yapı gösteren bir polimer oluşur ve tutkal sertleşir. Bu kondenzasyon reaksiyonu üredeki 4, formaldehitteki 2 hidrojen atomu aracılığıyla gerçekleşmekte olup elde edilen reaksiyon ürününün özellikleri; üre ile formaldehitin mol oranlarına, reaksiyon sıcaklığına ve reaksiyonun p^H 'ına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla, bu faktörler tutkalın molekül ağırlığı artışını etkilemektedir. Molekül ağırlığı da tutkalın çözünürlüğünü, viskozitesini, su tutma yeteneğini ve sertleşmesini etkilemektedir. Üre ile formaldehit arasındaki reaksiyon iki

kademede gerçekleşir. İlk kademede mono-, di- ve tri metilenol üre meydana gelir. Bu kondenzasyon reaksiyonu alkalen ortamda da meydana gelmektedir. İkinci kademede metilenol ürenin asidik kondenzasyonu gerçekleşmekte olup önce çözünür ve daha sonra çözünmez, çapraz bağlı bir tutkal elde edilir. Alkali koşullarda ve oda sıcaklığında üre ile formaldehitin reaksiyonu metilenol üre meydana getirir ve kondenzasyon gerçekleştiğinde üre molekülleri arasında metilen-eter bağları ortaya çıkar. Üre ile formaldehitin oluşturduğu monometilenol üre ve dimetilenol üre ürünleri aşağıdaki reaksiyonlarla ortaya çıkmaktadır [27].

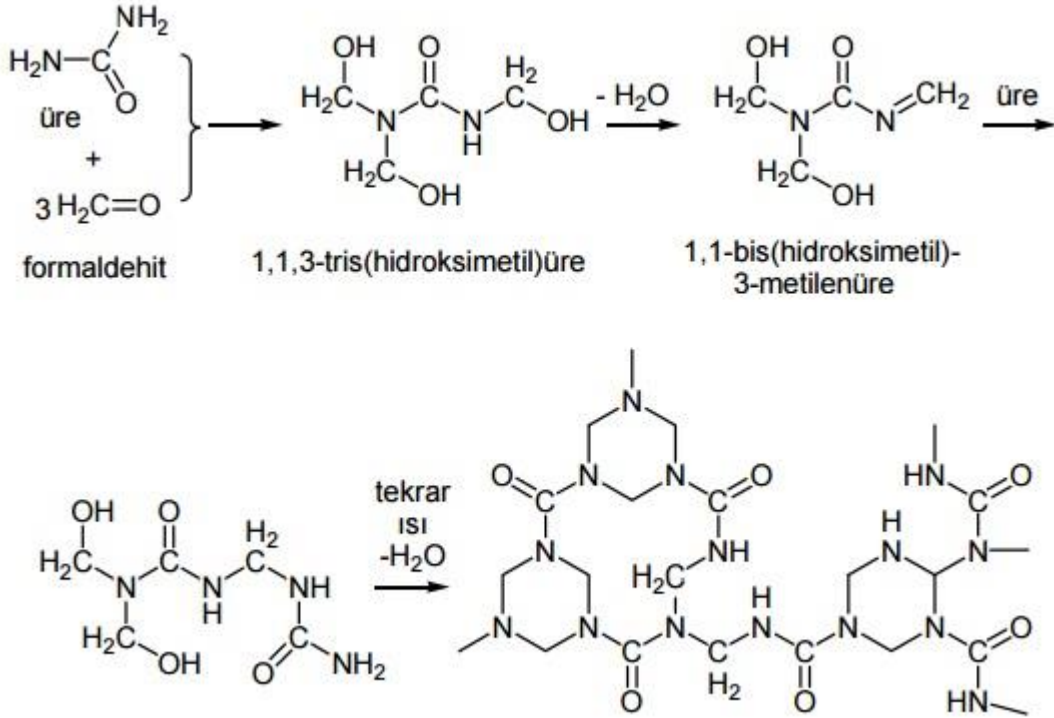
Üre formaldehit tutkalı, üre ile formaldehitin kademeli bir şekilde kondenzasyonu sonucu elde edilir. Bunun için p^H değeri formik asit ile p^H 4.6-5 aralığında 1 molekül üre ile 1.12-1.20 molekül formaldehit ile karıştırılarak (E1 standardına yakın) çözeltinin p^H değeri ile sıcaklığına bağlı olarak reaksiyon hızı ayarlanmaktadır. İstenilen reaksiyon çizgisine göre sıcaklığın ayarlanması gerekir. Reaksiyon çizgisi, çözeltinin p^H değeri ile sıcaklığa bağlıdır. Birincisinin azalması, ikincisinin artması ile reaksiyon hızı artar. Çözeltide önce monometilol ve dimetilol üre oluşur.



Şekil 1.5. Üre ile formaldehitin reaksiyonu sonucu mono metilol üre ve dimetilol üre oluşumu - üre ile formaldehitin kondenzasyonu [28].

ÜF tutkalı düşük maliyeti, yanmayan, kısa sertleşme süresi ve şeffaf renkli olması nedeniyle özellikle iç uygulamalarda kullanılan MDF, kontraplak ve yongalevha endüstrisinde tercih edilen, suya dayanıksız bir tutkaldır [28].

Üre-formaldehit reçineleri katalizörlü (veya bir sertleştirici) ortamda oda sıcaklığında kürlenerek istenilen kaplama malzemesine dönüştürülebilir.



Şekil 1.6. Üre formaldehit reçinesi.

Amino plastikler serttir, çizilmeye ve renk değişimine dirençlidir; kalıplanabilir, ısıya dayanıklıdır, kuvvetli darbelerde kırılmaz; benzin, temizleyici kimyasal sıvılar ve yağlara dirençlidir; çıplak alevle temasta bile yanmaz. Uygulama alanları arasında kalıplama ürünleri; elektrik düğmesi, radyo kabini, karıştırıcı kabı, kahve makinesi, kapı tokmağı, yapıştırıcı ürünler; ağaç işlerinde, mutfak dolapları, kağıt ve dokuma endüstrisinde yüzey kaplama maddesi olarak kullanımlar sayılabilir.

Üre formaldehit tutkalının avantaj ve dezavantajları aşağıda açıklanmıştır.

- Güçlü adezyon özelliğine sahiptir.
- Düşük sıcaklıklarda hızla sertleşmektedir.
- Suda çözünebilir.
- Kokusuzdur.
- Tutuşmaz.
- Kısmen opak bir özellik arz etmektedir.
- Fiyatı ucuzdur.
- Çok iyi termal özelliklere sahiptir.
- Sertleşmiş tutkal filmi renksizdir.
- Rutubet ve suya karşı dayanıksızdır.

k. Formaldehit emisyonu yüksektir.

Üre Formaldehit Tutkalının Özelliklerini Etkileyen Faktörler

Molekül ağırlığı arttıkça tutkalın özellikleri de değiştiğinden üre formaldehit tutkalının üretiminde kondenzasyon reaksiyonu tarafından oluşturulan molekülün ağırlığının kontrolü çok önemli olup en dikkate değer değişme viskozitedeki artıştır. İlk olarak, düşük viskoziteli ağdalı bir yapı oluşur ve daha sonra bulanıklılığı ortadan kaldırmak için bu yapı yüksek viskoziteli ağsı bir yapıya dönüşür. Böylece, oluşturulan bu yeni ürün tamamen suda çözünebilir özelliktedir.

Molekül ağırlığı birkaç yüzden birkaç bine kadar değişebilir. Bu moleküller, komşu moleküllerin reaktif grupları arasında tesadüfen suyun uzaklaştırılmasıyla oluşturulur ve böylece, molekül ağırlığı artar. Üre formaldehit tutkallarının endüstriyel üretiminde nihai özelliklerini etkileyen en önemli faktörler; reaktifin saflığı, kullanılan maddelerin oranı, kullanılan hazırlık yöntemi ve p^H 'daki değişme ve p^H 'nın kontrolüdür [3], [29].

Reaktifin Saflığı

Eğer kullanılan formaldehit içinde metanol olmazsa paraformaldehit oluşur. Bu oluşum kışınki üretimlerde daha fazla gözlenir. Formaldehitin konsantrasyonu arttıkça paraformaldehit oluşumunu engellemek için daha fazla metanol kullanılır. Bunu önlemek için genellikle %1'den daha az metanol içeriğine sahip olacak şekilde formaldehitin depolanmasına yer verilmelidir.

Mol Oranı

MDF ve yonga levha üretimleri için 1:1.2 mol oranlarında tutkal üretimi önerilir. Mol oranı 1:1.2 alınarak üretilen bir tutkaldaki kondenzasyon reaksiyonunun derecesi arttıkça bağ direnci de artmaktadır. Ancak, ikinci kez yapılan üre ilavesi bağlanma direncini belirgin şekilde artırır.

p^H Kontrolü

Başlangıçta p^H 8.5-9.5 olarak seçilir. İkinci kademe reaksiyonlarda p^H 4.8-5.0'dan düşük olduğunda tutkal çözeltileri ekzotermik olarak ısıtılabilir ve sonuçta, metilenol grupları yerine metilen köprüleri içeren beyaz bir çözelti oluşur.

Reaksiyon Kontrolü

Üre ile formaldehit arasındaki reaksiyonun kontrolü p^H , viskozite ve çözünürlüğün belirlenmesiyle yapılır. Bu nedenle aralıklı olarak sistemin p^H 'ı kontrol edilir. Çünkü hava ile temas eden formaldehit içersinde yavaşça formik asit oluşur. Bu reaksiyona Cannizzaro reaksiyonu denir. Bu reaksiyon alkali ortamda gerçekleşmekte olup sonuçta sodyum format ve metanol oluşur. Tutkalın akma özelliğini saptamak için viskozitesi de belirlenir. Düşük kondenzasyonla elde edilen ÜF tutkallarının moleköl ağırlığı düşük olup dolayısıyla tutkal çok fazla viskoz olur. Bu sorunu, asit oluşturan bir kimyasalın ilavesiyle önlemek mümkündür [30].

1.4.2.2 Fenol Formaldehit Tutkalı (FF)

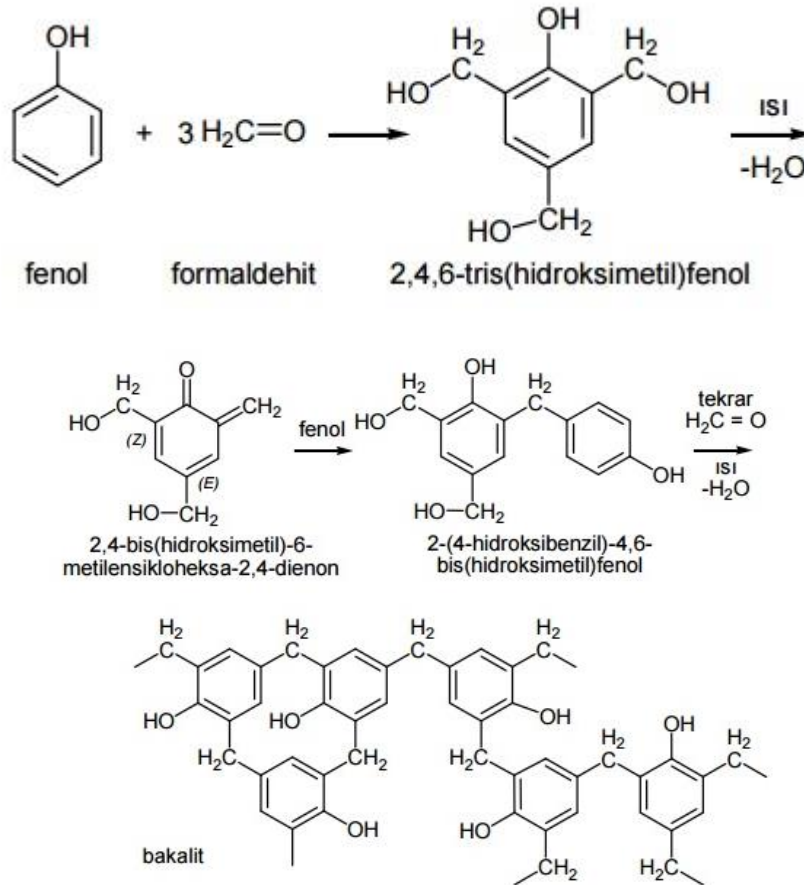
MDF üretiminde üre formaldehit tutkalından sonra en çok kullanılan tutkal fenol formaldehit tutkalıdır. Fenol formaldehit tutkalı, fenol ve formaldehit maddelerinin, paslanmaz çelikten yapılan reaktörlerde sıcaklık etkisi ve katalizör yardımı ile yaptıkları bir kondenzasyon ürünü olarak elde edilmektedir. Formaldehit dışındaki ana hammadde olan fenol, renksiz ve son derece zehirli bir sıvıdır. Üretim reaktörlerine gelinceye kadar tamamen kapalı sistem içinde bulunmalıdır. Bu tutkal rutubete ve kaynatmaya karşı dayanıklıdır. Bu yüzden dış hava şartlarına maruz kalan yerlerde kullanılmaktadır. Ancak, sertleşmesi yavaş olduğu için presleme sırasında daha yüksek sıcaklık ve daha uzun süre uygulanmaktadır. Bu tutkal ile MDF üretiminde taslak rutubeti önem taşımaktadır. Çünkü rutubet miktarı normalden fazla olduğu takdirde ön sertleşme meydana gelmektedir [25].

Fenolikler bazik ortamda fenol ve formaldehitin polimerizasyonu ile elde edilen ve ilk ticari üretimi yapılan termoset plastiklerdir. Kalıplama prosesinde ısıtıldıklarında çapraz bağlar oluşur (kürleme işlemi). Fenolik reçine emdirilmiş (imprege) kağıt veya dokümaların laminasyonu ile çok çeşitli ürünler elde edilir. Fenolikler sıkıştırma ile kalıplanarak elektrik düğmesi, radyo ve televizyon kasaları, tost makinesi malzemeleri, v.s. yapımında kullanılır.

Fenolik reçineler sert, esnemeyen, kırılman ve ısıya dayanıklı polimerlerdir. Bazı özelliklerinin geliştirilmesi için genellikle dolgu maddeleri ilave edilir. İzolasyon özellikleri çok iyidir ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Kimyasal maddelere ve zayıf asitlere dayanıklıdır, nem absorpsiyonu çok düşüktür. Sıvı halde laminasyon

uygulamalarında; ağaç kaplamaların, kumaş dokumaların ve kağıdın laminasyonunda; katı halde çeşitli malzemeler; araç parçaları, çamaşır makinesi parçaları, telefon, mutfak gereçleri, çatı panelleri sayılabilir.

Fenol formaldehitin (FF) temel bileşenleri, fenol ve formaldehittir. Fenol ham petrolden elde edilir. Fenol'ün temel bileşenleri tolüen ve benzendir. Tolüen, benzoik asitten dönüştürülür, benzen ise propilen ve cumen'in karışımıdır. Benzoik asit ile birlikte fenolü oluşturur. Fenol ve formaldehit, FF reçinesi içinde bir karıştırıcı yardımıyla birleştirilir. Bu sıvı, kokusuz, koyu kahverengi ve kesinlikle yanmazdır. İşlem esnasında FF reçinesi, üre formaldehit reçinesi gibi bağlarını güçlendirmiş ve polimerize edilmiştir. FF çözeltisi, fenol ve formaldehitin 2.2 mol oranlarında formaldehitin çoğu FF yapısı içinde üç boyutlu kuvvetli bağlar ile sürekli bir şekilde yapıştırılır. Serbest formaldehit, üre formaldehitin pres esnasında bırakılması gibi, aynı şekilde pres esnasında bırakılır.



Şekil 1.7. Fenol formaldehit reçinesi.

Fenol formaldehitin sertleşmesi için gerekli olan sıcaklık üre formaldehit tutkalından daha fazladır. Levhanın orta kısmındaki pres sıcaklığı 120-150°C olmalı ve pres levhalarının sıcaklığı ise 200°C' ye ulaşmalıdır [31].

Genel olarak fenolik tutkallar her türlü koşullar altında yüksek mukavemet özelliğine sahip bulunmaktadır. Uzun zaman açık hava şartlarına maruz kalmaları halinde dahi gözle görülen herhangi bir bozulma ve değişiklik meydana gelmemektedir. Ancak fenolik tutkallar üre reçinelerinden daha pahalıdır [32].

Fenol-formaldehit reçineleri tiplerine göre iki ana gruba ayrılmıştır.

Resol

Fenol reçinesinin kondanse olmamış sıvı haline resol denir. Kırmızı renkli bir sıvı olup bazik ortamda oluşan düşük kondenzasyon derecesine sahip bir reçinedir. Bu, fenol alkolünün kristallenebilir durumunun aksine reçinemi karakteri ifade etmektedir. Bazı tipleri suda, bazı tipleri organik çözücülerde çözülebilir. Sıvı halde iken ısı ya da asit etkisi ile sertleşen reçine bu defa resit olarak adlandırılmaktadır. Ağ dokusunu oluşturan bu makro molekülünün üç boyutlu yapısı artık bozulmaz durum almaktadır. Bu duruma gelen reçine artık sıcaklığın yükselmesi ile yumuşamaz, erimez bir durum alır ve nihayet kömürleşir. Resol ve resit durumları arasındaki bir aşamada reçine resitol adını alır, yumuşak ve termoplastik bir durum kazanır. Ancak organik çözücülerde çözünemez. Sertleşmenin bu kademeleri arasında kesin bir sınır koymak mümkün değildir, zira kondenzasyon olayı sürekli dir.

Novalak

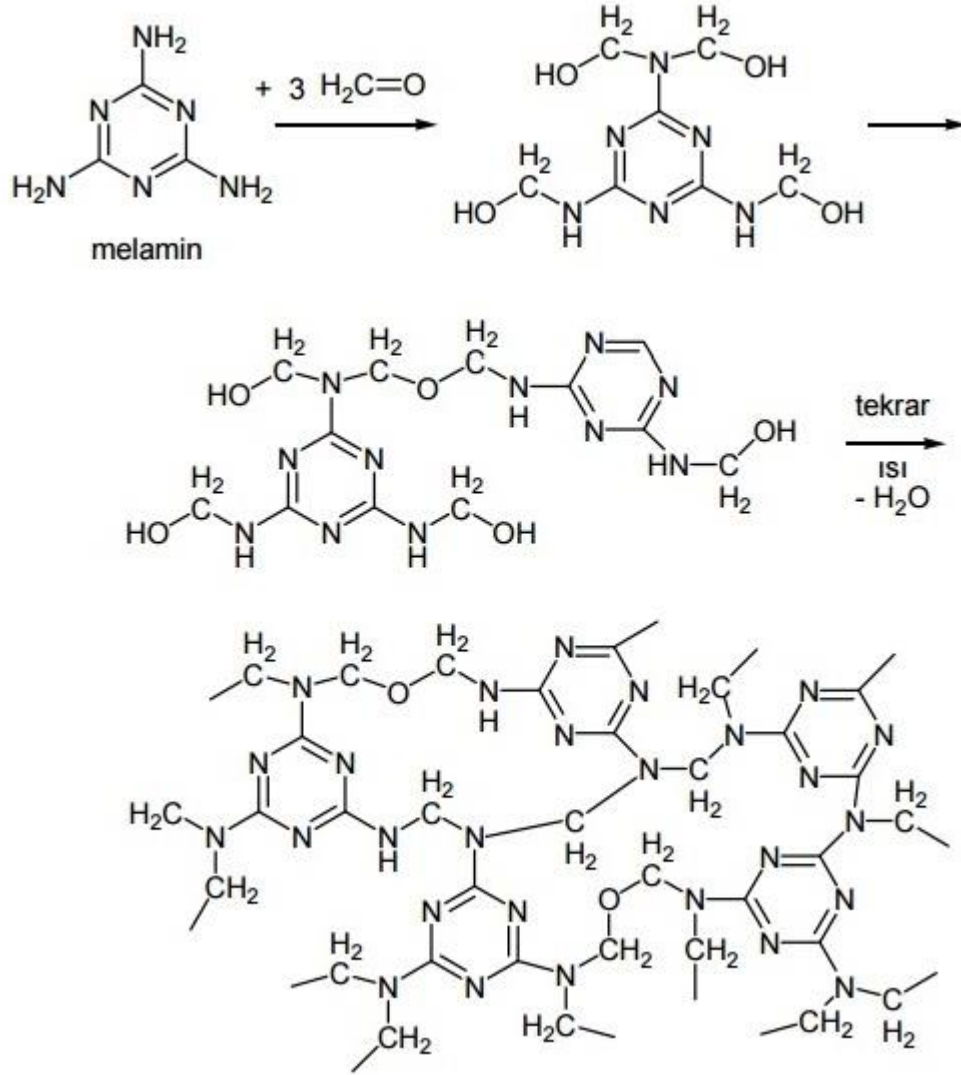
Novalak tipi FF tutkalları, asidik ortamda ve molar olarak Fenol'ün formaldehite göre fazla olduğu kondenzasyon içerisinde üretilirler. Katalizör olarak; paratoluen, sülfonik asit, oksalik asit ve sülfürik asitler gibi kuvvetli asitler kullanılır. Novalak tutkallar termoplastiktir. Organik çözücülerde çözülebilir ve eriyebilir. Bu özelliğini, kullanılmadan önce uzun süre koruyabilir. Kullanılacağı zaman paraformaldehit veya hegzametilentetramin katılır [33].

Sıvı haldeki fenol reçinesi sarı, kahve, kırmızı-kahve veya koyu kırmızı renklerde olabilir. Fenol-formaldehit tutkalı katılmış durumda kaynar suya hudutsuz derecede dayanıklıdır. Kaynar su dışında asit, seyreltik alkali, yağ ve organik çözücülere dayanan

fenolik tutkallar hayvansal ve mantar etkilerine de karşı koyabilmektedir. Sertlik ve organik çözücülere karşı dayanıklı olmasından dolayı dış hava şartlarına dayanan kontrplak, yonga levha ve lif levha üretiminde tutkal olarak kullanılmaktadır [34].

1.4.2.2.3 Melamin Formaldehit Tutkalı (MF)

Kısaca melamin tutkalı da denilen bu tutkallar da tıpkı üre formaldehit tutkalı gibi bir kondenzasyon ürünüdür. Reaksiyon, p^H değeri 5-6 olan bir çözeltide melaminin formaldehite mol oranı 1/2-4 olacak şekilde karıştırılmasıyla başlar ve kademeli olarak ilerler. Reaksiyon, üre ve fenol formaldehit tutkallarında olduğu gibi sonuna kadar devam ettirilmeden, oluşan kondenzasyon ürünleri suda çözünebilir durumda iken, çözeltinin nötrleştirilmesi ve soğutulmasıyla durdurulur. Ancak, karışımda bulunan reaksiyon aktivitesini arttırıcı maddeler oda sıcaklığındaki kondenzasyonun ilerlemesine ve dolayısıyla depolama ömrünün kısalmasına neden olurlar. Bu kusuru gidermek üzere de melamin tutkalı toz halinde üretilmektedir. Bu durumda tutkalı serin yerde bir yıl saklamak mümkündür. Toz halindeki tutkal 1/0.5 oranında suda çözülerek (%66'lık) sıvı tutkal haline getirilebilir. Melamin tutkalı, üre formaldehit tutkalından daha pahalı olduğu için nadiren saf halde kullanılabilir. Sıcak presleme sırasında, yarıda kalan reaksiyon sıcaklık ve katalizörlerin etkisiyle yeniden başlar ve sonuna kadar devam eder. Sonuçta, suda çözünmeyen ve erimeyen bir madde oluşur. Bu tutkalın renginin beyaz olması ve suya dayanıklı oluşundan dolayı, yongalevha, liflevha, kontrplak gibi levha ürünlerinin yüzeyinin kaplanmasında kullanılan çeşitli kağıt türlerinin emprenye edilmesinde ve film tutkallarının üretiminde kullanılır. Ayrıca, ısı stabilizesinin ÜF tutkalından daha yüksek olması, düşük sıcaklıklarda ve sertleştirici katılmaksızın sertleşebilmesi bu tutkalın diğer önemli avantajlarından [25].

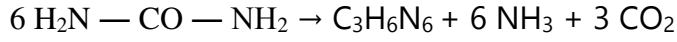


Şekil 1.8. Melamin formaldehit reçinesi.

Melamin reçinesini maliyeti pahalı olduğu için üre formaldehit kadar kullanılmaz. Ancak melamin reçinesine üre katılıp ucuzlatılabilir. Sulu çözeltinin ömrü çok az olup 3 hafta dayanabilir. Melamin reçinesi daha çok kat ve tabakalar halinde yapıştırılan ve kaynatmaya karşı dayanıklılık isteyen ağaç malzemenin yapıştırılmasında kullanılır. Resorsin ilave edilmiş melamin formaldehit tutkalı sıcakta odun ile metali yapıştırmak maksadıyla kullanılmaktadır. Soğukta sertleşen melamin tutkalının çatlama kusuru yüzünden soğuk tutkallama için melamin tutkalını kullanmak iyi sonuç vermemektedir [32].

1.4.2.2.4 Melamin Üre Formaldehit Tutkalı (MÜF)

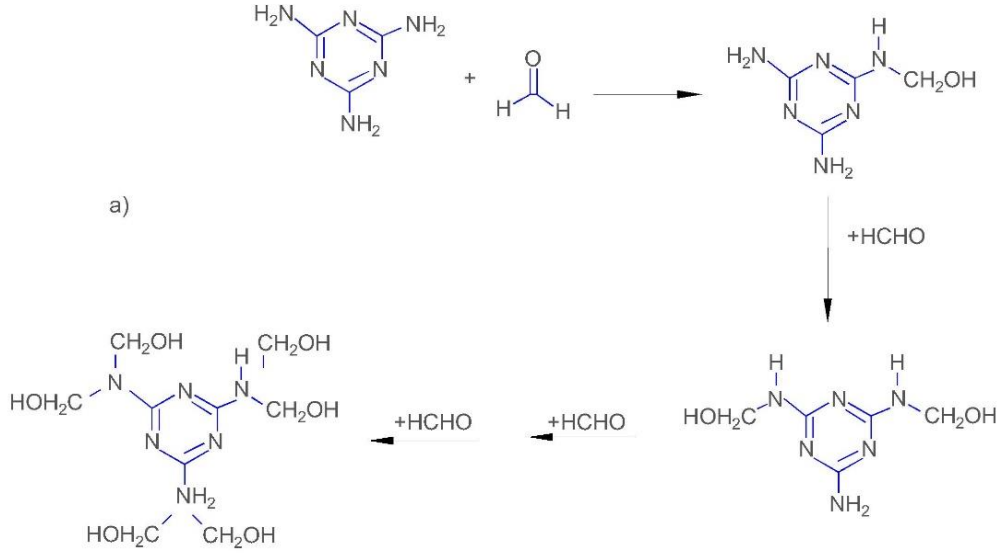
Üreden melamin üretimi; Yaklaşık %90 melamin tutkal üretimine katılır.



MÜF tutkalı üretiminde I. aşama = Metelizasyon

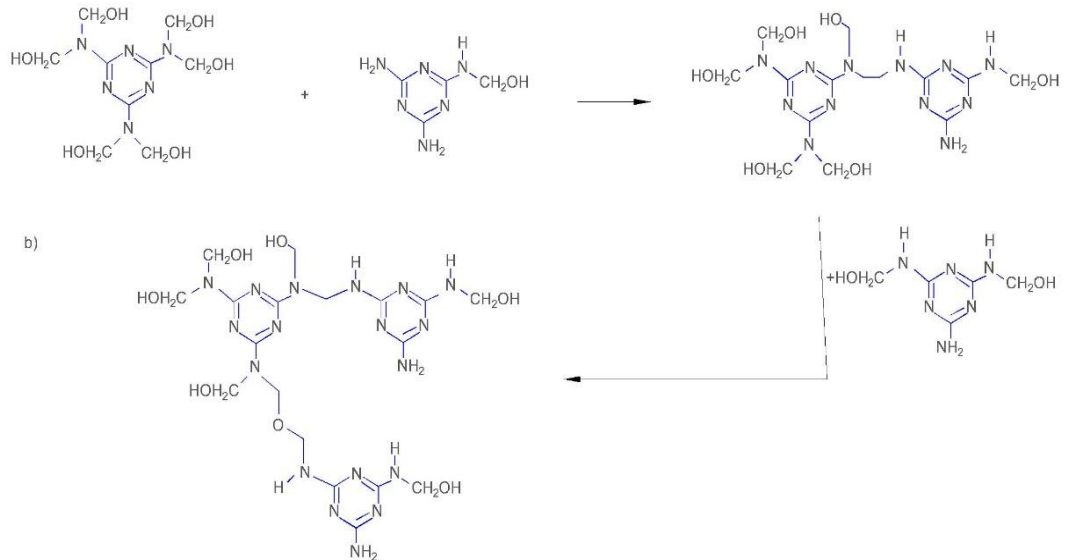
Melamin 6 mol formaldehit ile reaksiyona girer.

Birinci monomerler; Mono-di hexametilolmelamin oluşur (a).



Şekil 1.9. MÜF tutkalı üretiminde II. aşama=Kondensasyon.

*Metillendirilmiş melamin metilen veya metil-eter köprüleriyle reaksiyona girer (b).

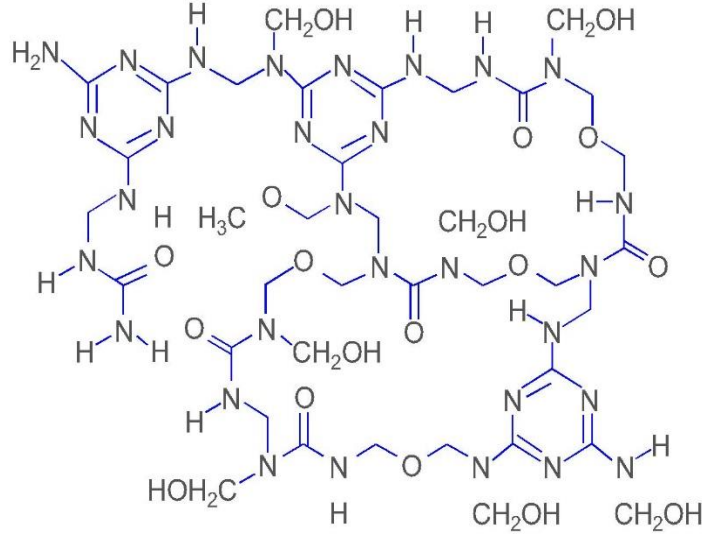


Şekil 1.10. Melamin üre formaldehit reçinesi.

MÜF tutkalı üretilir.

Melamin ve üre formaldehit ile reaksiyona girerek büyük moleküllü köprüler oluştur.

Üçüncü aşamada son kez üre ilavesi yapılır. Tutkal üre formaldehite benzer. Son ürenin ilave edilmesiyle molar oranı, serbest formaldehit oranı, viskozite ve formaldehit emisyonu azalır.



Şekil 1.11. Melamin üre formaldehit reçinesi polimerizasyonu.

1.4.2.2.5 Resorsin Formaldehit Tutkalı

Resorsin formaldehit tutkalı her türlü iklim koşullarına dayanabilmekte olan etkili bir yapıştırıcıdır. Asitler zayıf alkalilere ve kaynar suya karşı dayanıklıdır. Söz konusu bu avantajlarının yanında maliyetinin yüksek olması nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Ayrıca kondenzasyon reaksiyonun tam olarak tamamlanması bir hafta sürsüğünden levha endüstrisinde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Özel amaçlar için saf olarak kullanılmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe, uçak ve gemi inşaatında ağaç konstrüksiyonlarının yapıştırılmasında kullanılır [35].

Rezorsin-Formaldehit tutkalı, rezorsinin formaldehit ile reaksiyonu sonucu elde edilen sentetik tutkaldır. Üretim sırasında katılan formaldehit miktarı reaksiyonun sonuna kadar gitmesini sağlayacak miktarda değildir. Kullanımdan önce tutkalın karıştırılması basitçe reaksiyonu tamamlayacak olan formaldehitin ilave edilmesinden ibarettir [34].

Fenol formaldehit reçinesine göre 5–6 kat daha pahalı olup, her türlü açık hava şartlarına, asitlere, alkalilere ve diğer çözücülere karşı dayanıklı bir tutkal türüdür. Resorsin tutkalı özellikle sıcakta yapıştırma imkânı bulunmayan hallerde Fenol

formadehit ile yeterli derecede direnç elde edilemeyen örneğin, kayık, gemi ve uçakların ağaç malzeme kullanılan kısımların tutkallanmasında kullanılır. Aynı zamanda gerek sentetik gerek doğal kauçuğun tekstil ve seramik malzemenin yapıştırılmasında da kullanılır. Resorsin formaldehit tutkalı, yüksek frekanslı yapıştırıcılar içinde uygundur. Resorsin formaldehit sıvı halde olup kırmızımsı erguvani renktedir. % 50-60 katı madde ihtiva eden sıvı halde piyasada bulunur. 20°C sıcaklıkta 9-12 ay depolanabilir. Resorsin reçinesi +20°C' de, 3-6 saatlik bir süre içerisinde sertleşir ve yapışma özelliğini kazanır [32].

1.4.2.2.6 İzosiyanat Tutkalı (İS)

İzosiyanat tutkalı diğer sentetik tutkallar gibi odun kökenli levha ürünleri için uygun bir tutkal olmasına rağmen günümüzde MDF üretiminde pek rağbet görmemektedir. izosiyanat alışılmış bir tutkal olmayıp odunun hidroksil grupları ile bağlanmaktadır. İS tutkalını üreten zincirleri oluşturmaktadır. İyi bir yapışma sağladığı takdirde, suya, sulandırılmış asitlere ve alkolik sıvılara karşı iyi bir dirence sahiptir.

İzosiyanat tutkalı su ihtiva etmez. Böylece tutkalın tümü yapıştırma yapar. İyi bir yapıştırma sağladığı için levhanın yoğunluğu fenolik tutkallarla üretilen levhalardan daha düşüktür. İS tutkalı, ÜF tutkalında olduğu gibi kısa sürede sertleşmektedir. İS tutkalı formaldehit içermediğinden diğer tutkalların aksine formaldehit emisyonu olmamaktadır. ÜF tutkalının içerdiği üreten zincirleri hidrofobik olup, levha üretimi sırasında çok az miktarda mum katılır veya hiç katılmaz. İS tutkalı sulu çözelti halinde de kullanılabilir. Bu durumda tutkallama verimi önemli ölçüde artmaktadır. Ayrıca, bu tutkalın diğer önemli bir faydası da yapışma direncini düşüren ekstraktif maddelerin etkisini ortadan kaldırmasıdır [33].

İzosiyanat tutkallarının dezavantajları ise fiyatının yüksek olması ve metallerle yapışmaya meyilli olduğu için transport levhalarına veya pres platenlerine yapışarak problemler çıkarmasıdır. Buna engel olmak için yağ, gliserin gibi yapışmayı önleyici maddeler kullanılmalıdır. Yakın zamanda yapışmayı önleyen özel bir sabun geliştirilmiştir. İS tutkalının insan sağlığına zararı olduğundan kullanımı sırasında dikkat etmek gerekmektedir.

1.4.2.2.7 Termoplastik Tutkallar

Isıtılarak yumuşayabilen ve soğutulduklarında sertleşebilen yapıştırıcılara termoplastik yapıştırıcılar denir. Bu tür yapıştırıcılar soğuk olarak uygulanabilir, hızlı şekilde sertleşebilir, yüzeylere kolaylıkla uygulanabilir, yanmaz ve kokusuz özellikte, işleme sırasında aletlere zara vermeyen ve ağaç malzemedeki lekelenmeye neden olmamaktadır. Fakat 70°C sıcaklıktan itibaren yapıştırma özelliğini kaybetmesi, bu tür yapıştırıcıların kullanımını sınırlandırmaktadır [31].

1.4.2.3 Doğal Yapıştırıcılar

Doğal yapıştırıcılar; bitkisel yapıştırıcılar ve hayvansal yapıştırıcılar olmak üzere iki grupta toplanmaktadır.

1.4.2.3.1 Bitkisel Yapıştırıcılar

1.4.2.3.1.1 Tanen Tutkalı

Tanenli tutkalların yonga levha vb. Odun kökenli levha ürünlerinin üretiminde kullanımı son yıllarda endüstriyel olarak artan bir ilgi görmektedir. Geçmişte tanen formaldehit tutkalları hakkında yapılan araştırmalarda ekonomik beklentiler önemliken, bugün odunun yapıştırılmasında hem ekonomik hem de ekolojik faktörler dikkate alınmaktadır [36].

Bütün bitki tanenleri basit fenollerden kondanse flavanoidlere kadar fenolik bileşiklerden meydana gelmekte olup; hidrolize edilebilen tanenler ve hidrolize edilemeyen veya kondanse tanenler olmak üzere ikiye ayrılırlar [37].

Su, alkol ve asetonda çözülebilen ve proteinle pıhtılaşabilen bitki kökenli polihidroksifenoller olan tanenler; eketraksiyon yoluyla odun, yaprak, meyve ve kabuktan elde edilmektedir. Tanen, kendi başına yapıştırıcı olarak kullanılabildiği gibi aminoplastik ve fenolik reçinelerle birlikte de kullanılabilmektedir. [21].

Yenilenebilir bir hammadde kaynağı olarak çam taneni; yüksek kalite özelliklerine sahip ve formaldehit emisyonu düşük yongalevha üretiminde yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır [38].

En önemli tanen kaynaklarının mimoza ve qebrako olduğu belirtilmiştir. Bunların yanında tsuga, ladin ve P.radiata, P.elliotti gibi çam türlerinin kabukları da tanen üretiminde kullanılabilmektedir. Elde edilen tanenlerden üretilen tutkalların dış ortamda

kullanılabilmesi için ise fenol formaldehit, resorsion formaldehit veya diizosiyanat gibi tutkallarla desteklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır [39].

Tanen esaslı tutkalların dış cephede ve neme duyarlı yerlerde kullanılacak yongalevhaların üretiminde yaygın olarak kullanılan fenol formaldehit tutkalı yerine lignoselülozik zirai ve orman artıklarının fenol ile sıvılaştırılıp formaldehit ile reaksiyona sokulduktan sonra kullanılabilir. Tanen esaslı tutkallar Yeni Zelanda, Avustralya ve Güney Afrika gibi tanen içeren akasya ağacının çok olduğu ülkelerdeki orman ürünleri endüstrisinde ticari amaçlı kullanılmaktadır. [39].

1.4.2.3.1.2 Lignin Tutkalı

Bitki fibrinlerini bir arada tutan fenolik bir yapıştırıcı olan lignin, fenil proan ünitelerinden oluşmaktadır [3], [21].

Lignin çekirdeğindeki serbest pozisyon sayısının az ve reaktifliği fenol formaldehit reçinesine oranla daha düşüktür. Bu nedenlerden dolayı, lignin tutkalının sıcaklık ve mineral asit vasıtasıyla gerçekleşen kondenzasyon reaksiyonu fenol formaldehit reçinesindeki gibi etkili değildir. Yeterli bir sertleşme için yüksek pres sıcaklığı, uzun pres süresi ve yüksek asit konsantrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır [21].

1.4.2.3.1.3 Soya Tutkalı

Soya tutkalı, düşük maliyetli olması, düşük pres sıcaklığı gerektirmesi ve yüksek rutubette oduna bağlanabilmesi gibi özellikleri nedeniyle avantajlıdır. Sahip olduğu bu avantajlara rağmen suya karşı dayanımı ve bağ direncinin düşük olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [40].

Soya esaslı tutkallar 1923 yılında geliştirilmiştir. Buna rağmen petrol esaslı yapıştırıcıların direnç özellikleri ve suya dayanımı daha yüksek olduğundan soya esaslı tutkallara göre daha çok tercih edilmiştir [40].

1.4.2.3.2 Hayvansal Tutkallar

Hayvansal tutkallar, koyun ve sığır gibi hayvanların deri ve kemiklerinden elde edilmekte olup, jel ve küçük parçacıklar halinde bulunabilmektedirler. Katı formdaki tutkallar su ile muamele edilip kullanılmaktadırlar. Uygulanabilir viskozite seviyesine getirmek için 60°C'ye kadar ısıtılır. Balık tutkalları gibi tutkallar sıvı formda bulunabilmektedirler [41].

Hayvansal tutkallar, diğ er yapıştırıcılara göre rutubete karşı dayanımı düşük, mantar ve küflenmeye neden olmakta, her yerde kullanılamamakta, uygun sıcaklıkta uygulanabilmekte ve pahalıdır [41].

1.4.2.3.2.1 Kazein Tutkalı

Yağsız sütün bir asit yardımıyla veya doğal olarak asitlendirilerek kazein proteinleri   kt r l r. Bu   zelti ayrıldıktan sonra kurutularak kazein tutkalı elde edilir. Tutkalın hazırlanmasında, katı kazein sodyum hidroksit veya kireç çözeltisi gibi orta dereceli alkalilerde kolayca çözündürülür ve sonra kullanılır. Tanen bakımından zengin olan odun türlerinde kullanıldığında lekelenmeye sebep olan kazein tutkalının mobilyalarda kullanılmasından sakınılmaktadır [41].

Kazein esaslı tutkallar sıcaklık değişimleri ve neme karşı su su esaslı yapıştırıcılardan daha dirençlidirler. Fakat dış ortam için bu tutkallar uygun değillerdir. 70 C'ye kadar kuru ısıya direnci iyi iken ıslak şartlar altında yapıştırma gücünü kaybeder ve biyogerimeye maruz kalır. Kazein esaslı tutkalların dayanıklılığını geliştirmek için lateks ve dialdehit nişastası gibi maddeler ile bişlik oluşturulmaktadır. Hayvansal atıklardan elde edilen tutkallar gibi bu tutkalların bağ kuvvetleri oldukça iyidir [3].

1.4.2.3.2.2 Kan Albümini Tutkalı

Mezbahanelerde ortaya çıkan tüm kanlardan kan albümini tutkalı elde dileyabilmektedir. [41]. Formaldehit ve fenol formaldehit reçineleri ilave edilmiş kan esaslı tutkaldan üretilen kontrplakların suya dayanımı, bağ direnci ve küflenmeye karşı direnci daha yüksektir [41].

1.4.2.4 Anorganik Yapıştırıcılar

Hammadde seçiminde daha az seçici olması, dış hava koşullarına karşı daha dayanıklı olması, boyutsal kararlılığının daha iyi olması, biyotik ve abiyotik zararlılara karşı daha dayanıklı olması nedeniyle sentetik reçineler ile üretilen kompozitlere göre anorganik yapıştırıcılarla üretilen kompozitler daha üstün özelliklere sahiptirler [42].

Çimento ve alçı anorganik yapıştırıcı olarak kullanılmakta ve bu bağlayıcılar ile üretilen odun esaslı kompozitler çoğunlukla inşaat sektöründe yalıtım amacı ile kullanılmaktadır [43].

Anorganik yapıştırıcıların dezavantajları ise; yeterli sertleşme ve yoğunluk için uzun pres süresi gerektirmesidir [44].

1.4.3 Katkı Maddeleri

MDF üretiminde, tutkalın sertleşmesini sağlamak ve levhaya bazı özellikler kazandırmak için çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Sentetik tutkala ilave edilen katkı maddelerinin görevleri sırasıyla [43].

- a) Plastikleştirme
- b) Stabilite sağlanması.
- c) Tutkal sürme niteliklerinde reçinenin yapısal olarak iyileştirilmesi
- d) Tutkalın dağılma özelliklerinin iyileştirilmesi
- e) Yanmayı geciktirmesi
- f) Koku gidermesi
- g) Malzeme yüzeyinde toz birikmesini önleme
- h) Sıcak preste tutkaldan gaz çıkışını dengeleme
- ı) Bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı koruyucu özelliklerde olabilmesidir.

1.4.4 Sertleştirici Maddeler

MDF üretiminde liflerin tutkallanması ya yonga levha üretiminde olduğu gibi liflerin kurutulduktan sonra bir tutkallama makinesinde ya da günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntemde, defibratör çıkışında liflerin kurutma tüpüne girerken yapılmaktadır. Lifleri yapıştırmada kullanılan sentetik tutkalların dayanma müddetlerinin mümkün olduğu kadar uzun olması istenir. Diğer taraftan sıcak presleme sırasında üretim kapasitesinin yüksek olması için sertleşmenin kısa sürede tamamlanması arzu edilir. Bu iki isteğin gerçekleştirilmesi için çoğunlukla bir sertleştiriciyle birlikte bir tamponlayıcı madde kullanılmaktadır. Sertleştirici maddeler, kullanılan tutkal türüne göre değişik tiptedirler [33].

Sertleştirici türü olarak amonyum klorür kullanıldığında kalınlık artışı, eğilme direnci, p^H değeri, formaldehit emisyonu, eğilmede elastikiyet modülü ve yüzey özellikleri bakımından diğer sertleştirici türlerine göre daha iyi sonuç vermektedir.

Sertleştirici olarak sadece asit kullanma durumunda sertleşme o kadar çabuk olmaktadır ki taslak prese gelmeden önce sertleşebilmektedir. İşte bu durumlar için de amonyak

kullanılmaktadır. Amonyak düşük sıcaklıklarda yani prese gelmeden oluşan asidi nötralize etmek suretiyle tutkalın sertleşmesini durdurmaktadır. Sıcak prese gelince ise; amonyak hızlı bir şekilde buharlaşarak dışarıya çıkar. Böylece çözeltide amonyak tüketildikten sonra oluşan asit tutkalın sertleştirilmesini gerçekleştirir [32]. Üre formaldehit tutkalının sertleşmesi için mutlaka bir sertleştirici gereklidir.

1.4.5 Hidrofobik Maddeler

MDF üretiminde boyut stabilitesini sağlamak ve levhanın bir dereceye kadar su alarak şişmesini önlemek amacıyla hidrofobik maddeler kullanılır. Hidrofobik maddeler levhanın su almasını tamamen önlemezler, ancak su alma hızı yavaşlatırlar. Böylece levha, kısa süreli su veya yüksek rutubet etkisinde kaldığında bundan etkilenmez. Hidrofobik madde olarak Silikon ve Metol sabunları gibi maddeler kullanılabilirse de, ön önemli hidrofobik madde parafinik mumdur. Çünkü parafinin su itici etkisi yüksek, ergime noktaları 49°C den 93°C'ye kadardır. Suda çözünmezler ve polar olmadıklarından kimyasal yönden aktif değildirler.

Parafinik mum ya eritilerek sıvı halde ya da emülsiyon halinde uygulanır. MDF üretiminde parafin emülsiyonu tam kuru lif ağırlığına oranla % 1-2 oranında ya pişirme kazanı ile defibratör arasından yongalara verilmekte ya da tutkala karıştırılarak uygulanmaktadır. Tam kuru lif ağırlığına oranla % 1-2 oranını aştığı takdirde tutkallamayı engelleyici etkileri görüldüğü gibi levhanın direnç özelliklerinin azalmasına neden olurlar [45].

Hidrofobik özellikler, mum içindeki kristal tipi ile doğrudan ilişkilidir. Parafinik mumlar, suya karşı en iyi direnci sağlayacak uzun iğne kristallere sahiptir. Kısa, yanlara dallanmış kristal yapısına sahip mumları hidrofobik madde olarak kullanmak, yeterli olamamaktadır. Kullanılacak parafin homojen olmalı, tutkal, sertleştirici, su ve koruyucu maddelerle uyum sağlamalı, pompalanabilir ve dozajının elverişli olması gerekmektedir.

ÜF tutkalı kullanıldığında levhanın direnç özellikleri üzerine parafinin etkisi olmamaktadır. Bunun sebebi, ÜF tutkalı ile yapıştırılan levhalarda parafin konsantrasyonunun nisbeten düşük bulunmasından kaynaklanabilmektedir [33].

1.4.6 Diğer Katkı Madde Nişasta (Starch)

Böcek ve mantarlara, yangına karşı koruyucu maddelerin yanında formaldehit emisyonunu azaltmak için çeşitli maddeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada nişasta (starch) kullanıldığından üretimi ve genel özellikleri hakkında Çizelge 1.5’de bilgiler verilmiştir.

Çizelge 1.5. Nişastanın genel özellikleri.

Fiziksel Durumu	Katı
Form	Toz
Renk	Beyaz
Koku	Kokusuz
p ^H	~ 4,7% 50
Erime Noktası	Kullanılabilir veriler yok
Kaynama Noktası	Uygulanamaz
Parlama Noktası	Uygulanamaz
Buhar basıncı	Uygulanabilir değil
Buhar yoğunluğu (hava = 1)	Uygulanabilir değil
Bağıl yoğunluk	~ 0,40
Sudaki Çözünürlüğü	~ 600 g / l 20 ° C'de
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı:	~ 420 ° C (Bulut) .Godbert-Greenwald
Asgari ateşleme enerjisi	> 1.200 mJ
MRP (Basınç Maksimum Hızı)	~ 280 bar / s
MaxP (Maksimum Basınç)	~ 6,5 bar
Toz Patlama Açıklaması Numarası Kst	~ 76 maya / s
Patlama Sınıfı	st 1
Nem	~ 4,9%
Partikül Boyutu	~ 121 mikron

İlk olarak, nişastanın asit ile hidroliz edilerek tatlı bir madde elde edilmesi 1811 yılına dayanmaktadır. Daha sonra 1831 yılında bu yeni teknolojiyi kullanarak günlük 115 litre şurup üretimi yapabilen bir Amerikan şurup işletmesi kurulmuştur [46]. 1970’lere kadar çok düşük miktarlarda üretilen nişasta bazlı tatlandırıcıların 1976 yılından sonra üretim miktarları önemli derecede artmıştır. 2000’li yıllarda ABD’de yüksek fruktozlu mısır şurubu (YFMS) üretimi 8.5 milyon ton ile şeker sektöründeki pazar payını % 45’in

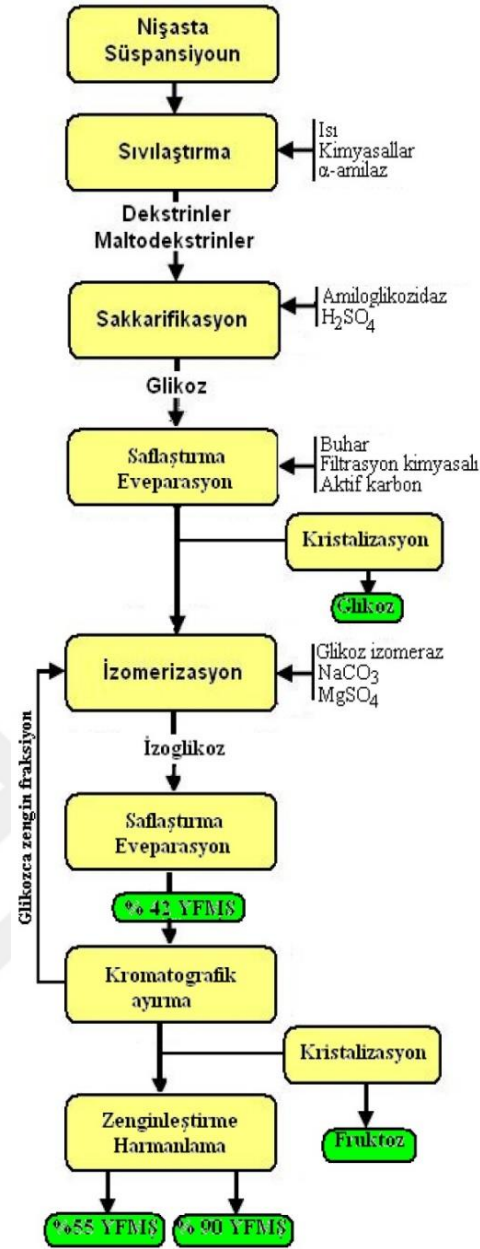
üzerine çıkarmıştır [47]. Yüksek fruktozlu mısır şurubu üretimine bakıldığında, üretimde kullanılan hammaddenin bolluğu ve gelişmiş üretim teknolojilerinden dolayı ABD'nin ilk sırayı aldığı görülmektedir. Üretim miktarı bakımından ABD'yi Japonya, Kanada ve Avrupa Birliği ülkeleri takip etmektedir [48]. 2006 yılı itibarı ile dünyada yüksek fruktozlu mısır şurubu üretimi yaklaşık 12.5 milyon ton iken, ülkemizde 2010 yılı itibarı ile 400 bin ton civarındadır.

Avrupa Birliği ülkelerinde nişasta bazlı şeker için ortalama %2'lik kota bulunurken, şeker pancarından şeker üretiminde birinci ve ikinci sırayı paylaşan ülkelere Fransa'da bu oran %0.42, Almanya'da ise %0.89'dur. Türkiye'de ise 2001 yılında çıkarılan Şeker Yasası ile nişasta bazlı şeker kotası %10 olarak belirlenmiş ve Bakanlar Kuruluna bu miktarı %50 artırma ve azaltma yetkisi verilmiştir. Bakanlar Kurulu da bu yetkiye dayanarak nişasta bazlı şeker kotasını derhal %50 artırarak %15'e çıkarmıştır. Bir taraftan, tarımsal alanlarımızın da oldukça uygun olduğu ve yeterli fabrikaların bulunduğu şekerpancarından şeker üretiminin kısıtlanması, diğer taraftan dışarıdan güvenilirliği tam olarak tespit edilmeden ithal edilen mısırdan üretilen nişasta bazlı şeker kotasının artırılması oldukça manidardır. Her konuda gelişmiş ülkelere rakamlar vererek durumu değerlendiren yetkililerimizin neden böyle bir karar aldıkları merak konusudur.

1970'den 1990' yılına kadar yüksek fruktozlu mısır şurubu tüketimi % 1000'den daha fazla artmış ve günümüzde kullanılan toplam tatlandırıcılar içinde yaklaşık % 40'lık bir paya sahip olmuştur [49], [50]. Doğal olarak, yüksek fruktozlu mısır şurubu kullanımdaki bu artışa tüketilen sakaroz miktarındaki azalış eşlik etmiştir. Yüksek fruktozlu mısır şurubunun sakaroza göre daha fazla kullanılmasının ve tercih edilmesinin başlıca nedeni ekonomik olarak daha hesaplı ve fonksiyonel olarak daha üstün özelliklere sahip olmasıdır. Batı ülkelerinde 1970'li yıllarda kişi başına yıllık tüketim yaklaşık 0.5 kg iken bu rakam 2000'li yıllarda 35 kg'ı geçmiştir. Günümüzde kullandığımız gıdaların % 40'ından fazlasında YFMŞ bulunabilmektedir [51]. Temel kullanım alanları gazlı içecekler başta olmak üzere tüm tatlandırılmış hazır içecekler, çikolata, kek, şekerleme türleri, reçel marmelat ve diğer jöle türü yiyeceklerdir. Tadını fruktozdan alan yiyecek ve içecekler doyma hissini geciktirmekte, daha çok tüketilmesine neden olmakta ve ikinci acıkma hissini öne çekmektedir [52].

Yüksek Fruktozlu Mısır Şurubu Üretimi

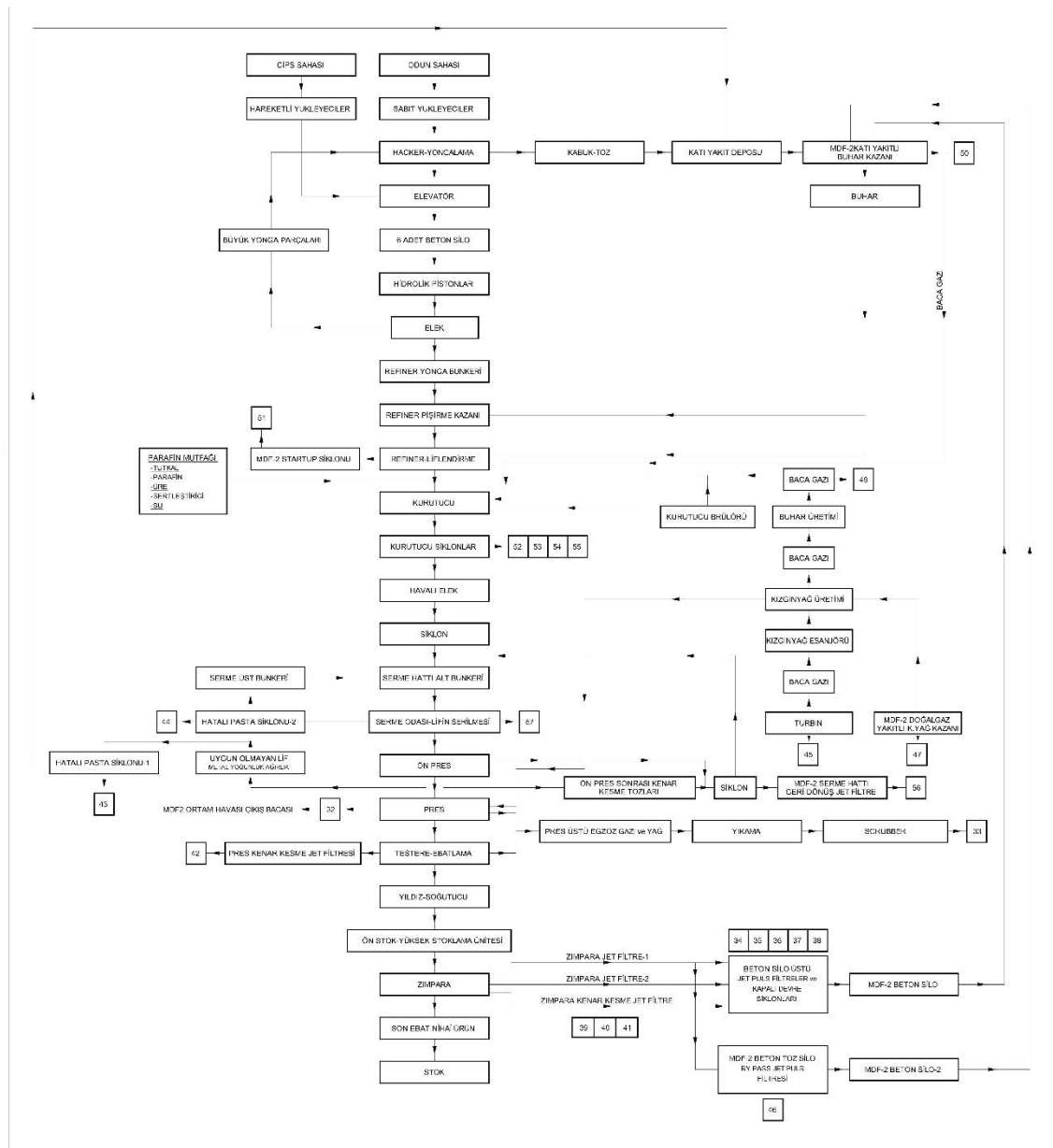
Yüksek fruktozlu mısır şurubu genelde mısır nişastasının, kimyasal ve enzimatik hidroliz teknikleri kullanılarak sıvılaştırma, parçalama ve izomerizasyon aşamaları ile üretilmektedir [53]. Üretimde mısır nişastasını basit şekerler olan glikoz ve fruktoza dönüştürmek için üç farklı enzim kullanılmaktadır [54]. İlk olarak alfa amilaz enzimi vasıtasıyla uygun ortamda nişasta granülleri hidrolize edilerek dekstrin zincirlerine parçalanır. Daha sonra glukoamilaz enzimi ile dekstrin zincirleri bireysel dekstrin moleküllerine ve en son glikoz, izomeraz enzimi ile fruktoza dönüştürülmektedir [55]. Hidroliz işleminde asit de kullanılabilir [56]. Kompleks bir damıtma ve kombine prosesten sonra farklı fruktoz içerikli (%42, %55 ve %90) şuruplar elde edilmektedir. İlk olarak dekstrozun enzimler ile izomerleştirilmesi sonucunda %42'lik früktoz şurubu üretilmektedir. Daha sonra bu şurup früktozu tutan kolonlardan geçirilerek %90'lık yüksek früktozlu şurup ve tekrar %42'lik şurup ile karıştırılarak %55 früktozlu mısır şerbeti elde edilmektedir. Ayrıca bu şuruptan kristalizasyon işlemi ile kristalize früktoz da üretilebilmektedir [57]. Genellikle, doğal tadın korunmasının ve orta seviyede bir tatlılığın arzu edildiği gıdalar ile konservelerde %42'lik; alkolsüz içecekler, dondurma ve tatlılarda %55'lik ve çok az bir tatlandırıcı ile yüksek şeker tadının istendiği gıdalarda %90'lık früktoz şurubu kullanılmaktadır. Mısır nişastasından yüksek fruktozlu mısır şurubu üretim akım şeması Şekil 1.12'de gösterilmiştir.



şekil 1.12. Yüksek fruktozlu mısır şurubu üretimi.

1.5 LİF LEVHA ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

Liflevha ile ilgili üretim şeması Şekil 1.13’de gösterilmiştir.



Şekil 1.13. MDF üretim akış şeması.

1.5.1 Hammadde Odununun Depolanması

Ülkemizde odun ihtisali yılın her ayında ve her mevsiminde olmadığından dolayı, fabrikalar yıllık hammadde gereksinimini depo etmek durumundadırlar. Fabrikanın depo kapasitesi fabrikanın yıllık hammadde gereksinimine denk olmalıdır. Depoda tomruklar, kapak tahtaları, çıtalar, iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunları, yerli ve yabancı ağaç odunları, levhanın dış ve orta tabakaları için yongalar elde edilmek üzere ayrı ayrı istif

edilmelidir. Depolamada; çürüklük ve mantar tahribatına karşı hava sirkülasyonunun iyi bir şekilde sağlanmasının yanında kabukları iyice soyulmuş odunun toprak zemini üzerinden takriben 50 cm'lik mesafede depolanması gerekir [58].

Ağaç malzemenin depolanmasında bakteri saldırılarından dolayı porozite artması, çürüme ve oksidasyon lekesi, mantar ve böcek zararlıları, donma ve ısınmadan dolayı lif ayrılması, çatlama enine kesitlerde ve çevresinde kuruma ve çatlamadan dolayı mavi renklenme ile hoş olmayan koku oluşumu görülebilir. Bu nedenle su ile depolama ve yağmurlama sistemi gibi önlemlerin yanında bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı kimyasal maddelerin kullanılması gerekir. En iyi yöntem ağaç malzemenin hemen üretime verilmesi veya su altında depolama ya da üzerine su püskürtmedir [32].

1.5.2 Kabuk Soyma (Debarkink)

LDN üzerindeki rutubete sahip gövde ve dal odunları yongalanmadan önce kabuk soyma makinelerine gönderilir. Kabuk, levhanın ağırlık olarak %10'u aştığı takdirde fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde düşürerek levha yüzeyinin görünümünü bozmakta, tutkal sarfiyatını artırmakta, kum, taş parçaları gibi rafinör segmentlerini aşındıran maddeler içermekte ve pişirme kazanında çok önemli olan hacmi kaplayarak ısı ve buhar enerjisi israfına yol açmaktadır.

Üretimde kabuk kullanılmaması durumunda elde edilen levhaların direnç değerleri daha yüksek ve levhanın rengi daha homojendir. Bu nedenle levha ağırlığına oranla kabuk miktarı % 10' nu geçmemelidir [32].

Kabuk düşük yoğunluklu, kısa lifli ve düşük direnç özellikleri nedeniyle MDF üretiminde bir miktar kalite düşüklüğüne neden olmaktadır. Lifler içerisinde bulunan kabuk genel olarak aşağıdaki nedenlerden dolayı zararlı olmaktadır.

1. Levhanın direnç özelliklerinin azalmasına neden olur.
2. Defibratörlerde p^H 'ı düşürür. Çünkü liflerin p^H 'ı genellikle 4'ün altında olup, metal aksamalarda korozyona neden olmaktadır. Katkı maddelerini ilave etmeden önce uygun p^H kontrolü daha fazla kimyasal ilavesi gerektirmektedir.
3. Kabuk liflevhanın yüzey kalitesine zarar vermektedir. Küçük mantarimsı dış kabuk parçaları sıcak preslemeden sonra bulunduğu yerden çıkmaktadır. Bir kısım kabuklar daralarak yüzeyde yer yer çukurluklar oluşturmakta, bazılarının rengi preste kararmakta

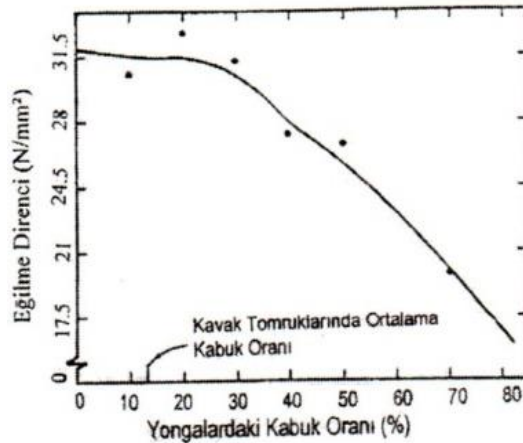
ve bazıları pres platenlerine yapışabilmektedir. Bu durum levhada yüzey düzgünlüğünü bozmaktadır.

4. Kabuk, kum, taş parçaları gibi yongalama bıçaklarını, defibratör segmentlerini ve şinekeleri aşındıran maddeler içermektedir. Eğer bu maddeler levha içersinde kalırsa ağaç işleme makinalarında işlenirken testere dişlerinin aşınmasına veya kırılmasına neden olabilmektedir.

5. Levha yüzeyi sıvı yüzey işlem malzemeleriyle kaplanacaksa kabuksuz odun kullanmak gerekmektedir. Çünkü levha yüzeyindeki kabuk, odun lifleri gibi sıvı yüzey işlem malzemelerini tam olarak absorbe edemez. Bu yüzden yüzeylerine sıvı yüzey işlem malzemeleri uygulanacak MDF'lerin kabukları soyulmuş odunlardan üretilmesi gerekmektedir.

6. Pişirme kazanında büyük bir hacim kaplayarak ısı ve buhar enerjisi israfına yol açmaktadır.

Kabuğun soyulması halinde hammaddede hacmen yaklaşık %15, ağırlık olarak ise %710 kadar kayıp olur. MDF üretiminde kabuk oranı % 15-20 oranını aştığı takdirde levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde düşme olmaktadır [45]. MDF içerisindeki kabuk miktarı bu oranın altında olduğu takdirde, direnç özellikleri üzerine fazla olumsuz etki yapmadığı belirtilmektedir. Şekil 1.12'de yongalardaki kabuk oranının liflevhanın eğilme direnci üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 1.14. Yongalardaki kabuk oranının eğilme direnci üzerine etkisi.

1.5.3 Yongalama (Chipping)

Kabukları soyulan odunlar yongalanmak için yongalama makinelerine gönderilir. Çok çeşitli yongalama makineleri mevcuttur. Bunlardan tamburlu yongalama makinelerinde bıçaklar (3-8 adet) odunun yoğunluğu, rutubeti, budak vb. özellikler bağlı olarak günde bir veya iki kez bilenmektedirler. Tamburlu yongalama makinesinde bıçakları taşıyan tamburun altındaki elekten dolayı elek çapından büyük olan yongalar, tambur üzerindeki bıçağın çarpma etkisi ile eleğin gözeneklerinden geçmektedirler. Yongalamada dikkat edilecek önemli husus, yongaların eşit büyüklükte olmasıdır. Boyutları birbirinden farklı yongaların pişirme kazanında kalma süreleri içinde pişirme dereceleri de farklı olur. Ufak yongalar fazla pişirilmeden dolayı hemen liflenirken, büyük boyutlu yongalar liflenmeye karşı direnç gösterir. Lif levha yonga boyutları 25 x 20 x 5 mm'dir.

1.5.4 Yongaların Depolanması (Storing)

Yongalama makinesinden sonra yongaları transportörlerle ayrı ayrı çelik veya betondan yapılan silolara alınırlar. Yongaların silolardan boşaltılması şineke, hidrolik boşaltma sistemi veya döner helezon sisteminden herhangi biri ile olmaktadır. Yongaların siloda bekleme süreleri 10-15 günü geçmemelidir. Silolarda depolama üretimin aralıksız yapılmasını ve kontrol altında tutulmasını sağlar.



Şekil 1.15. Yonga deposu.

1.5.5 Yongaların Elenmesi (Screeninig)

Yonga silolarında depolanan yongalar eleme makinesine gönderilir. Boyut homojenliği elekler yardımı ile sağlanır. En üstteki elekte kalan büyük boyutlu parçalar tekrar yongalanmak üzere gönderilir. En alttaki elekte ise istenilen boyuttaki parçalar yonga levha üretiminde değerlendirilir ya da kazanda katı yakıt olarak kullanılır. Orta kattaki elekte ise toplanan yongalar üretimde kullanılır. Üretime bantla yollanan parçaların içersindeki metaller mıknatıs yardımıyla ayrılır.



Şekil 1.16. Elek ünitesi.

1.5.6 Yongaların Yıkanması

Eleme makinesinde elenen yongalar, aralarında bulunabilecek kum, ufak taş parçaları gibi istenmeyen maddelerden temizlenmek üzere transportör vasıtası ile yonga yıkama makinesine gönderilmektedir. Yongalar yıkanmadığı takdirde, diskler aşınabilmekte ve çalışma süresi kısalmakta, üretimde kullanılan bazı makineleri aşındırmakta ve ağaç işleme makinelerinde bıçakların körelmesine neden olmaktadır. Refinör bıçakları erken

aşınır ve yüksek akım çekmeye başlar. Bu da elektrik sarfiyatını arttırır ve maliyet artar. Yıkanan yongaların rutubeti artmaktadır.

1.5.7 Liflendirme Ünitesi (Defibratör-Pulping)

Liflendirme ünitesi, pişirme kazanı silosu, pişirme kazanı ve rafinörden oluşmaktadır. Sitemin ana ilkesi odunun kimyasal olarak yaklaşık %30'unu oluşturan ligninin 170-180°C'de 7.5-8 bar basınç altında yumuşatılarak, liflerin mekanik olarak ayrılmasıdır.

1.5.7.1 Pişirme Kazanı Silosu

Elekten gelen yongalar pişirme kazanına bant yardımı ile gelir. Bu silonun görevi pişirme kazanın üzerinde dozajlama görevi yapmak ve yongalara ön buhar vermektir.

1.5.7.2 Pişirme Kazanı

Pişirme kazanında bulunan yongalar üst boşaltma helezonu ile pişirme kazanına aktarılır. Pişirme kazanında basınçlı buhar ile yonganın pişirilmesi sağlanır. Pişirme kazanına giren yongaların rutubeti, diskler üzerindeki segmentlerini fazla ısınmalarına engel olmak için en az %40-60 olmalıdır. %100 rutubetteki yongaların sıcaklık ve basınç etkisi ile lignin yumuşamakta ve mekanik olarak liflendirilmektedir. Yongalar pişirme kazanına alınırken 2-3 bar mantarlaştırıldıktan (sıkıştırıldıktan) sonra pişirme kazanına verilmesini sağlar. Bunun nedeni sıkıştırılan yonganın aniden gevşeyerek buhar ve basınç altında şişmesini sağlamaktır. Kazan içerisinde yongaların homojen bir şekilde pişmesi sağlanır. Yonganın pişme süresi kazan m³ arttırılıp düşürülmek suretiyle sağlanır. Yongalar pişirme kazanına 170-180°C sıcaklıkta 7.5-8 bar basınç altında 3-5 dk. doymuş buharla muamele edildikten sonra basınç altında rafinöre gönderilirler. Rafinöre giren yonga rutubetinin %100'e yakın olması liflendirme kalitesini artırmaktadır.

1.5.7.3 Rafinör

Pişirme kazanında sıcaklık ve basınç altında yumuşatılan yongaların liflendirildiği yerdir. Rafinördeki disk açıklığı elde edilecek lifin özelliklerine göre 0.1-0.4 mm arasında değişmektedir. Rafinöre giren yongaların liflendirilmesi 1-2 sn. içinde olup, buharın sıcaklığına ve basıncına göre disk sıcaklığı 140-170°C arasında değişir. Kazandaki yonga discharge screw vidası ile feed screw (dış besleme vidası) aktarılır. Feedscrew vidası yongayı bıçak odasına gönderir. Rafinör bıçak odasında rotor ve stator

olmak üzere iki bıçak bulunur. Bu bıçaklar birbirine yaklaştırılmak suretiyle araya sıkışan yonga lif haline gelir. Oluşan lif belirli bir basınçla lif çıkış borusuna aktarılır. Lif çıkış borusunda bulunan enjektörler aracılığı ile kimyasalların lif ile karışması sağlanır. Oluşan homejen karışım kurutucuya aktarılır. Lif çıkış hızı discharge screw hızı (rpm) arttırılmak suretiyle sağlanır.



Şekil 1.17. Diskli rafinör.

1.5.7.4 Lif Boyutları

Lif boyutları direnç ve yüzey düzgünlüğü açısından önemli bulunmaktadır. Liflevha üretiminde lif boyutlarının ölçülmesi pratik bakımdan pek uygun değildir. Lif boyları ağaç türü, yonga boyutları, pişirme şartları ve disk açıklığı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Ayrıca arzu edilen lif boyutları fabrikadan fabrikaya değişiklik göstermektedir. Lif boyutların ölçülmesi yerine pratikte elek analizleri yapılmaktadır. Elek analizleri sonucunda 0.5 mm'den geçen ve 0.3 mm elek üzerinde kalan lifler ile 0.3 mm elekten geçip 0.1 mm elek üzerinde kalan liflerin büyük çoğunluğu (yaklaşık %75) oluşturması hem direnç değerleri ve özellikle profilik ve boyalık MDF'lerde yüzey düzgünlüğü açısından uygun bulunmaktadır. Uzunluk olarak 0.5-2 mm arasında olan liflerin toplam ağırlık içerisinde en az %65-75 oranda bulunması uygundur.

1.5.8 Liflerin Tutkallanması (Glueing)

MDF üretiminde tutkallama iki şekilde yapılmaktadır.

1. Rafinör çıkışında lif çıkış borusunda bulunan enjektörlerle.
2. Yonga levha da olduğu gibi liflerin kurutulduktan sonra bir tutkallama makinesinde tutkallanmasıdır.

Üre formaldehit tutkalı, başka bir bölümde hazırlanan sertleştirici ve diğer katkı maddeleri ile belirli oranlarda karıştırılarak tutkal tankında depolanmaktadır. Hazırlanan tutkal, lif çıkış borusunun iki veya dört yerinden almaçlı olarak eşit oranlarda liflere enjekte edilir. Almaçlı olmasının amacı liflerin homojen olarak tutkallanmasını sağlamaktır.

1.5.9 Liflerin Kurutulması (Drying)

Tutkal ve diğer katkı maddeleri katılarak MDF yapımı için uygun hale getirilmiş lifler buhar basıncı yardımı ile kurutucu içine gönderilir. Kurutma işlemi türbin egzoz gazı veya brülör ısılarıyla yapılır. Kurutma ünitesinde lifler fan (750 kw) yardımı ile döküş siklonlarına gönderilir. Buradan lif katarına dökülen lif havalı elek ünitesinde üretime zararlı olan kalın lifler ayrılır. Kurutma ünitesinde lifler sıcak hava akımını ile hem kurutulmakta hem de kuru lif siklonuna taşınmaktadır. Kurutma sonunda liflerin rutubet oranları %10'a düşmektedir.

1.5.10 Lif Bunkeri ve Serme İstasyonu (Fiber Bin end Matforming)

MDF taslağı mekanik dökme ya da pinomatik olarak yapılmaktadır. Pinomatik sistemde en yaygın kullanılan serme şekillerinden biri de pendistor sermedir. Bu işlem sırasında taslak içindeki havayı emmek için bant üzerine düşen liflere bantın altından vakum uygulanmaktadır.

Mekanik dökme sisteminde kuru lif siklonunun altından bantlı transportör ile gelen lifler, kaba lif demetlerinden temizlenmek üzere havalı ayırıcıya gelirler. Bu bölümde değişik tiplerde tırmıklar olup, lifleri dağıtma görevi görürler. Üretime uygun olan lifler pinomatik hattan serme bunkerinin üstündeki siklona gelmektedir. Serme bunkerini ara depo görevi yapmakta ve lifleri düzenli olarak serme istasyonuna göndermektedir. Bunkerin çıkış ağzında yükseklik boyunca belirli aralıklarla 45° açıyla yerleştirilmiş tırmıklar bulunur. Tırmıklar kendi eksenleri etrafında dönerken bunker içindeki lif

topaklanmaları dağıtmakta ve liflerin bunkerin ağzından serme istasyonuna iletimini sağlamaktadır. Lifler bunkerin ağzından serme bandının üzerinde bulunan serme odasına serbest düşmeye bırakılır.

Günümüzde Avrupa ve Amerika'daki birçok MDF fabrikasında lif bunkerinden ve fiber sifterden geçen lifler, yaklaşık 60°C'ye kadar ısıtılan ve buhar enjeksiyonu ile belli bir rutubet derecesine getirilen sıcak hava ile pendistor sermeye taşınmaktadır. Bu işlemin amacı; lifleri belli bir sıcaklık derecesine kadar ısıtarak sıcak presleme süresini kısaltmaktır.

1.5.11 Presleme

1.5.11.1 Ön Presleme (Precom Pressing)

Taslak, serme bandı üzerindeki çift taraflı basınç silindirleri arasından geçerken ön presleme işlemine tabii tutulmaktadır. Basınç silindirleri kasnağı sıkıştırarak yan alma işlemi sırasında lif kaybını en aza indirmekte, taslağın sıcak prese kadar zarar görmeden gidebilmesini sağlamakta, sıcak presin kapakları kapanırken oluşan hava akımı ile yüzeydeki liflerin uçmasına engel olmakta ve sıcak pres plakları daha az açılmaktadır. Ön presleme sırasında taslağa herhangi bir sıcaklık uygulanmayıp, basınç 80-140 bar arasında değişir. Taslak, bandın her iki yanında yer alan daire testereler ile standart genişlikte kesilir. Presin girişinde bulunan diğer bir scalper, üretime başlamadan önce taslağın ön kısmının kama şeklinde olmasını sağlamaktadır. Taslağın başlangıç kısmının kama şeklinde olmasının iki önemli faydası vardır. Birinci faydası taslağın preslemenin yapıldığı iki çelik bant arasında girebilmesini sağlamasıdır. İkinci faydası, taslak iki çelik bant arasına ilk girdiğinde presin basınç pistonlarını zorlanmasının önlemesidir.

1.5.11.2 Sıcak Presleme (Hot Pressing)

MDF üretiminde sıcak presleme fasıhalı ve fasılasız olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Sıcak preste taslağın levha haline gelmesinde aşağıdaki iki hususun gerçekleşmesi gerekmektedir.

1. Taslağın ön görülen levha kalınlığına kadar sıkıştırılması için gerekli basıncın sağlanması.
2. Taslağın tutkalın sertleşmesi için gerekli sıcaklığa kadar ısıtılmasıdır [33].

Statik presleme – tek katlı ve çok katlı presler

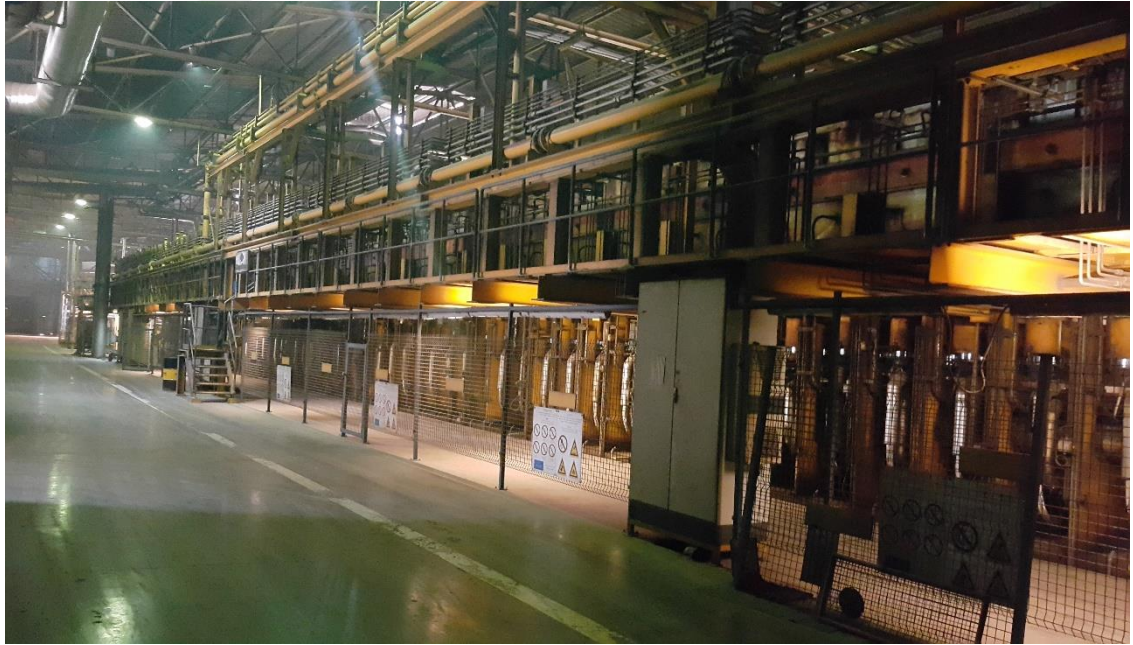
Tek katlı preslerde sadece bir tane levha preslenir. Taslak, metal veya ısıya dayanıklı plastik hızlandırma bandı üzerinde prese taşınmakta ve preslenmektedir. Levha kalınlığı katlar arasına konulan kalınlık tozları veya elektronik olarak çalışan pistonlar yardımı ile sağlanır.

Sürekli Pres

Sürekli pres sistemi izobarik ve izokorik sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. MDF ve yonga levha üretiminde kullanılan presler izokorik sisteme sahiptir [59]. Dünyada sürekli pres üreten 4 firma vardır. Bunlar Küsters, Dieffenbacher, Siempelkamp ve Bison'dur.

Mende Pres

Bu pres günümüz sürekli preslerin temelini oluşturmaktadır. Mende pres, ince MDF üretimi için çok uygun bir pres tipi olup, dünyanın birçok ülkesinde kullanılmaktadır [45]. Pres ünitesi Şekil 1.18'de gösterilmektedir.



Şekil 1.18. Pres ünitesi.

1.5.12 Liflerin Klimatize Edilmesi

Günümüzde MDF, yonga levha gibi levha ürünlerinde klimatizasyon işlemi 360° dönebilen yıldız soğutucularla yapılmaktadır. 18 mm MDF için klimatizasyon süresi

40-45 dk. iken, 5 mm'den daha ince levhalarda bandın hızı yüksek olduğundan levhalar klimatizasyona alınamamakta ve aralarına çıtalar konarak istifte soğumaya bırakılmaktadır. Eğer klimatizasyon işlemi yapılmazsa levhaların sıcaklığı ortamın sıcaklığından yüksek olduğundan levhada kısa süre içinde deformasyon meydana gelmekte ve levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri düşmektedir. Yıldız soğutucudan çıkan levhalar bant üzerinde üst üste birikmekte ve forklift ile yerden 70-80 cm yükseklikte depoda dinlendirmeye alınmaktadır. Yıldız soğutucu Şekil 1.19'da gösterilmektedir.



Şekil 1.19. Yıldız soğutucu.

1.5.13 Zımparalama, Boyutlandırma ve Depolama (Sanding, Cut to Size and Storage)

Levhalar diğer işlemlere başlamadan önce birkaç günden 15 güne kadar bir süre içinde istif edilerek bekletilir. Bu süre içerisinde levhada daha sonraki sertleşme veya kondisyonlama olarak ifade edilen kimyasal ve fiziksel değişimler meydana gelir. Burada esas itibarıyla meydana gelen en önemli değişimler rutubet miktarı ve sıcaklığın levhanın her yerinde dengelenmesidir [31].

Zımparalama işleminin ana amacı; levhadaki kalınlık hatalarını gidermek ve mobilya üretiminde üst yüzey işleminden önce düzgün ve az pürüzsüz bir yüzey elde etmektir. MDF levhanın boyutlandırılmasının amacı; önceden standardize edilmiş ölçülere

getirmektedir. Bu fazlalıklar pres veya daha önceki aşama olan yonga levha yapımından dolayı meydana gelen fazlalıklardır.

Zımparalamadan sonra, levhalar yüzeylerine ve enine kesitlere bakılarak sınıflandırılır. Statik preslerde ebatlandırma zımparalamadan önce yapılırken, sürekli preslerde zımparalamadan sonra yapılmaktadır. Sınıflara ayrılan levhalar işaretlenme işlemi yapıldıktan sonra, düzgün bir altlık üzerinde istif edilirler [25].

1.6 FORMALDEHİT EMİSYONU VE OLUŞUMU

Formaldehit, pek çok yapı malzemesi ve ev eşyasında bulunan, insan sağlığı ve ekosistem için çok zararlı kimyasal bir madde olup, renksiz, keskin kokulu bir gazdır. Formaldehitin insanları farklı şekillerde etkilediği, bazı insanlar fazla rahatsızlık duymazken, bazılarının ise düşük düzeyde formaldehitten bile ciddi şekilde etkilenmesi söz konusu olabilmektedir. Ayrıca, formaldehitin kendisi ya da diğer kimyasallarla hazırlanan bileşikler mobilya imalatında; boyalarda ve kaplamalarda koruyucu olarak, döşemeler ve perdelerle kalıcı şekil verilmesi amacıyla zımpar ve yapıştırıcıların bileşeni olarak kullanılmaktadır. Evlerde tipik formaldehit kaynakları üretilen formaldehit tutkalı ile üretilen levha ürünleridir. Bunlar içinde özellikle MDF ürünleri en fazla formaldehit yayan ürünlerdir. Yapılan deneylerde formaldehit ve uçucu organik bileşiklerin MDF'den yapılan büro mobilyalarından aylarca yayılabildiği belirlenmiştir. Mobilyalardan ortama formaldehit yayılımı, ortam sıcaklığı ve nemin artması ile artış göstermektedir [60].

Yüksek sıcaklık ve yüksek rutubet içeriği ÜF tutkalları ile üretilmiş MDF ve yonga levhaların içinde bulunduğu odada kötü koku problemi meydana getirmektedir. ÜF tutkalı kullanılarak üretilen levha ürünlerinde formaldehitin açığa çıkması iki faktör nedeniyle olabilir. İlki reaksiyona girmemiş ve levha yapısında var olan serbest formaldehitten olup, ikincisi ise sıcaklık ve rutubet etkisiyle aminoplastik bağların hidrolizi sonucu oluşan formaldehitten ileri gelebilir. Formaldehitin açığa çıkış şekillerinden ilki olan yongalevha ve MDF'lerde formaldehit emisyonunu birçok faktör etkilemektedir. Bunlardan en önemlileri üretilen formaldehitin mol oranı, pres sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve kullanım yerindeki rutubet içeriğidir [3].

MDF üretiminde kullanılan üre formaldehit tutkallarının içinde tutkalın üretim aşamasında reaksiyona girmeden kalan formaldehit ile MDF üretim aşamasındaki kondenzasyon reaksiyonu sırasında oluşan ve levha yapısından tamamen atılamayan bir miktar daha formaldehit kalmasından dolayı sözü edilen formaldehit miktarlarının düzeyine bağlı olarak üretilen levha ürünleri E1 ve E2 olarak isimlendirilmektedir. E1'in ifade ettiği anlam direnç ve su ilişkileri bakımından en az EN normlarını karşılayan, diğer taraftan da sağlık açısından özellikle kanser riski ve alerjik astım oluşumuna neden olma bakımından risk içermeyen ürün anlamına gelmektedir.

Levha taslağının sıcak presleme aşamasında gerek yarıda kalan kondenzasyon reaksiyonu gereği metilenol üre yapıları arasında ve gerekse de polimerleşen tutkal ile odunu oluşturan lif yüzeylerindeki karbonhidratların C6'daki OH⁻, halka oksijeni ve köprü oksijeni arasında bağlanma kurulacaktır. Bu yapılar arasında kurulan bağlar kondenzasyon reaksiyonunun gereği olarak ya sadece su ya da su ile formaldehit açığa çıkaracaktır. Burada ortaya çıkan formaldehit kondenzasyon reaksiyonunun sonucu olarak metilenol üre yapıları arasında -CH₂- şeklindeki bağlanmayla gerçekleşir. Bu oluşum pres sıcaklığı, pres basıncı ve ortam p^H'ına bağlı olarak gerçekleşir. Oysa, üretilen tutkalın mol oranına ve üretim sonrası uygulanan vakumun büyüklüğüne ve uygulama şekline bağlı olarak da tutkal içersinde bir miktar formaldehit kalmaktadır.

Sonuç olarak, gerek tutkal üretim aşamasında levha içerisinde kalan formaldehit gerekse de preste devam ettirilen kondenzasyon reaksiyonu sonucu oluşan formaldehit üretimden hemen sonra levhadan çevreye yayılan formaldehitin ana kaynağını oluşturmaktadır. Ayrıca, üretilen levhaların kullanım sırasında rutubete maruz kalmaları sonucu özellikle, selülozun C6'daki OH⁻ grubuyla polimerleşen bağlanmalarda formaldehit bozunmaları söz konusu olacaktır. Bu tür bir bozunma da formaldehit yayılımını tetikleyecektir.

Kapalı ortam kirleticilerinden formaldehit, sağlığa etkileri ve ev ortamında kirletici olarak yaygın olarak rastlanmaları nedeniyle önemlidir. Üre-formaldehit kapalı ortam kirleticilerinden en basit olanı ve en sık saptananıdır. Aynı zamanda üzerinde en fazla çalışılmış olan aldehittir. Formaldehit alevlenebilen, renksiz, kolay polimerize olan uçucu bir bileşiktir ve çevrede doğal ya da insan kaynaklı (egzost gazları, emisyonlar, sigara vb) olarak bulunmaktadır. Evlerde yapılan araştırmalarda yüksek miktarlarda saptanabilmektedir. Formaldehit, baş ağrısı, bulantı ve baş dönmesi gibi özgül olmayan belirtilerin yanında boğazda iritasyon, alerjik reaksiyonlar, gözlerde kızarıklık, sulanma,

burun akıntısı vb belirtilere neden olmaktadır. Özellikle kronik etkilenim varlığında kronik konjunktivit, farenjit, larenjit, bronşit ve öksürüğe neden olabilmektedir. Aynı zamanda kontakt dermatite, polen ve diğer alerjenlere bağlı alerjik rahatsızlıkların ortaya çıkmasına ya da hastalık seyirlerinin ağırlaşmasına neden olabilmektedir. Formaldehitin neden olduğu klinik belirtiler kişisel duyarlılıkla da ilişkilidir. Formaldehitin astımın oluşumunda rol alabildiği ve astımlılarda gece ortaya çıkan solunum güçlükleri ile ilişkili bulunduğu bildirilmektedir. 2004 Haziran ayında uluslararası kanser araştırma ajansı (Dünya Sağlık Organizasyonu Bölümü-IARC) formaldehiti 2A kategorisinden daha kanserojen bir madde sınıfı olan kategori 1'e yükseltmiştir. Yakın zamanda yapılan çalışmalarda formaldehitin özellikle burun ve üst solunum yolu kanserlerine neden olabileceği, ayrıca ultraviyole'ye bağlı deri kanserlerinin gelişimine katkıda bulunduğu bildirilmektedir. Çocuklar zamanlarının çoğunu evde ya da diğer kapalı ortamlarda geçirdiklerinden önemli bir risk grubudur ve kapalı ortamlarda mobilya ve dekorasyon malzemelerinden yayılan formaldehit etkilenimi açısından da risk altındadırlar. Okullarda yapılan bir çalışmada da açık raflar ve dokuma ürünlerinin fazla olduğu sınıflarda formaldehit düzeyinin yüksek olduğu saptanmıştır [61].

Ahşap kompozit levhaların (yonga levha, kontrplak, MDF) üretiminde; ucuzluğu, açık renkli olması, yüksek reaksiyon hızı ve geniş tolerans sınırları nedeniyle ÜF tutkalı önemli oranda tüketilmektedir. Bu levhaların üretimi ve kullanımı esnasında, kullanılan ahşap türü, reçine tipi ve miktarı, presleme şartları, sertleştirici ve ilave maddelerin miktar ve türleri ile odun rutubeti gibi üretim parametrelerine bağlı olarak açığa çıkan formaldehit miktarı değişmektedir [62].

1.6.1 Formaldehit Emisyonuna Etki Eden Faktörler

Yonga levha ve MDF'lerde formaldehit emisyonunu birçok faktör etkilemektedir. Bunlardan en önemlileri üre ile formaldehitin mol oranı, pres sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve kullanım yerindeki rutubet içeriğidir [3]. Formaldehitin insan sağlığı üzerine olan etkisinin en aza indirilmesi için Avrupa Birliği ülkelerinde serbest formaldehit miktarı 3-8 mg formaldehit/100 gr levha olarak öngörülmektedir. Hatta E0 olarak kabul edilen 2 mg formaldehit/100 gr levhaya doğru bir geçiş söz konusudur [63]. Ayrıca, formaldehit, Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu tarafından kanserojen özelliği açısından Grup 2A olarak sınıflanmıştır. Yakın zamanda yapılan çalışmalarda formaldehitin özellikle

burun ve üst solunum yolu kanserlerine neden olabileceği, ultraviyoleye bağlı deri kanserlerinin gelişimine neden olduğu bildirilmektedir. Bu nedenlerden dolayı son zamanlarda odun ürünlerinden açığa çıkan formaldehit emisyonunu azaltmak veya elimine etmek için düzenleyici baskılar söz konusu olmaya başlamıştır. Formaldehit ile ilgili yasal düzenlemelerin artışı ve de zehirlilik etkisine bağlı olarak endüstriyel iş yerlerinde formaldehitin zehirlilik etkisini azaltmak için ciddi önlemler alınması yoluna gidilmiştir [60]. Odun esaslı panellerden formaldehit emisyonu konusu, formaldehit önemli bir zehirli madde olarak bilindiğinden beri halk arasında büyük önem arz etmektedir. Aslında, Uluslar arası Kanser Araştırma Kurumu ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kanserojen madde olarak bilinen Grup 2A sınıfı içerisinde Haziran 2004 te formaldehit yeniden sınıflandırılarak bu grup içerisinde yer almıştır (IARC, 2004).

Formaldehit emisyonuna etki eden faktörler şu şekilde sıralanmaktadır [64].

1. Ağaç türü
2. Tutkaldaki formaldehit miktarı U/F mol oranı
3. Sertleştirici
4. Presleme şartlarının etkisi
5. Tutkal miktarı
6. Formaldehit tutucular
7. Levhaların depolanması

1.6.2 Formaldehit Emisyonu Belirleme Yöntemleri

1970'li yılların ilk yarısında ÜF tutkalı ile üretilen odun kökenli levhalardan ayrıran formaldehitin özellikleri üzerine dikkate değer bir özellik gösterilmiştir. Formaldehit emisyonuna maruz kalma sonucu insan sağlığının etkilenmesi ile ilgili kaygılar bu ürünlerin üretiminde yeni bağlayıcıların kullanımı ve formaldehit emisyonu potansiyelini azaltma sistemine yönelik araştırmaları arttırmıştır. Yapılan üretim kontrolleri 1980-1982 yılları arasında formaldehit emisyon düzeyini önemli ölçüde azalmasına neden olmuş ve standart test metotlarının geliştirilmesine yol açmıştır. Serbest formaldehiti belirlemek için kullanılan en yaygın metot EN 120'ye göre yapılan perforatör ve gaz analizi (EN 717-2) yöntemidir [65]. Flask yöntemi (EN 717-3) de yüksek rutubet (yaklaşık %100) ve 40° C'lıkta uygulanan diğer bir formaldehit emisyonu belirleme yöntemidir [66]. EN 717-1 chamber yönteminde ise sıcaklık, bağlı

nem, hava değişim oranı ve yükleme hızı (levha/m³ hacimdeki m²) kararlı hal alıncaya dek ölçüm yapılmaktadır [67]. Bir chamber yöntemi olan Japon chamber yönteminde ise Avrupa chamber yöntemi ile karşılaştırıldığında daha yüksek sıcaklık (28°C), daha düşük hava değişim oranı (0.5/h) ve daha yüksek yükleme hızı (2.2 m² /m³) söz konusudur. Diğer bir yöntem de desikatör yöntemi olup (JIS A 1460) Asya’da yaygın olarak kullanılmakta olan flask yöntemine benzer bir yöntemdir.

1.6.2.1 Gaz Analiz Yöntemi

Bu yöntemde içerisinde deney örneği bulunan bir reaksiyon borusuna sabit hız ve sıcaklıkta hava gönderilmekte ve buradan çıkan formaldehitli hava boru çıkışına yerleştirilen yıkama şişelerindeki destile suda absorbe edilir. Destile su içerisinde absorbe edilen formaldehitin fotometrik olarak belirlendiği bu yöntemde deney süresi 4 saat olup 1 saat içerisindeki hava değişimi 60 litredir.

Formaldehit emisyonu belirlenmek istenen levhadan üç örnek alınması gerekmekte ve ayrıca 25x25xkalınlık mm boyutlarındaki örneklerin rutubetleri belirlenmektedir. Gaz analizi için 400x50xkalınlık mm boyutlarında örneklerin kenarları kaplanmış veya açık olarak deneye alınabilmektedir. Bütün örnekler kesimden hemen sonra hava geçirmez şekilde paketlenir ve analiz yapılmıncaya kadar oda sıcaklığında saklanır [65], [68].

Gaz analizi yöntemi ile de levha ürünlerinden açığa çıkan formaldehit emisyonu belirlenebilmektedir. Yüzey alanı bilinen test örneği sıcaklık, bağıl nem, hava akışı ve basıncı kontrol altında tutulan bir odaya yerleştirilmektedir. Test örneklerinden açığa çıkan formaldehit havaya karışmakta ve bu hava odadan alınmaktadır. Suda absorbe edilen formaldehit fotometrik olarak belirlenmektedir. Özellikle, 60°C gibi yüksek sıcaklık ve yüksek hava değişimi oranları ile bu yöntem chamber yönteminden ayırt edilebilmektedir [65].

1.6.2.2 Kabin Yöntemi

Bu yöntemle iç ölçüleri 1250x1000x800 mm = 1 m³ olan bir kabin içine yerleştirilen malzemelerden formaldehit ayrışması oranı; sıcaklık, bağıl nem, hava değiştirme sayısı ve kabin doluluk oranı (örnek alanının alan hacmine oranı) varyasyonları dikkate alınarak ölçülür [62].

1.6.2.3 Deney Odası Yöntemi

A.B.D. Japonya, İskandinav ülkeleri ve Almanya’da kullanılmakta olan bu yönteme göre, büyük boyutlardaki yonga levha ve mamül mobilyaların formaldehit ayrışması, geniş hacimli deney odalarında ölçülmektedir. Mobilyaların ve büyük boyutlardaki levhaların kullanılabilmesi sebebiyle elde edilen sonuçlar, pratik değerlere, diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha yakındır. Bu yöntemde klima şartları, hava değiştirme sayısı ve süreye bağlı olarak, örneklerin formaldehit ayrışmasındaki değişimleri tespit edilebilir [64].

1.6.2.4 WKI-Şişe Yöntemi

Uygulanması oldukça basit olan bu metot, diğer metotlara nazaran maliyetinin düşük olması yanında çalışma ortamında önemli sağlık problemleri yaratmaması gibi avantajlara sahiptir. Levha üretiminde tutkal reçetelerindeki küçük değişikliklerle, perforatör yöntemine göre, ölçümlerde daha hassas sonuçlar elde edilebilmektedir. Bunun yanında deney süresinin 24 saat olması sakıncalı yanı olarak gösterilmektedir.

1975 yılında Almanya’da geliştirilen bu metotla odun levhaları yanında duvar kâğıdı ve sentetik halılarda da formaldehit ayrışması ölçülebilir [68].

1.6.2.5 Desikatör Yöntemi

Amerikan desikatör yönteminde 10,5 litrelik desikatör kullanılmakta ve deney süresi $24 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 2 veya 24 saat olabilmektedir. Desikatör içerisine absorpsiyon çözeltilisi olarak konulan destile suyun miktarı, deneyin 2 saat olması durumunda 100 ml lik bir petri kabı içinde 25 ml, 24 saat sürmesi halinde 400 ml lik beher içinde 300 ml olmalıdır. Absorpsiyon çözeltilisindeki formaldehit kromatografik asit ve asetil-aseton yöntemleriyle belirlenebilir ve mg/ml olarak hesaplanır [62].

Formaldehit emisyonu

Deney MDF plakaları formaldehit emisyon ölçümleri TS 4894 EN 120 esaslarına göre, perforatör yöntemiyle fotometrik olarak ölçülmüştür [69].

Deney numunelerinin formaldehit emisyonu ölçümleri, Yıldız Sunta MDF A.Ş. bünyesinde bulunan Tutkal bölümü, deney laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

1.6.2.6 Perferatör Yöntemi

Bu yöntemde (TS 4894 EN 120) toluen içerisinde kaynatılan levha örneklerinden formaldehitin destile suya geçmesi sağlanmakta ve sulu çözeltideki formaldehit miktarı da iyodometrik veya fotometrik olarak belirlenerek kuru levha ağırlığına oranlanmaktadır [69].

Perferatör yönteminin bazı sakıncaları aşağıda belirtilmiştir. Bunlar;

1. Farklı rutubetlerdeki yonga levhalardan farklı sonuçlar verebilmesi
2. İyodometrik ve fotometrik ölçülen değerler arasındaki farklılığın yüksek olabilmesi
3. Kullanılan teçhizat ve malzeme fiyatlarının yüksek olması
4. Her perferatör cihazında bir iş gününde sadece iki analizin yapılabilmesi
5. Özellikle 10mg/100gr'dan daha düşük formaldehit emisyon değerlerinde hatalı sonuç
6. Toluen buharlarının neden olabileceği sağlık problemleridir.

1.6.2.7 Chamber Yöntemi

Chamber yöntemi, formaldehit emisyonunun değerlendirmesi için referans olacak bir yöntemdir. Örnek, 1 veya 0.225 m³ hacimdeki bir oda içersine yerleştirilir. Odadaki sıcaklık 23°C ve bağıl nem %45'tir. Test örneklerinden açığa çıkan formaldehit odadaki havaya karışmaktadır. Günde iki kez havadan belirli oranlarda örnek alınmaktadır. Formaldehit, su içeren cam balon içersinde absorbe edilmektedir. Deney sonucu, ppm veya mg/ m³ cinsinden verilmektedir [67].

1.6.2.8 Flask Yöntemi

Bu yöntemde, kütlesi bilinen örnek sabit sıcaklık altındaki kapalı bir kap içersinde suyun üzerinde olacak şekilde asılı halde tutulmaktadır. Yayılan formaldehit su tarafından absorbe edilmekte ve fotometrik olarak belirlenmektedir [65]. Özellikle, örneklerin boyutlarının homojen olmaması, havalandırmanın yapılamaması, yüksek sıcaklık (40°C) ve yüksek bağıl nem gibi özellikleri ile chamber yönteminden ayırt edilmektedir.

1.6.3 Formaldehitin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri ve Günümüzde Formaldehit Sınırlamaları

Formaldehit gerek iç mekânlarda gerekse de dış hava ortamında düşük konsantrasyonlarda genellikle de 0.06 ppm'den daha az olacak şekilde bulunur. Havadaki konsantrasyonu 0.1 ppm'e ulaştığında şiddetli sağlık sorunu oluşturmaya başlar. Özellikle, gözlerde sulanma, göz, burun ve boğazda yanma hissi, bulantı, öksürme, nefes darlığı, hırıltı ve deride kızarıklık oluşur. Yüksek konsantrasyon astımlı insanlarda atakları sıklaştırabilir. Ayrıca, bazı insanların formaldehite hassasiyet gelişimi gösterdiği gözlenmiştir. Özellikle kronik etkilerin varlığında farenjit, larenjit, bronşit ve öksürüğe neden olabilmektedir. Aynı zamanda kontakt dermatite, polen ve diğer alerjenlere bağlı alerjik rahatsızlıkların ortaya çıkmasına ya da hastalık seyirlerinin ağırlaşmasına neden olabilmektedir. Formaldehitin neden olduğu klinik belirtiler kişisel duyarlılıkla da ilişkilidir. Formaldehitin astımın oluşumunda rol alabildiği ve astımlılarda gece ortaya çıkan solunum güçlükleri ile ilişkili bulunduğu bildirilmektedir [60].

Formaldehitin insan sağlığına olumsuz etkileri nedeniyle, bazı ülkelerde 1980 yılından itibaren ayrışan formaldehit miktarlarını sınırlayıcı idari tedbirler alınmıştır. Formaldehitin bazı konsantrasyonlarda merkezi sinir sistemi üzerine uyuşturucu ve solunum sistemini tahriş edici etkisi bulunmaktadır. Uzun zincirli aldehidlerde uyuşturucu etkisinin ağırlıkta olmasına rağmen, kısa zincirlerde tahriş edici etki ağır basmaktadır. Formaldehitin tahriş edici etkisi daha çok üst solunum yollarında görülmektedir [15]. Kanseri araştırmalarında laboratuvar hayvanları uzun süre formaldehite maruz bakıldığında kansere yakalandıkları gözlenmiş ve bu nedenle de Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından formaldehit kanser yapma riski bulunan maddeler sınıfına dâhil edilmiştir. Bu risk formaldehite maruz kalma süresine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. MDF gibi odun kompozit levhalarının ve tekstil ürünlerinden açığa çıkan formaldehitin oranı değişebilmektedir. Formaldehit emisyonu ürün eskidikçe azalmaktadır. Ürünler yeni iken yüksek olup, iç ortam sıcaklıkları ve rutubeti bu ürünlerden formaldehitin açığa çıkan miktarını artırmaktadır [60].

Kompozit odun panellerinden açığa çıkan formaldehitin yayılması esasen bu panellerin üretiminde bağlayıcı tutkal olarak üretilen formaldehit tutkalı kullanımı ile ilgilidir. Bu tutkalın yüksek reaktifliği ve düşük fiyatı, reaksiyona girmemiş serbest formaldehit

varlığı ve hidrolize karşı direncinin düşük olması formaldehit emisyonuna neden olmaktadır. Düşük seviyede (üre-melamin-formaldehit tutkalları, ÜMF) veya yüksek seviyede (melamin-üre-formaldehit tutkalları, MÜF) melamin kullanımı ile üretilen tutkal kopolimerleri hidrolitik stabiliteyi geliştirmektedir, fakat çok düşük formaldehit emisyon değerleri açısından kesin olmayan bir durum içermektedir [70].

Ülke	Standart	Test Yöntemi	Levha sınıfı	Limit değeri
Avrupa	EN 13986	Kabin EN 717-1	E1-PB, MDF, OSB	≤ 0.1 ppm
		Perforatör EN 120		≤ 8 mg/100 g
		Kabin EN 717-1	E1-PW	≤ 0.1 ppm
		Gaz Analizi EN 717-2		≤ 3.5 mg/hxm ²
		Kabin EN 717-1	E2-PB, MDF, OSB	> 0.1 ppm
		Perforatör EN 120		$> 8 - \leq 30$ mg/100 g
		Kabin EN 717-1	E2-PW	> 0.1 ppm
		Gaz Analizi EN 717-2		> 3.5 $\leq \pm 8.0$ mg/hxm ²
Avustralya	AS/NZS 1859-1 & 2	Desikatör AS/NZS 4266.16	E0-PB, MDF	≤ 0.5 mg/L
			E1-PB	≤ 1.5 mg/L
			E1-MDF	≤ 1.0 mg/L
			E2-PB, MDF	≤ 4.5 mg/L
U.S.A.	ANSI A208. 1 & 2 (PB&MDF)	Geniş Kabin ASTM E1333	PB, MDF	≤ 0.3 ppm
		Geniş Kabin ASTM E1333	PW	≤ 0.3 ppm
		Geniş Kabin ASTM E1333	PW duvar panelleri	≤ 0.2 ppm
Japonya	JIS A 5908& 5905 (PB& MDF)	Desikatör JIS A 1460	F**	≤ 1.5 mg/L
			F***/E0	≤ 0.5 mg/L
			F****/E0	≤ 0.3 mg/L

PB:Yonga levha, MDF:Orta Yoğunlukta Lif Levha, OSB: Yönlendirilmiş Yonga Levha, PW: Kontrplak
 Şekil 1.20. Avrupa, Avustralya, Amerika ve Japonya'daki odun esaslı paneller için formaldehit emisyon standartları [70].

Formaldehit emisyonundan kaynaklanan sorunların çözümü üzerine birçok çalışma yapılmış ve çözüm alternatifleri olarak;

Yeni tutkal formülasyonlarının geliştirilmesi,

Alternatif tutkallama sistemlerinin (PF, PMDI) uygulamaya alınması,

Biokütle ürünleri veya yan ürün esaslı tutkalların (örneğin soya, tanen, lignin) kullanımının yaygınlaştırılması bunlar arasında sayılabilir [70].

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1 MATERİYAL

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan hammadde, tutkal, kimyasal maddelere ait bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

MDF üretiminde kullanılan lifler Yıldız Sunta MDF A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Levhaların üretimi Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2.1.1 Odun

Bu çalışmada %60 haker sert (kayın, dış budak, meşe, kızılğayağ) %40 yerli çam ağaçların yongalama ve liflendirme ünitelerinden elde edilen lif karışımı kullanılmıştır. Lifler, Yıldız Sunta MDF A.Ş. firmasından temin edilerek Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında getirilmiştir.

2.1.2 Tutkal

Levhaların üretimi için gerekli tutkal Yıldız Sunta A.Ş. tarafından sağlanmıştır. Çalışmalar sırasında 1:1.12 mol oranlı üre formaldehit tutkalı ile üretim yapılmıştır. Levhaların üretiminde, bu tutkaldan tam kuru lif ağırlığına set değeri 8.5 oranında kullanılmış olup, bu tutkala ait teknik özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Üre formaldehit tutkalına ait teknik özellikler.

Üretim Tarihi	07.02.2015
Mol Kesri	1,12
Katı Madde %	49,63
Yoğunluk (20°C)’de	1,205 gr/cm ³
Viskozite cPs (20°C)	13,8 sn
p ^H (20°C)	8,11
Jelleşme süresi (s, 100°C)	70 sn
Su Toleransı	50/190

2.1.3 Nişasta (Starch)

Nişasta (glucidex) numunesi Roquette Tarım ve Gıda Ltd. Şti. tarafından temin edilmiştir. Beyaz toz halindeki glucidex, levha üretiminde tam kuru tutkal ağırlığına oranla, % 0, % 3, % 5, % 8, % 11 ve % 15 ilave edilerek life karıştırılmıştır.

2.1.4 Parafin

Tam kuru lif ağırlığına oranla %0.75 oranında eritilmiş maksimum %8 yağ içeren katı parafin parafin kullanılmıştır. Parafinler Mercan Kimya'dan temin edilmiştir.

2.2 METOD

Deney levhalarının üretiminde daha önce fabrikada liflendirme yöntemi ile elde edilen lifler kullanılmıştır. Lifler %3 rutubete kadar fabrikada kurutulmuştur. Üretim planı Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Levha üretim planı.

Levha Grupları	Tutkal Türü	Katkı Maddesi (Nişasta%)	Pasta Kalınlığı (mm)	Pres Sıcaklığı (°C)	Pres Süresi (dk)	Pres Basıncı (N/mm ²)
A	ÜF	0	18	150	7	0,22-0,24
B	ÜF	3	18	150	7	0,22-0,24
C	ÜF	5	18	150	7	0,22-0,24
D	ÜF	8	18	150	7	0,22-0,24
E	ÜF	11	18	150	7	0,22-0,24
F	ÜF	15	18	150	7	0,22-0,24

2.2.1 Fiziksel Özellikler

2.2.1.1 Özgül Kütle

TS-EN 323 (1999) de belirtilen esaslara göre 50x50 mm boyutlarında 6 adet örnek kullanılmıştır [71]. TS-EN 326-1 (1999) de belirtilen esaslara göre 20 ± 2 °C ve bağıl nemi % 65 ± 5 olan ortamda klimatize edilen örnekleri 0.01 gr hassasiyetli tartım yapabilen terazide tartılmış ve boyutları ise 0.01 hassasiyetli kumpasla ölçülmüştür [72].

Buna göre, özgül kütle Eşitlik 2.1'de gösterilmiştir;

$$d = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} (10^6) (kg/m^3) \quad (2.1)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır.

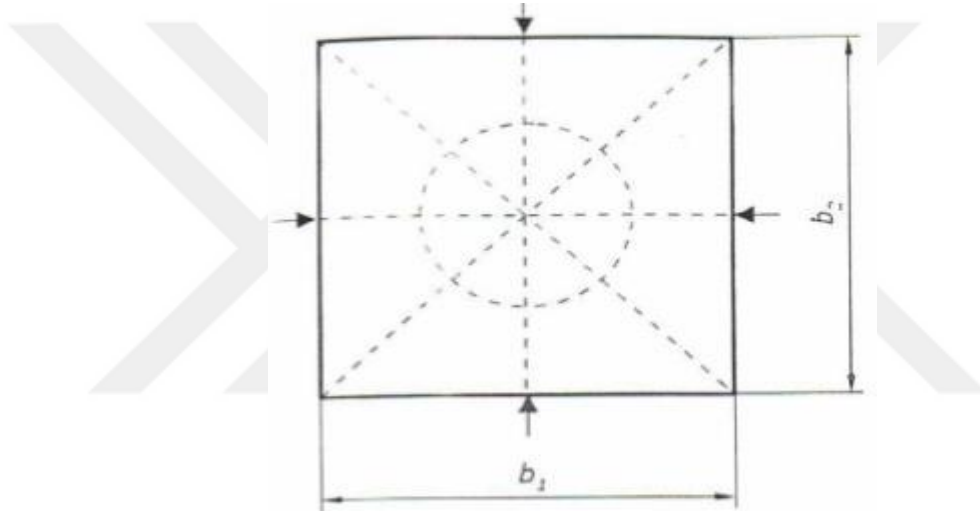
Burada;

d : Özgül kütle (kg/m^3)

m : Örnek ağırlığı (g)

b_1, b_2, t : Örnek hacmi (mm)

b_1, b_2 kenar uzunlukları deney parçasının kenarlarına paralel ve karşılıklı iki kenarın ortasından olmak üzere iki noktadan 0.1 mm hassasiyetle Şekil 2.1’de gösterildiği gibi ölçülmüştür [71].



Şekil 2.1. Yoğunluk hesaplanmasında deney parçasının kenar uzunluklarının ölçme noktaları.

2.2.1.2 Rutubet Miktarı

Rutubet miktarının belirlenmesi TS-EN 322 (1999) da belirlenen esaslara göre yapılmıştır [73]. Levhanın rutubet miktarı, her bir levha grubu için 6 adet olmak üzere standarda uygun olarak 50x50 mm boyutlarında hazırlanan örneklerde belirlenmiştir. Örnekler 0.01 g duyarlılıkta terazide tartılmıştır. Daha sonra kurutma dolabına koyulan numuneler 103 ± 2 °C’de değişmez kütleye ulaşınca kadar kurutulmuştur. 6 saat ara ile yapılan tartmalarda, birbirini izleyen iki tartım arasındaki kütle farkının, deney parçası kütlelerinin 0.01’inden fazla olmaması durumuna geldiğinde, bu kütle değişmez kütle olarak kabul edilir. Daha sonra deney örnekleri kurutma fırınından çıkarılarak

desikatörde soğutulduktan sonra 0.01 g duyarlıkta terazide tartılmıştır. Buna göre örneklerin rutubet miktarları Eşitlik 2.2’de gösterilmiştir.

$$r = \frac{mr - mo}{mo} \times (100) \quad (2.2)$$

eşitliği kullanılmıştır. Burada;

mr : Klimatize edilmiş durumdaki örnek ağırlığı (g)

mo : Tam kuru haldeki örnek ağırlığı (g)

r : Rutubet (%)

2.2.1.3 Su Alma Miktarı

2 saat ve 24 saat su alma miktarlarının belirlenmesinde 50x50 mm ebatlarında 6 adet numune kullanılmıştır. Deney parçaları % 65±5 nisbi rutubet ve 20±2 °C sıcaklıkta değişmez kütleye ulaşmaya kadar klimatize edilmiştir. Her deney parçası 0.01 g duyarlıkta terazide tartıldıktan sonra içerisindeki suyun sıcaklığı 20±1 °C olan termostatlı su banyosuna numuneler birbirine değmeyecek şekilde su yüzeyinden 25 mm aşağıda olarak konulmuştur. 2 ve 24 saat sonra numuneler sudan dışarı alınıp bir bez ile fazla suyu atılmış ve bu durumdaki ağırlıkları 0.01 g duyarlılıktaki terazide tartılmıştır. Kullanılan su her defasında değiştirilmiştir. Buna göre su alma miktarı Eşitlik 2.3’te gösterilmiştir.

$$Sa = \frac{t2 - t1}{t1} \times (100) \quad (2.3)$$

burada,

Sa : Su alma (%)

t1 : Deney parçasının suya daldırmadan önceki ağırlığı (g)

t2 : Deney parçasının suya daldırdıktan sonraki ağırlığı (g)

2.2.1.4 Kalınlık Artışı

2 saat, 24 saat, saat su içerisinde bekletilen örneklerin kalınlık artımlarının belirlenmesi için su alma deneylerinde kullanılan örneklerden yararlanılmıştır. Kalınlıklar TS-EN 317 (1999)’de belirtilen esaslara uygun olarak 6 adet örnek hazırlanmıştır [74]. Örneklerin

tam ortasından 0.01 mm duyarlılıkta kumpasla ölçülmüştür. Deney örnekleri 20 ± 2 °C sıcaklıkta temiz suda 2 ve 24 saatlik süre ile su yüzeyinden 25 mm aşağıda tutulmuştur. 2 ve 24 sonra sudan çıkarılan örneklerin fazla suları bir bezle alınmış ve kalınlıklar ilk ölçüm noktasından tekrar ölçülmüştür. Bunlara göre kalınlık artışı Eşitlik 2.4'te gösterilmiştir.

$$Ka = \frac{my-ek}{ek} \times (100) \quad (2.4)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

Ka : Kalınlık artışı (%)

My : Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

ek : Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)



Şekil 2.2. Su alma ve kalınlık artımı testi için parçaların suda bekletilmesi.

2.2.2 Mekanik Özellikler

Mekanik deneyler için Yıldız Sunta MDF A.Ş. Fabrikasında bulunan IMAL marka bilgisayarlı Üniuersal Test Makinası kullanılmıştır. Bu cihazın kalibrasyonu TSE tarafından yapılarak gerekli sertifika alınmıştır.

2.2.2.1 Eğilme Direnci

Eğilme direnci deneyleri TS-EN 310 (1999) standartlarına uygun olarak yapılmıştır [75]. Örnek boyutları standartlarda belirtildiği gibi destek noktaları arasındaki mesafe Kalınlık x 41 cm x 5 cm alınmıştır. Deney parçaları % 65 ± 5 nisbi rutubet ve 20 ± 2 °C sıcaklık

şartlarında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar klimatize edildikten sonra 24 saat ara ile yapılan tartımlarda birbirini izleyen iki ölçme arasında kütle farkının, deney parçası kütlesinin % 0.1'inden fazla olmaması durumuna geldiğinde, bu kütle değişmez olarak kabul edilmiştir. 6'şar adet örneğin klimatize edilme işlemi tamamlandıktan sonra genişlik bir, kalınlıklar ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde iki noktadan 0.01 mm duyarlılıkta kumpasla ölçülerek ortalaması alınmıştır. Eğilme direnci deney düzeneği şekil 2.3 da gösterilmiştir. Deneyler Üniversal test makinesinde yapılmıştır. Buna göre eğilme direnci Eşitlik 2.5'te verilmiştir.

$$f_m = \frac{3xF_{max}l_1}{2xbxt^2} (N/mm^2) \quad (2.5)$$

Eşitliğinden yararlanılmıştır.

Burada;

f_m : Eğilme direnci (N/mm^2)

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

l_1 : Dayanakların eksenleri arasındaki mesafe (mm)

b : Deney parçasının genişliği (mm)

t : Deney parçasının kalınlığı (mm)



Şekil 2.3. Eğilme direnci testinin yapılışı.

2.2.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülü TS-EN 310 (1999) standartlarına uyularak belirlenmiştir [75]. Kuvvet deney boyunca sabit hızla uygulanmış ve yükleme başlığının hızı en büyük kuvvete 60 ± 30 saniyede ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Her deney parçasının elastikiyet modülü Eşitlik 2.6'daki şekilde hesaplanır.

$$Em = \frac{l_1^3 x (F_2 - F_1)}{4 x b x t^3 x (a_2 - a_1)} (N/mm^2) \quad (2.6)$$

Burada;

Em : Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm^2)

l_1 : Dayanaklarının eksenleri arasındaki mesafe (mm)

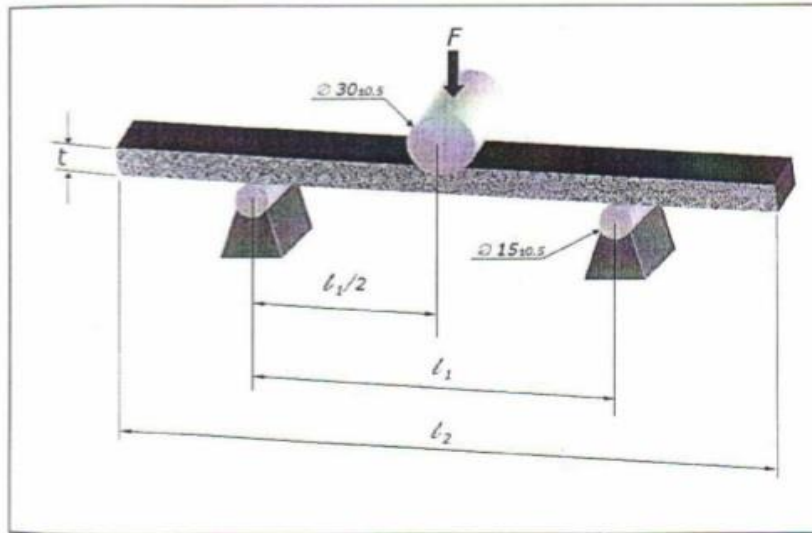
b : Deney parçasının genişliği (mm)

t : Deney parçasının kalınlığı (mm)

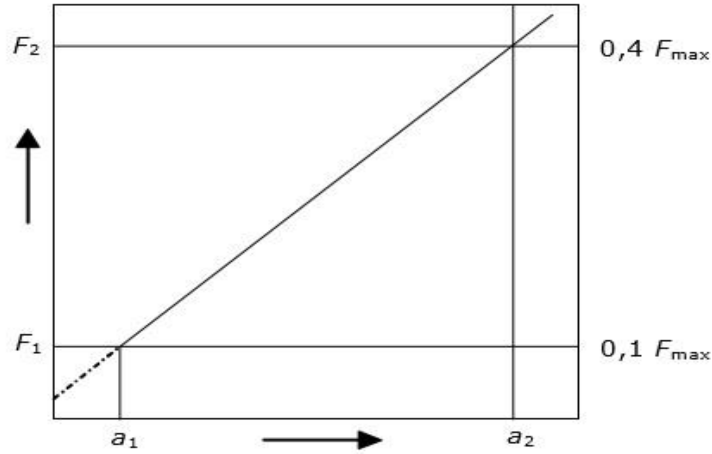
$F_2 - F_1$: Yük-Sehim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı (Şekil 2.4), Newton

F_1 : Yaklaşık olarak, en büyük kuvvetin % 10'u, F_2 maksimum yükün % 40'ı olmalıdır.

$a_2 - a_1$: ($F_2 - F_1$) kuvvet artışları nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışıdır.



Şekil 2.4. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği [75].



Şekil 2.5. Yük-Sehim diyagramı içerisindeki deformasyon sınırı [75].

2.2.2.3 Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci

Yüzeye dik çekme direnci deneyleri TS-EN 319 (1999) da verilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [76]. Her fabrika numunelerinden 6 şar adet olmak üzere 50x50 mm boyutlarında örnekler hazırlanmıştır. Örnekler, nisbi rutubeti % 65 ± 5 ve sıcaklığı $20 \pm 2^\circ\text{C}$ olan bir ortamda değişmez kütleye gelinceye kadar kondisyonlanmıştır. Daha sonra her bir deney parçasının uzunluk ve genişliği TS-EN 325 (1999)'e uygun olarak 0.01 mm duyarlılıktaki kumpasla ölçülmüştür (Şekil 2.5) [77].

- 1) Metal deney bloğu
 - 2) Deney bloğu (metal, sert ahşap veya kontrplak)
 - 3) Sert ahşap kontrplak deney bloğu
 - 4) Deney parçası
 - 5) Otomatik ayarlanan bilyalı bağlantı mafsalı
- t : 10 mm (minimum) metal deney blokları için
t : 15 mm (minimum) sert ahşap veya kontrplak için

Bu işlemlerin ardından örneklerin her iki yüzeyine standartlarda belirtilen profillere sahip kayın takozları yapılmıştır. Bu amaçla polivinil asetat tutkalı (PVAC) kullanılmıştır. Alüminyum takozlar yapılmış örnekler işkencelerle sıkıştırılmış halde soğuyana kadar bekletilir.



Şekil 2.6. Levha yüzeyine dik çekme dayanımı tayini için deney makinası düzeneği [76].

Yüzeye dik çekme direnci deneylerinin yapılmasında üniversal test makinası kullanılmıştır. Numune, test makinasının kavrama çeneleri arasına yerleştirilmiş ve çekme kuvveti uygulanarak kırılmıştır. Kuvveti uygulayan basıncın hareket hızlı, yükü deney boyunca sabit olarak uygulamasına ve 60 ± 30 saniyede, deney parçasını koparacak maksimum kuvvete ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Deney parçasının kopmasını sağlayan maksimum kuvvet %1 hassasiyetle ölçülerek kaydedilmiştir. Buna göre yüzeye dik çekme direnci Eşitlik 2.7'ye göre hesaplanmıştır.

$$f_t = \frac{F_{max}}{a \times b} (N/mm^2) \quad (2.7)$$

burada;

f_t : Yüzeye dik çekme kuvveti (N/mm^2)

F_{max} : Kopma yükü (Newton)

a,b : Deney parçasının uzunluk ve genişliği (mm)

2.2.2.4 Yüzey Sağlamlığı

TS-EN 311 (2005)' ye göre deney numuneleri 50x50 mm ölçülerinde 10 adet kare ve köşeleri dik bir biçimde kesilmiştir [78]. Deney parçalarının alt ve üst yüzeylerinin tam ortasından, iç çapı 35.7 mm olan bir oyuk frezeyle açılmıştır. Frezenin derinliği 0.3 ± 0.1 mm olarak ölçülmüştür. Deney parçaları bu testin yapılması için özel yapılmış aparatlara

yapıştırılmadan önce % 65±5 nispi rutubette ve 20±2 °C sıcaklıkta değişmez kütleye ulaşınca kadar klimatize edilmiştir. Bu aparatlar ısıtılarak alt yüzeyine termoplastik tutkal maksimum 0.3 gram ve yüzeye düzgünce yayılacak şekilde sürülmüştür. Bu esnada yaklaşık olarak 0.1-0.2 N/mm²' lik bir basınç uygulanmıştır. Tutkal soğuduktan sonra deney parçası test makinasına konulup kopma işlemi 30-90 saniye içinde gerçekleştirilmiştir. Deney numunesinin yüzeyinden ayrılmasını sağlayan maksimum kuvvet %1 hassasiyetle ölçülerek kayıt edilmiştir. Buna göre yüzey sağlamlığı Eşitlik 2.8' de verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$YS = \frac{F_{max}}{A} (N/mm^2) \quad (2.8)$$

Burada;

YS : Yüzey sağlamlığı (N/mm²)

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

A : Parçanın yüzey alanı (1000 mm²)

2.2.3. Formaldehit Emisyonu

Perferatör metodu levhaların formaldehit içeriği % 0.01 veya daha çoksa kullanılır. Perferatör metodunun esası, toluen içerisinde kaynatılan deney numunesi örneklerinden ayrılan formaldehitin destile suya geçmesini sağlamaktır.

Yaklaşık olarak 110 g ve ± 0.01 g ağırlıkta tartılan deney örnekleri Şekil 1.18'de verilen cihazın balon kısmına konulduktan sonra üzerine yaklaşık 600 ml toluen ilave edilmiştir. Daha sonra yuvarlak imbik perferatör'e bağlanmıştır. Perferatör'e yaklaşık 1000 ml destile su dökülmüş ve su yüzeyi ile sifon akışı arasında 1-2 cm boşluk bırakılmıştır. Daha sonra soğutucu ve 100 ml destile su ile doldurulmuş gaz absorpsiyon cihazı birbirine bağlanarak perferatör ısıtıcının açılmasıyla başlatılmıştır. Toluen'in geri akışının başlangıcından 2 saat sonra ısıtıcı kapatılmış ve perferatör'ün içinde bulunan su bir çıkış musluğuyla 2000 ml'lik bir cam balona aktarılmış ve bunun üzerine gaz absorpsiyon erlenmayer'indeki su da ilave edilmiştir. Daha sonra cam balon destile su ile 2000 ml tamamlanmıştır. Her bir levha grubu için bir deney yapılmıştır. Ayrıca cihaza örnek konulmaksızın sadece toluen ile bir şahit deneme yapılmıştır. 2000 ml'lik balon joje'de bulunan çözeltiden önce 10 ml alınarak destile su ile 100 ml'ye

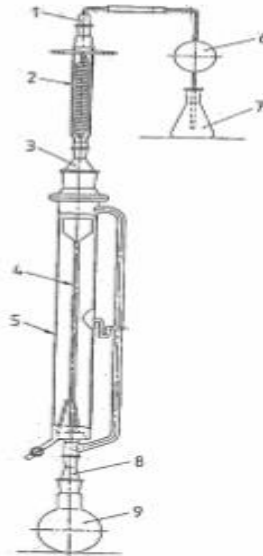
tamamlanmıştır. Daha sonra bu şekilde seyreltilmiş çözeltinin 10 ml'si alınarak bir şişeye konulmuş ve üzerine 10 ml 0.01 N asetil aseton ve 10 ml 0.01 N amonyum asetat ilave edilmiştir. Ağzı sıkıca kapatılan şişeler yaklaşık 40°C sıcaklıktaki bir su banyosunda 15 dak süreyle bekletildikten sonra bir saat süreyle ışık almayan bir yerde soğutulmuştur. Bu çözeltilerin absorbens değerleri U.V. spektrometre cihazında 412 nm'de fotometrik olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu absorbens değerleri kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla örneklerin içerdikleri formaldehit miktarı belirlenmiştir.

$$F = \frac{(As - Ab) \times f \times (100 + R \times V)}{M} \text{ mg/100 g} \quad (2.9)$$

Burada;

- F : Formaldehit emisyonu (mg/100g),
- As : Ekstraksiyon çözeltisinin absorbası (nm),
- Ab : Şahit deneyin absorbası (nm),
- F : Kalibrasyon eğri faktörü,
- R : Levhanın rutubet miktarı (%),
- V : Cam balonun hacmi (cm³),
- M : Örnek ağırlığı (g) dır.

Perferatör metodu deney düzeneği ve deney örnek boyutları Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Perferatör metodu deney düzeneği ve deney örnek boyutları (mm). [69].

Çizelge 2.3. Perforatör metodu deney düzeneğinde kullanılan malzemeler.

1. Traşlı cam bağlantı (NS29/32)	6. Balon Tüp (çift)
2. Soğutucu	7. Erlen 250ml
3. Traşlı cam bağlantı (NS45/40 - 71/51)	8. Taşlı cam bağlantı (NS29/32 – 45/40)
4. Cam filtre	9. Yuvarlak dipli cam balon (1000ml –
5. Perforatör bağlantısı	NS45/40 soketli)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 FİZİKSEL ÖZELLİKLER

3.1.1 Yoğunluk

Deneme levhaların herbirine ait ortalama yoğunluk değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme levhaların herbirine ait ortalama yoğunluk değerleri (kg/m³).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	0,6938	0,01950	0,00796	0,66	0,71	0,03
B	0,7027	0,02237	0,00913	0,67	0,73	0,03
C	0,7060	0,00767	0,00313	0,69	0,71	0,01
D	0,7012	0,02418	0,00987	0,67	0,73	0,03
E	0,7067	0,03392	0,01385	0,66	0,76	0,05
F	0,6997	0,02134	0,00871	0,67	0,73	0,03

X: Aritmetik Ortalama, S: Standart Sapma, S.E: Standart Hata, V: Varyasyon Katsayısı.

Yoğunluk değeri sonuçlarına göre levha grupları arasında en yüksek yoğunluk değeri E. grubu levhalarda elde edilmiştir. En düşük yoğunluk değeri ise A. grubu levhalarda tespit edilmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre tüm gruplara ait yoğunluk değerleri arasında fark yoktur ($p>0.05$) Ancak tüm gruplara ait yoğunluk değeri TS 64-5 622 (2011) standardının belirtmiş olduğu alt sınır değerlerini karşılamaktadır [79].

Gruplar arasında nişasta kullanımının etkisi olup olmadığı araştırmak üzere gruplar arası varyans analizi yapılmıştır ve varyans analizleri ile ilgili bilgiler Çizelge 3.2’de Duncan Test sonuçları ise Çizelge 3.3’ te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Deneme levhaların yoğunluk değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	Önem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	0,001	5	0,000	0,254	0,934
Gruplar İçi	0,016	30	0,001		
Total	0,016	35			

S. D. Serbestlik derecesi,

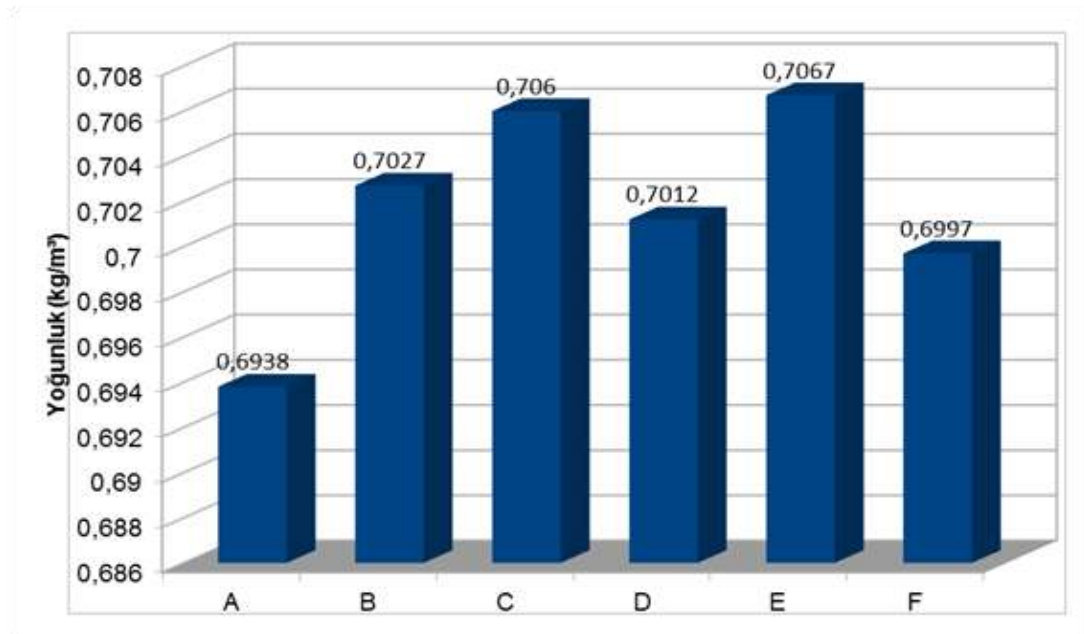
Deneme Levhaları 0.05 ihtimal ile levha grupları arasında önemli bir fark görülmemiştir.

Çizelge 3.3. Özgül ağırlık duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05
		1
A	6	0,6938
B	6	0,6997
C	6	0,7012
D	6	0,7027
E	6	0,7060
F	6	0,7067
Sig.		0,401

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası özgül ağırlığı %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmamıştır. Yapılan Duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemli değildir.

Deneme levhalarına ait yoğunluk değerleri incelendiğinde Şekil 3.1' de görüldüğü gibi C ve E grubu levhalarda yoğunluk değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.1. Deneme levhalarına ait yoğunluk grafiği.

3.1.2 Rutubet Değeri

Deneme levhaların herbirine ait ortalama rutubet değerleri izelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deneme levhaların herbirine ait ortalama rutubet değerleri (%).

Levha Grupları	Aritmatik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	2,5250	0,27113	0,11069	2,28	3,03	0,11
B	2,9167	0,46064	0,18805	2,59	3,80	0,16
C	2,9983	0,41383	0,16895	2,68	3,75	0,14
D	4,6283	1,24686	0,50903	3,14	5,82	0,27
E	2,3283	0,21217	0,8662	2,14	2,63	0,09
F	2,3833	0,20753	0,8472	2,25	2,80	0,09

Çizelge 3.5. Deneme levhaların rutubet değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	nem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	22,244	5	4,449	12,713	0,000
Gruplar İçi	10,498	30	0,350		
Total	32,743	35			

Deneme levhaları 0.05 ihtimal ile optimal eşit rutubette üretilmiştir.

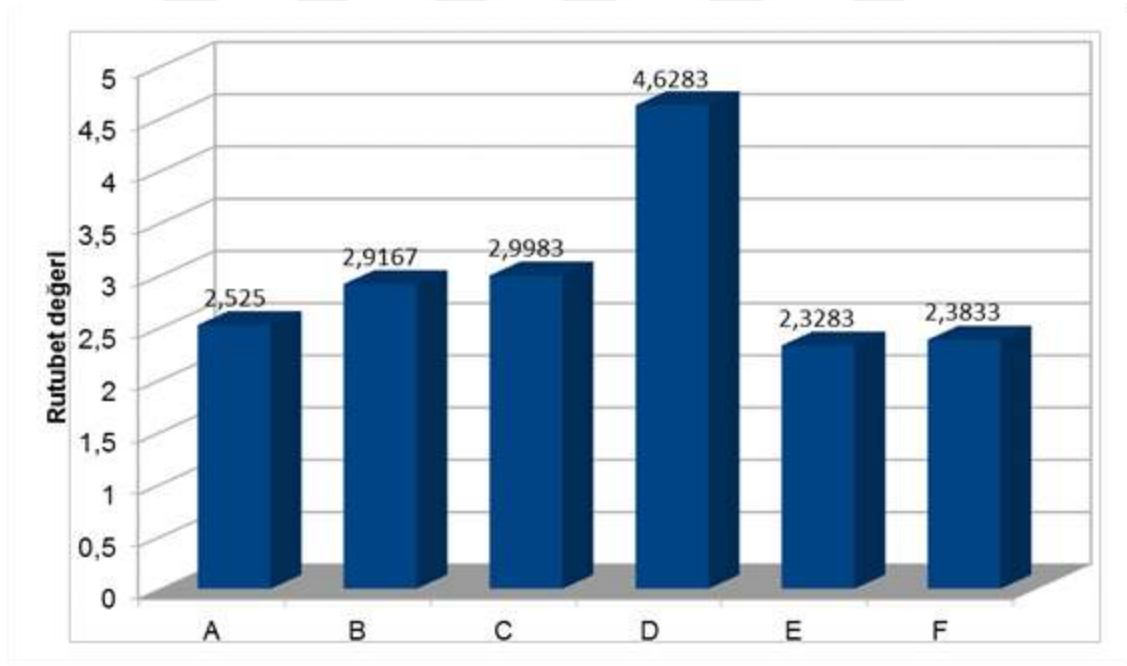
Gruplar arasında nişasta kullanımının etkisi olup olmadığı araştırmak üzere gruplar arası varyans analizi yapılmıştır ve varyans analizleri ile ilgili bilgiler izelge 3.6'da Duncan Test Sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Rutubet duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05	
		1	2
E	6	2,3283	
F	6	2,3833	
A	6	2,5250	
B	6	2,9167	
C	6	2,9983	
D	6		4,6283
Sig.		0,088	1,000

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası rutubet değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmamıştır. Yapılan Duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemli değildir.

Deneme levhalarına ait rutubet değerleri incelendiğinde Şekil 3.2’de görüldüğü gibi D grubu levhalarda rutubet değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. Deneme levhalarına ait rutubet değeri grafiği.

3.1.3 Kalınlık Artışı

Deneme levhaların herbirine ait ortalama 2 saatteki kalınlık artışı değerleri izelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Deneme levhaların herbirine ait ortalama 2 saatteki kalınlık artışı değerleri (%).

Levha Grupları	Aritmatik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	3,4400	0,51602	0,21067	2,54	4,02	0,15
B	3,6283	0,40167	0,16398	3,20	4,29	0,11
C	3,0583	0,35504	0,14495	2,51	3,42	0,12
D	3,2400	0,44064	0,17989	2,72	3,97	0,14
E	2,7517	0,32258	0,13169	2,20	3,16	0,12
F	3,2117	0,34359	0,14027	2,83	3,67	0,11

Çizelge 3.8. Deneme levhaların 2 saatteki kalınlık artışı değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	nem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	2,766	5	0,553	3,422	0,015
Gruplar İçi	4,850	30	0,162		
Total	7,616	35			

Deneme levhaları 0.05 ihtimal ile optimal eşit 2 saatteki kalınlık artışı ile üretilmiştir.

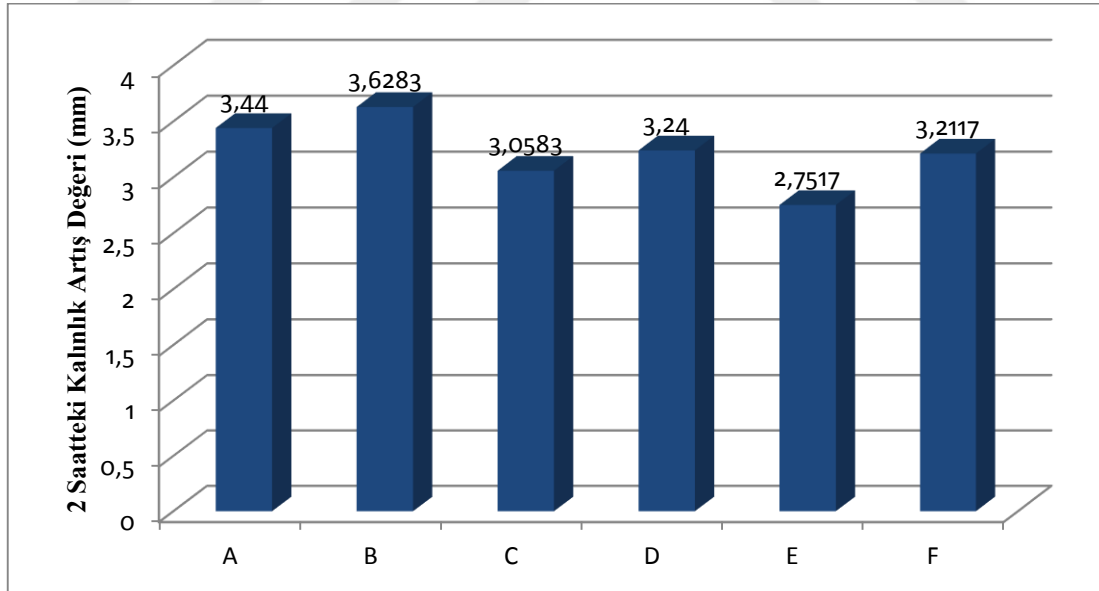
Gruplar arasında nişasta kullanımının etkisi olup olmadığı araştırmak üzere gruplar arası varyans analizi yapılmıştır ve varyans analizleri ile ilgili bilgiler izelge 3.9’da Duncan Test Sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.9. 2 saatteki kalınlık artışı duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05		
		1	2	3
E	6	2,7517		
C	6	3,0583	3,0583	
F	6	3,2117	3,2117	3,2117
D	6	3,24	3,24	3,24
A	6			3,44
B	6			3,6283
Sig.		0,06	0,143	0,110

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası 2 saatteki kalınlık artış değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemlidir.

Deneme levhalarına ait 2 saatteki kalınlık artış değerleri incelendiğinde Şekil 3.3' te görüldüğü gibi B grubu levhada 2 saatteki kalınlık artış değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.3. Deneme levhalarına ait 2 saatteki kalınlık artış değeri grafiği.

Deneme levhaların herbirine ait ortalama 24 saatteki kalınlık artımı değerleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Deneme levhaların herbirine ait ortalama 24 saatteki kalınlık artım değerleri (%).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	10,8767	0,90613	0,36992	10,06	12,27	0,08
B	10,9250	0,63010	0,25724	9,85	11,64	0,06
C	12,0450	0,41206	0,16822	11,54	12,60	0,03
D	10,9983	0,78548	0,32067	10,01	12,01	0,07
E	10,5150	0,85071	0,34730	9,68	12,01	0,08
F	11,2900	0,78809	0,32173	10,42	12,56	0,07

Çizelge 3.11. Deneme levhaların 24 saatteki kalınlık artış değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	Önem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	8,171	5	1,634	2,927	0,029
Gruplar İçi	16,748	30	0,558		
Total	24,919	35			

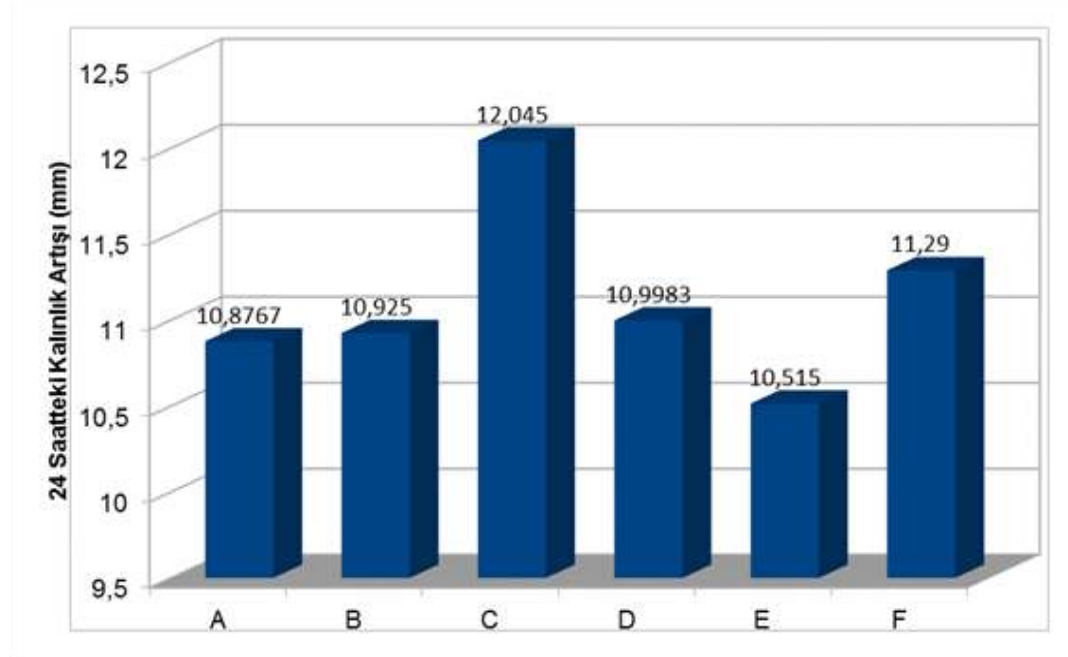
Deneme levhaların 24 saatteki kalınlık artış değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları Çizelge 3.12, de Duncan testi sonuçları Çizelge 3.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. 24 saatteki kalınlık artışı duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05	
		1	2
E	6	10,515	
A	6	10,8767	
B	6	10,925	
D	6	10,9983	
F	6	11,2900	11,2900
C	6		12,0450
Sig.		0,12	0,09

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası 24 saatteki kalınlık artış değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmuştur. Yapılan Duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemlidir.

Deneme levhalarına ait 24 saatteki kalınlık artış değerleri incelendiğinde Şekil 3.4' te görüldüğü gibi C grubu levhada 24 saatteki kalınlık artış değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.4. Deneme levhalarına ait 24 saatteki kalınlık artış değeri grafiği.

3.1.4 Su Alma

Deneme levhaların herbirine ait ortalama 2 saatteki su alma değerleri Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13. Deneme levhaların herbirine ait ortalama 2 saatteki su alma değerleri (%).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	8,4133	1,09786	0,45	7,40	9,88	0,13
B	7,5850	1,41959	0,58	6,33	9,94	0,19
C	7,1467	0,35	0,14	6,78	7,73	0,05
D	7,3550	1,67076	0,68	6,05	10,35	0,23
E	7,3450	0,79	0,32	6,28	8,45	0,11
F	7,9017	0,88	0,36	6,91	9,45	0,11

Deneme levhaların 2 saatteki kalınlık artış değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları Çizelge 3.14’de duncan testi sonuçları Çizelge 3.15’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Deneme levhaların 2 saatteki su alma değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

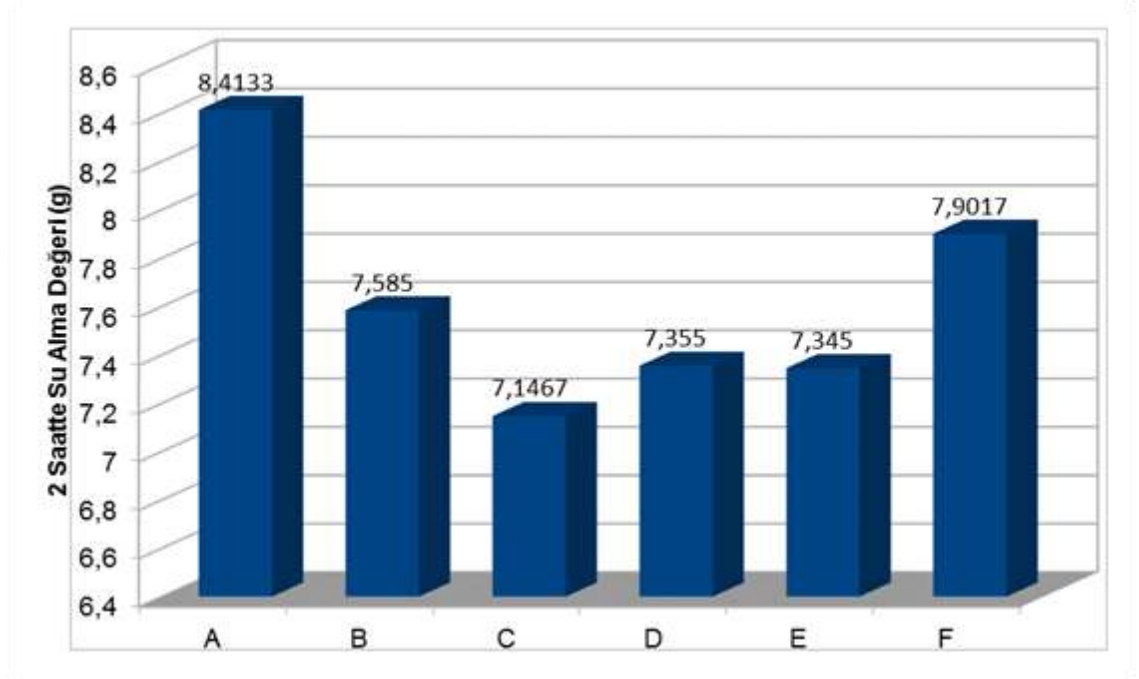
	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	Önem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	6,478	5	1,296	1,032	0,42
Gruplar İçi	37,656	30	1,255		
Total	44,134	35			

Çizelge 3.15. 2 saatteki su alma duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05
		1
C	6	7,1467
E	6	7,3450
D	6	7,3550
B	6	7,5850
F	6	7,9017
A	6	8,1433
Sig.		0,09

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası 2 saatteki su almadaki artış değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmamıştır. Yapılan Duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemli değildir.

Deneme levhalarına ait 2 saatteki su alma değerleri incelendiğinde Şekil 3.5’de görüldüğü gibi A grubu levhada 2 saatteki su alma değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.5. Deneme levhalarına ait 2 saatteki su alma değeri grafiği.

Deneme levhaların herbirine ait ortalama 24 saatteki su alma değerleri Çizelge 3.16’da verilmiştir.

Çizelge 3.16. Deneme levhaların herbirine ait ortalama 24 saatteki su alma değerleri.

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	28,3117	1,91773	0,78	25,52	31,40	0,07
B	28,4133	5,15529	2,10464	23,19	36,02	0,18
C	28,3167	2,06415	0,84	26,77	32,17	0,07
D	27,8683	3,61641	1,47640	23,49	33,04	0,13
E	26,9067	2,74382	1,12016	24,04	30,20	0,1
F	28,6417	3,39950	1,38784	24,94	34,70	0,12

Deneme levhaların 24 saatteki kalınlık artış değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları Çizelge 3.17’de duncan testi sonuçları Çizelge 3.18’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.17. Deneme levhaların 24 saatteki su alma değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

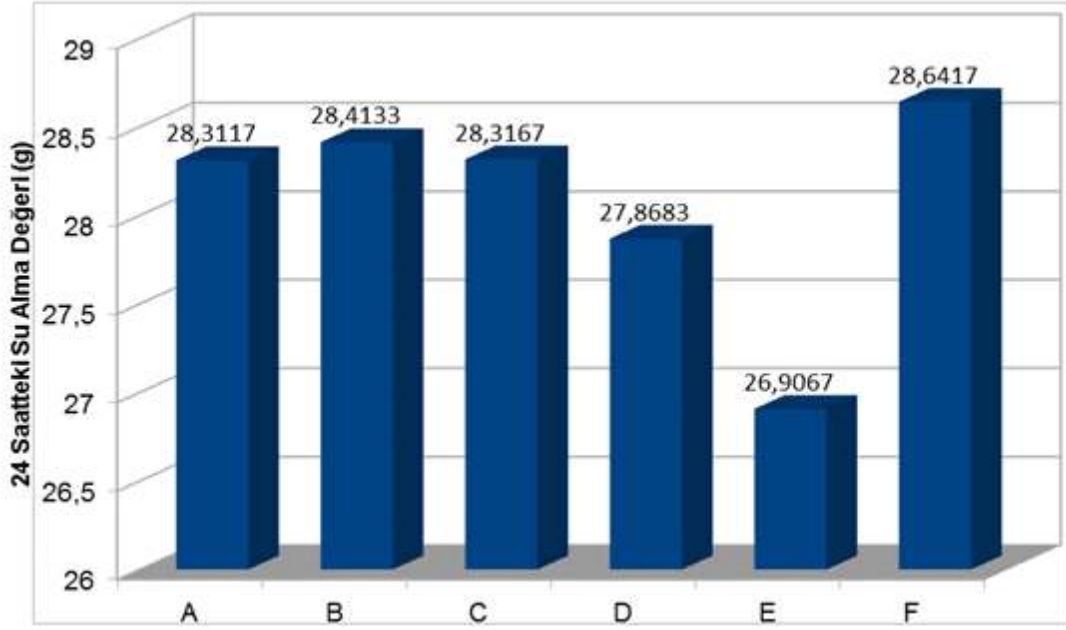
	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	Önem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	11,746	5	2,349	0,21	0,96
Gruplar İçi	333,395	30	11,113		
Total	345,141	35			

Çizelge 3.18. 24 saatteki su alma duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05
		1
E	6	26,9067
D	6	27,8683
A	6	28,3117
C	6	28,3167
B	6	28,4133
F	6	28,6417
Sig.		0,436

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası 24 saatteki su alma değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmamıştır. Yapılan duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemli değildir.

Deneme levhalarına ait 24 saatteki su alma değerleri incelendiğinde Şekil 3.6’da görüldüğü gibi F grubu levhada 24 saatteki su alma değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.6. Deneme levhalarına ait 24 saatteki su alma değeri grafiği.

3.1.5 Yüzey Ağırlık

Deneme levhaların herbirine ait ortalama yüzey ağırlığı değerleri Çizelge 3.19’da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Deneme levhaların herbirine ait ortalama yüzey ağırlığı değerleri (kg/m²).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	10,1267	1,03728	0,42347	8,11	11,04	0,1
B	10,8783	0,62611	0,25561	9,83	11,57	0,06
C	9,9583	0,11890	0,4854	9,82	10,12	0,01
D	10,0867	0,60823	0,24831	9,34	10,69	0,06
E	10,7900	0,47929	0,19567	10,24	11,57	0,04
F	9,9983	0,72519	0,29606	8,89	10,84	0,07

Yüzey ağırlığı sonuçlarına göre levha grupları arasında en yüksek yüzey ağırlığı değeri B. Grup levhalarda elde edilmiştir. En düşük yüzey ağırlığı değeri ise C grubu levhalarda tespit edilmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre tüm gruplara ait yüzey ağırlık değerleri arasında fark yoktur ($p>0.05$) Ancak tüm gruplara ait yüzey ağırlık değerleri

TS 64-5 622 (2011) standardının belirtmiş olduğu alt sınır değerlerini karşılamaktadır [79].

Deneme levhaların yüzey ağırlığı ait basit varyans analiz sonuçları Çizelge 3.20’de duncan testi sonuçları Çizelge 3.21’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20. Deneme levhaların yüzey ağırlığı artış değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	Önem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	5,146	5	1,029	2,368	0,063
Gruplar İçi	13,038	30	0,435		
Total	18,184	35			

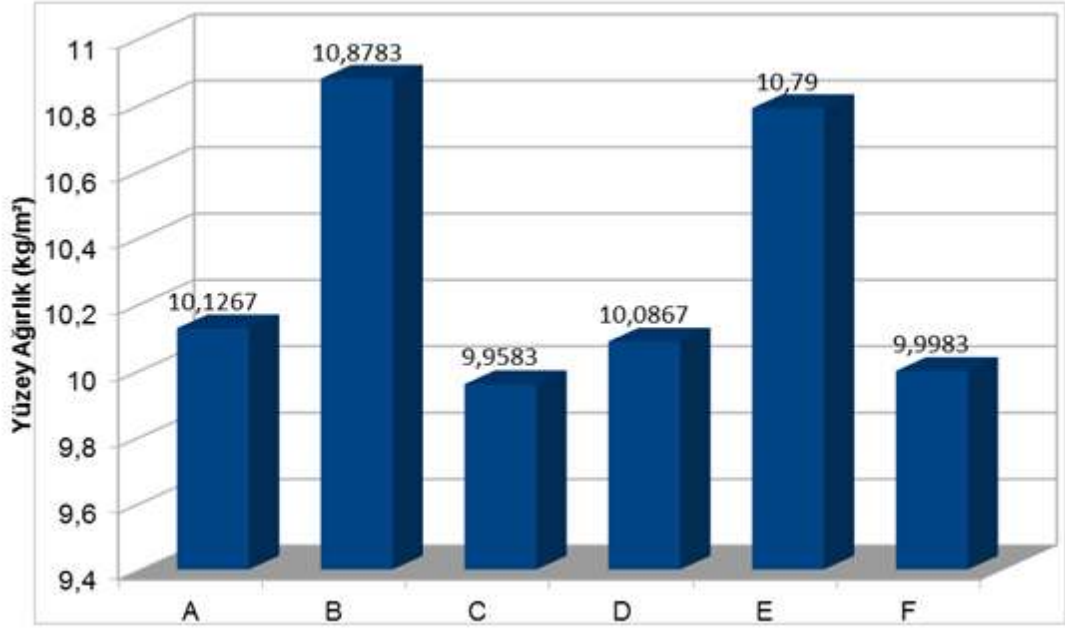
Deneme levhalar 0.05 ihtimal ile optimal yoğunlukta eşit yüzey ağırlığı artışı ile üretilmiştir.

Çizelge 3.21. Yüzey ağırlığı duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05	
		1	2
C	6	9,9583	
F	6	9,9983	
D	6	10,0867	10,0867
A	6	10,1267	10,1267
E	6	10,7900	10,7900
B	6		10,8783
Sig.		0,058	0,065

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası yüzey ağırlığı değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmuştur. Yapılan duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemlidir.

Deneme levhalarına ait yüzey ağırlık değerleri incelendiğinde Şekil 3.7’de görüldüğü gibi B grubu levhalarda yüzey ağırlık değerin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7. Deneme levhalarına ait yüzey ağırlık değeri grafiği.

3.2 MEKANİK ÖZELLİKLER

3.2.1 Eğilme Direnci

Deneme levhaların herbirine ait ortalama eğilme direnci değerleri Çizelge 3.22’de verilmiştir.

Çizelge 3.22. Deneme levhaların herbirine ait ortalama eğilme direnci değerleri.
(N/mm²).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	15,5350	1,77729	0,72557	13,20	17,48	0,11
B	13,7750	2,69683	1,10098	11,07	17,44	0,2
C	13,7317	2,13354	0,87101	10,57	16,39	0,16
D	13,5300	1,70733	0,87101	11,98	16,08	0,13
E	13,5400	1,41049	0,57583	12,02	16,01	0,1
F	12,5733	2,18952	0,89387	10,32	15,69	0,17

Eğilme direnci değeri sonuçlarına göre levha grupları arasında en yüksek eğilme direnci değeri A. Grup levhalarda elde edilmiştir. En düşük eğilme direnci ise F grubu levhalarda

tespit edilmiştir. Üretilen levhalara starch katkı oranı arttıkça levhaların eğilme direnci değerinde azalmalar meydana gelmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre tüm gruplara ait eğilme direnci değeri arasında fark yoktur ($p>0.05$). Ancak tüm gruplara ait eğilme direnci değeri TS 64-5 622 (2011) standardının belirtmiş olduğu alt sınır değerlerini karşılamaktadır [79].

Deneme levhalarına ait eğilme direnci değerleri Çizelge 3.23'te duncan testi sonuçları ise Çizelge 3.24'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.23. Deneme levhaların eğilme direnci değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

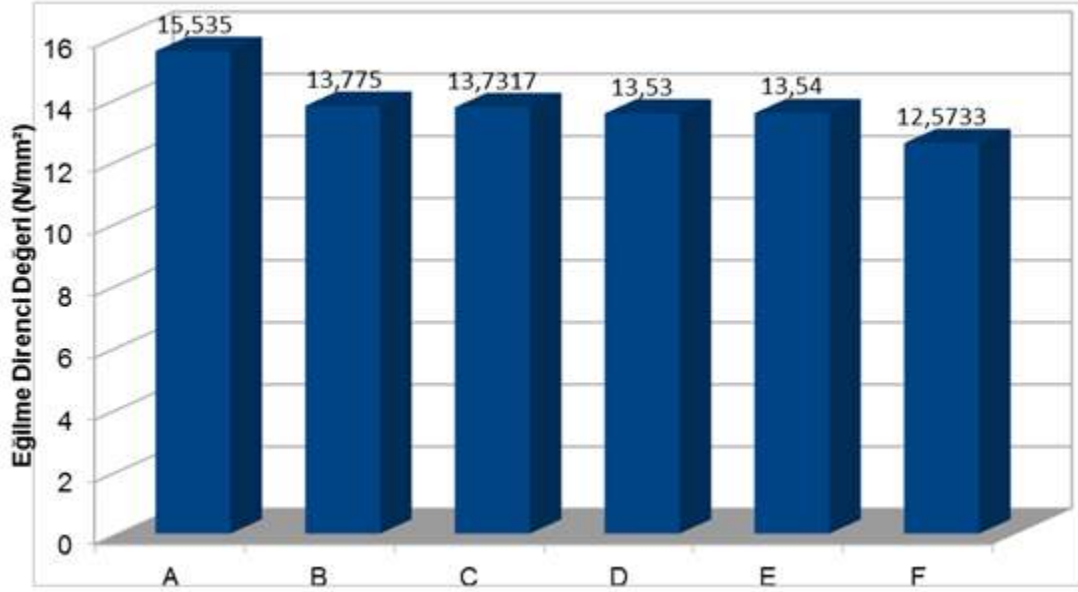
	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	Önem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	27,951	5	5,590	1,359	0,267
Gruplar İçi	123,410	30	4,114		
Total	151,361	35			

Çizelge 3.24. Eğilme direnci duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05	
		1	2
F	6	12,57330	
D	6	13,5300	12,5300
E	6	13,5400	13,5400
C	6	13,7317	13,7317
B	6	13,7750	13,7750
A	6		15,5350
Sig.		0,369	0,136

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası eğilme direnci değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmamıştır. Yapılan duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemli değildir.

Deneme levhalarına ait eğilme direnci değerleri incelendiğinde Şekil 3.8'de görüldüğü gibi A grubu levhalarda eğilme direnci değerin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8. Deneme levhalarına ait eğilme direnci değeri grafiği.

3.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deneme levhaların herbirine ait ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri Çizelge 3.25’de verilmiştir.

Çizelge 3.25. Deneme levhaların herbirine ait ortalama eğilmede elastikiyet modülü değerleri. (N/mm²).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X _{Min.}	X _{Max.}	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	2,6703	548,78707	2,24041	2019,21	3424,30	205,52
B	2,1821	375,99030	1,53497	1632,81	2586,75	172,31
C	2,2189	442,58266	1,80684	1686,86	2871,40	199,46
D	2,2594	605,43321	2,47167	1348,79	2970,25	267,96
E	2,1922	214,13111	87,41866	1970,30	2482,57	97,68
F	2,1545	458,74525	1,87282	1556,83	2738,99	212,92

Elastikiyet modül değeri sonuçlarına göre levha grupları arasında en yüksek elastikiyet modül değeri A grubu levhalarda elde edilmiştir. En düşük elastikiyet modül değeri ise F grubu levhalarda tespit edilmiştir. Üretilen levhalara starch katkı oranı arttıkça levhaların elastikiyet modül değerinde azalmalar meydana gelmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre tüm gruplara ait yüzeye elastikiyet modül değeri arasında fark yoktur ($p>0.05$)

Ancak tüm gruplara ait elastikiyet modül değeri TS 64-5 622 (2011) standardının belirtmiş olduğu alt sınır değerlerini karşılamaktadır [79].

Deneme levhalarına ait eğilmede elastikite modülü direnci değerleri Çizelge 3.26’da Duncan testi sonuçları ise Çizelge 3.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.26. Deneme levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

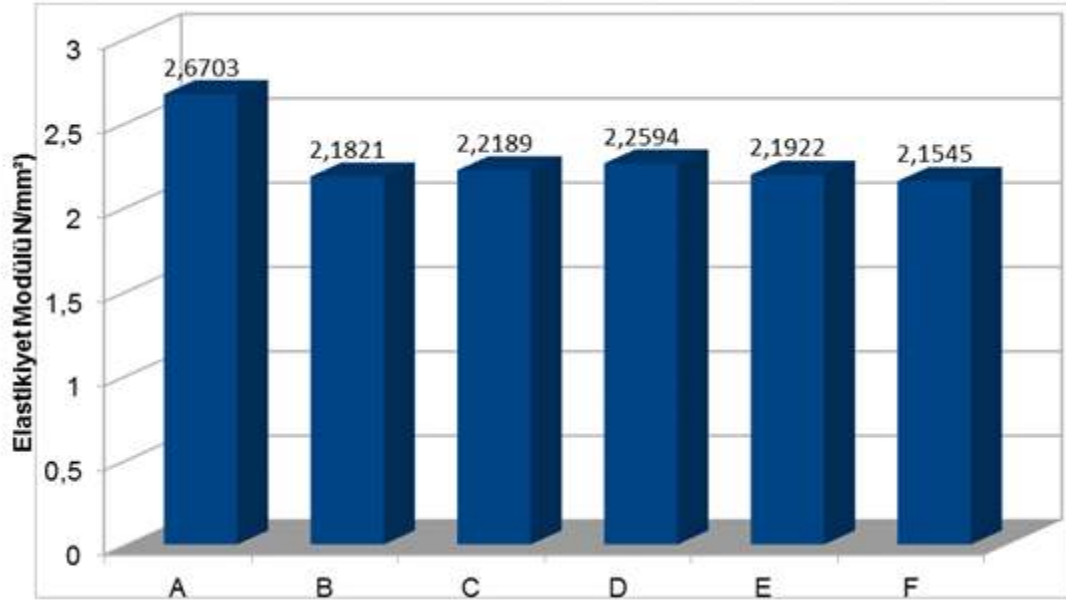
	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	Önem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	1137023,552	5	227404,710	1,082	0,390
Gruplar İçi	6306320,349	30	210210,678		
Total	7443343,900	35			

Çizelge 3.27. Elastikiyet modülü duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05
		1
F	6	2154,5217
B	6	2182,1217
E	6	2192,1800
C	6	2218,9450
D	6	2259,4067
A	6	2670,2767
Sig.		0,095

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası elastikiyet modülü değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmamıştır. Yapılan duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemli değildir.

Deneme levhalarına ait elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde Şekil 3.9’da görüldüğü gibi A grubu levhalarda elastikiyet modülü değerin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.9. Deneme levhalarına ait elastiklik modülü değeri grafiği.

3.2.3 Yüzeye Dik Çekme

Deneme levhaların herbirine ait ortalama yüzeye dik çekme değerleri Çizelge 3.28’de verilmiştir.

Çizelge 3.28. Deneme levhaların herbirine ait ortalama yüzeye dik çekme değerleri (N/mm²).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	X Min.	X Max.	Varyasyon Katsayısı (V) (S/X)
A	0,6367	0,03830	0,01563	0,60	0,69	0,06
B	0,6233	0,08710	0,3556	0,51	0,73	0,14
C	0,5917	0,11873	0,04847	0,44	0,75	0,2
D	0,5733	0,13110	0,05352	0,43	0,75	0,23
E	0,5633	0,05086	0,02076	0,48	0,62	0,09
F	0,5500	0,08485	0,03464	0,44	0,68	0,15

Yüzeye dik çekme direnci sonuçlarına göre levha grupları arasında en yüksek çekme direnci değeri A grubu levhalarda elde edilmiştir. En düşük çekme direnci ise F grubu levhalarda tespit edilmiştir. Üretilen levhalara starch katkı oranı arttıkça levhaların çekme direnci değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir. Yapılan istatistiki analizlere göre tüm gruplara ait yüzeye dik çekme değerleri arasında fark yoktur ($p>0.05$) Ancak

tüm gruplara ait çekme direnci değerleri TS 64-5 622 (2011) standardının belirtmiş olduğu alt sınır değerlerini karşılamaktadır [79].

Deneme levhalarının yüzeye dik çekme direnci varyans analizi Çizelge 3.29’da, duncan testi sonuçları Çizelge 3.30’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.29. Deneme levhaların yüzeye dik çekme değerlerine ait basit varyans analiz sonuçları.

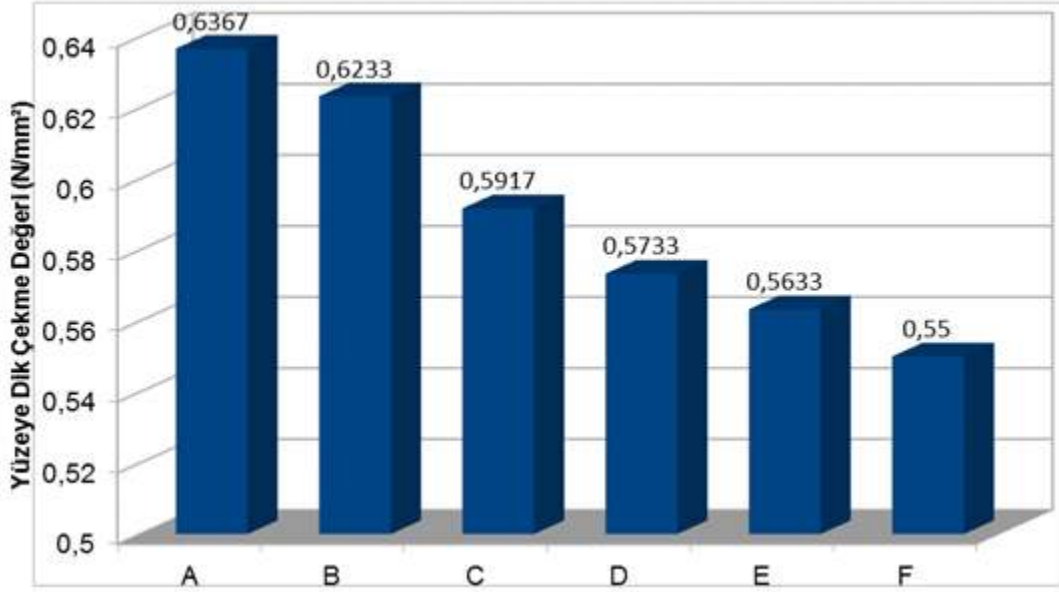
	Kareler Toplamı	S.D. (df)	Ortalama Kareler	Oran (F)	Önem Düzeyi (Sig.)
Gruplar Arası	0,035	5	0,007	0,845	0,529
Gruplar İçi	0,251	30	0,008		
Total	0,286	35			

Çizelge 3.30. Yüzeye dik çekme duncan test sonuçları.

Levha Grupları	N	Subset for alpha=0,05
		1
F	6	0,550
E	6	0,5633
D	6	0,5733
C	6	0,5917
B	6	0,6233
A	6	0,6367
Sig.		0,159

Yapılan varyans analizleri sonuçlarına göre gruplar arası yüzeye dik çekme değerlerinde %0.1 yanılma olasılığı ile aralarındaki fark önemli bulunmamıştır. Yapılan duncan testi sonuçları %5 hata payı ile gruplar arasındaki fark önemli değildir.

Deneme levhalarına ait yüzeye dik çekme değerleri incelendiğinde Şekil 3.10’da görüldüğü gibi A grubu levhalarda yüzeye dik çekme değerinin en yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.10. Deneme levhalarına ait yüzeye dik çekme değeri grafiği.

3.3 FORMALDEHİT EMİSYONU

Formaldehit emisyonu deneylerinin yapılmasında, starch kullanılmıştır. Tutkal karışımlarına % 0, % 3, % 5, % 8, % 11 ve % 15 oranlarında starch ilave edilerek üretilen örneklerin formaldehit emisyonu deneyleri perferatör metodu yöntemiyle yapılmıştır. Örnekler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla varyans analizi uygulanmış ve değişkenlerin etkili olup olmadığı belirlenmiştir. Her numune cinsi için 1 er adet deney uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Starch ile MDF’de elde edilen formaldehit emisyon değerleri Çizelge 3.31’de verilmiştir. Buna göre nişasta oranı arttıkça formaldehit emisyon miktarında kısmi bir azalma meydana gelmiştir.

Çizelge 3.31. Formaldehit emisyonu değerleri.

Numune Adı	% Starch	Perfaratör Sonucu (mg/100gr)
A	0	22,47
B	3	22,12
C	5	21,20
D	8	19,20
E	11	18,92
F	15	18,24

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; üre formaldehit tutkalına katı maddesi olarak Nişasta (Glucidex) % 0, % 3, % 5, % 8, % 11 ve % 15 oranında katılarak üretilen orta yoğunluktaki lif levhaların bazı teknolojik özellikleri, boyutsal stabilite ile formaldehit emisyonu özellikleri incelenmiş olup kontrol örnekleriyle karşılaştırılmıştır.

Üretilen levhaların rutubet miktarları % 2.5 ile % 5 arasında değişmektedir. TS-64 622-1 de %4-11 arasında olabileceği belirtilmiş elde edilen değerler genel olarak bu sınırlar içerisinde [80].

Hedeflenen yoğunluk 700 kg/m^3 tür. Levha grupları arasında istatistik anlamda önemli bir fark bulunmamıştır. TS-64 622-1 de levha içerisindeki yoğunluk farkı en fazla % 7 olabileceği belirtilmiştir [80]. Bu durumda standart değerler içerisinde olduğu kabul edilebilir.

Kalınlık artımı 2 saat suda bekletme sonucunda en yüksek A grubu levhalarda (% 5), en düşük E grubu levhalarda (%2.7) olarak gerçekleşmiştir. 24 saat suda bekletme sonucunda ise en yüksek F grubu levhalarda (% 11.29), en düşük E grubu levhalarda (%10.51) olarak gerçekleşmiştir. Bu durum A grubu levhaların yoğunluğunun diğer levhalara göre biraz yüksek olmasından kaynaklanabilir. Nişastanın su çekme özelliğine sahip olduğunu da unutmamak gerekir. Bu nedenle nişasta katılım oranı arttıkça levhalarda daha iyi boyutsal stabilite elde edildiği söylenemez. Kalınlık artımı için nişastanın olumlu bir etkisi yoktur. Ancak levhalar arasında istatistiksel anlamda değişim önemsizdir. TS 64-5 622-5 (2011)'de nemli şartlarda kullanılacak hafif MDF levhalar için gerekli şartlarda 24 saat süre ile kalınlığına şişme 12 ila 19 mm kalınlıklar arasındaki levhalar için en fazla % 13 olarak belirtilmiştir [79]. Bu durumda elde edilen sonuçlar bu değerlerin atında olduğundan tüm gruplarda kalınlık artışı bakımından standartlara uygun bulunmuştur.

Su alma miktarı tutkal türü ve sertleştirici türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. 2 saat suda bekletme sonucunda en yüksek A grubu levhalarda (% 8.4), en düşük C grubu levhalarda (%7.1) olarak tespit edilmiştir. 24 saat suda bekletme sonucunda en yüksek F grubu levhalarda (% 28.64) en düşük E grubu levhalarda (% 26.9) olarak tespit edilmiştir. Ancak su alma miktarı genel olarak tüm levha gruplarında eşit değer

olduğu kabul edilebilir. Su alma miktarı ile ilgili standartlarda herhangi bir bilgi yoktur. Tutkal miktarının artırılması ve parafin ilavesi ile su alma hızında bir azalma meydana gelecektir. Diğer yandan su alma miktarı levhalar arasında önemli bir fark olmayıp, nişasta kullanımının bir etkisi saptanmamıştır.

Yüzey ağırlığı deneyinde en yüksek B grubu levhalarda 10.12 kg/m^2 , en düşük C grubu levhalarda 9.95 kg/m^2 olarak bulunmuştur. Levha grupları arasında önemli bir fark yoktur.

Eğilme direnci en yüksek A grubu levhalarda 15.53 N/mm^2 , en düşük F grubu levhalarda 12.57 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Eğilme direncini en çok levha yoğunluğu etkilemektedir. Levha Levha yoğunluğu arttıkça eğilme mukavemeti artar. Ancak, hammadde gereksinimide artar. Bu nedenle optimal eğilme direncine sahip levha üretiminin gerçekleştirilmesi ana hedeftir. Kullanılan tutkal oranının artırılması da eğilme direncini artırır [32]. Kuru yöntemle üretilen liflevhaların eğilme direnci kullanım yerine göre değişiklik gösterir. Kuru veya nemli şartlarda kullanılan lif levhaların genel özellikleri TS 64-5 622 (2011) te belirtilmiştir [79]. Kuru şartlarda hafif MDF levhalar için istenen gereken şartlarda 12 mm den büyük 19 mm ye kadar olan lif levhalar için en az 13 N/mm^2 olarak belirtilmiştir. Genel olarak bütün levha grupları buna uygundur. Nişasta kullanım oranı arttıkça eğilme direncinde belirgin olmayan bir düşüş sözkonusudur. 700 kg/m^3 yoğunlukta üretilebilecek MDF levhalar için nişasta içerikli katkı maddesi % 15'e kadar rahat bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Elastikiyet modülü eğilme direncine paralel olarak en yüksek A grubu levhalarda 2670 N/mm^2 , en düşük F grubu levhalarda 2154 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. Kuru veya nemli şartlarda kullanılan lif levhaların genel özellikleri TS 64-5 622 (2011) te belirtilmiştir [79]. Kuru şartlarda genel amaçlı levhalar için (MDF.H tip) istenen gereken şartlarda 12 mm den büyük 19 mm ye kadar olan lif levhalar için en az 2400 N/mm^2 , hafif MDF levhalar için min 1600 N/mm^2 olarak belirtilmiştir. Bu durumda genel olarak standartlara uygun bulunmuştur. Eğilme direncinde olduğu gibi nişasta kullanımı arttıkça elastikiyet modülünde kısmen bir düşme meydana gelmektedir.

Yüzeye dik çekme direnci en yüksek A grubu levhalarda 0.63 N/mm^2 en düşük F grubu levhalarda 0.55 N/mm^2 olarak bulunmuştur. TS 64-5 622 (2011)'te belirtilmiştir [79]. Kuru şartlarda genel amaçlı levhalar için (MDF tip) istenen gereken şartlarda 12 mm den

büyük 19 mm ye kadar olan lif levhalar için en az 0.55 N/mm², hafif MDF levhalar için min 0.45 N/mm² olarak belirtilmiştir. Buna göre tüm gruplarda bu değerden yüksek bulunmuş olup standartlara uygundur. Nişasta kullanım oranı arttıkça kısmi bir düşüş olmuştur ancak bu fark çok önemli olarak kabul edilmez. Genel amaçlı üretimler için % 15'e kadar nişasta kullanımı mümkündür.

Formaldehit emisyonu değerlerinde en yüksek A grubu levhalarda 22.47 (mg formaldehit/100g levha) en düşük E grubu levhalarda 18.24 (mg formaldehit/100g levha) olarak tespit edilmiştir. Katı madde oranına göre tutkala katılan nişasta formaldehit emisyonunu azaltmış olduğu görülmüştür. % 15 oranında nişasta kullanımı % 23 oranında formaldehit emisyonu azaltmıştır.

Bu çalışma göstermiştir ki; özellikle iç donanımlarda kullanılacak levhalarda, formaldehit emisyonunun önemli olduğu yerlerde kullanılacak levhaların üretiminde tutkala belli oranda nişasta katılabilir. Fabrikasyon ortamında üretilecek levhalarda nişasta kullanımının denenmesi daha uygun olacaktır. Nişasta kullanımının boyutsal stablile özellikleri üzerine bir etkisinin olmadığı ancak formaldehit emisyon miktarında olumlu bir katkı sağladığı, diğer mekanik özelliklerini % 15 oranına kadar kullanmanın önemli oranda azaltmadığı ifade edilebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] C. Güler ve H. A. Çakmakçı, “Levha üretiminde alternatif kaynaklar,” *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, s. 135, ss. 40-50, 2016.
- [2] R. Hashim, R. J. Murphy, D. J. Dickinson and J. M. Dinwoodie, “The mechanical properties of boards treated with vapor boron,” *Forest Products Journal*, vol. 44, no. 10, pp.73-79, 1994.
- [3] A. Pizzi, *Advanced Wood Adhesives Technology*, CRC Press, New York, USA, 1994.
- [4] P. A. Abbott, J. P. Conde, S. J. Davis and W. R. Wise, “Starch as a replacement for urea-formaldehyde in medium density fibreboard,” *Green Chemistry*, vol. 14, pp. 3067-3070, 2012.
- [5] G. Kowaluk, S. Szadkowska, L. W. You, H. C. Leng and M. Grzebyk, “Thermoplastic starch as a binder in MDF production: a grain size effect,” *Forestry and Wood Technology*, no. 83, pp. 86-88, 2013.
- [6] S. Jarusombuti, P. Bauchongkol, S. Hiziroglu and V. Fueangvivat, “Properties of rubberwood medium-density fiberboard bonded with starch and urea-formaldehyde,” *Forest Products Journal*, vol. 62, no.1, pp. 58-62, 2012.
- [7] M. Ulbrich, S. Radosta, B. Kiebler and W. Vorverg, “Interaction of cationic starch derivatives and cellulose fibres in the wet end and its correlation to paper strength with a statistical evaluation,” *Strach Journal*, vol. 64, no. 12. pp. 972–983, 2012.
- [8] P. Müller, K. Rennera, J. Móczóa, E. Feketea and B. Pukánszky, “Thermoplastic starch/wood composites: Interfacial interactions and functional properties,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 102, no. 15, pp. 821-829, 2014.
- [9] T. Akbulut, S. Hiziroğlu and N. Ayrılmış, Surface absorption, surface roughness, and formaldehyde emission of Turkish medium density fiberboard, *Forest Products Journal*, vol. 50, no. 6, pp. 45–48, 2000.
- [10] N. Ayrılmış, “MDF'nin yonga levhaya göre üstünlükleri,” *Laminart Dergisi*, Ağustos-Eylül, s. 7, 2000.
- [11] Orman Sanayi İşadamları Gazetesi. (2016, 26 Ocak). *MDF Yearbook 2013*. Erişim: <http://www.orsiad.com.tr/wp-content/uploads/112.jpg>.
- [12] Orta Anadolu İhracatçıları Birliği (2016, 12 Mart). Türkiye levha sanayi sektörünün tahmini üretim miktarı, Levha Sanayi Sektörü Raporu 2011 (Revize-Kastamonu Entegre) Yonga Sanayicileri Derneği Ağaç ve Orman Ürünleri Sektörü Örnek Raporu 2014. Erişim: <http://www.orsiad.com.tr/wp-content/uploads/171.jpg>.
- [13] FAOSTAT (2015, 10 Şubat). Erişim: <http://faostat3.fao.org/download/F/FO/E>.
- [14] H. Eroğlu, *Lif Levha Endüstrisi*, No: 45, K.T.Ü Yayınları, Trabzon, Türkiye, 1994.
- [15] A. Kurtoglu ve H. Uçar, “Orman ürünleri sanayinde formaldehit ayrışması ve çevre sağlığına etkileri,” *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 35, s. 3, ss. 27-36, 1985.

- [16] A. Kurtoglu, Mobilya Endüstrisi, *Ders Notları*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1999.
- [17] T. Akbulut, Dünyada ve Türkiye'de MDF endüstrisinin genel durumu, *Laminart Dergisi*, Ağustos-Eylül, s. 3, 1999.
- [18] Anonim, Çamsan, Yongapan, SFC ve Divapan MDF Fabrikalarına ait Üretim Raporları ve Küsters Pres Kataloğu, 1999.
- [19] N. Ayrılmış, "MDF üretim teknolojisi," *Laminart Dergisi*, Ağustos-Eylül, s. 3. 1999.
- [20] H. Eroğlu, Lif levha endüstrisi, Ders Notu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon, 1988.
- [21] M. Dunky, "Adhesives in Wood Industry," A. Pizzi and K.L. Mittal *Handbook of Adhesive Technology*, Machel Dekker Inc, 887, Newyork, ABD, 2003.
- [22] G. Nemli ve A. Aydın, "Üre formaldehit tutkalları," *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, c. 57, s. 6, ss. 214, 2003.
- [23] G. Zigeuner, "Abbauversuche an Harnstoff-Formaldehyd-Kondensaten I," *Fette Seifen Anstrichmittel*, vol. 56, pp. 973, 1954.
- [24] G. Zigeuner, "Abbauversuche an Harnstoff-Formaldehyd-Kondensaten III," *Fette Seifen Anstrichmittel*, vol. 57, no. 14, pp. 100, 1955.
- [25] N. Ayrılmış, "Mdf'nin teknolojik özellikleri üzerine ağaç türünün etkisi," Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2000.
- [26] C. Güler, "Bazı üretim faktörlerinin kızılçam (*Pinus brutia* ten.) kontraplaklarının teknolojik özelliklerine etkileri," Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1996.
- [27] A. Pizzi, *Aminoresin Wood Adhesives in Wood Adhesives, Chemistry and Technology*, Ed.A. Pizzi Marcel Dekker, Inc. New York, Basel 1983, 59-104.
- [28] Frihart, Charlas R. *Handbook of wood chemistry and wood composites*, Boca Raton, Fla., CRC Press, 2005.
- [29] S. Huş, *Ağaç malzeme tutkalları*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, Fakülte Yayın No:242, İstanbul, Türkiye, Kutulmuş Matbaası, 1977, ss. 58.
- [30] H. Eroğlu ve M. Usta, *Liflevha üretim teknolojisi*, Fakülte Yayın No: 30, Trabzon, Türkiye, KTÜ Matbaası, 2000.
- [31] A. Y. Bozkurt ve Y. Göker, Yonga levha endüstrisi, *Ders Notları*, İstanbul, 1990.
- [32] C. Güler, "Pamuk saplarından yonga levha üretimi olanaklarının araştırılması," Doktora tezi, Orman endüstri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2001.
- [33] T. Akbulut, "Orüs-Vezirköprü yonga levha fabrikasında üretilen levhaların teknolojik özellikleri, Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1991.
- [34] T. Tank, Tutkallar ve yapıştırma tekniği, *Ders Notları*, İstanbul, 1998.

- [35] H. Kalaycıoğlu ve R. Özen, Yongalevha endüstrisi, *Ders Notları*, Trabzon, 2009.
- [36] S. Çolak, “Sentetik fenolik tutkallara alternatif olarak tanenli yapıştırıcılar,” *Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, c. 1-2, ss. 76-82, 2003.
- [37] M. Balaban, Orman ürünleri kimyası, *Ders Notları*, İstanbul, 2003.
- [38] J. Valenzuela, E. V. Leyser, A. Pizzi, C. Westermeyer ve B. Gorrini, “Industrial production of pine tannin-bonded particleboard and MDF,” *Europena Journal of Wood Products*, vol. 70, no. 5, pp. 735-740, 2012.
- [39] S. M. Fidan, M. Ertaş ve M. H. Alma, “Orman ürünleri sanayisinde sentetik tutkallara alternatif olarak doğal tutkalların kullanılması,” *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Artvin, Türkiye, 2010, ss. 1743-1753.
- [40] W. Huang and X. Sun, “Adhesive properties of soy proteins modified by sodium dodecyl sulfate and sodium dodecylbenzene sulfonate,” *Journal of The American Oil Chemists Society*, vol. 77, no. 7, pp. 705-708, 2000.
- [41] C. A. Eckelman, *A Brief Survey of Wood Adhesives*, FNR 154, 1997, Indiana, ABD.
- [42] M. B. Arslan, “Orman ve tarımsal atıklardan üretilen kompozit levhalarda yüzey kimyasal özelliklerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2008.
- [43] H. Kalaycıoğlu, “Sahil çamı odunlarının yongalevha üretiminde kullanılması imkânları,” Doktora tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1991.
- [44] F. C. Jorge, “Recent advances on lignocellulosic- based composites for performance and environmentally-compatibility improvement,” *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, vol. 484, pp. 417-436, 2008.
- [45] O. Suchland and G. Woodson, “Fiberboard Manufacturing Practices in the United States,” U.S. Department of Agriculture, Forest Service No:640, Louisiana, USA, 1991.
- [46] J. BeMiller and R. Whistler, “Starch: Chemistry and Technology,” Hobbs, L. Sweeteners from Starch: Production, Properties and Uses. P.808. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2009.
- [47] A. Toprak, “Türk şeker sanayiinde maliyet ve verimlilik, kamu ve özel sektöre ait işletmeler arası bir karşılaştırma,” Yüksek lisans tezi, İşletme Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2007.
- [48] C. Y. Thomas, “Sugar: Threat or Challenge Chapter 3. Structure of the HFCS Industry,” International Development Research Centre. Head Office: 60 Queen Street, Ottawa, Canada, 1985.
- [49] A. P. Ross, T. J. Bartness, J. G. Mielke and M. B. Parent, “A high fructose diet impairs spatial memory in male rats,” *Neurobiology of Learning and Memory*, vol. 92, pp. 410-416, 2009.
- [50] M. E. Bocarsly E. S. Powell, N. M., Avena and B. G. Hoebel, “High-fructose corn syrup causes characteristics of obesity in rats: Increased body weight, body fat and triglyceride levels,” *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, vol. 97, no. 1, pp. 101-106, 2010.

- [51] B. W. LeBlanc, G. Eggleston, D. Sammataro, C. Cornett, R. Dufault, T. Deeby and E. S. Cyr, "Formation of hydroxymethylfurfural in domestic high-fructose corn syrup and its toxicity to the honeybee (*Apis mellifera*)," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, no. 16, pp. 9369–9376, 2009.
- [52] A. Korkmaz, "Fruktoz; kronik hastalıklar için gizli bir tehdit," *TAF Preventive Medicine Bulletin*, c. 7, s. 4, ss. 343-346, 2008.
- [53] K. Parker, M. Salas and V. C. Nwosu, "High fructose corn syrup: Production, uses and public health concerns," *Biotechnology and Molecular Biology Review*, vol. 5, no. 5, pp. 71–78, 2010.
- [54] A. I. Ruiz-Matute, M. Weiss, D. Sammataro, J. Finely and M. L. Sanz, "Carbohydrate composition of high-fructose corn syrups (hfcs) used for bee feeding: effect on honey composition," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 58, pp. 7317–7322, 2010.
- [55] A. G. Poyrazoğlu, "Nişasta endüstrisi atık sularının bitki yetiştirilmesinde kullanım olanaklarının araştırılması," Yüksek lisans tezi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [56] L. A. W. Parrish, How does the consumption of fructose and high fructose corn syrup impact the health of children and adolescents?, *Pediatric Endocrinology Nursing Society*, vol. 25, no. 5, pp. 459-460. 2010.
- [57] S. Özcan, "Modern dünyanın vazgeçilmez bitkisi mısır: Genetiği değiştirilmiş (transgenik) mısırın tarımsal üretime katkısı," *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 1-34, 2009.
- [58] A. Duran, "Çimento kullanılarak üretilen levhaların fiziksel özellikleri," Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2004.
- [59] C. Ayla, "OSB üretim teknolojisi," *Laminart, Mobilya, Sanat, Tasarım Dergisi*, Ekim-Kasım, s. 4, 1999.
- [60] F. Aksakal, S. A. Vaizoğlu, ve Ç. Güler, "Mobilyalardaki kimyasallar ve sağlık etkileri," *Sürekli Tıp Eğitim Dergisi*, c.14, s. 12, ss. 268, 2005.
- [61] H. Yeşil, "Kontrplaklarda tutkal karışımına ilave edilen boraksın mekanik özelliklere ve formaldehit emisyonuna etkisi," Yüksek lisans tezi, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2008.
- [62] G. Çolakoğlu, "Kontrplak Üretim şartlarının formaldehit emisyonu ve teknik özelliklere etkisi," Doktora tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1993.
- [63] E. Roffael, Formaldehyde release from particleboard and other wood based panels, Forest Research Institute Malaysia, Kepong, *Malayan Forest Records*, vol. 37, 1993.
- [64] H. Kalaycıoğlu ve G. Çolakoğlu, "Çeşitli ağaç türlerinden üretilmiş kontrplak ve yonga levhalarından, üretim şartlarına bağlı olarak formaldehit çıkışının sınırlandırılması imkânları," TÜBİTAK, Proje No: TOAG-935, Trabzon, 1994.

- [65] *Ahşap esaslı levhalar - Formaldehit salınının belirlenmesi- Bölüm 3: Gaz analizi yöntemi*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN ISO 12460-3, 2016.
- [66] *Ahşap esaslı levhalar formaldehit ayrışması tayini-Bölüm 3: Şişe metodu ile formaldehit ayrışması*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 717-3, 1999.
- [67] *Ahşap esaslı levhalar - Formaldehit salınınının tayini - Bölüm 1: Oda metodu ile formaldehit yayılması*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 717-1, 2006.
- [68] S. Çolak, “Kontrplaklarda tomruk buharlama ve kaplama kurutma şartlarının formaldehit emisyonu üzerine etkileri,” Yüksek lisans tezi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1996.
- [69] *Ahşap esaslı levhalar - Formaldehit miktarının tayini - Ekstraksiyon metodu ile ayırma*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 4894 EN 120, 1999.
- [70] Chimar Hellas. (2008, 12 Temmuz). [Online]. Available: <http://www.chimarhellas.com>
- [71] *Ahşap esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 323, 1999.
- [72] *Ahşap esaslı levhalar-Numune alma kesme ve muayene Bölüm 1: Deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 326-1, 1999.
- [73] *Ahşap esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 322, 1999.
- [74] *Yonga levhalar ve lif levhalar-Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 317, 1999.
- [75] *Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 310, 1999.
- [76] *Yonga levhalar ve lif levhalar - Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 319, 1999.
- [77] *Ahşap esaslı levhalar - Deney parça boyutlarının tayini*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 325, 1999.
- [78] *Ahşap esaslı levhalar-Yüzey sağlamlığı - Deney metodu*, Türk Standartlar Enstitüsü TS EN 311, 2005.
- [79] *Lif levhalar-Özellikler-Bölüm 5: Kuru işlemli levhalar (MDF) için gerekler*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 64-5 622-5, 2005.
- [80] *Lif levhalar - Özellikler - Bölüm 1: Genel özellikler*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 64 622-1, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali Kemal YÜKSEK
Doğum Tarihi ve Yeri : 1978 Samsun
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : alikemalyuksek08@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kompozit Malzeme Teknolojileri	Düzce Üniversitesi	2017
Lisans	Kimya	Kafkas Üniversitesi	2000
Lise	Kimya	Atakum Endüstri Meslek Lisesi	1995