

**LİF LEVHA ZIMPARA TOZUNUN ÜRETİMDE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

VURAL DOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. CENGİZ GÜLER**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

LİF LEVHA ZIMPARA TOZUNUN ÜRETİMDE
DEĞERLENDİRİLMESİ

Vural Doğan tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği 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

Prof. Dr. Cihat TAŞÇIOĞLU
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Abdullah İSTEK
Bartın Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 03/02/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu çalışmadaki bütün bilgileri akademik ve etik kurallara uygun olarak elde ettiğimi, bu çalışmada elde edilmeyen tüm bilgi ve yoruma kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, ayrıca bu tezde ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

03 Şubat 2023

Vural DOĞAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışması olarak hazırlanan bu tezde her türlü destek ve yardımını esirgemeyen kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Cengiz GÜLER'e en içten dileklerle teşekkür ediyorum.

Tez çalışmam sürecinde yardımlarını esirgemeyen ve her zaman desteğini sunan Divapan Entegre Ağaç Panel San. Tic. A.Ş. Genel Müdürü Muzaffer AYDEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Divapan Entegre Ağaç Panel San. Tic. A.Ş. Kalite Kontrol Şefi Ogün KORKMAZ, Kalite Kontrol Personeli Hasan KARAMAN, İsmail ATASEVEN, Fatih İNCE, Gökhan İNCE, Emprenye Üretim Sorumlusu Zeki AKÇAY, Levhaların üretim aşamasında yardımlarını esirgemeyen Yusuf ÖZDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim ve çocuklarıma teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığınca 2022.02.03.1297 numaralı proje ile desteklenmiştir.

03 Şubat 2023

Vural DOĞAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
KISALTMALAR.....	xii
SİMGELER	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI	2
1.2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. LİF LEVHANIN TANIMI	4
2.2. LİF LEVHANIN SINIFLANDIRILMASI	4
2.2.1. Özgül Ağırlıklarına Göre Lif Levhalar.....	4
2.2.2. Üretim Yöntemine Göre Lif Levhalar.....	5
2.2.2.1. Yaş İşlemli Lif Levhalar.....	5
2.2.2.2. Kuru İşlemli Lif Levhalar (MDF)	5
2.3. LİF LEVHALARIN KULLANIM YERLERİ.....	8
2.3.1. İzolasyon Lif Levhalarının Kullanıldığı Yerler.....	8
2.3.2. Orta Sert Lif Levhaların (MDF) Kullanıldığı Yerler	9
2.3.3. Sert Lif Levhaların Kullanıldığı Yerler	9
2.4. MDF ÜRETİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	9
2.4.1. Lif Levha Üretiminin Dünya’da Tarihi Gelişimi	9
2.4.2. Lif Levha Üretiminin Türkiye’deki Tarihi Gelişimi	11

2.5. MDF ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER	12
2.5.1. Odun ve Diğer Lignoselülozik Hammaddeler	12
2.5.2. Tutkal (Yapıştırıcı Maddeler).....	13
2.5.2.1. Üre Formaldehit Tutkalı (ÜF).....	14
2.5.2.2. Fenol Formaldehit Tutkalı (FF)	16
2.5.2.3. Melamin Formaldehit Tutkalı (MF)	17
2.5.2.4. Rezorsin Formaldehit Tutkalı (RS).....	18
2.5.2.5. İzosiyanat Tutkalı (İS).....	18
2.5.3. Katkı Maddeleri	19
2.5.4. Sertleştirici Maddeler	19
2.5.5. Hidrofobik Maddeler	19
2.5.6. Koruyucu Maddeler.....	19
2.5.7. Yanmayı Geciktirici Maddeler	20
2.6. LİF LEVHA ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	21
2.6.1. Odunun Depolanması	22
2.6.2. Kabuk Soyma	23
2.6.3. Yongalama	24
2.6.4. Yongaların Depolanması	26
2.6.5. Yongaların Elenmesi.....	29
2.6.6. Liflendirme İşlemi.....	30
2.6.6.1. Pişirme Kazanı Silosu.....	30
2.6.6.2. Pişirme Kazanı.....	31
2.6.6.3. Rafinör	32
2.6.7. Liflerin Tutkallanması.....	33
2.6.8. Liflerin Kurutulması.....	35
2.6.9. Liflerin Elenmesi(Havalı Ayırıcı)	36
2.6.10. Lif Bunkerleri ve Serme İşlemi (Taslak Oluşturma).....	38
2.6.11. Ön Pres (Pre-Pressing)	39
2.6.12. Sıcak Pres.....	42
2.6.13. Klimatize İşlemi (Yıldız Soğutucu).....	44
2.6.14. Zımparalama, Boyutlandırma ve Depolama	46
3. MATERYAL VE YÖNTEM	48

3.1. MATERYAL	48
3.1.1. Odun Lifleri ve Zımpara Tozu	48
3.1.2. Tutkal	48
3.1.3. Sertleştirici Madde	49
3.2. METOD	49
3.2.1. Lif Levha Üretim Prosesi.....	49
3.2.2. Tutkallama.....	50
3.2.3. Levha Taslağının Hazırlanması ve Ön Pres	51
3.2.4. Sıcak Pres.....	52
3.2.5. Fiziksel Testler.....	52
3.2.5.1. <i>Yoğunluk</i>	<i>52</i>
3.2.5.2. <i>Rutubet oranı</i>	<i>53</i>
3.2.5.3. <i>Su Alma Miktarı</i>	<i>54</i>
3.2.5.4. <i>Kalınlık Artışı.....</i>	<i>55</i>
3.2.5.5. <i>Yüzey Ağırlık.....</i>	<i>56</i>
3.2.6. Mekanik Testler	56
3.2.6.1. <i>Eğilme Direnci.....</i>	<i>56</i>
3.2.6.2. <i>Eğilmede Elastikiyet Modülü</i>	<i>57</i>
3.2.6.3. <i>Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci</i>	<i>58</i>
3.2.7. Formaldehit Emisyonu	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	62
4.1.1. <i>Yoğunluk.....</i>	<i>62</i>
4.1.2. <i>Rutubet.....</i>	<i>64</i>
4.1.3. <i>Kalınlık Artışı.....</i>	<i>66</i>
4.1.4. <i>Su Alma.....</i>	<i>71</i>
4.1.5. <i>Yüzey Ağırlık.....</i>	<i>76</i>
4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER.....	78
4.2.1. <i>Eğilme Direnci</i>	<i>78</i>
4.2.2. <i>Eğilmede Elastikiyet Modülü</i>	<i>81</i>
4.2.3. <i>Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci</i>	<i>83</i>

4.3. FORMALDEHİT EMİSYONU	86
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	88
6. KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ	97



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Odun bazlı levhaların üretim prosesi, hammadde tipi ve yoğunluk bakımından sınıflandırılması [11]	6
Şekil 2.2. Üre-formaldehit tutkalının oluşumu [23].	15
Şekil 2.3. Fenol formaldehit tutkalının oluşumu.	17
Şekil 2.4. MDF üretimi yapan bir fabrikanın iş akışı [26].	21
Şekil 2.5. Hammadde odun sahası.	22
Şekil 2.6. Tomrukların boşaltılarak istiflenmesi.	23
Şekil 2.7. Tamburlu kabuk soyma makinesi şematik görüntüsü [28].	24
Şekil 2.8. Tamburlu yongalama makinesi şematik görüntü [29].	25
Şekil 2.9. Sert ağaç ve yumuşak ağaç yonga silosu.	26
Şekil 2.10. Yongaların silolardan helezonlar vasıtasıyla boşaltılması.	27
Şekil 2.11. Yongaların açık sahada depolanması.	28
Şekil 2.12. Sarsıntılı yonga eleğinin şematik görüntüsü [11].	29
Şekil 2.13. Sarsıntılı yonga eleği [30].	30
Şekil 2.14. Pallmann marka pişirme kazanı [31].	31
Şekil 2.15. Rafinör bıçakları(segmentleri).	32
Şekil 2.16. Rafinör ünitesi.	33
Şekil 2.17. Tutkallama ünitesi [32].	34
Şekil 2.18. Sundsdryer marka lif kurutma hattı [33].	36
Şekil 2.19. SundsZifter marka lif eleme, ayıklama ünitesi [34].	37
Şekil 2.20. IMAL PAL firmasına ait serme ünitesi [35].	38
Şekil 2.21. Serme ünitesi şematik görüntüsü [36].	39
Şekil 2.22. MDF ön pres Siempelkamp [37].	40
Şekil 2.23. MDF lif taslağı kenar kesme işlemi [38].	41
Şekil 2.24. Çok katlı hidrolik sıcak pres [39].	43
Şekil 2.25. Sürekli sıcak pres [40].	44
Şekil 2.26. Yıldız soğutucu [41].	45
Şekil 2.27. Ham MDF depolama [42].	46
Şekil 2.28. Zımpara makinesi [43].	47
Şekil 3.1. Tutkallama karıştırıcısı.	50
Şekil 3.2. Levha taslağının oluşturulması ve ön presleme.	51
Şekil 3.3. a) Levha taslağının bloklar arasına yerleştirilmesi b) Presleme.	52
Şekil 3.4. Rutubet miktarı ölçümü için örneklerin etüv içerisine yerleştirilmesi.	54
Şekil 3.5. Su alma ve kalınlık artımı testleri için örneklerin suda bekletilmesi.	55
Şekil 3.6. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testinin yapılışı.	57
Şekil 3.7. Yüzeye dik yönde çekme testi yapılışı.	59
Şekil 3.8 Formaldehit emisyonu ölçümünde kullanılan ekstraksiyon cihazı.	61
Şekil 4.1. Yoğunluk grafiği.	64
Şekil 4.2. Rutubet değerleri grafiği.	66

Şekil 4.3. Kalınlık artışı grafiği 2 saatlik.	68
Şekil 4.4. Kalınlık artışı grafiği 24 saatlik.	71
Şekil 4.5. Su alma grafiği 2 saatlik.	73
Şekil 4.6. Su alma grafiği 24 saatlik.	75
Şekil 4.7. Yüzey ağırlık değerleri grafiği.	78
Şekil 4.8. Eğilme direnci değerleri grafiği.....	80
Şekil 4.9. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri grafiği.	83
Şekil 4.10. Yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri grafiği.....	86
Şekil 4.11. Formaldehit emisyonu perforatör değerleri grafiği.	87



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Lif levhaların sınıflandırılması.	6
Çizelge 2.2. MDF’lerin uygulama amaçları ve kullanım şartlarına göre sınıflandırılması.....	7
Çizelge 2.3. Kuru şartlarda kullanılacak genel kullanım amaçlı levhalar için istenen gerekler (MDF tipi).	8
Çizelge 2.4. 2015 - 2019 yılları dünya MDF üretimi (m ³ /yıl).	10
Çizelge 2.5. Dünya ihracat verileri.	11
Çizelge 3.1. Üre formaldehit reçinesinin teknik özellikleri.....	48
Çizelge 3.2. Sertleştirici (amonyum klorür) özellikleri.	49
Çizelge 3.3. Levha üretim planı.....	49
Çizelge 4.1. Yoğunluk değerleri(g/cm ³).	62
Çizelge 4.2. Yoğunluk değerleri varyans analizi sonuçları.	63
Çizelge 4.3. Yoğunluk değerleri Duncan testi sonuçları.	63
Çizelge 4.4. Rutubet değerleri.	64
Çizelge 4.5. Rutubet değerleri varyans analizi sonuçları.....	65
Çizelge 4.6. Rutubet değerleri Duncan test sonuçları.....	65
Çizelge 4.7. Kalınlık artış değerleri 2 saatlik (%).	66
Çizelge 4.8. Kalınlık artışı 2 saat için varyans analizi sonuçları.	67
Çizelge 4.9. Kalınlık artışı Duncan testi sonuçları (2 saat).	67
Çizelge 4.10. Kalınlık artış değerleri 24 saatlik (%).	68
Çizelge 4.11. Kalınlık artışı varyans analizi sonuçları (24 saat).	69
Çizelge 4.12. Kalınlık artışı Duncan testi sonuçları (24 saat).	69
Çizelge 4.13. Su alma değerleri 2 saatlik (%).	71
Çizelge 4.14. Su alma 2 saatlik varyans analizi sonuçları.	72
Çizelge 4.15. Su alma Duncan testi sonuçları (2 Saat).	72
Çizelge 4.16. Su alma değerleri 24 saatlik (%).	73
Çizelge 4.17. Su alma 24 saatlik varyans analizi sonuçları.	74
Çizelge 4.18. Su alma 24 saat Duncan testi sonuçları.	74
Çizelge 4.19. Yüzey ağırlık değerleri(kg/m ²).	76
Çizelge 4.20. Yüzey ağırlık değeri varyans analizi sonuçları.....	76
Çizelge 4.21. Yüzey ağırlık değeri Duncan testi sonuçları.....	77
Çizelge 4.22. Eğilme direnci değerleri(N/mm ²).	78
Çizelge 4.23. Eğilme direnci değerleri varyans analizi sonuçları.....	79
Çizelge 4.24. Eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları.....	79
Çizelge 4.25. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri(N/mm ²).	81
Çizelge 4.26. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları.	81
Çizelge 4.27. Eğilmede elastikiyet modülü Duncan testi sonuçları.	82
Çizelge 4.28. Yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri (N/mm ²).	83
Çizelge 4.29. Yüzeye dik yönde çekme direnci varyans analizi sonuçları.....	84
Çizelge 4.30. Yüzeye dik yönde çekme direnci Duncan testi sonuçları.....	84
Çizelge 4.31. Formaldehit emisyon değerleri(mg/100g levha).	86

KISALTMALAR

EN	European Norm
FF	Fenol Formaldehit
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
HCl	Hidroklorik Asit
ISO	International Standard Organization
İS	İzosiyanat
MDF	Medium Density Fiberboard
MF	Melamin Formaldehit
N	Örnek Sayısı
NH ₄ Cl	Amonyum Klorür
PE	Polietilen
PP	Polipropilen
RS	Rezorsin Formaldehit
S	Standart Sapma
S.E	Standart Hata
UF	Üre Formaldehit
X	Ortalama Değer
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

SİMGELER

cm	Santimetre
g/cm ³	Gram/santimetreküp
mm	Milimetre
N/mm ²	Newton/milimetrekare
°C	Santigrat derece
%	Yüzde



ÖZET

LİF LEVHA ZIMPARA TOZUNUN ÜRETİMDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Vural DOĞAN

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Cengiz GÜLER

Şubat 2023, 96 sayfa

Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak orman ürünleri sektöründe levha üretimi de artış göstermektedir. Buna paralel olarak lif levha fabrikasında açığa çıkan zımpara tozu atığı da artmış olup 600 m³/gün üretim yapan bir fabrikanın zımpara tozu atığı yaklaşık 25 ton/gün'dür. Fabrikada söz konusu atık yakılarak enerji üretiminde değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, atıl durumda bulunan zımpara tozunun orman ürünleri endüstrisinde levha sektörüne kazandırılması amaçlanmıştır. Ayrıca yakılmayarak atmosfere salınmadığı için karbon emisyonunun azaltılmasına da katkı sağlamaktadır. Fabrika şartlarında çeşitli odunsu kaynaklardan üretilen lifler ile MDF levhası zımpara tozları değişik oranlarda karıştırılarak 10 mm kalınlığında lif levha (MDF) üretimi laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Üretilen levhalardan elde edilen örnekler üzerinde standartlara uygun olarak teknolojik özellikleri incelenmiştir. Sonuçta, levha içerisindeki MDF zımpara tozu oranı arttıkça direnç özelliklerinde belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Ancak zımpara tozu atıklarının lif levha üretiminde %50 orana kadar kullanılması mümkün olup standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Kompozit levha, MDF, Teknolojik özellikler, Zımpara tozu.

ABSTRACT

EVALUATION OF FIBERBOARD SANDING POWDER IN PRODUCTION

Vural DOĞAN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forest Industry

Engineering Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Cengiz GÜLER

Feb 2023, 96 pages

Depending on the development of technology, board production in the forest products sector also increased. Parallel to this, the sanding powder waste released in the fiberboard factory has also increased and the sanding powder waste of a factory producing 600 m³/day is approximately 25 tons/day. In the factories, this waste is generally destroyed by burning in energy production. In this study, it is aimed to bring the idle sanding powder wastes to the industry. It also contributes to the reduction of carbon emissions as it is not released into the atmosphere by not being burned. 10 mm thick fiberboard was produced by mixing wood fibers supplied from the factory with MDF sanding powders in certain proportions. Also technological properties of the obtained test samples were examined. Consequently, as the ratio of MDF sanding powder in the board increased, the resistance properties decreased. However, it is possible to evaluate sanding powder wastes up to 50% in fiberboard production and it has been determined that it meets the standard specifications.

Keywords: Composite board, MDF, Sanding powder, Technological features.

1. GİRİŞ

Dünyada endüstriyel gelişmeyle beraber ağaç malzemenin önemi ve kullanımı artmıştır. Yaşanan bu gelişme dünyada odun hammaddesinin kısılaşmasına neden olmuş ve sanayi kollarını harekete geçirmiştir. Bu arayışlar sonucu ağaç endüstri artıkları, bitki sapları, tarım artıkları ve kullanıma müsait olmayan ağaç dal ve gövdelerinin tekrar kazanılması yoluna gidilmiştir. Farklı tekniklerle birçok ahşap esaslı levha üretilmiş, ağacın lifli yapıda olmasından dolayı da lif levhalar geliştirilmiştir. Lif levhalar teknolojik özellikleri itibariyle masif malzemenin önemli bir alternatifidir. Farklı yoğunluklarda üretilen lif levhalardan MDF, orta yoğunlukta lif levha olup ağaç liflerinin, sıcaklıkla reaksiyon kabiliyeti gösterebilen tutkallar vasıtasıyla sıcak preste bir araya getirilmesiyle elde edilmektedir.

Dünya’da hızlı bir gelişme kaydeden orta yoğunlukta lif levhaların önemli derecede rağbet görmesinin birçok nedeni vardır. Bunlar; homojenlik, boyutlarının sınırlı olmaması, eğilme mukavemeti, sertlik, yapışma (yüzeye dik çekme direnci), yüzey sağlamlığı direnci ve yüzey düzgünlüğü gibi teknolojik özelliklerinin yüksek olması, rutubet değişimlerinden en az etkilenmesi, işlenmesinin kolay, yüzeyinin düzgün olması, sıcak ve soğuk şartlara dayanıklı olması, böcek, mantar ve yangınlara karşı dayanıklı olması gibi birçok özelliği üzerinde toplaması ile birlikte, homojen bir özgül ağırlık dağılımına sahip olmasıdır.

Lif levha, kolayca işlenebilmesi, kaplanabilmesi, cilalanması, baskı yapılabilmesi, kolayca yapıştırılabilmesi, odundan üretilen levhalara oranla daha düşük kalitede odundan üretilmesi, şişme oranının düşük olması, kolay kesilmesi, yarılıp parçalanmaması, iyi vida tutması ve çivilenebilmesi, oyma yapılp çok güzel işlenebilmesi, sağlamlık açısından homojen olduğundan, masif odun malzemeye göre daha fazla mobilya tasarımı yapılabilme fırsatı sunması gibi ekstra üstün özelliklere sahiptir [1].

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Dünya nüfusuna paralel olarak ağaca olan talep her geçen gün artmaktadır. Nüfus artışından dolayı oluşan talep ve mevcut arz arasında bir dengesizlik meydana gelmekte ve bunun sonucunda orman emvalinde ve kaliteli tomruk ya da odun lifi eldesinde zorluk ve hammadde fiyatlarında artış meydana gelmektedir [2].

Hızla artan üretim ve tüketim taleplerinin karşılanabilmesi için alternatif hammadde kaynaklarının kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu yüzden gerek ülkemizde ve gerekse dünyada hammadde kaynaklarının daha verimli kullanılması gerekmektedir. Orman ürünleri sektörünün temel girdilerinden biri durumundaki lif levhada belli oranda zımpara tozunun hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, hammadde kaynaklarının rasyonel kullanımını sağlayacak hem de yeni teknolojik ürünler elde edilmesine imkan sağlayacaktır.

Fabrika ortamında azımsanmayacak kadar çeşitli atıklar meydana gelmektedir. Söz konusu bu atıkların geri dönüşümü ile teknolojik kullanıma aktararak faydalanma yoluna gidilmesi ile sadece çevre problemlerinin azalması değil aynı zamanda, hammadde kaynaklarının genişletilmesi, farklı iş alanları ile istihdam oluşturularak ekonomik açıdan kalkınmaya katkı sağlayabilir.

Ülkemizde MDF üretiminde odun kullanılırken, çeşitli ülkelerde talaş ve benzeri atıkların lifleri kompozit panel üretiminde değerlendirilmektedir. Lif levha zımpara tozunun odun esaslı lif levha üretiminde kullanılması ülkemizde hammadde kaynaklarının rasyonel daha verimli kullanımına katkı sağlayabilir.

Bu çalışmayla fabrika atığı olarak ortaya çıkan zımpara tozunun kuru yöntem kullanılarak lif levha üretimine uygunluğu yönünden incelenmesi amaçlanmıştır. Böylece her yıl yakılarak ısı enerjisine dönüştürülmeye çalışılan materyalin orman ürünleri endüstrisinde hammadde kaynağına destek olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada Divapan Entegre AŞ'den temin edilen odun lifi ve zımpara tozları sırasıyla %0, %5, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarda karıştırılarak üretilen MDF'lerin fiziksel özelliklerden özgül kütle, rutubet oranı, su alma, kalınlık artımı, yüzey ağırlık, mekanik özelliklerden eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet

modülü, yüzeye dik yönde çekme (yapışma) direnci ve perforatör yöntemiyle formaldehit emisyon miktarı TS-EN standartlarına göre incelenmiş, levhaların standartlara uygunluğu hakkında sonuçlar ortaya konmuş, yapılan deney çalışmalarının sonuçları SPSS programında analiz edilerek değerlendirilmesi yapılmıştır.

1.2. LİTERATÜR ÖZETİ

Zımpara tozu ile ilgili dünyada çeşitli çalışmalar yapılmıştır. bağlayıcı olarak polipropilen (PP), lignoselülozik katkı maddesi olarak MDF den ortaya çıkan zımpara tozunu kullanarak ve %2, %4, %6 oranında nano kil ilave ederek ekstrüzyon yöntemiyle odun plastik kompoziti üreterek fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir [3].

Madhoushi ve Shahrehabak da MDF zımpara tozunu polietilen (PE) ve Nano Kil (nano-clay) ile karıştırarak ekstrüzyon yöntemiyle odun plastik kompozit levhalar üreterek mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir [4].

Narlıoğlu Gürgen odunu zımpara tozu ile yüksek yoğunluklu polietileni (YYPE) ekstruderde karıştırarak termoplastik kompozit levha üreterek mekanik özelliklerini incelemiştir [5].

Ayrıca, lignoselülozik esaslı termoplastik malzemelerle üretilen odun-plastik kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi konusunda çalışma yapılmıştır. Bu araştırmada, kompozit malzeme üretiminde çay fabrikası atıkları ile birlikte lif levha (MDF) zımparalanmasıyla oluşan zımpara tozu atığı, termoplastik polimer yani yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve polipropilen (PP) ile muamele edilerek ekstrüzyon yöntemiyle üretilen plastik odun kompozitlerin bazı teknolojik özellikleri incelenmiştir [6].

Diğer bir çalışma ise bazı lignoselülozik atıkların MDF tozu ile birlikte lif takviyeli çimento levha üretiminde değerlendirilmesi konusu üzerinedir. Burada lignoselülozik atık olarak kağıt lifi, sarıçam kereste testere talaşı, MDF zımpara tozu, buğday samanı ve pirinç kavuzlarının öğütülmüş atıkları kullanılmıştır [7].

2. GENEL BİLGİLER

2.1. LİF LEVHANIN TANIMI

Eroğlu'na göre lif levha; bitkisel kökenli lif ve lif demetlerinin doğal yolla birleştirilmesi ve keçeleşme özelliklerinden yararlanılarak veya yapıştırıcı madde kullanılarak oluşturulan ve daha sonra levha taslağının kurutulması veya preslenmesi sonucu elde edilen bir üründür. Lif levha; lignoselülozik hammadde kaynaklarının liflendirilmesiyle oluşan lif ve lif demetçiklerinin fiziksel olarak yeniden şekillendirilmesiyle elde edilen levha olarak ta tanımlanabilir. Lif levha üretiminde liflerin doğal yapışma ve keçeleşme özelliklerinden de faydalanılabilir, sağlamlığı, su çekme direnci, aleve ve çürümeye karşı dayanıklılığı arttırmak için de bazı kimyasallar tutkalla birlikte isteğe bağlı olarak katılabilir [8].

TS EN 316'ya göre lif levha; ısı ve basınç uygulanarak lignoselülozik liflerden imal edilmiş, anma kalınlığı en az 1,5 mm olan levhalardır. Liflerin keçeleşmesinden ve tabii yapışma özelliklerinden faydalanarak veya liflere bir sentetik yapıştırıcı madde ilave etmek suretiyle yapışma sağlanır [9].

2.2. LİF LEVHANIN SINIFLANDIRILMASI

Lif levhalar; üretim yöntemi, kalınlık, yoğunluk, özel nitelikler, kullanım şartları veya uygulama amaçlarına göre sınıflandırılabilir.

2.2.1. Özgül Ağırlıklarına Göre Lif Levhalar

Standartlara göre özgül kütleleri esas alınarak lif levhalar üçe ayrılır [10].

1. Yumuşak lif levha: Özgül kütlesi en çok 350 kg/m³ olan lif levhalardır.
2. Orta sert lif levha: Özgül kütleleri 350-800 kg/m³ olan lif levhalardır.
3. Sert lif levha: Özgül kütlesi 800 kg/m³ den fazla olan lif levhalardır.

2.2.2. Üretim Yöntemine Göre Lif Levhalar

2.2.2.1. Yaş İşlemlili Lif Levhalar

Üretim aşamasında liflerinin rutubeti %20'den daha fazla olan lif levhalardır. Yaş işlemlili levhalar yoğunluklarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar [9].

- 1) Sert Levhalar (Yoğunluğu 900 kg/m³'den fazla (HB)): Bu levhalara belirli işlemler uygulanmak suretiyle veya sentetik yapıştırıcı ya da diğer katkı maddeleri eklemek suretiyle, yangına dayanıklılık, rutubete dayanıklılık, biyolojik zararlılara karşı dayanıklılık gibi ilave nitelikler kazandırılabilir.
- 2) Orta Sert Levhalar (Yoğunluğu 400 kg/m³ ile 900 kg/m³ arasında olanlar (MB)): Orta sert levhalar aynı zamanda yoğunluklarına göre iki alt gruba ayrılabilir;
 - Yüksek yoğunlukta orta sert levhalar (Yoğunluğu 560 kg/m³ ile 900 kg/m³ arasında olanlar (MBH)).
 - Düşük yoğunlukta orta sert levhalar (Yoğunluğu 400 kg/m³ ile 560 kg/m³ arasında olanlar (MBL)).
- 3) Yumuşak levhalar ise (Yoğunluğu 230 kg/m³ ile 400 kg/m³ arasında, (SB)): Bu levhalar ses, ısı yalıtımı gibi uygulamalarda kullanılabilirler.

Yaş yöntemle üretilen lif levhalar en az 230 kg/m³ yoğunlukta olmalıdır.

2.2.2.2. Kuru İşlemlili Lif Levhalar (MDF)

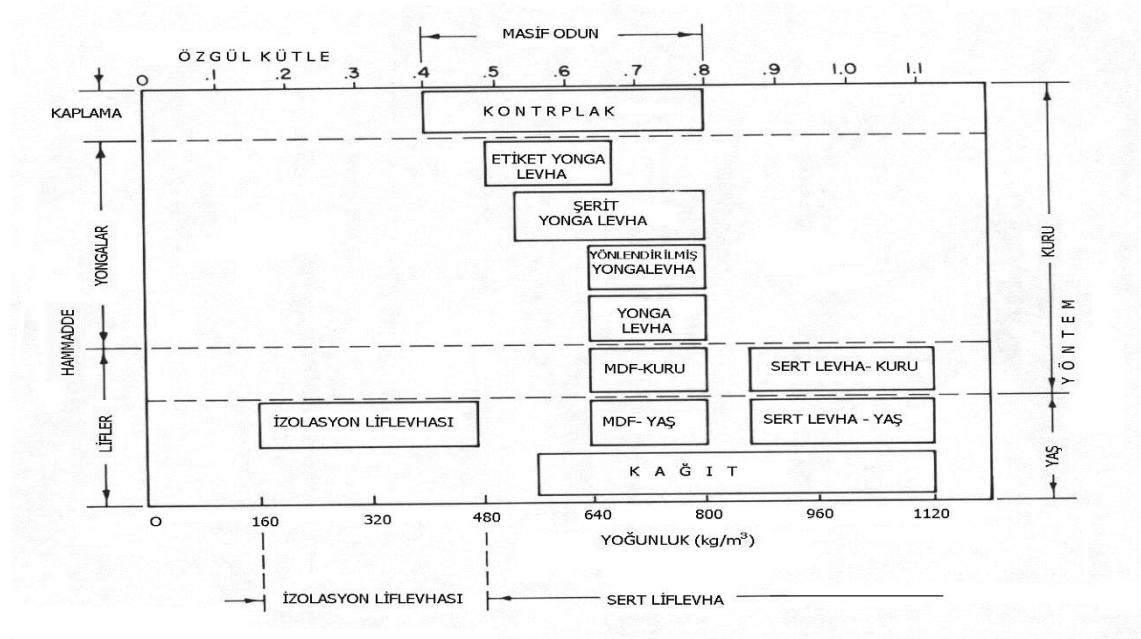
Üretim aşamasında liflerinin rutubeti %20'den daha az olan lif levhalardır. Kuru metotla üretilen levhaların yoğunluğu en az 450 kg/m³ olmalıdır.

TS EN 316 standardına göre yaş yöntemle üretilen levhalar, yoğunlukları esas alınarak farklı isim ve sembollerle gösterilmektedir. Kuru yöntemle üretilen levhalar ise genellikle MDF olarak isimlendirilmiştir [9]. TS EN 316 standardına göre hazırlanan yaş ve kuru metotla üretilen lif levhaların sınıflandırılması Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Lif levhaların sınıflandırılması.

Üretim Yöntemi	Tip	Sembol	Yoğunluk (kg/m ³)
Yaş Yöntemle Üretilen Lif Levhalar	Yumuşak Levhalar	SB	$230 \leq d < 400$
	Orta Sert Levhalar - Düşük Yoğunlukta	MBL	$400 \leq d < 560$
	Orta Sert Levhalar - Yüksek Yoğunlukta	MBH	$560 \leq d < 900$
	Sert Levhalar	HB	$d \geq 900$
Kuru Yöntemle Üretilen Lif Levhalar (MDF)	Ultra Hafif MDF	UL - MDF	$450 \leq d \leq 550$
	Hafif MDF	L - MDF	$550 < d \leq 650$
	MDF	MDF	$650 < d < 800$
	HDF	HDF	$d \geq 800$

Suchsland ve Woodson (1986)'da odun esaslı kompozit levhaları hammadde tipi (lif, yonga, kaplama), yoğunluk ve üretim yöntemine göre (yaş yöntem – kuru yöntem) sınıflandırmışlardır. Odun esaslı kompozit malzemelerin sınıflandırılması Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Odun bazlı levhaların üretim prosesi, hammadde tipi ve yoğunluk bakımından sınıflandırılması [11].

TS EN 316'ya göre lif levhalar kullanım amacına göre; genel amaçlı kullanım ve yük taşıma amaçlı kullanım olarak iki sınıfa ayrılırlar. Kullanım şartlarına göre ise kuru şartlarda ve nemli şartlarda kullanılacak levhalar olarak iki sınıfa ayrılırlar. TS EN 316 standardında kuru işlemler levhaların kullanım amacı ve kullanıldığı ortam şartları esas alınarak sınıflandırılması Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. MDF'lerin uygulama amaçları ve kullanım şartlarına göre sınıflandırılması.

Uygulama Amaçları	Kullanım Şartları	Sembol
Genel	Kuru ortamlar	MDF
Genel	Nemli ortamlar	MDF-H
Yük taşıyıcı uygulamalar	Kuru şartlar	MDF-LA
Yük taşıyıcı uygulamalar	Nemli şartlar	MDF-HLS

Aksi belirtilmedikçe yük taşıyıcı olmayan bütün uygulamalardaki kullanıma genel amaçlı kullanım denilmektedir. Örneğin, bir binanın ve konstrüksiyonun bir bölümü olarak.

Taşıma amaçlı kullanım ise yapısal amaçlı kullanım, yük taşıyıcı bir yapıdaki kullanım. Örneğin, çalışmalardaki denge ve mekanik dayanımı sağlamak üzere tasarlanan bağlantı parçalarının birleştirilmesinde.

Kuru şartlar, havadaki bağıl nemin yılda sadece birkaç haftada % 65 oranını aştığı ve 20 °C ortamdaki malzemenin rutubet miktarını ifade eder.

Yaş şartlar ise havadaki bağıl nemin yılda sadece birkaç haftada % 85'i aştığı ve 20 °C ortamdaki malzemenin rutubet miktarını ifade eder [12].

Levhalar kullanım amacına ve kullanıldığı ortama, kalınlığına göre ayrı ayrı gruplandırılmış ve her bir grubun çeşitli fiziksel ve mekanik testlerde sahip olması gereken özellikler belirlenmiştir.

TS 64 - 5 EN 622 standardı Bölüm 5'e göre hazırlanan kuru şartlarda kullanılacak genel kullanım amaçlı levhaların (MDF) sahip olması gereken en düşük mekanik ve fiziksel direnç değerleri Çizelge 2.3'te gösterilmiştir [12].

Çizelge 2.3. Kuru şartlarda kullanılacak genel kullanım amaçlı levhalar için istenen gerekler (MDF tipi).

Özellik	Deney yöntemi	Birim	Anma kalınlık (t) grupları (mm)								
			1,8 <t≤ 2,5	2,5<t ≤4	4<t≤6	6<t≤ 9	9<t≤ 12	12<t≤ 19	19<t≤ 30	30<t≤ 45	45<t
24 saat süre ile kalınlığına şişme	EN 317	%	45	35	30	17	15	12	10	8	6
İç yapışma	EN 319	N/m ²	0,65	0,65	0,65	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50
Eğilme mukavemeti	EN 310	N/m ²	23	23	23	23	22	20	18	17	15
Eğilmede esneklik modülü	EN 310	N/m ²	-	-	2700	2700	2500	2200	2100	1900	1700

2.3. LİF LEVHALARIN KULLANIM YERLERİ

2.3.1. İzolasyon Lif Levhalarının Kullanıldığı Yerler

İzolasyon levhaları yoğunlukları daha az ve gözenekli yapıdadırlar. Özellikle, ahşap binaların iç ve dış kısımları, bölmelerin yapımında, çatı katı imalinde, betonarme yapıların tavanlarında, konser ve tiyatro salonlarında, sinema, dersane, toplantı alanları, barakalarda, tavuk çiftliklerinde kuluçka, kurutma makinelerinde, arı kovanları gibi malzemelerin yapımında kullanılabilir. Ayrıca ahşap yapıların dış kaplamalarında, kargır binada emniyet duvarı olarak, hafif bölmelerde ses izolasyonunun sağlanması amacıyla, ısı izolasyonu, inşaat sektöründe odalar arası akustik düzenlemeler için kullanılabilir.

2.3.2. Orta Sert Lif Levhaların (MDF) Kullanıldığı Yerler

Orta sert lif levhalar (MDF) kolayca boyanabilirler, kırılma eğilimi ve dış açılabilirliği, yüzey kısımlarına baskı gibi işlem yapılabilirliği mümkün olup birçok işlem kolaylıkla yapılabilir. MDF masa, okul sırası, kapı ve çeşitli mobilya kısımlarında kullanılabilir. Ayrıca baraka imalatında, taban ve tavan döşemelerinde, inşaat-beton kalıbı yapımında, duvar kaplamalarında, mutfak dolabı imalatında, dekoratif oyma ve kakmacılık işlerinde olmak üzere çok geniş bir alanda kullanılmaktadır [13].

2.3.3. Sert Lif Levhaların Kullanıldığı Yerler

Sert lif levhalar genellikle inşaat ve mobilyacılık sektöründe kullanılmaktadır. Daha çok estetik açıdan doğal görünüş aranmayan mobilya aksamında ve geniş yüzeyli inşaat malzemesi olarak kullanım alanına sahiptir. Sert lif levhalar; kapı, tavan, yer döşemesi, okul sırası, masa, kalıp yapımında, duvar kaplamalarında ve mutfak mobilyası yapımında kullanım alanı bulmaktadır. Diğer yandan sert levhalar karoser yapımında, çatı-dam yapımında ve resim tuvallerinde kullanılabilir.

2.4. MDF ÜRETİMİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Lif levha endüstrisinin tarihsel gelişimi Dünya’da ve Türkiye’de olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

2.4.1. Lif Levha Üretiminin Dünya’da Tarihi Gelişimi

MDF, odun veya lignoselülozik esaslı levha ürünleri içerisinde en gelişmiş levha ürünüdür. 1960 yılının sonuna doğru başta Amerika, daha sonra Avrupa ülkelerinden Almanya, İngiltere ve Fransa’da üretim artarak devam etmiştir. Dünya’da ilk MDF fabrikası 1965 yılında Amerika’nın New York eyaletinde kurulmuştur. 1970 yılından sonra Avrupa ülkelerinde MDF tesisleri kurularak üretime başlanmıştır [11]. Dünya’da MDF üretimi 1990 yılından itibaren hızla artmış ve yıllık artış oranı yonga levhadan fazla olmuştur. MDF üretiminin hızla artmasının en önemli sebepleri; hammadde kullanım aralığının yonga levhaya oranla fazla olması, masif ağaç gibi işlenebilmesi ve fiziksel ve mekanik direnç özelliklerinin yüksek olmasıdır.

Dünya’da lif levha sektöründe üretim miktarı; başta Çin olmak üzere Amerika, Almanya, Türkiye, Polonya, Tayland ve Rusya takip etmektedir. 2019 yılı kayıtlarına göre dünya genelinde lif levha toplam üretim miktarı 118.934.000 m³. MDF üretiminin 58.8 milyon m³ ile %49.4’ü Çin, 6.6 milyon m³ ile %5.6’sı Amerika, 5.5 milyon m³ ile %4.6’sı Almanya ve 4.9 milyon m³ ile %4.1’i Türkiye tarafından üretildiği belirtilmektedir [14]. 2015 ve 2019 yılları arası dünya toplam MDF üretimi (m³/yıl) Çizelge 2.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. 2015 - 2019 yılları dünya MDF üretimi (m³/yıl).

Yıllara Göre Dünya Geneli MDF Üretim Verileri (m ³)					
YILLAR	2015	2016	2017	2018	2019
Dünya MDF Üretimi	118.595.000	120.895.000	118.280.000	117.922.000	118.934.000
Çin	64.128.000	64.440.000	60.023.000	58.792.000	58.792.000
Latin Amerika	6.942.000	6.592.000	6.908.000	7.061.000	7.423.000
USA	8.230.000	8.267.000	7.542.000	6.586.000	6.646.000
Almanya	4.871.000	5.038.000	5.398.000	5.277.000	5.498.000
Türkiye	4.792.000	5.084.000	4.806.000	4.970.000	4.900.000
Polonya	4.281.000	4.521.000	4.854.000	4.922.000	4.850.000
Tayland	3.811.000	3.798.000	3.887.000	4.121.000	4.177.000
Rusya	2.722.000	3.032.000	3.390.000	3.565.000	3.650.000
İspanya	1.638.000	1.629.000	1.691.000	1.685.000	1.691.000
Malezya	1.657.000	1.657.000	1.560.000	1.560.000	1.560.000
Kore	1.901.000	1.859.000	1.840.000	1.740.000	1.529.000
Kanada	1.054.000	1.045.000	1.229.000	1.322.000	1.322.000
Fransa	1.164.000	1.256.000	1.288.000	1.288.000	1.306.000
Afrika	541.000	531.000	535.000	535.000	535.000

Ülkelerin 2021 yılına ait toplam MDF ihracat gelirleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Dünya ihracat verileri.

İhracatçı Ülkeler	Ihracat değeri \$ x1000	2017-2021 arası büyüme oranı %	Dünya ticaretindeki oran %
Almanya	2195466	2	16,8
Çin	1202448	-2	9,2
Polonya	904976	7	6,9
Tayland	850239	10	6,5
Belçika	775444	4	5,9
Türkiye	738031	20	5,7
Avusturya	551054	9	4,2
Rusya	480212	11	3,7
Kanada	440543	7	3,4
İspanya	423206	5	3,2
Şili	395815	5	3,0
Belarus	368934	21	2,8
Fransa	320479	-2	2,5
İrlanda	279866	8	2,1
Brezilya	266357	3	2,0
Romanya	240276	21	1,8
Amerika	233117	1	1,8
Yeni zelanda	185261	-3	1,4
İtalya	181472	7	1,4
İsviçre	168862	6	1,3
Malezya	166589	-14	1,3

Dünya MDF ihracatı 2021 yılı toplam 13.040.549.000 usd. Grafikte görüldüğü üzere dünya MDF ihracatının %5,7'si 738.031.000 usd ile Türkiye tarafından gerçekleştirilmiştir. Türkiye MDF ihracatında 6. sıraya yükselmiştir [15].

2.4.2. Lif Levha Üretiminin Türkiye'deki Tarihi Gelişimi

Türkiye'de ilk lif levha fabrikası 1958 yılında Selolit A.Ş. firması adıyla İzmir'de faaliyete geçmiştir. Firma yaş yöntemle üretime başlamış olup kurulu kapasitesi yıllık 18.000 m³'tür. Firma daha sonraki yıllarda Manisa'ya taşınmıştır. Ülkemizde özel sektör tarafından ilk MDF tesisi 1985 yılında Ordu'da Çamsan A.Ş. tarafından kurulmuştur. Firma çok katlı pres ile üretime başlamıştır. İlk kontinu pres yatırımını ise Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi A.Ş. firması 1994 yılında Gebze'de yapmıştır.

2022 yılı sonu itibariyle devreye giren tesislerle birlikte Türkiye’de bulunan MDF üretim tesisleri kurulu kapasiteleri toplamı 8.940.360 m³, Yonga levha tesisleri kurulu kapasite 5.708.800 m³, OSB üretimi kurulu kapasite 507.200 m³’e ulaşmıştır. Toplam ağaç bazlı panel sektörü kurulu kapasite 15.156.360 m³’tür [16].

2.5. MDF ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

MDF üretiminde odun ve diğer lignoselülozik hammaddeler, yapıştırıcılar, su iticiler, kürleştiriciler, yanmayı geciktiriciler ve doğal dayanıklılığı (mantar ve böcek zararına karşı direnç) artırıcı kimyasallar kullanılmaktadır. Kuru yöntemle üretilen MDF’nin bileşenlerinin oransal dağılımı genel olarak %80-90 odun ve yıllık bitkiler gibi lignoselülozik kaynaklar, %10-12 oranında tutkal gibi kimyasallar oluşturmaktadır [17].

2.5.1. Odun ve Diğer Lignoselülozik Hammaddeler

MDF üretiminde lignoselülozik hammadde kaynağı olarak kullanılan ağaç türlerinin yoğunlukları 0.35 – 0.65 g/cm³ arasında değişmektedir. Fazla budak olmayan, reçine ve tanen gibi ekstraktif madde oranı daha az odunlar tercih edilebilmektedir. Asitlik oranı 4 - 5,8 aralığında, rutubet miktarı %40 - 60 ve kabuk miktarı %15-20 arasında, az oranda mantar tahribatına maruz kalmış her türlü malzeme kullanılabilir [18].

Kabuk oranının artması tutkal tüketimini artırmaktadır. Kabukta bulunan kum ve küçük taş parçaları liflendirici bıçaklarını aşındırmaktadır. Kabuk, ısı ve buhar enerjisi tüketimini artırmaktadır. Bu sebeple, yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip kaliteli MDF üretmek için odunların kabukları soyulması gerekmektedir [1].

Lif levha üretiminde kullanılan ağaçların lif boyutu, lifin keçeleşme özelliği açısından önemlidir. Sert ağaçların lif uzunlukları 0,8-2 mm arasında değişmektedir. Yumuşak ağaçların lif uzunlukları ise 3-7 mm arasında değişmektedir. MDF üretiminde uzun lifli odunsu yapılar daha çok tercih edilir. İyi oranda keçeleşmenin olması için %70 yumuşak ağaç, %30 ise sert ağaç karışımları tercih edilir. Bu karışımdan elde edilen MDF’ler yüksek teknolojik niteliklere sahip olmaktadır [1].

Günümüzde ormanların azalması ve kaliteli odun ihtiyacının artması, yeterli derecede odun hammaddesine ulaşmayı zorlaştırmıştır. Odun ihtiyacının giderilmesi için günümüzde masif ağacın yerine, değeri düşük odun kullanılarak MDF ve yonga levha üretilmektedir. MDF üretiminde oduna alternatif olarak yıllık bitki sapları da kullanılabilir. Genellikle yıllık bitkiler; saman, şekerkamışı, mısır sapı, keten lifi, orman gülü gibi yeterli lif uzunluğuna sahip materyallerdir. Günümüzde tamamen yıllık bitkiler kullanarak MDF üretimi gerçekleştiren fabrikalar da bulunmaktadır [1].

Güler (2015) çalışmasında yıllık bitki saplarının kompozit levha üretiminde kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla pamuk sapı, ayçiçeği sapı, mısır sapı, fındık zurufu ve yer fıstığı kabuklarını kullanmak suretiyle kompozit levha üreterek fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir [19].

İstek (1999) çalışmasında hammadde kaynağına destek olmak amacıyla, buğday samanı ile odun liflerini belirli oranlarda karıştırarak orta yoğunlukta lif levha üreterek fiziksel ve mekanik direnç özelliklerini incelemiştir [20].

Güler (2021) çalışmasında kumaş atıkları ile odun liflerini belirli oranlarda karıştırarak 10 mm kalınlığında lif levhalar üreterek fiziksel ve mekanik direnç özelliklerini incelemiştir [21].

Taşcıoğlu, Güler ve Tozluoğlu (2008) çalışmasında hammadde sıkıntısına destek olmak amacıyla fındık kabuğu ve zurufunu odun lifleri ile belirli oranlarda karıştırarak MDF üreterek fiziksel ve mekanik direnç değerlerini incelemişlerdir [22].

2.5.2. Tutkal (Yapıştırıcı Maddeler)

Lif levhanın fiziksel ve mekanik direnç özelliklerini artırmak, su alma ve kalınlık artımını azaltmak için fenol, melamin ve üre formaldehit gibi sentetik tutkallar kullanılmaktadır. Kuru yöntemde MDF üretiminde yapıştırıcı madde olarak genellikle üre formaldehit tutkalından faydalanılmaktadır. Yaş yöntemde ise genel olarak su itici maddelerle beraber az oranda (%1–3) tutkal kullanılır. Burada odun liflerinin yapısında bulunan lignin, hemiselüloz aktif hale geçerek yapıştırıcı görevini görür. 130-140 °C’de lignin yumuşamaya başlar ve termoplastik yapı oluşur. Yüzey kısmında lignin oranı

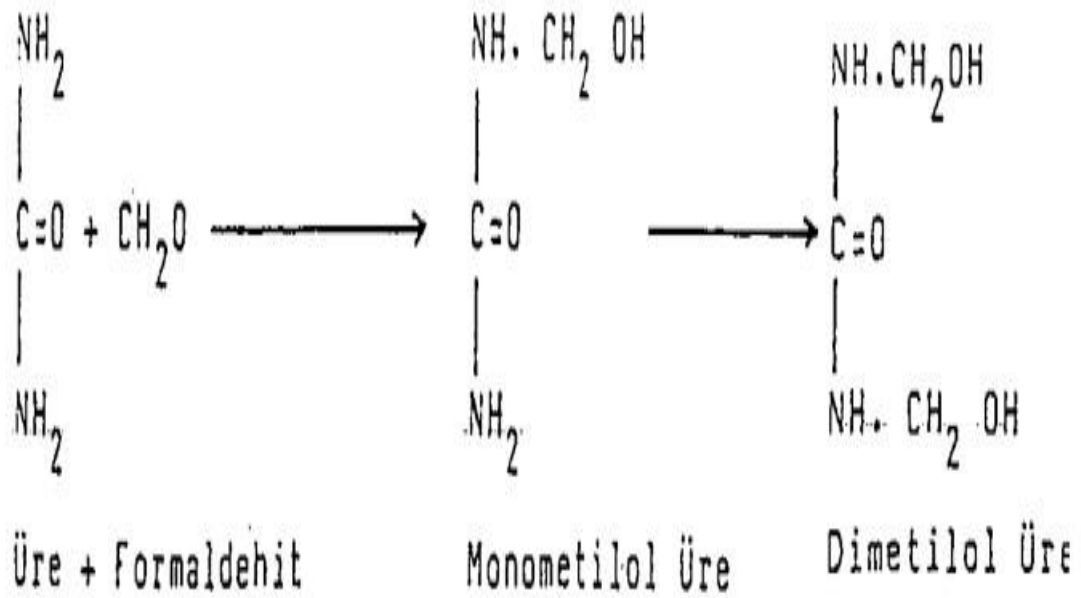
fazla olan lifler, sıcaklık ve basınç altında sıkıştırılır ve kovalent bağlarla yapışma gerçekleşir. Kuru yöntemde ise lifler arasındaki bağlantıyı tutkallar sağlar ve genellikle %9–11 arasında kullanılır. Tutkal oranı levhanın yoğunluğuna yani kuru lif ağırlığına oranla belirlenir. İzolasyon lif levhaların üretiminde genellikle tutkal kullanılmaz. ÜF gibi üre esaslı tutkal bir sertleştirici veya ısı etkisiyle kürleşerek sertleşir veya katılaşır. Kürleşme sonucu sertleşme olduktan sonra geri dönüşümsüz reaksiyon tamamlanmış olur [1].

MDF ve diğer odun esaslı kompozit levha üretiminde en yaygın kullanılan tutkallar aşağıda açıklanmaktadır.

2.5.2.1. Üre Formaldehit Tutkalı (ÜF)

Dünya’da MDF ve Yonga Levha üretiminde yaklaşık olarak %90 oranından fazla üre formaldehit tutkalı kullanılmaktadır. Üretimde kullanım kolaylığı, berrak ve renksiz oluşu, sıcak preslemede kürleşme süresinin kısa olması, pres sacına yapışmaması, fiyatının satın alınabilir olması ve bu tutkaldan üretilen levhaların kullanım yerlerinde yeterli fiziksel ve mekanik direnç özelliklerini sağlaması, bu tutkalın odun esaslı levha imalatında en çok tercih edilmesine sebep olmaktadır. Dezavantajları ise; dış ortamda kullanılacak levhaların imalatında kullanılamamakta ve gün geçtikçe levhalardan serbest formaldehit emisyonu açığa çıkmaktadır.

Üre-formaldehit tutkalı özel reaktörlerde üretilir. Öncelikle reaktöre likit formaldehit çözeltisi alınır ve kademeli bir şekilde üre katılır, katalizör ve sıcaklık etkisi altında kondenzasyon gerçekleşir. Tutkalın sıcaklığı, reaksiyon süresi, pH’ı, sertleştirici oranı ve üre ile formaldehitin molaritesi, üretilen tutkalın teknolojik özelliklerini ve performansını belirlemektedir. 21. yüzyılın ilk yıllarında üre/formaldehit molaritesi 1/1,5-2 iken, günümüzde yasal mevzuatlar gereği ve insan sağlığı önemi açısından 1/1,07-1,12’e azaltılmıştır. Formaldehit çıkışının azaltılması, serbest formaldehit emisyonunu azaltmakta ancak, kürleşme süresinin artmasına sebep olmaktadır. Başlangıçta bazik ortamda başlatılan polimerizasyon reaksiyonu ile Monometilol-Ürenin dimetilol üreye dönüşümü Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Üre-formaldehit tutkalının oluşumu [23].

Bu ön kondenzasyon reaksiyon bileşikleri, henüz suda çözölen bileşiktir. Bu safhada pH 8-8,5'a kadar yükseltilir ve reaksiyon durdurulur. Daha sonra akabinde soğutulmaya bırakılır. Reaksiyon yarıda kesilmiş haldedir. Kondenzasyon bundan sonra sıcak preste tekrar başlar ve sertleşinceye kadar devam eder.

Üre formaldehit tutkalları, termosetting (sıcaklıkla sertleşen) özelliktedir, bir defa sertleşir, kürleştikten sonra ısıtarak ya da kimyasal çözücüler yardımıyla yumuşatılamaz. Polimerizasyon süresinde üre ve formaldehitin mol oranları, sıcaklık ve ortam pH'ı esas teşkil etmektedir. Reaktörde polimerizasyon belirlenen seviyede durdurulmalıdır. Genellikle suda çözünürlüğe kadar ¼ oranında polimerizasyon, süt görünümü alarak daha yüksek polimerizasyon için temel oluşturmaldır. Polimerizasyon tamamlandığında, normal tutkal çözeltisindeki katı madde miktarı %40-50 civarındadır. Daha yüksek yoğunluk için, düşük sıcaklıklarda vakum altında su buharlaştırılarak katı madde miktarı %60-70'e çıkartılabilir. Reçinenin reaktörlerde tamamlanmayan polimerizasyon seviyesi, bir sonraki aşamada lif levha, yonga levha üretimi yapılırken sıcak preslerde basınçlı ortamda sıcaklık ve sertleştirici yardımı ile tamamlanır. Bu şekilde tutkal tam olarak kürleşerek sertleşir ve liflerin birbiriyle yapışması sağlanır.

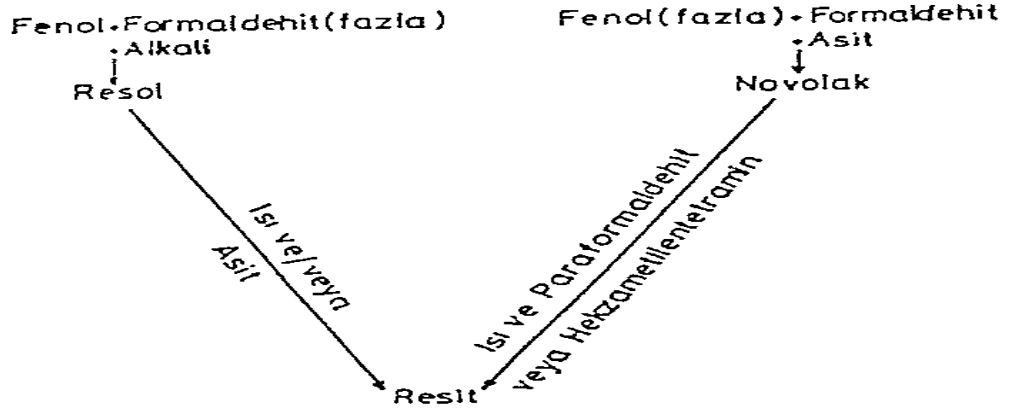
Sıvı üre tutkalı, nötr veya hafif alkali (pH: 7,5-8,5) olan bir ortamda depolanır. Polimerizasyon yarıda kesilmesine rağmen, yavaşça kendiliğinden devam eder. Bu nedenle üre-formaldehit tutkallarının depolama süreleri sınırlıdır. Sıcaklık arttıkça sertleşme hızlandığından tutkalın saklama süresi soğuk muhafaza ederek uzatılabilmektedir, ancak 15 °C'nin altına düşürülmemesi de zorunlu olmaktadır. Sıvı üre formaldehit tutkalının depolama ömrü 3-6 ay kadardır.

Levha üretiminde kullanılan ağaçların pH asitlik oranları dikkate alınarak tutkala katılacak sertleştirici miktarı belirlenmektedir. Eğer ağaç çeşidinin pH'ı düşük (asidik) ise katalizör miktarı azaltılır, aksi durumda tutkal sıcak preslemeye ulaşmadan ön kürleşmeye uğrar. Üre-formaldehit tutkalı kullanılan üretimlerde son kürleşme için levha taslağı orta kısım sıcaklığının 100 °C'ye ulaşması zorunlu görülmektedir [23].

2.5.2.2. Fenol Formaldehit Tutkalı (FF)

MDF levha üretiminde ikinci sırada en çok kullanılan tutkal fenol formaldehit reçinesidir. Fenol formaldehit tutkalı fenol ile formaldehit maddelerinin, paslanmaz çelikten imal edilmiş reaktörde sıcaklık ve katalizör yardımı ile yapılan ve kondenzasyon olarak ortaya çıkan bir üründür.

Reçinedeki fenol, renksiz ve zehirli bir maddedir ve üretimi reaktöre aktarılınca kadar tamamen kapalı sistem içinde bulundurulmalıdır. FF tutkalı dış ortamlarda kullanılabilen rutubet ve kaynar suda kaynatmaya karşı dayanıklı olduğu bilinmektedir. Bu yüzden, dış hava koşullarına maruz kalınabilen alanlarda kullanımı daha uygundur. Fakat, sertleşme veya kürleşme yavaştır. Bu nedenle presleme esnasında daha yüksek sıcaklık seçilir ve daha uzun pres süresi uygulanır. FF tutkalı ile levha üretiminde levha rutubetinin az ya da çok oluşu önemlidir. Çünkü lif ya da yonga rutubet miktarı fazla olduğu zaman preste ortaya çıkan su buharı, tutkalın sertleşmesini engeller ve levha yüzeyinde kabarmalar oluşur hatta presten çıkan levhalar patlayabilmektedir. FF tutkalı kırmızımtırak rengine koyu renkli ve bu nedenle levha yüzeyinin lekeli bir hal almasına neden olur. FF tutkalı Novalak ve Resol olmak üzere iki tip olarak üretilir. Şekil 2.3'te fenol formaldehit tutkalının oluşması aşaması gösterilmektedir [23].



Şekil 2.3. Fenol formaldehit tutkalının oluşumu.

Novalak türü FF tutkalları, asidik ortamda üretilir ve Fenol'ün molar oranı formaldehite kıyasla fazladır. Sertleştirici olarak; oksalik asit, paratoluen sülfonik asit ve sülfürik asit gibi kuvvetli asitler tercih edilir. Novalak tutkal organik çözücüler yardımıyla çözülebilir ve sıcaklık uygulandığında eriyebilir. Bu özellik sayesinde postformik uygulamalarda kullanılabilirler [23].

Resol tipi FF tutkalları kırmızımtırak renklidirler. Reaksiyon bazik ortamda gerçekleşir ve düşük polimerizasyon seviyesinde tutulur. Suda ve organik çözücülerde çözülebilir türleri mevcuttur. Likit formda bulunurken sıcaklık ve asit etkisi altında kürleşir ve üç boyutlu bağ dokusunu oluşturur ve bu yapı artık bozulmaz seviyeye gelir. Kürleşmesi tamamlanan reçine artık sıcaklığın yükselmesi ile yumuşamaz, erimez [23].

2.5.2.3. Melamin Formaldehit Tutkalı (MF)

Bu tutkallar melamin reçinesi olarak da adlandırılırlar. Amaca uygun olarak hazırlanan paslanmaz silodan yapılmış reaktörlerde sıvı formaldehit çözeltisine Melamin powderin formaldehite molar oranı $\frac{1}{2}$ - 4 olacak şekilde karıştırılarak reaksiyon başlatılır ve tedricen ilerler. Reaksiyon, polimerizasyon seviyesi tamamlanmadan, oluşan reçine suda çözünebilir fazda iken nötrleştirilerek ve soğutularak durdurulur. Melamin reçinesi üre-formaldehit tutkalından daha pahalı olduğu için genellikle tek başına kullanılmaz. MF reçinesi suya dayanıklıdır, rengi şeffaf ve berraktır, bu yüzden odun esaslı levhaların dekoratif amaçla lamine edilmesinde kullanılan, sınırsız sayıda renkli ve dekoratif kağıt türlerinin emprenye edilmesinde kullanılır [23].

Melamin formaldehit reçinesi ile yapıştırılmış olan malzemeler hava şartlarına karşı çok iyi derecede dayanıklı olup, kaynar su içerisinde saatlerce ayrılmaz ve mikroorganizmaların tahribine karşı da dayanıklıdır [24].

2.5.2.4. *Rezorsin Formaldehit Tutkalı (RS)*

Rezorsin formaldehitin soğuk ortamda bile reaksiyona girmesinden dolayı özellikle sıcakta yapıştırma olanağı olmayan ve fenol formaldehit ile yeteri kadar direnç sağlanamayan, örnek olarak; gemi, kayık, kotra ve uçakların masif malzeme kullanılan kısımlarının yapıştırılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, sentetik malzemeler, kauçuk, tekstil ve seramik malzemenin yapıştırılmasında kullanılır. 15 °C’de sertleşmeye başlar, 80 °C’nin üstünde ise de sertleşme çok hızlı bir şekilde oluşur. Özellikle deniz gibi açık alanlarda, kaynar su, çeşitli kimyasallardan asit alkol gibi çözücülere son derece dirençli bir yapıya sahiptir. Pahalı olmasından dolayı kullanımı yaygın değildir [24].

2.5.2.5. *İzosiyanat Tutkalı (İS)*

İzosiyanat tutkalı da odun esaslı levha ürünleri için uygun bir tutkaldır fakat günümüzde kullanımı yaygın değildir. Odun yapısındaki hidroksil grupları ile bağ yaparak kürleşir. İS tutkalı ürean zincirlerinden oluşmaktadır. Sertleşme gerçekleştiğinde su, asit ve bazlara karşı dayanımı oldukça yüksektir.

İzosiyanat reçinesi, su içermediğinden tutkalın tamamı yapışmaya katılır, iyi yapıştırma gerçekleşir. İS tutkalının kürleşme süresi kısadır. İS tutkalı formaldehit içermediği için serbest formaldehit emisyonu açığa çıkmamaktadır. İS tutkalı yapısında bulunan ürean zincirleri su itici özelliktedir, bu sebeple levha üretimi sırasında parafin gibi su itici özellikte katkı maddeleri çok az miktarda kullanılır. İS tutkalı, ağacın kendi yapısında bulunan ve yapışma direncini azaltan ekstraktiflerin tesirini ortadan kaldırmaktadır. İS tutkallarının dezavantajları fiyatı yüksektir, ayrıca metallerle yapışma eğilimi olduğu için sıcak pres çelik plakalarına yapışır. Bu probleme engel olmak için kalıp ayırıcı gibi yapışmayı engelleyen kimyasallar kullanılmalıdır [23].

2.5.3. Katkı Maddeleri

Sentetik reçinelerin teknolojik özelliklerini artırmak amacıyla kullanılırlar. Bunlar; elastikiyet, stabiliteyi devam ettirme, yanmayı geciktirme, tutkalın flow değerini artırma, sıcak preste serbest formaldehit emisyonu salınımını azaltma ve koku gidermedir [25].

2.5.4. Sertleştirici Maddeler

Sertleştirici maddeler, kullanılan tutkal türüne göre değişmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan sertleştiriciler; amonyum klorür ve amonyum sülfattır. Amonyum klorürün kullanılması, amonyum sülfata göre daha iyidir, amonyum klorürün kullanılması halinde meydana gelen tuz asidi (HCl) uçucudur, levhanın her tarafına homojen olarak dağılır. Sertleştirici olarak amonyum sülfat kullanımı sonucunda ortaya çıkan sülfürik asit (H_2SO_4) ise uçucu olmadığından levhanın her tarafına düzenli olarak dağılamaz ve düzensiz sertleşen bölgeler oluşabilir [23].

2.5.5. Hidrofobik Maddeler

MDF üretiminde su alma ve kalınlığına şişme oranının azaltılması için su itici maddeler kullanılır. Su itici maddeler levhanın tamamen su almasına engel olmazlar, çok yüksek oranda kullanıldıkları takdirde de liflere dik yönde çekme direncini, diğer bir ifadeyle iç bağlanma direncini düşürürler. Su itici etkisinin yüksek ve ergime sıcaklığının(49 °C) düşük olmasından dolayı en yaygın kullanılan hidrofobik madde emülsiyon parafindir. MDF üretiminde hesaplama yapılırken tam kuru lif ağırlığı esas alınarak %1-2 oranında, pişirme kazanı çıkışından yongalara tatbik edilmektedir [23].

2.5.6. Koruyucu Maddeler

Odun esaslı levhalar (yonga levha, lif levha, kontrplak, lamine levha) nemli ve sıcak ortamlarda mantar ve böcek saldırısının yüksek olduğu kullanım yerlerinde levha ürünlerini önce koruyucu maddelerle muamele etmek önemlidir. Açık hava şartlarına maruziyetin olduğu ortamlarda kullanılan levhaların uzun ömürlü dayanımı için mantar ve böcek gibi zararlılara karşı korunması çok önemlidir [23].

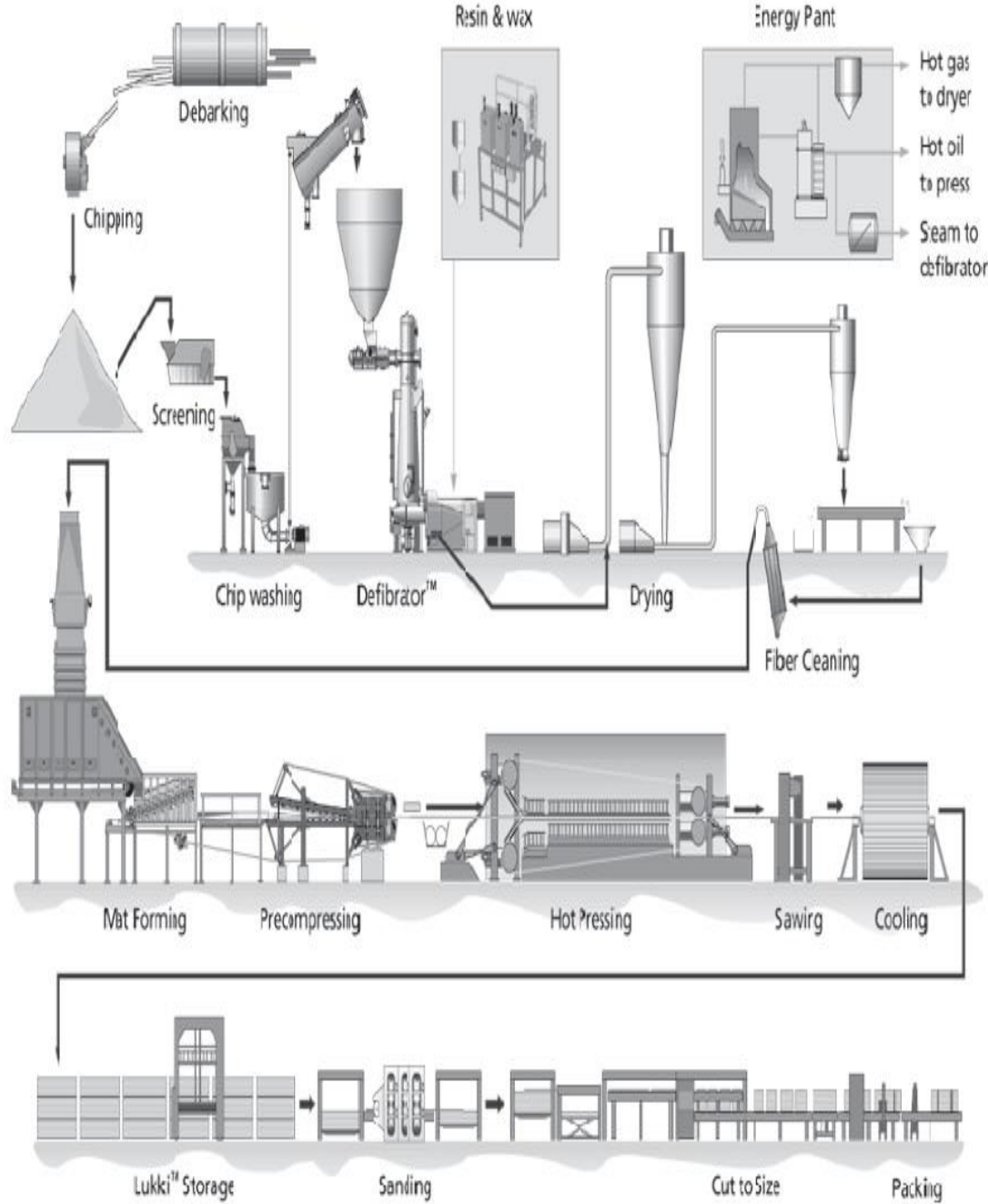
Koruyucu maddeler, tutkalın sertleşme süresini artırıp ya da azaltmamalıdır, diğer bir deyişle sıcak presleme süresini uzatmamalıdır, levhanın fiziksel ve mekanik direnç değerlerinde eksilmeye sebep olmamalıdır, koruyucu madde ile muamele edildikten sonra levhalarda pis koku oluşturmamalıdır. En yaygın kullanılan koruyucu kimyasal madde pentaklorfenol'dür. Pentaklorfenol'ün sodyum tuzu sulu çözeltisi tam kuru lif ağırlığına göre %0,50 oranında tutkal çözeltisine ilave edildiği zaman, MDF levhaların mantarlara ve küflenmeye, %0,75'e kadar kullanımı termitlere karşı direnci artırmakta ve koruma sağlamaktadır. Başka koruyucu maddeler; Amonyaklı bakır arsenik, Kromlu bakır arsenat(CCA-TipC), Bakır Pentaklorfenol, Sodyum florür veya Sodyum sliko florür [23].

2.5.7. Yanmayı Geciktirici Maddeler

Son yıllarda yanmaya dayanıklı odun esaslı levhaların kullanım oranı giderek artış göstermektedir. Başlıca çocuk bakım evleri, toplu konutlar ve hastaneler gibi insan nüfusunun yoğunlaştığı alanlarda kullanılan levhaların üretiminde, tedbir ve güvence sağlamak amacıyla yanmayı, alev almayı geciktirici maddeler kullanılmaktadır. Bu maddeler yangın esnasında duman salınımını da azaltmaktadır. MDF, odun esaslı malzemeden üretildiği için yanıcıdır. MDF'nin yanma süresini etkileyen faktörleri; levha kalınlığı, levha yoğunluğu, üretimde kullanılan odun ve tutkal türü olarak sıralayabiliriz. MDF üretimde yanmayı geciktirici katkı maddeler kullanıldıysa yanma süresi uzamaktadır. Yanmayı geciktirici maddelerin kullanım miktarı, tam kuru lif ağırlığına oranla %2'yi geçince, levhanın frezede işlenmesini zorlaştırmakta, ayrıca yüksek sıcaklıklarda levha renginin koyulaşmasına sebep olmaktadır. ÜF tutkalı ile üretilen levhalarda amonyum sülfat, FF tutkalı ile üretilen levhalarda ise Amonyum fosfat yanmayı geciktirmesi bakımından uygun bulunmaktadır. Amonyumlu bileşikler kullanıldığı takdirde sıcak etkisi ile amonyum açığa çıkarak koruyucu bir tabaka oluşturur. Bor asitlerinden faydalandığında ergime ısısı yüksek olduğu için yanma sırasında daha fazla enerji emerek sıcaklığın yükselmesini önlemeye yardımcı olmaktadır [23].

2.6. LİF LEVHA ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

MDF üretimi yapan bir fabrikanın ana hatlarıyla üretim akışı Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. MDF üretimi yapan bir fabrikanın iş akışı [26].

2.6.1. Odunun Depolanması

Türkiye’de odun kesimi genelde sonbaharın sonu ve kış ayları döneminde yapılır. Fabrikalar odun tedarikinde kesintilere uğramamak için minimum üç aylık odun stoku yapmak zorundadırlar. Odunların ster olarak ölçümü, fabrika deposunda nakliye aracı üzerinde iken yapılır. Ölçüm işlemi ağırlık esasına göre yapıldığı takdirde odunlar çoğunlukla lif doygunluğu noktası üzerinde rutubete sahip olduğundan fabrikaların maliyet açısından zarara uğramasına neden olmaktadır [27]. Şekil 2.5’te hammadde odun sahası resmi görülmektedir.



Şekil 2.5. Hammadde odun sahası.

Sabit vinçlerle veya kepçeli iş makineleri ile boşaltılan dal ve gövde odunları fabrika deposunda ya depolama havuzlarına alınmakta ya da beton bir zemin üzerinde ağaç türlerine, çaplarına göre devrilmeyecek şekilde düzgün bir şekilde istif edilirler. Tomruk kapak tahtaları ve uç atıkları, soyma kaplama atık silindiri, kesme kaplama atık tahtası gibi birçok endüstriyel atıklar depoda ayrı bir yerde istif edilmektedir. İstif edilen odunların özellikle yaz aylarında yağmurlama sistemi ile ıslatılmaları mantarlar ve böcekler gibi odun hammaddesinin kalitesini düşüren kusurlardan korunmasını sağlayan

etkili yollardan biridir. Böylece odunların rutubeti lif doygunluğu noktası üzerinde tutulmaktadır [27]. Şekil 2.6’da tomrukların iş makinesiyle kamyonlardan boşaltılarak istiflenmesi görülmektedir.



Şekil 2.6. Tomrukların boşaltılarak istiflenmesi.

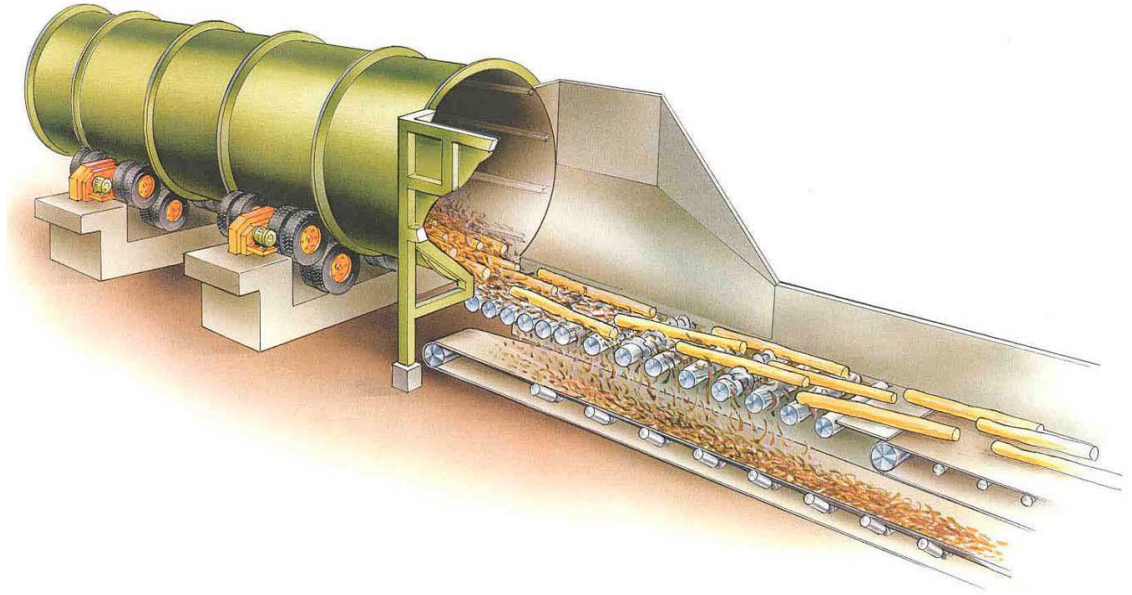
2.6.2. Kabuk Soyma

Rutubetli gövde ve dallar yongalama makinesine girmeden kabuk soyma makinelerine taşınır. Kabuk, yoğunluğu düşük, lifleri kısa, mukavemeti düşük ve lif verimi az olduğundan MDF üretiminde tercih edilmemektedir [11].

Kabuk kullanım oranı %10’u geçerse levhanın fiziksel ve mekanik direnç değerlerini önemli oranda düşürmekte, levhanın yüzeyinde koyu renkte görülmekte, tutkal tüketimini artırmaktadır. Kabuk ayrıca kum, taş parçaları gibi liflendirme bıçaklarını aşındıran yabancı maddeler içermektedir. Kabuk, pişirme kazanında buhar enerjisi tüketimini artırmaktadır. Kabukların temizlenmesi için kullanılan makineler şu şekildedir; bıçaklı kabuk soyma makinesi, sürtünme ve aşındırma yöntemi ile kabuk soyma (tamburlu kabuk soyucu olarak da bilinir), hidrolik tip kabuk soyucu, buhar patlaması ve kimyasalla kabuk soyucu makineler sayılabilir [8].

En yaygın olan kabuk soyma makinesi, döner tip tamburlu kabuk soyucu makinedir. İçi çelik bir tambur kendi eksenini etrafında dönerek, içindeki tomruklar birbirlerine ve tambur içindeki aşındırıcı demir gibi kısımlara sürtünerek kabuklar soyma işlemi görmekte ve ilerlemektedirler. Kabukları temizlenmiş odunlar yongalama makinesi besleme konveyörüne gelirler [27].

Şekil 2.7’de tamburlu kabuk soyma makinesi şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.7. Tamburlu kabuk soyma makinesi şematik görüntüsü [28].

2.6.3. Yongalama

Kabukları temizlenmiş odunlar yongalama makinesi giriş kısmında bulunan metal arama dedektörü ile taranmaktadır, metal parça bulunması halinde odun besleme sistemi otomatik olarak durmaktadır. Birçok tipte yongalama makineleri mevcuttur. En yaygın kullanılanları tamburlu ve diskli yongalama makineleridir. Tamburlu yongalama makinelerinin bıçak sayısı 3-8 arasında değişmektedir, yongalama bıçakları ağacın yoğunluğu, rutubeti, budak vb. özelliklerine göre her vardiya bilenmektedir. Tamburlu yongalayıcıda bıçaklar tamburun üzerine monte edilmekte ve cıvataları iyice sıkılmaktadır. Tamburun hemen altında elek bulunmaktadır, elek çapından daha büyük olan yongalar bıçağın çarpma etkisiyle ufalanarak eleğin deliklerinden geçmektedirler.

Yongalama makinesinden çıkan yongalar iğne yapraklı veya yapraklı ağaç türüne göre ayrı yonga silolarına taşınmaktadırlar.

Başarılı bir yongalama işlemi yalnız yonga boyutlarının düzenli olmasını değil, yongaların kalitesini de etkiler. Bunun sonucunda kaliteli lif elde edilir. Yongalama sırasında dikkat edilmesi gereken nokta, yongaların eşit büyüklükte olmasıdır. Boyları bir diğerinden farklı olan yongalar pişirme sırasında farklılıklar oluşmasına neden olur. Küçük yongalar fazla piştiğinden hemen liflerine ayrılır, büyük yongalar fazla pişmediğinden liflerine ayrılması zorlaşır. Lif levha endüstrisinde arzu edilen yonga boyutları 25x20x5 mm'dir [27].

Şekil 2.8'de HOMBAK marka tamburlu tip yongalama makinesi şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.8. Tamburlu yongalama makinesi şematik görüntü [29].

2.6.4. Yongaların Depolanması

Yongalama işleminden sonra, sert ağaç ve yumuşak ağaç yongaları taşıyıcı bantlarla ayrı ayrı çelik veya beton silolara taşınırlar. Burada amaç üretim çeşidine göre istenilen oranda yonga karışımı yapabilmektir. Böylece levhanın üretiminde en iyi teknolojik özellikleri sağlayacak yonga karışım oranları elde etmek mümkün olabilmektedir [11].

Şekil 2.9’da Sert ağaç ve yumuşak ağaç yonga silosu görülmektedir.



Şekil 2.9. Sert ağaç ve yumuşak ağaç yonga silosu.

Silolardan yongalar şineke veya hidrolik boşaltma sistemleri yardımıyla boşaltılmaktadır. Üretimde sert ağaç ve yumuşak odun karışımı şinekenin dakikadaki devir sayısına bağlı artırılır veya azaltılması ile sağlanır. Şekil 2.10'da görülen yonga silosunun alt kısmında yongaları üretime veren iki adet helezon vardır. Helezonlar sağa ve sola hareket edebilmelerine ilaveten devir sayıları da belirlenen yonga karışımına göre değişebilmektedir. Helezonlar yardımıyla silodan alınan belirli karışımındaki yongalar, taşıma bantları vasıtasıyla eleğe gönderilir.



Şekil 2.10. Yongaların silolardan helezonlar vasıtasıyla boşaltılması.

Yongaların silolarda depolanmasında amaç, üretimin kesintisiz olarak yapılarak kontrol altında tutulmasını sağlamaktır. Silolarda fabrikanın bir günlük yonga ihtiyacını karşılayacak kadar yonga bulunmalıdır [27].

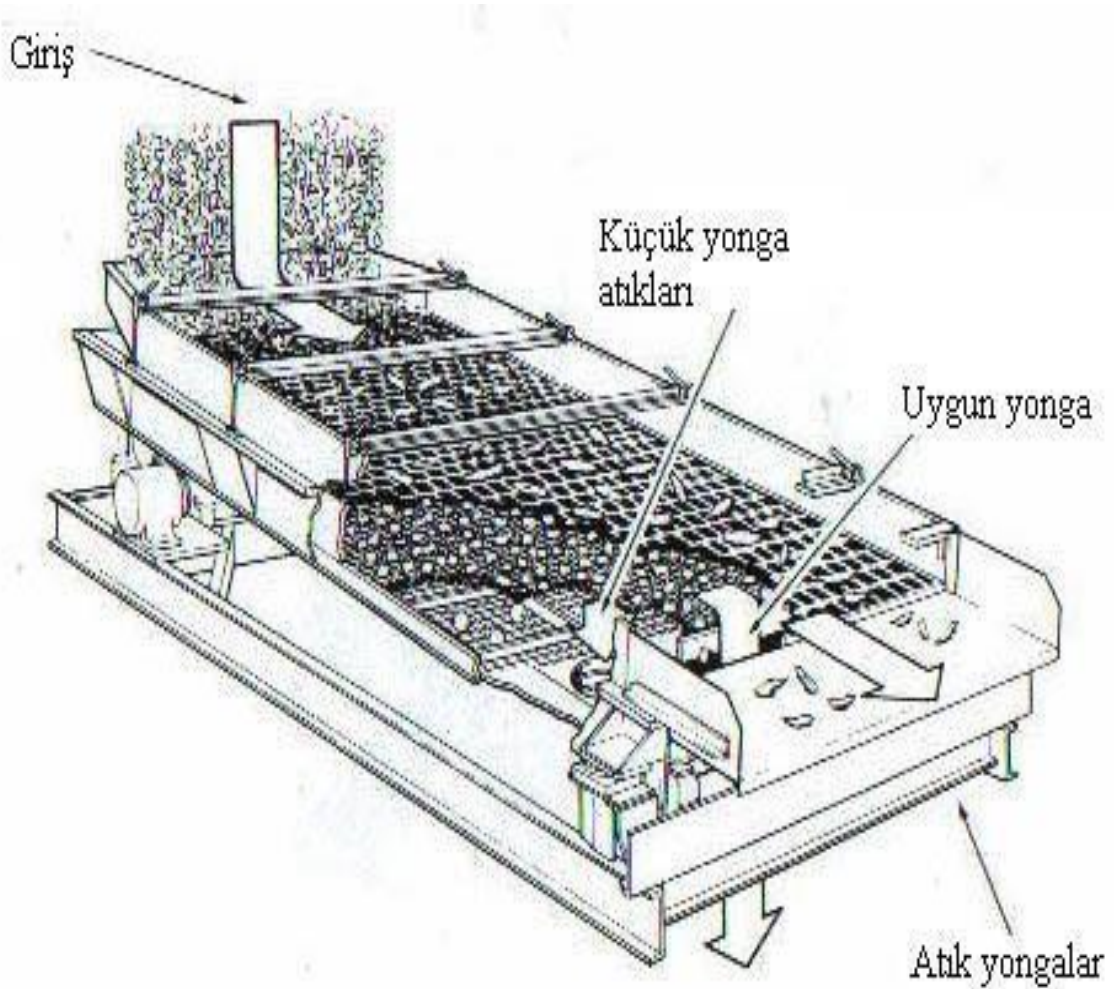
Yongaların açık sahada depolanması iklim şartlarına bağılı olarak değışmekle birlikte daha ekonomik ve daha pratik olarak görülür. Ancak açık sahada depolanan yongaların yangın ve renk değıştirme riski daha fazladır. Sıcaklığı yükselen yongalarda renk değışimi ve koyulaşma olur. Yonga yığının iç kısımları sıcaklığın artmasıyla   r kl k yapan ve renk değıştiren mantarlar geliştirebilirler. Yığında renk değışimi ve çürüme oranı ağ c cinsine, tepenin büyüklüğüne ve bekleme süresine, iklim koşullarına göre değışiklik gösterebilir [8]. şekil 2.11’de yongaların açık sahada depolanması görülmektedir.



şekil 2.11. Yongaların açık sahada depolanması.

2.6.5. Yongaların Elenmesi

Yongalar boyutlarına göre sınıflandırılmak üzere eleme makinesine gönderilir. Eleğin en üst kısmında kalan büyük boyutlu (oversize) yongalar tekrar parçalanmak için yonga kırıcılara gönderilir. Eleğin en alt kısmında kalan çok küçük boyutlu yongalar ve tozlar ise kazanda yakmaya gönderilir. Eleğin orta kısmında tutulan yongalar üretimde kullanılır. Üretime verilen yongaların metal parçalardan temizlenmesi, yongaların taşındığı bantların üzerinde bulunan mıknatıslar yardımıyla gerçekleşir. Bu şekilde liflendirme bıçakları ve pres plakaları korunmuş olur [11]. Sarsıntılı yonga eleğinin şematik görüntüsünü Şekil 2.12’de görmekteyiz.



Şekil 2.12. Sarsıntılı yonga eleğinin şematik görüntüsü [11].

Siempelkamp firması tarafından üretilen salınlı yonga eleme makinesi Şekil 2.13'te görülmektedir.



Şekil 2.13. Sarsıntılı yonga eleği [30].

2.6.6. Liflendirme İşlemi

Liflendirme birimi; yonga silosu, pişirme kazanı ve rafinör sisteminden oluşur. Prosesin amacı odunun kimyasal yapısında %30 oranında bulunan lignini 170-180 °C gibi sıcaklıklarda, 7,5-8 bar basınç altında yumuşatarak, liflerin mekanik sistemle birbirinden ayrılmasını sağlamaktır [8].

2.6.6.1. Pişirme Kazanı Silosu

Eleme işleminden geçen üretime uygun boyuttaki yongalar, pişirme kazanı silosuna taşınır. Bu silo pişirme kazanının hemen üst kısmında bulunmaktadır. Burada yongalara ön buhar verilerek ön ısıtma yapılmakta ve pişirme kazanına gravimetrik dozajlama yapılmaktadır.

2.6.6.2. Pişirme Kazanı

Piştirme kazanı silosundaki yongalar üst şineke yardımıyla piştirme kazanına aktarılır. Yongalar piştirme kazanına alınırken 2-3 bar basınçta mantarlaştırma pistonu yardımıyla sıkıştırılarak piştirme kazanına beslenir, böylece sıkıştırılan yongalar aniden gevşer, buhar ve basınç altında daha iyi şişer. Piştirme kazanında yongaların rutubeti %100'e ulaşmakta, sıcaklık ve basınç etkisi ile lignin yumuşamaktadır. Yongalar digesterda 170-180 °C sıcaklık ve 7.5- 8 bar basınçta 3-5 dk. doymuş haldeki buharla pişirildikten sonra buhar basıncı yardımıyla rafinöre gönderilirler. Şekil 2.14'te Pallmann marka piştirme kazanı görülmektedir.



Şekil 2.14. Pallmann marka piştirme kazanı [31].

2.6.6.3. Rafinör

Piştirme kazanında yumuşatılan yongalar rafinörde liflendirilir. Rafinöre giren yongalar 1-2 sn. içinde liflendirilir. Rafinörde diskler arası boşluk, elde edilmek istenen life göre 0.1-0.4 mm arasında ayarlanır. İnce lif üretilmek istenirse diskler arası boşluk azaltılır, kaba lif elde edilmek istenirse artırılır. Şekil 2.15'te rafinör bıçakları (segmentlerin) montajı görülmektedir.



Şekil 2.15. Rafinör bıçakları(segmentleri).

Rafinörde rotor ve stator olmak üzere biri sabit, diğeri döner iki disk bulunur, bu disklerin üzerine yongaların liflendirilmesini sağlayan bıçaklar (segmentler) monte edilir. Bu bıçakların dönme hareketinin etkisiyle arada sıkışan yongalar kesilerek lif haline gelir. Elde edilen lifler, basınç ve merkez kaç kuvveti etkisiyle basınçlı bir şekilde lif çıkış borusuna (blow line) aktarılır. Lif çıkış borusu üzerinde belirli açılarla yerleştirilmiş ve lif çıkış borusunu çevreleyen tutkallama enjektörleri bulunmaktadır. Bu enjektörler marifetiyle lif üzerine tutkal püskürtülmektedir.

Şekil 2.16’da Andritz marka Rafinör ünitesi görülmektedir.



Şekil 2.16. Rafinör ünitesi.

2.6.7. Liflerin Tutkallanması

Lif levha üretiminde iki yöntemle tutkallama işlemi yapılmaktadır. En fazla kullanılan yöntem liflendirme işleminden hemen sonra, lifler tüp kurutucuya girmeden blow line’da enjektörler yardımıyla liflerin üzerine tutkal püskürtülmesidir. Kuru yöntemle MDF levhaların üretiminde tam kuru lif ağırlığına göre %9-11 arasında tutkal tüketilmektedir.

Lif levha üretiminde en fazla tercih edilen tutkal türü üre formaldehittir. Tercih sebepleri olarak uygulama kolaylığı, beyaz renkte olması ve maliyet bakımından uygun olması, kısa sürede sertleşmesi gösterilebilir. Üre formaldehit tutkalı paslanmaz

tankerlerde likit formda, %55– 65 katı madde konsantrasyonu ile taşınabilir. 20 °C’de 4-5 hafta bozulmadan depolanabilmektedir. MDF üretiminde müşteri istekleri doğrultusunda Melamin formaldehit (MF) tutkalı da kullanılmaktadır [1].

Şekil 2.17’de Siempelkamp marka tutkallama ünitesi görülmektedir.



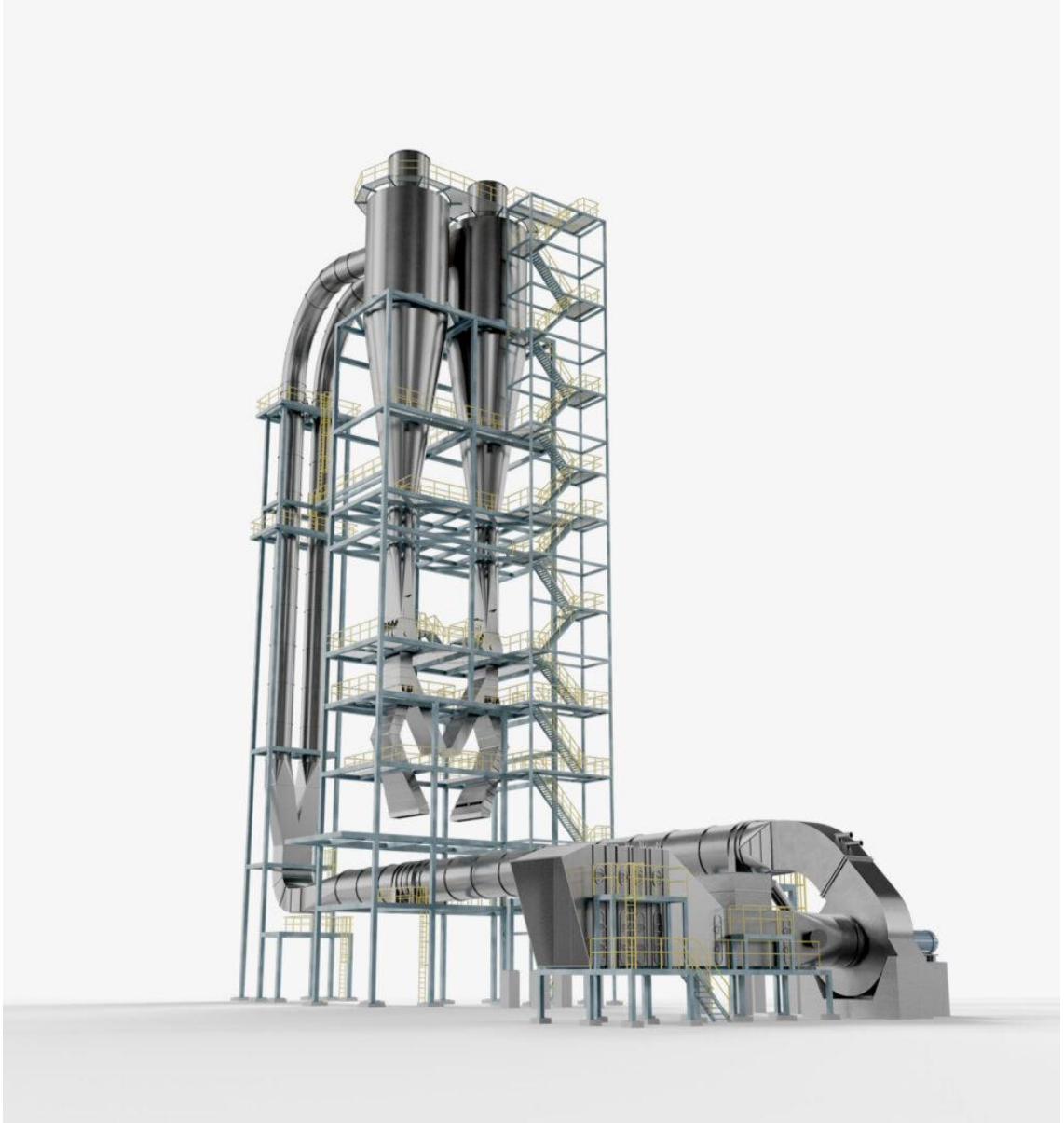
Şekil 2.17. Tutkallama ünitesi [32].

2.6.8. Liflerin Kurutulması

Tutkallanan, sertleştirici, parafin vb. gibi kimyasal maddeler ilave edilen lifler buhar basıncı etkisiyle lif çıkış haznesinden kurutmaya gönderilir. Kurutucular genellikle tüp şeklinde üretilirler, çapları ve uzunlukları kapasiteye göre değişmektedir, genel olarak 1-2,5 m çapında ve 100-150 m uzunluğunda üretilirler. Liflerin kurutulması için gereken sıcak hava genellikle kızgın yağla ısıtılan serpantinlerden sağlanır. Pnömatik kurutucu tüpünde hava hızları 25-35 m/sn arasında değişmektedir ve 50-150 g/m³ lif taşınabilir. Liflerin serme ünitesinde makine aksamına ve bantlara yapışmaması için %7–12 rutubete kadar kurutulması gerekir [8].

Liflerin kurutucu içerisinde kalma süreleri 7 saniyeyi geçmemeli ve hava lif karışımının oksijen miktarı %17'den yüksek olmamalıdır. Aksi takdirde kurutma borusu içerisinde yangın tehlikesi oluşmaktadır. Kurutucunun çıkışında liflerin toplandığı siklon bulunmaktadır. Siklona giren lif ve sıcak hava karışımı burada türbülansa sokulmaktadır, özgül ağırlığı yüksek olan lif, siklonun yüzeylerinde yoğunlaşarak alt kısma doğru ilerlemekte, siklonun alt kısmında bulunan kapsel vasıtasıyla kurutma hattından gelen sıcak hava ve liflerin kurumasıyla açığa çıkan buhar, siklonun üst kısmından dışarıya verilir. Kurutucu içinde ısı kayıpları olmaması için kurutma hattı izolasyon malzemeleri ile örtülüp üzeri sac levhalarla kaplanır. Havanın kurutma hattı sonunda sıcaklığı 55-60 °C'ye düşmektedir. Liflerin sonuç rutubeti kurutucu çıkışındaki sıcaklık ayarlanarak kontrol edilir. Kurutma hattı uzun olduğundan dolayı genellikle kavisli olarak inşa edilmektedir [27]. Şekil 2.18'de SundsDryer marka kurutma hattı görülmektedir.

Liflerin yüksek sıcaklıklarda kurutulması, yangın ve siklonlarda patlama gibi tehlikelere neden olabilmektedir. Bazen kurutma hattına giren rutubetli lifler kurutma borusunun yüzeyine yapışabilmekte ve yüksek sıcaklık sonucu yanarak alevi diğer liflere de sıçramakta, hatta kuru lif siklonlarındaki liflere kadar ulaşarak siklonda patlamalara neden olabilmektedir [11].



Şekil 2.18. Sundsdryer marka lif kurutma hattı [33].

2.6.9. Liflerin Elenmesi(Havalı Ayırıcı)

Lif eleme, lifler kurutma hattında kurutulduktan sonra uygulanan bir işlemdir. Tutkal topakları, kum, lateks, demir ve liflendirme ünitesinde oluşan kaba lif gibi kaba ve yabancı partikülleri levha taslağı oluşturmada önce ayırmak için lif eleme ünitesinden yararlanılır. Lif eleme ünitesi lif taşıma sistemi içerisinde lif kurutucu silo ile taslak oluşturma ünitesi arasında yer alır.

Kurutulmuş liflerin içerisinde kaba lif demetleri, tutkal topakları, metal, silisyum, lateks ve benzeri yabancı madde bulunması, üretilen levha kalitesine doğrudan etki yapar ve levhanın teknolojik özelliklerini sınırlayabilir. Bu sebeple levha taslağı meydana gelmeden önce lif eleme yapılarak üretilen levhanın kalitesi de arttırılmış olur.

Şekil 2.19’da SundsZifter marka lif eleme ünitesi görülmektedir.



Şekil 2.19. SundsZifter marka lif eleme, ayıklama ünitesi [34].

2.6.10. Lif Bunkerleri ve Serme İşlemi (Taslak Oluşturma)

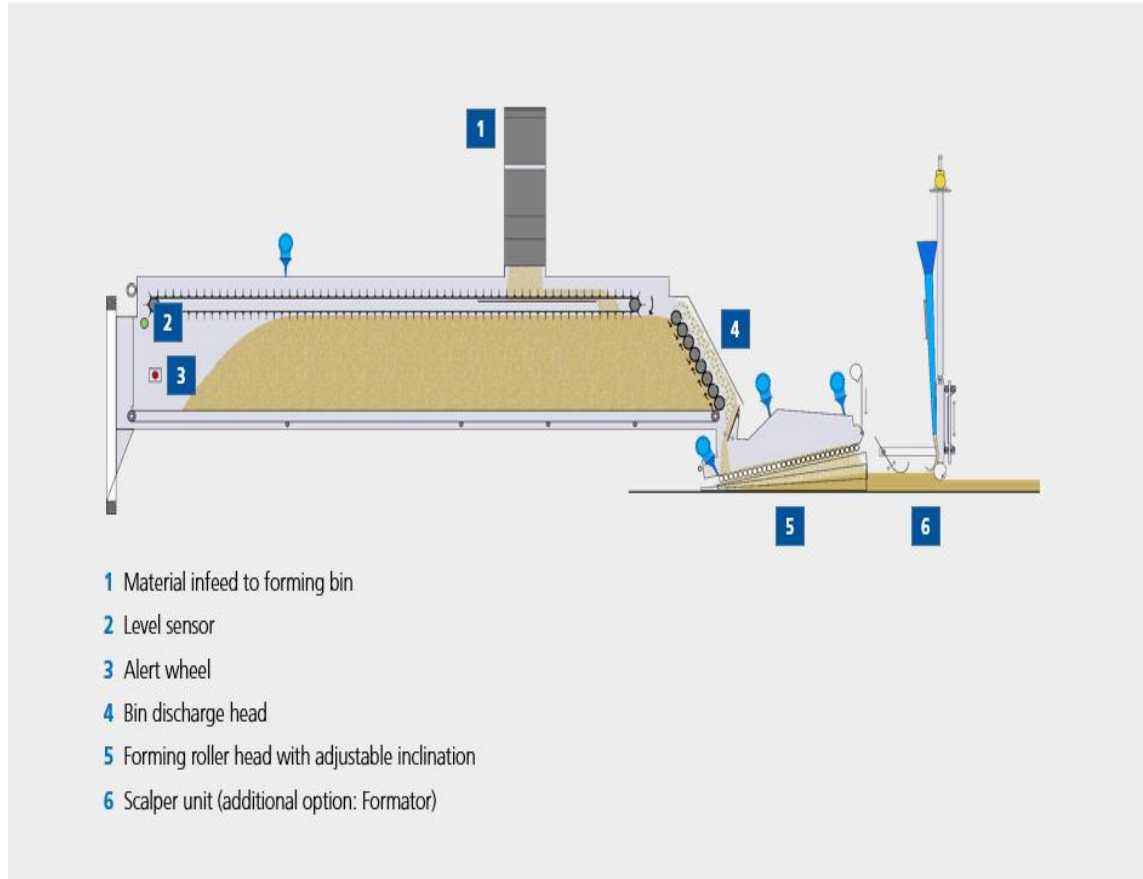
Kurutulmuş ve elenmiş liflerin homojen bir taslak halinde serilmesi lif levha üretiminde çok önemlidir. Bu safhada lif dağılımındaki homojenlik fiziksel ve mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Özellikle yüzey yoğunluklarının değışimi levhalarda dönüklük problemlerini meydana getirmektedir. Lif serme işleminde levhanın enine yönünde üniform ağırlıkta taslak elde etmek üretim ve kalite açısından çok önemlidir [27].

şekil 2.20’de IMAL PAL firmasına ait serme ünitesi görölmektedir.



şekil 2.20. IMAL PAL firmasına ait serme ünitesi [35].

Serme ünitesinin şematik yapısı Şekil 2.21’de verilmiştir.

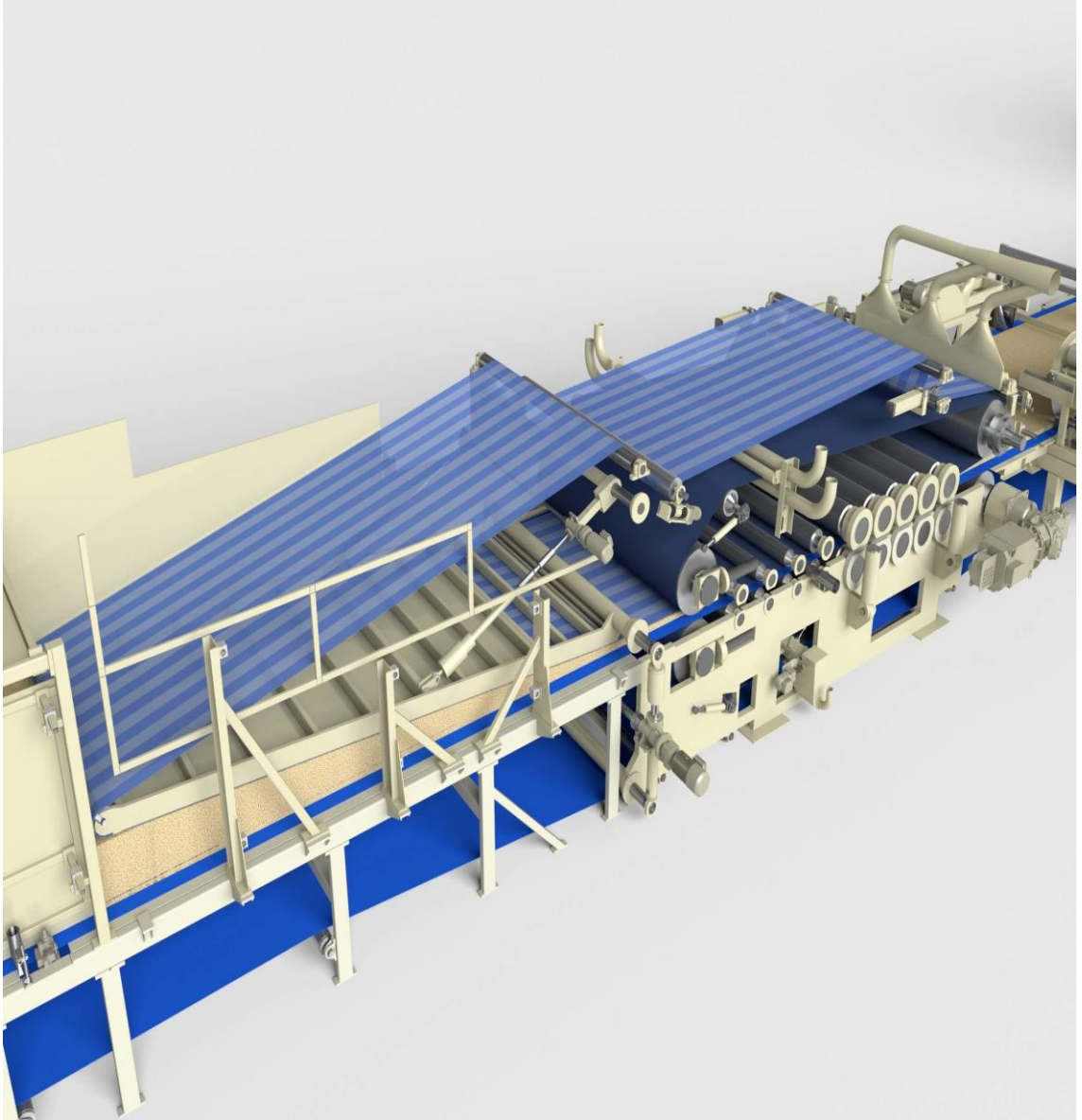


Şekil 2.21. Serme ünitesi şematik görüntüsü [36].

2.6.11. Ön Pres (Pre-Pressing)

Kuru yöntemle levha üretiminde ön pres, kontinü üretim yapan preslerde levha taslağının sıkıştırılarak içerisinde bulunan havanın atılması için gereklidir. Çok katlı preslerde ise hem levha taslağının içerisinde bulunan havanın atılması, hem de sıcak presin kapanması esnasında meydana gelen hava akımı taslağın yapısını bozmaması için lüzumludur. Levha taslağı kalınlığını etkileyen faktörler; üretim kalınlığı, üretimde kullanılan odun türü ve liflerin serbestlik derecesidir. Serme pasta yüksekliği, üretilecek levhanın kalınlıkça 20 katı olabilmektedir. Mesela 6 mm kalınlığında levha üretimi için yaklaşık 120 mm serme yüksekliği gerekebilir. Levha taslağı preslendikten ve içerisindeki hava atıldıktan sonra sıcak pres tabakaları arasına yerleştirilir, bunun için ön presleme uygulaması zorunludur [1].

Şekil 2.22’de Siempelkamp marka rulolu ön pres resmi verilmiştir.

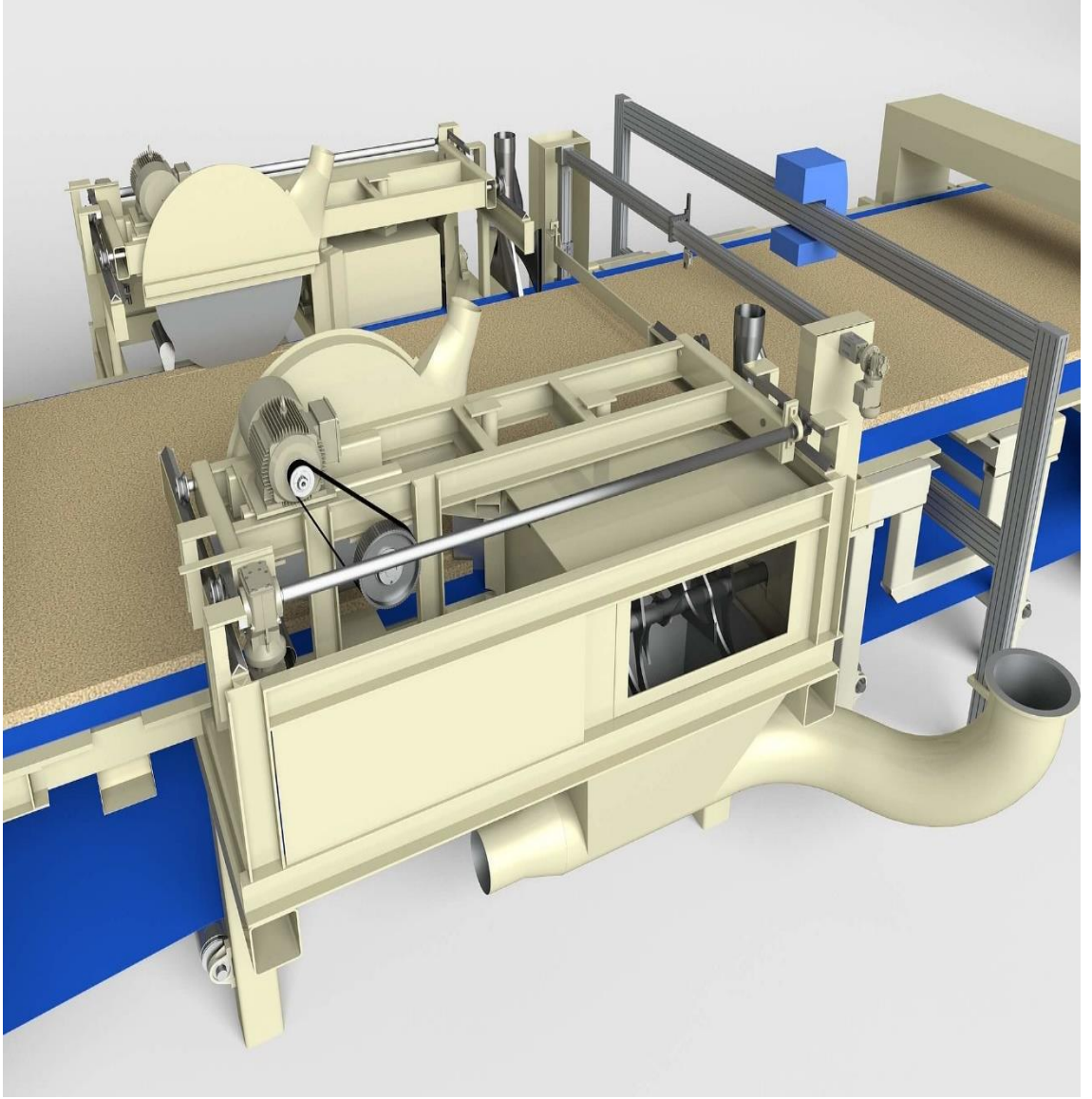


Şekil 2.22. MDF ön pres Siempelkamp [37].

Ön presten çıkan lif taslağının kalınlığı, ilk kalınlığının 1/3’üne düşmekte, yoğunluğu artmakta ve sonuç olarak sıcak preste pres katlarının kapanması için mesafe azalmaktadır, bu sayede çok katlı preslerde kapanma süresi azalmakta ve üretim kapasitesi artmaktadır.

Ön presten çıkan taslak mat halde olup arzu edilen genişlikte olması için kenar kısımları hızları eşit olan daire testerelerle kesilir.

Şekil 2.23'te Siempelkamp firmasına ait kenar kesme ünitesi verilmiştir.



Şekil 2.23. MDF lif taslağı kenar kesme işlemi [38].

Kesilen kenar kısımları aspiratörler ile serme bunkerine gönderilir, tekrar üretimde kullanılır. En sonunda kenar kısımları düzgün ve lif artıkları kalmamış, temiz levha taslağı elde edilir.

2.6.12. Sıcak Pres

MDF taslağı, levha kalınlığına kadar sıcaklık ve basınç altında preslenir. Bu esnada sıcaklık yardımıyla tutkal kürleşme sonucu sertleşir, istenilen yoğunlukta ve kalınlıkta levha elde edilir.

MDF üretiminde sıcak presleme; fasıllı (tek katlı ve çok katlı presler) ve fasılasız (sürekli-continuos ve Mende pres) olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Fasıllı presler çok katlı ya da tek katlı olabilir. Tek katlı preslerde yalnız sadece bir tane levha preslenebilir. Yükleme ve boşaltma transport sacları ile yapılır. Günlük kapasitenin 350 m³'ten fazla olması istenirse çok katlı preslerin kullanılması gerekir. Pres katlarının sayısı 4 ila 22 arasında değişir. Pres sacları kullanan presleme bölümlerinde levha taslağı, metalik saclar, delikli bant ya da çelik bantlarla sıcak prese taşınır. Pres sacları, presin boşaltılmasından sonra tekrar istasyonuna geri dönerler. Pres sacları kullanılmayan sistemde ise taslak, sonsuz bant üzerinde taşınarak prese kadar gelmektedir.

Fasıllı preslerde uygulanan basınç, üretilecek levha yoğunluğuna, kalınlığına ve ağaç türüne göre ortalama 30-50 kp/cm²'dir. Pres blokları kızgın yağ ile ısıtılmaktadır. Pres sıcaklığı, tutkal çeşidine bağlı olarak 150-220 °C arasında değişir. Presleme süresi tutkalın kürleşme süresi ve levhanın kalınlığına bağlı olarak 3-7 dakika arasında değişmektedir. Bu süre, levha taslağının yükleme asansörüne girmesi + preste yüksek basınç uygulanması + alçak basınç uygulanması + gazların atılması sürelerinin toplamına eşittir. Levhada kalınlık, katların arasına konulan kalınlık takozları ya da elektronik veya otomatik olarak çalışan pistonlar ile ayarlanır. Çok katlı preslerde tüm katların aynı anda kapanmasını sağlamak amacıyla Simultant mekanizması uygulanır [23].

Şekil 2.24'te Simultant mekanizması ile çalışan çok katlı hidrolik sıcak bir pres görülmektedir.



Şekil 2.24. Çok katlı hidrolik sıcak pres [39].

Kontinü preste levha, sonsuz bir bant halinde seyreder. Presten çıkan levhalar istenen boyutlarda kesilirler. Kontinü pres uzun olup levha taslağı ısıtılan çelik bantlar arasından geçmektedir. Şekil 2.25'te Siempelkamp marka fasılasız sürekli sıcak pres görülmektedir.



Şekil 2.25. Sürekli sıcak pres [40].

Sıcak preste levhanın oluşması için; yeterli basıncın sağlanarak levhanın final kalınlığına kadar sıkıştırılması, üretimde kullanılan tutkalın kürleşerek sertleşmesi, bunun için de levha orta kısmının 100 °C'ye ulaşmaya kadar ısıtılması gerekmektedir [23].

2.6.13. Klimatize İşlemi (Yıldız Soğutucu)

Presten çıkan levhaların sıcaklığı 110-120 °C, rutubeti ise %5-7 arasında değişmektedir. Katlı preslerde presten çıkan levhalar boşaltma asansörü çıkışında terazi ile tartılıp, boyuna yönde 2-3 yerden kalınlık ölçümü yapılır. Sürekli preslerde ise presten çıkan

levha bant üzerinde devamlı hareket ettiğinden bant üzerine belli bir açıyla yerleştirilmiş boy kesme daire testeresiyle standart uzunlukta kesilmektedir [27].

Günümüzde yonga levha veya MDF gibi levha üretim sektöründe iklimlendirme ya da klimatize olayı kendi eksenini etrafında 360° dönebilen yıldız soğutucularda yapılmaktadır. Şekil 2.26'da Siempelkamp marka yıldız soğutucu ünitesi görülmektedir.



Şekil 2.26. Yıldız soğutucu [41].

Burada bir mil etrafına yerleştirilmiş çok sayıda kollar bulunmaktadır. Levha kalınlığı mekanizma ile ölçülen ve tartısı ya da ağırlığı alınan levhalar teker teker yıldız soğutucuya yani soğutucu kollarına yüklenirler. Milin dönmesiyle levhanın her iki yüzeyi de soğuk hava ile temas eder. Milin dönme hızı bandın hızıyla eş zamanlıdır. Örneğin 18 mm kalınlıktaki levha için iklimlendirme aşaması 40-45 dakika iken, 5 mm'den daha az kalın levhalar bant hızının yüksek olması nedeniyle yıldız soğutucunun kolları arasına alınmasına gerek yoktur, aralarına takozlar konarak istife alınır ve soğumaya bırakılmaktadır. Yıldız soğutucuların üst kısmında bulunan fanlar kabindeki havayı emerek levhanın soğumasını sağlamaktadır. İklimlendirme işlemi ile

levhaların sıcaklığı ortalama 40 °C'ye düşmektedir. İklimlendirme işlemi yapılmadığı zaman levha sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksek olduğundan dolayı levhada kısa sürede çarpılma-eğilme meydana gelmektedir. Yıldız soğutucudan çıkan levhalar üst üste istiflenmekte ve depoda dinlendirilmeye alınmaktadır [27].

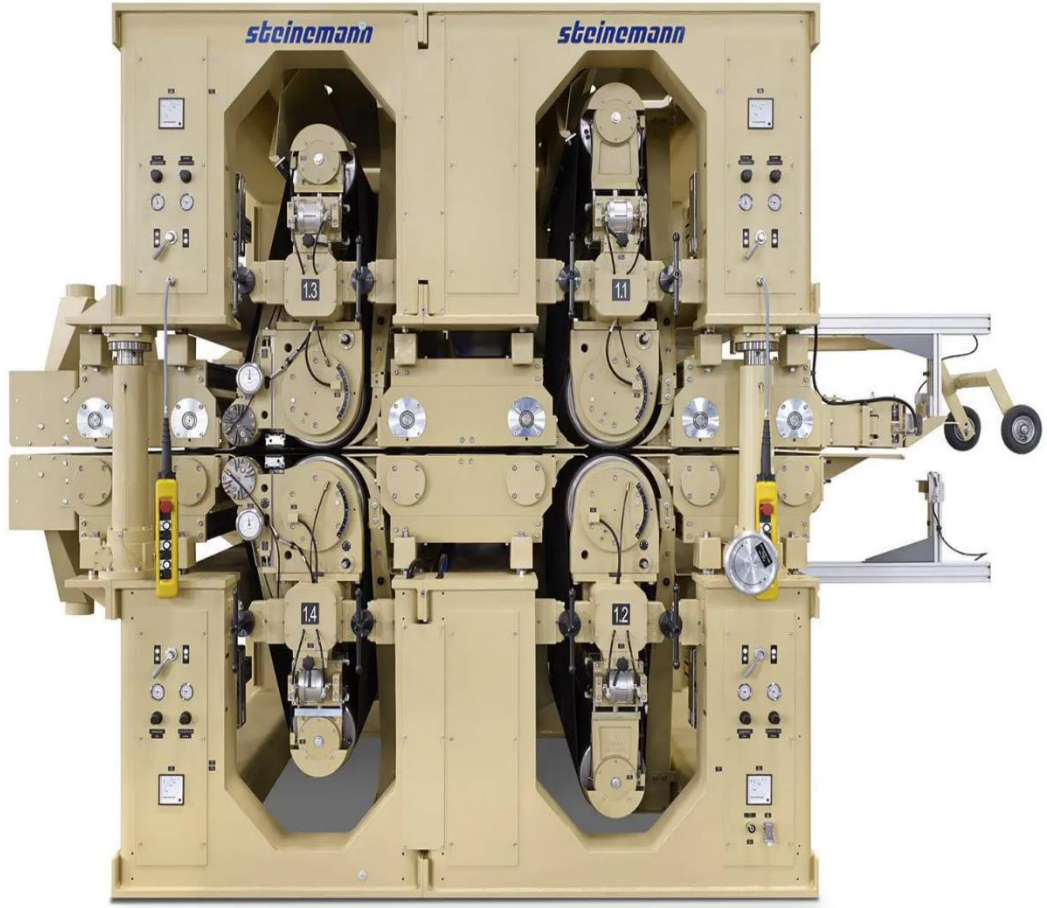
Şekil 2.27'de Siempelkamp firmasına ait otomatik depolama bölümü görülmektedir.



Şekil 2.27. Ham MDF depolama [42].

2.6.14. Zımparalama, Boyutlandırma ve Depolama

Levhalar zımpara işlemine başlamadan önce depoda 3-5 gün süre ile dinlendirilirler. Burada asıl amaç sıcaklık ve rutubetin levhanın her yerinde dengelenmesidir. MDF, yüzey kalitesinin iyi olmasından dolayı mobilya üretiminde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Zımparalama işlemi levhanın yüzey kalitesi için çok önemlidir. Zımparalama işlemiyle hem levhanın kalınlık sapması giderilmekte, hem de boyama ve kaplama gibi üst yüzey işlemlerinden önce levhanın yüzey pürüzlülüğü azaltılmaktadır [27]. Şekil 2.28'de Steinemann marka zımpara makinesi görülmektedir.



Şekil 2.28. Zımpara makinesi [43].

Zımpara işlemini takiben levhalar yüzeyleri kontrol edildikten sonra kalitesine göre sınıflandırılır. Çok katlı preslerle üretim yapan tesislerde, ebatlama işlemi zımparadan önce yapılır, sürekli preslerle üretim yapılan tesislerde, ebatlama işlemi zımparadan sonra yapılmaktadır. Kalitelerine göre sınıflara ayrılan levha paketleri, etiketlenerek alt ve üst kısımlarına koruma plakaları konulduktan sonra üretim tarihine göre istif edilirler [27].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

Deneylerde kullanılan hammaddeler Divapan Entegre A.Ş. den temin edilmiştir. Levha üretimleri Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümü Odun Mekaniği ve Teknolojisi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Odun Lifleri ve Zımpara Tozu

Levhaların üretiminde; %70 sert odun (meşe, kayın, dişbudak) %30 yumuşak odun (yerli çam ağaçları) yongalarından elde edilen lifler kullanılmıştır. Zımpara tozları ve lifler Divapan Entegre Ağaç Panel San. ve Tic. A.Ş. den temin edilmiş ve Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarına nakledilmiştir.

3.1.2. Tutkal

Üre formaldehit tutkalı Divapan Entegre Ağaç Panel San. ve Tic. A.Ş. firmasından temin edilmiştir ve üre/formaldehit mol oranı 1:1.17'dir. Levhaların üretiminde, tam kuru lif ağırlığına oranla %10.5 oranında tutkal kullanılmıştır. UF tutkalına ait teknik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Üre formaldehit reçinesinin teknik özellikleri.

Katı madde miktarı (%)	65
Viskozite (cps)	280
Akma süresi (sn)	95
pH değeri	8,3-8,5
Yoğunluk (g/cm ³)	1,280
Serbest formaldehit (%)	0,14
Jell time (sn)	45-49
Depolama süre (gün)	90

3.1.3. Sertleştirici Madde

Sertleştirici olarak Amonyum klorür (NH_4Cl) kullanılmıştır. %33'lük sulu çözelti halinde tam kuru tutkal ağırlığına göre %2 oranında kullanılmış olup, bu çözeltinin teknik özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Sertleştirici (amonyum klorür) özellikleri.

Görünüş	Kirli beyaz
Katı madde (%)	33
Yoğunluk (g/cm^3)	1,020
Yapı	Kristal taneli

3.2. METOD

3.2.1. Lif Levha Üretim Prosesi

Deney levhalarının üretiminde kullanılan lifler ve zımpara tozları Divapan Entegre Ağaç Panel San. ve Tic. A.Ş Düzce'de bulunan fabrikasından temin edilmiştir. Lifler ve zımpara tozları %3 rutubete kadar fabrikada kurutulmuştur. Lif levha kalınlığı 10 mm olarak seçilmiştir. Bu amaçla 42x42 cm ölçülerinde şekillendirme çerçevesiyle oluşturulan levha taslakları 10 mm kalınlık çitası ile 150 °C'de 7 dk. süre ve 2.6-2.8 N/mm^2 basınç altında preslenerek deney levhaları üretilmiştir. Üretim planı Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Levha üretim planı.

Levha Grupları	Levha Kalınlığı (mm)	Lif Oranı(%)	MDF Tozu (oranı)%	Pres Sıcaklık (°C)	Pres Süresi (dk)	Basınç (N/mm^2)
A	10	100	0	150	7	2.8
B	10	95	5	150	7	2.8
C	10	90	10	150	7	2.8
D	10	80	20	150	7	2.8
E	10	70	30	150	7	2.8
F	10	60	40	150	7	2.8
G	10	50	50	150	7	2.8

3.2.2. Tutkallama

Üretimde kullanılan lif ve zımpara tozu karışımlarının tutkallama işlemi Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan Laboratuvar tipi tutkallama karıştırıcısı kullanılarak yapılmıştır. Bu tutkallama karıştırıcısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tutkallama karıştırıcısı.

3.2.3. Levha Taslağının Hazırlanması ve Ön Pres

Levha taslaklarının hazırlanmasında 420x420 mm ebatlarında şekillendirme çerçevesi kalıbı ve 2 mm kalınlıkta pres sacları kullanılmıştır. Şekillendirme çerçevesinin içerisine lifler elle homojen bir şekilde serilmiştir. Daha sonra taslağın dağılmaması için kalıp üzerinde ön pres uygulanmıştır. Levha taslağının pres sacına yapışmasını engellemek amacıyla taslağın yüzeyi alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Alt ve üst kısımlarına metal plakalar yerleştirilerek kalınlık takozları yerleştirilmiş ve prese sevk edilmiştir. Elde edilen taslak pres saclarına alındıktan sonra sıcak presleme işlemine geçilmiştir. Şekil 3.2’de ön preslemesi yapılan levha taslağı görülmektedir.



Şekil 3.2. Levha taslağının oluşturulması ve ön presleme.

3.2.4. Sıcak Pres

Hazırlanan levha taslaklarının preslenmesinde laboratuvar tipi elektrikle ısıtılan tek silindirli Cemil Usta marka hidrolik pres kullanılmıştır. Şekil 3.3'te levha taslağının pres blokları arasına prese yerleştirilmesi görülmektedir. Pres parametrelerinden alt ve üst blok sıcaklığı 150 °C, pres basıncı 2.8 N/mm² ve pres süresi 7 dakika olacak şekilde, 7 adet levha basılmıştır. Üretilen levhalar, gereken testlerin yapılması için standartlara uygun ölçülerde ebatlanmıştır.



a)



b)

Şekil 3.3. a) Levha taslağının bloklar arasına yerleştirilmesi b) Presleme.

3.2.5. Fiziksel Testler

Fiziksel testler Divapan Entegre Ağaç Panel San. ve Tic Aş. Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.1. Yoğunluk

Yoğunluğun belirlenmesi TS EN 323 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [44]. %65 bağıl nem ve 20 °C de klimatize edilmiş ve 50x50 mm ebatlarında hazırlanan örneklerin ağırlığı, kalınlığı ve ebatları ölçülerek yoğunlukları eşitlik 3.1'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$d = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \quad (3.1)$$

d: Yoğunluk (g/cm³).

m: Numune ağırlığı (g).

b_1, b_2, t : Numunenin boyutları (mm).

3.2.5.2. Rutubet oranı

Rutubet oranının belirlenmesi TS EN 322 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [45]. 50x50xlevha kalınlığı mm ölçülerinde kesilen numuneler hassas terazide tartıldıktan sonra 103±2 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa gelene kadar bekletilmiştir. 6 saat aralıklarla yapılan tartımlarda, birbirini takip eden iki tartım sonucu kütle farkı, deney parçası kütlesinin 0.01'inden fazla olmaması durumunda bu kütle değişmez kütle olarak kabul edilmektedir. Örnekler etüvden çıkarılarak desikatörde soğutulduktan sonra 0.01 g hassasiyette terazide tartılarak eşitlik 3.2'de gösterildiği şekilde rutubetleri hesaplanmıştır. Rutubet miktarı ölçümü için örneklerin etüve yerleştirilmesi Şekil 3.4'te görülmektedir.

$$r = \frac{m_r - m_0}{m_0} \times 100 \quad (3.2)$$

r: Rutubet (%).

m_r : Örnek ağırlığı.

m_0 : Tam kuru haldeki örnek ağırlığı.



Şekil 3.4. Rutubet miktarı ölçümü için örneklerin etüv içerisine yerleştirilmesi.

3.2.5.3. Su Alma Miktarı

Su alma miktarının belirlenmesi TS EN 317 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [46]. 50x50 mm ölçülerinde kesilen numuneler $\%65 \pm 5$ bağıl nem ve 20 ± 2 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar kondisyonlanmıştır. Her deney numunesi 0.01 g hassasiyette terazide tartıldıktan sonra 20 ± 1 °C sıcaklıktaki su banyosuna birbirine değmeyecek şekilde su yüzeyinden aşağıda olacak şekilde yerleştirilmiştir. 2 ve 24 saat sonra örnekler sudan dışarı çıkartılarak bir kuru bez yardımıyla fazla suları alınmıştır. Sonra ağırlıkları 0.01 g hassasiyette terazide tartılmıştır. Kullanılan su her defasında tazelenmiştir. Eşitlik 3.3'te gösterildiği şekilde su alma miktarları hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (3.3)$$

SA: Su alma oranı (%).

t_2 : Numunenin suya daldırdıktan sonraki ağırlığı (g).

t_1 : Numunenin suya daldırmadan önceki ağırlığı (g).

3.2.5.4. Kalınlık Artışı

Kalınlık artımlarının belirlenmesi TS EN 317 standardında belirtilen kurallara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [46]. Bu amaçla su alma testlerinde kullanılan örneklerden yararlanılmıştır. Kalınlık artışı eşitlik 3.4'te görüldüğü şekilde hesaplanmıştır. Su alma ve kalınlık artışı için örneklerin suda bekletilme durumu Şekil 3.5'te görülmektedir.

$$KA = \frac{e_y - e_k}{e_k} \times 100 \quad (3.4)$$

KA : Kalınlık artışı oranı (%).

e_y : Suda bekletilen örnek kalınlığı (mm).

e_k : Klimatize edilmiş ilk örnek kalınlığı (mm).



Şekil 3.5. Su alma ve kalınlık artımı testleri için örneklerin suda bekletilmesi.

3.2.5.5. *Yüzey Ağırlık*

Yüzey ağırlığının belirlenmesi için yoğunluk ölçümünde kullanılan örneklerden faydalanılmıştır. Bu amaçla %65 bağıl nem ve 20 °C de klimatize edilmiş ve 50x50 mm ebatlarında hazırlanan örneklerin ağırlığı ve ebatları ölçülerek yüzey ağırlıkları eşitlik 3.5'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$YA = \frac{m \times 1000}{b_1 \times b_2} \quad (3.5)$$

YA: Yüzey ağırlık (kg/m²).

m: Numune ağırlığı (g).

b_1, b_2 : Numunenin boyutları (mm).

3.2.6. **Mekanik Testler**

Örneklerin mekanik deneylerinin yapılması için Divapan Entegre Ağaç Panel San. ve Tic Aş. Laboratuvarında bulunan IMAL marka bilgisayarlı Universal Test cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın kalibrasyonu TSE tarafından yapılmakta ve gerekli sertifikaları mevcuttur.

3.2.6.1. *Eğilme Direnci*

Eğilme direnci testleri TS EN 310 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [47]. Test için örneklerin genişliği 50±1 mm, uzunluğu anma kalınlığının 20 katı ±50 mm olacak şekilde alınmış ve %65±5 bağıl nem ve 20±1 °C de, değişmez ağırlığa gelinceye kadar iklimlendirme odasında bekletilmiştir. Deneyler Şekil 3.6'da görülen IMAL marka universal test cihazı ile yapılmıştır. Eğilme direnci değerleri eşitlik 3.6'da verilen formüle göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.6. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testinin yapılışı.

$$E = \frac{3xF_{max}xL}{2xbxd^2} \quad (3.6)$$

E : Eğilme direnci (N/mm²).

F_{max} : Kırılma anında maksimum kuvvet (N).

L : Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm).

b : Örnek genişliği (mm).

d : Örnek kalınlığı (mm)

3.2.6.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülü testleri TS EN 310 standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır [47]. Bu amaçla eğilme direnci testlerinde kullanılan örneklerden yararlanılmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri eşitlik 3.7’de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$E_m = \frac{FxL^3}{4x\Delta xbx d^3} \quad (3.7)$$

E_m : Elastikiyet modülü (N/mm²).

F : Uygulanan yük - kuvvet (N).

Δ : Eğilme miktarı (Sehim) (mm).

L : Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm).

b : Örnek genişliği (mm).

d : Örnek kalınlığı (mm).

3.2.6.3. *Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci*

Yüzeye dik yönde çekme direnci testleri TS EN 319 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [48]. 50x50 mm boyutlarında hazırlanan test örnekleri nispi rutubeti %65±5 bağıl nem ve 20±1 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar klimatize edilmiştir. Test örneklerinin boyutları TS EN 325 standardında belirtilen esaslara göre ölçülmüştür [49]. Hazırlanan deney parçaları yükleme bloklarına yapııştırılmıştır ve üniversal test cihazının kavrama çeneleri arasına yerleştirilerek çekme kuvveti uygulanmıştır. Test sonuçları eşitlik 3.8’de belirtilen esaslara uygun olarak hesaplanmıştır. TS 64-5 EN 622-5’e göre orta sert kuru koşullarda kullanılacak 12 mm kalınlığında olan lif levha için yüzeye dik yönde çekme mukavemeti minimum 0.60 N/mm² olması gerekmektedir [12]. Deneyler Şekil 3.7’de görülen IMAL marka üniversal test cihazı kullanılarak yapılmıştır.

$$F_t = \frac{F_{max}}{axb} \quad (3.8)$$

F_t : Yüzeye dik çekme mukavemeti (N/mm²).

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

a : Örnek uzunluğu (mm).

b : Örnek genişliği (mm).



Şekil 3.7. Yüzeye dik yönde çekme testi yapılışı.

3.2.7. Formaldehit Emisyonu

Formaldehit emisyon deneyi TS 4894 EN’da belirtilen perforatör metoduna göre yapılmıştır [50]. Perforatör yönteminin özelliği tolüen çözeltisinin içinde kaynatılan örneklerden ayrılan formaldehitin, destile suya geçmesini sağlamaktır. Bu amaçla her bir levha grubuna ait MDF levhalardan 25x25xlevha kalınlığı mm boyutlarında kesilen örneklerden 110 gr alınır, Şekil 3.8’de görülen cihazın balon kısmına yerleştirilir ve üzerine 600 ml tolüen ilave edilir, yuvarlak imbik perforatöre bağlanır. Perforatör’e 1000 ml destile su ilave edilir. 100 ml destile su ve soğutucu ile doldurulmuş gaz absorpsiyon cihazı ile birbirine bağlanır, perforatör ısıtıcının çalıştırılmasıyla işe başlatılır. Tolüen’in geri akışının başlamasından 2 saat sonra ısıtıcı kapatılır ve

perforatörde bulunan su 2000 ml'lik bir cam balona aktarılır, üzerine gaz absorpsiyon erlenmayerde bulunan su da ilave edilir. Cam balonda destile su, 2000 ml'ye tamamlanır, 2000 ml'lik balon joje'de bulunan çözeltilerden 10 ml alınır, üzerine destile su ilave edilerek 100 ml'ye tamamlanır. Seyreltilmiş çözeltilerden 10 ml alınarak bir şişeye konulur ve üzerine 10 ml 0.01 N lik asetil aseton ve 10 ml 0.01 N amonyum asetat ilave edilir. Şişelerin ağzı sıkıca kapatılarak 40°C sıcaklıktaki su banyosunda 15 dakika bekletilir, bir saat ışıksız ortamda soğumaya bırakılır. Bu çözeltilerin absorbens değerleri UV spektrofotometre cihazında ölçülür. Ölçülen absorbens değerleri kullanılarak eşitlik 3.9'da verilen formüle göre örneklerin içerdikleri formaldehit miktarı hesaplanmıştır.

$$F = \frac{(A_S - A_B) \times f \times (100 + r) \times V}{M} \quad (3.9)$$

F : Formaldehit Konsantrasyonu (mg/100g).

A_S : Analiz edilen ekstraksiyon çözeltisinin absorbensı (nm).

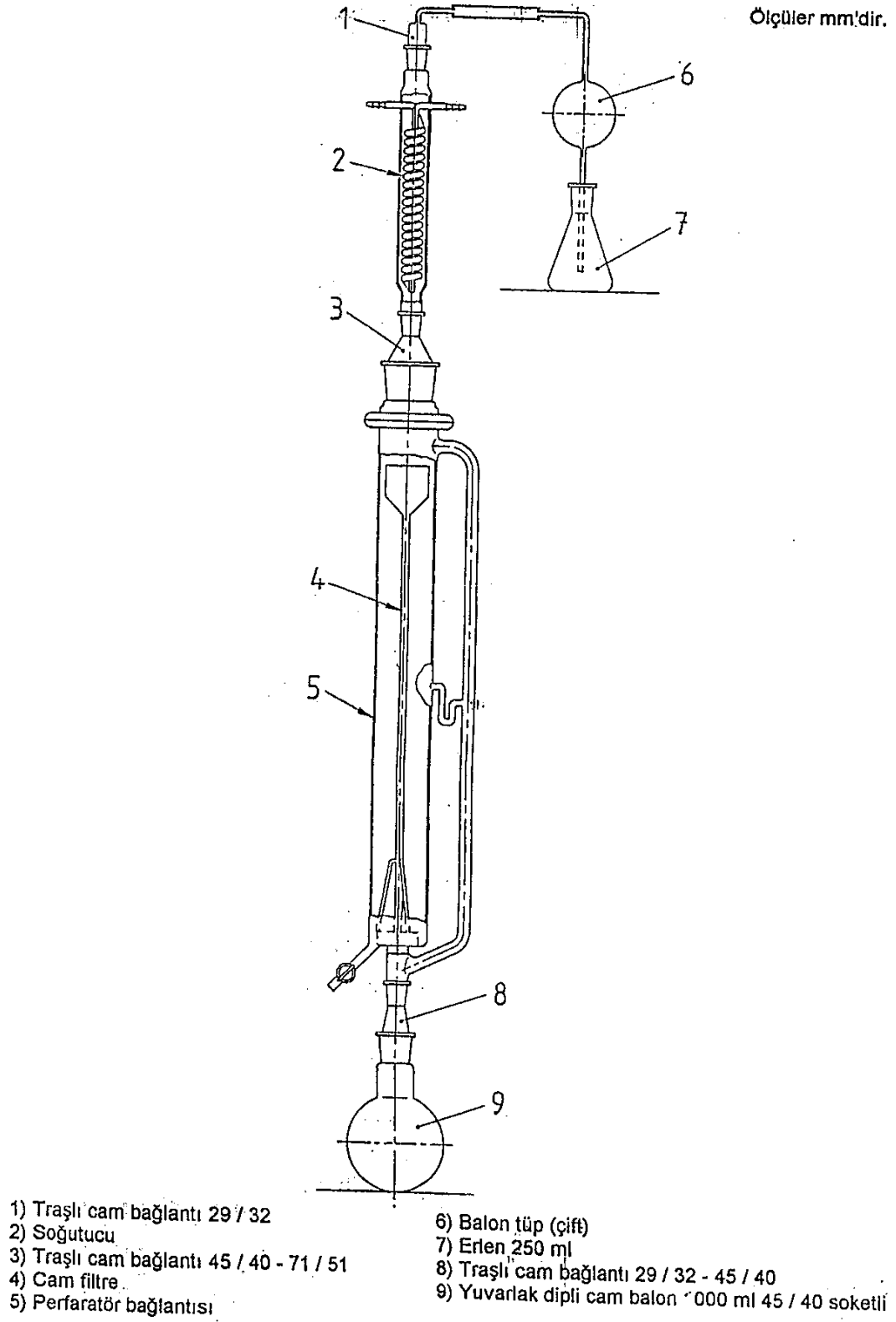
A_B : Şahit deneyin absorbensı (nm).

f : Kalibrasyon eğri faktörü (mg/ml).

r : Levha rutubet miktarı (%).

V : Ölçülü balon hacmi (2000ml).

M : Deney örneklerinin kütlesi (g).



Şekil 3.8 Formaldehit emisyonu ölçümünde kullanılan ekstraksiyon cihazı.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. FİZİKSEL ÖZELLİKLER

4.1.1. Yoğunluk

Deneme levhalarının her birine ait yoğunluk değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yoğunluk değerleri(g/cm³).

Levha Grupları	Ortalama Yoğunluk (X)	Std. Sapma (S)	Std. Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)(%)
A	0,803	0,010	0,009	0,796	0,824	1,209
B	0,819	0,011	0,010	0,802	0,836	1,322
C	0,812	0,011	0,011	0,788	0,825	1,372
D	0,815	0,014	0,014	0,789	0,834	1,749
E	0,811	0,012	0,011	0,795	0,838	1,423
F	0,797	0,022	0,021	0,758	0,818	2,721
G	0,791	0,014	0,013	0,776	0,809	1,771

Kontrol grubu(A) levhaların ortalama yoğunluk değeri 0,803 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. En düşük yoğunluk değeri G grubu levhalarda (0,791 g/cm³) ve en yüksek yoğunluk değeri B grubu levhalarda (0,819 g/cm³) tespit edilmiştir.

Üretilen levhaların yoğunluk değerleri arasında farklılık olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Yoğunluk değerleri varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Yoğunluk değerleri varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	0,006	6	0,001	5,307	0,001
Gruplar İçi	0,012	63	0,000		
Toplam	0,018	69			

Varyans analizi sonuçlarına göre levhaların yoğunluk değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0,001$). Bu farkın hangi grup veya gruplardan kaynaklandığını belirlemek için Duncan testi uygulanmıştır. Yoğunluk değeri Duncan testi sonuçları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

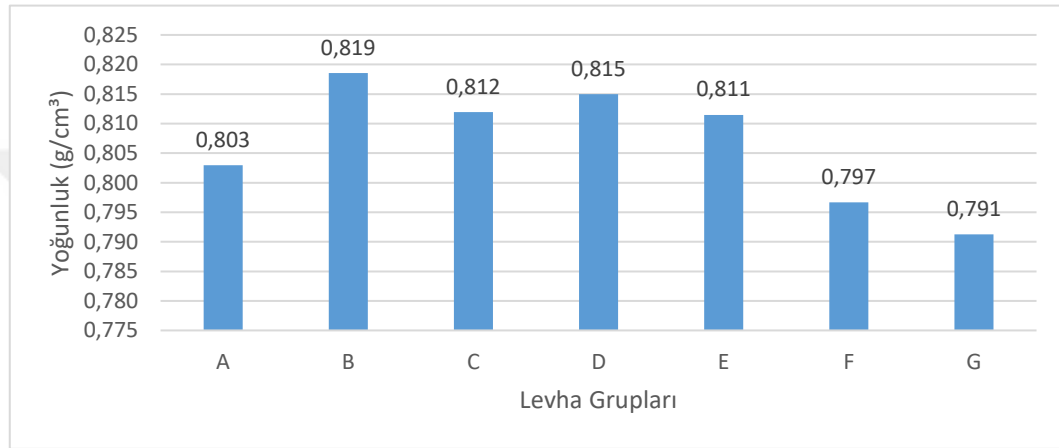
Çizelge 4.3. Yoğunluk değerleri Duncan testi sonuçları.

Levha Grupları	Örnek Sayısı	Alt Gruplar		
		1	2	3
G	10	0,791		
F	10	0,797		
A	10	0,803	0,803	
E	10		0,811	0,811
C	10		0,812	0,812
D	10		0,815	0,815
B	10			0,819
Sig.		0,077	0,082	0,296

Duncan istatistik testi sonucuna göre ortalama yoğunluk değeri, G - F - A grupları, A - E - C - D grupları ve E - C - D - B grupları arasında benzer, diğer gruplarda birbirinden farklı olduğu ortaya çıkmıştır. TS 64 - 1 EN 622-1'e göre levhadaki yoğunluk toleransı $\pm \%7$ olabilir [51]. Buna göre levha gruplarında ortalama yoğunluk dağılımı homojen olduğu kabul edilir ve elde edilen sonuçlar standartlara uygun bulunmuştur.

İstek ve Sıradağ (2013) yaptıkları bir çalışmada yoğunluğun odun esaslı levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiş ve %10 seviyelerine kadar yoğunluk değişiminin levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde anlamlı bir değişikliğe neden olmadığını tespit etmişler [52].

Deney levhaları ortalama yoğunluk değerlerini gösterir grafik incelendiğinde Şekil 4.1’de görüldüğü gibi E, D, B grubu levhalarda ortalama yoğunluk değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. Yoğunluk grafiği.

4.1.2. Rutubet

Deneme levhalarının her birine ait rutubet değerleri Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Rutubet değerleri.

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)(%)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer (%)	Maksimum Değer (%)	Varyasyon Katsayısı (S/X)(%)
A	5,58	0,05	0,03	5,55	5,62	0,811
B	5,10	0,06	0,04	5,05	5,14	1,213
C	4,78	0,13	0,09	4,69	4,88	2,798
D	4,64	0,04	0,03	4,62	4,67	0,812
E	4,20	0,04	0,03	4,17	4,23	0,930
F	4,52	0,11	0,08	4,44	4,60	2,443
G	5,37	0,01	0,01	5,36	5,38	0,250

Kontrol grubu (A) levhaların ortalama rutubet değeri %5,58 olarak tespit edilmiştir. En düşük rutubet değeri E grubu levhalarda (%4,20) ve en yüksek rutubet değeri A grubu levhalarda (5,58) tespit edilmiştir. Üretilen levhaların rutubet değerleri arasında farklılık tespiti için varyans analizine tabi tutulmuştur. Rutubet oranlarıyla ilgili varyans analizi sonucu Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Rutubet değerleri varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	2,891	6	0,482	86,105	0,001
Gruplar İçi	0,039	7	0,006		
Toplam	2,930	13			

Örnek sonuçları üzerinde yapılan varyans analizi sonuçlarına göre levhalarda rutubet değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistik açıdan anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,001$). Farklılığın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığını belirlemek için Duncan Testi uygulanmıştır. Rutubet oranları Duncan testi sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

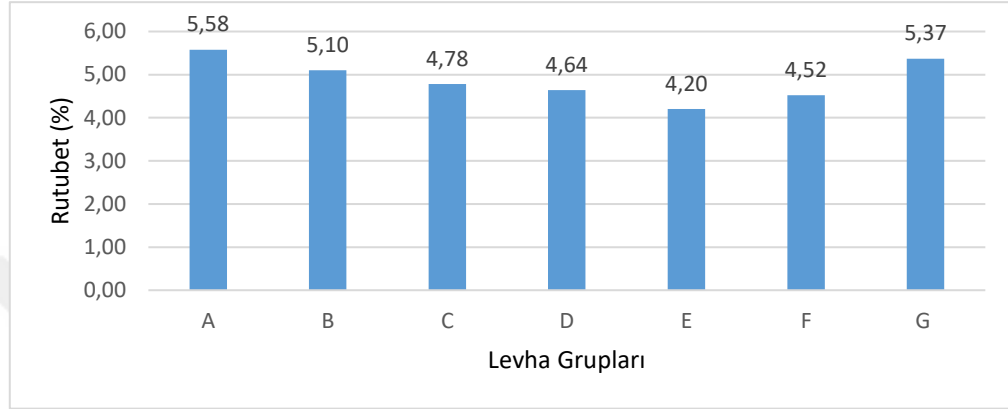
Çizelge 4.6. Rutubet değerleri Duncan test sonuçları.

Gruplar	N	Alt Gruplar					
		1	2	3	4	5	6
E	2	4,20					
F	2		4,52				
D	2		4,64	4,64			
C	2			4,78			
B	2				5,10		
G	2					5,37	
A	2						5,58
Sig.		1	0,151	0,107	1	1	1

Duncan test sonucuna göre ortalama rutubet, F - D ve D - C grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı olduğu ortaya çıkmıştır. Üretilen levhaların ortalama rutubetleri %4,20 - %5,58 arasındadır. TS 64-1 EN 622-1'e göre orta sert levhaların

rutubet değerleri %4 ile %9 arasında olabilir [51]. Sonuç olarak üretilen levhaların rutubetleri standart değerler aralığındadır.

Deney levhalarına ait ortalama rutubet değerlerine bakıldığında Şekil 4.2’de görüldüğü gibi sırasıyla A, G, B levha gruplarında ortalama rutubet değerleri yüksek olduğu görülmekle beraber %4,2 - %5,58 aralığında olup standart sınırlar içerisinde.



Şekil 4.2. Rutubet değerleri grafiği.

4.1.3. Kalınlık Artışı

Deneme levhalarının her birine ait 2 saatlik kalınlık artışı değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Kalınlık artış değerleri 2 saatlik (%).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)
A	14,25	1,67	1,58	11,89	17,18	11,743
B	13,09	1,24	1,18	11,07	15,01	9,501
C	16,04	1,51	1,43	13,30	18,70	9,406
D	12,30	1,28	1,21	9,69	14,58	10,398
E	8,40	0,79	0,74	7,52	9,99	9,370
F	6,71	0,55	0,52	5,97	7,47	8,157
G	7,04	0,43	0,40	6,49	7,93	6,063

Kontrol grubu (A) levhaların ortalama 2 saat sürede kalınlık artışı %14,25 olarak tespit edilmiştir. En düşük 2 saat kalınlık artışı F grubu levhalarda (%6,71) ve en yüksek 2 saatlik kalınlık artışı değeri C grubu levhalarda (%16,04) tespit edilmiştir.

Üretilen levhaların ortalama 2 saatlik kalınlık artışı değerleri arasında farklılık varyans analizi ile değerlendirilmiştir. 2 saat kalınlık artışı varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Kalınlık artışı 2 saat için varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	827,277	6	137,879	103,052	< 0,001
Gruplar İçi	84,292	63	1,338		
Toplam	911,568	69			

Varyans analizi sonuçlarına göre levhaların 2 saatlik kalınlık artışı oranları arasında %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0,01$).

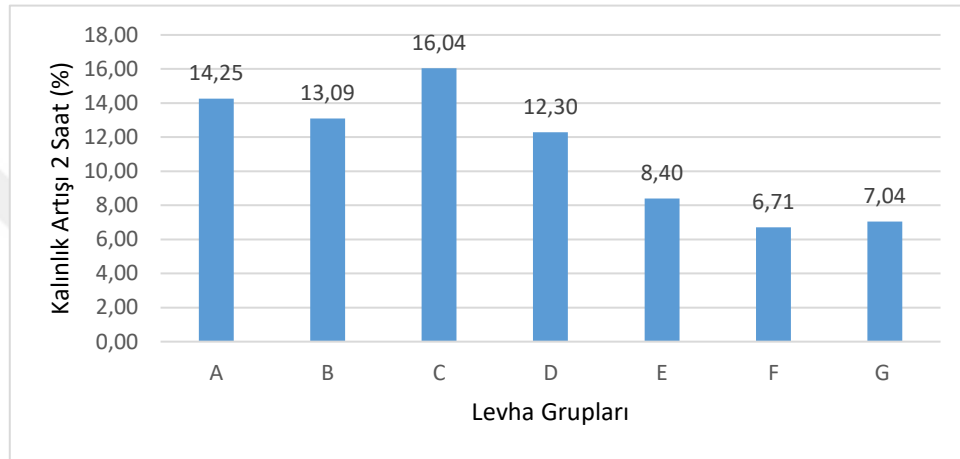
Levhalar arasındaki farkın hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığını belirlemek için Duncan testi uygulanmıştır. Kalınlık artışı oranı Duncan testi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kalınlık artışı Duncan testi sonuçları (2 saat).

Gruplar	N	Alt Gruplar				
		1	2	3	4	5
F	10	6,71				
G	10	7,04				
E	10		8,40			
D	10			12,30		
B	10			13,09		
A	10				14,25	
C	10					16,04
Sig.		0,528	1	0,129	1	1

Duncan testi sonuçlarına göre ortalama 2 saatlik kalınlık artışı değerleri bakımından F - G ve D - B grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklıdır. MDF zımpara tozu kullanım oranı arttıkça, diğer bir deyişle odun lifi oranı azaldıkça, genel olarak kalınlık artışı oranlarında bir azalma görülmüştür.

Deney örnek levhalarına ait 2 saatteki kalınlık artışı miktarları Şekil 4.3'te görüldüğü gibi en düşük F grubu levhalarda (%6,71), en yüksek C grubu levhalarda (%16,04) olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Kalınlık artışı grafiği 2 saatlik.

Deneme levhalarının her birine ait 24 saatlik kalınlık artışı değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Kalınlık artış değerleri 24 saatlik (%).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)
A	20,01	0,91	0,86	18,36	21,37	4,550
B	21,55	1,51	1,43	18,96	24,45	7,008
C	21,66	1,96	1,86	17,87	24,26	9,057
D	21,33	1,18	1,12	19,52	23,05	5,552
E	15,64	1,23	1,16	13,56	17,04	7,849
F	13,65	1,24	1,18	11,94	16,01	9,107
G	12,48	0,50	0,48	11,87	13,54	4,040

Kontrol grubu (A) levhaların ortalama 24 saatlik kalınlık artışı %20,01 olarak tespit edilmiştir. En düşük 24 saatlik kalınlık artışı G grubu levhalarda (%12,48), en yüksek C grubu levhalarda olduğu (%21,65) tespit edilmiştir.

Üretilen levhaların 24 saatlik kalınlık artışı değerleri arasında farklılık, varyans analizi ile test edilmiştir. 24 saat kalınlık artışı varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kalınlık artışı varyans analizi sonuçları (24 saat).

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	960,450	6	160,075	96,067	< 0,001
Gruplar İçi	104,975	63	1,666		
Toplam	1065,425	69			

Varyans analizi sonuçlarına göre levhaların ortalama 24 saatlik kalınlık artışı oranları arasında %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0,01$). Farkın hangi grup ya da gruplardan oluştuğunu belirlemek için Duncan testi uygulanmıştır. Kalınlık artışı oranı Duncan testi sonuçları Çizelge 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Kalınlık artışı Duncan testi sonuçları (24 saat).

Gruplar	N	Alt Gruplar				
		1	2	3	4	5
G	10	12,48				
F	10		13,65			
E	10			15,64		
A	10				20,01	
D	10					21,33
B	10					21,55
C	10					21,66
Sig.		1	1	1	1	0,601

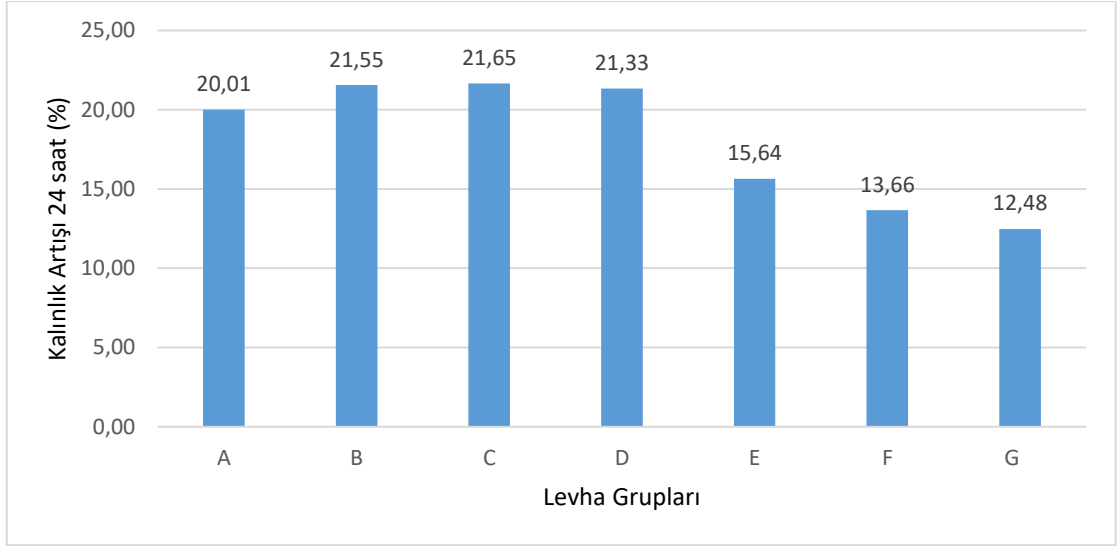
Duncan testi sonucuna göre ortalama 24 saatlik kalınlık artışı değerleri bakımından D - B - C grupları benzer, diğer grupların birbirinden farklı olduğu ortaya çıkmıştır. MDF Zımpara tozu kullanım oranı arttıkça, diğer bir deyişle odun lifi oranı azaldıkça, genel olarak kalınlık artışı oranlarında bir azalma görölmüştür, bunun sebebi MDF zımpara tozu levha içerisinde bağlayıcı rol üstlenmiş olabilir.

İstek ve Özlüsoylu tutkal oranının lif levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada, tutkal oranı arttıkça levhaların 24 saat suda bekleme sonucu kalınlık artışı oranlarının azaldığını tespit etmişler [53].

Güler (2021) kumaş atıklarının lif levha üretiminde değerlendirilmesi çalışmasında 0,750 g/cm³ yoğunluğunda ve 10 mm kalınlığında levhalar üretmiş ve fiziksel ve mekanik direnç değerlerini incelemiştir. Bu çalışmada KA değerleri %18,90 - %69,77 arasında değişmekte, %100 odun lifinden ürettiği kontrol grubu levhada ise 24 saat KA değerini %18,90 bulmuştur [21]. Bu çalışmada kalınlık artımı değerleri %20.01 bulunmuş olup literatüre uygundur.

TS 64-5 EN 622-5'te orta sert ve kuru şartlarda kullanılacak $9 < t \leq 12$ mm kalınlığında olan lif levhalar için kalınlık artışı 24 saatte en fazla %15 olması gerektiği belirtilmiştir [12]. Buna göre kalınlık artımı 24 saat için A, B, C, D, E gruplarında standart değerden yüksek, F ve G grubu levhalar standart değere uygun bulunmuştur.

Deneme levhalarına ait ortalama 24 saatteki kalınlık artışı oranları incelendiğinde Şekil 4.4'te göröldüğü gibi en düşük G grubu levhalarda (%12,48), en yüksek C grubu levhalarda (%21,65) olduğu görölmüştür.



Şekil 4.4. Kalınlık artışı grafiği 24 saatlik.

4.1.4. Su Alma

Deneme levhalarının her birine ait 2 saatlik su alma değerleri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Su alma değerleri 2 saatlik (%).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)
A	51,31	10,32	9,79	34,51	62,99	20,113
B	39,33	8,36	7,93	27,36	56,02	21,255
C	54,96	9,31	8,83	44,60	75,61	16,941
D	34,77	5,62	5,33	25,34	45,40	16,155
E	25,37	4,60	4,36	18,87	34,20	18,136
F	23,38	5,75	5,46	16,79	30,59	24,611
G	30,73	8,49	8,05	20,61	49,04	27,621

Kontrol grubu (A) levhaların 2 saatlik su alma oranı ortalaması %51,31 olarak tespit edilmiştir. En düşük 2 saatlik su alma oranı F grubu levhalarda (%23,38) ve en yüksek C grubu levhalarda (%54,96) tespit edilmiştir.

Üretilen levhaların 2 saatlik su alma değerleri arasında fark varyans analizi ile test edilmiştir. Varyans analizi sonuçları Çizelge 4.14’te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Su alma 2 saatlik varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	8975,071	6	1495,845	24,882	< 0,001
Gruplar İçi	3787,424	63	60,118		
Toplam	12762,496	69			

Varyans analizi sonuçlarına göre levhaların 2 saatte su alma oranları arasında %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0,01$).

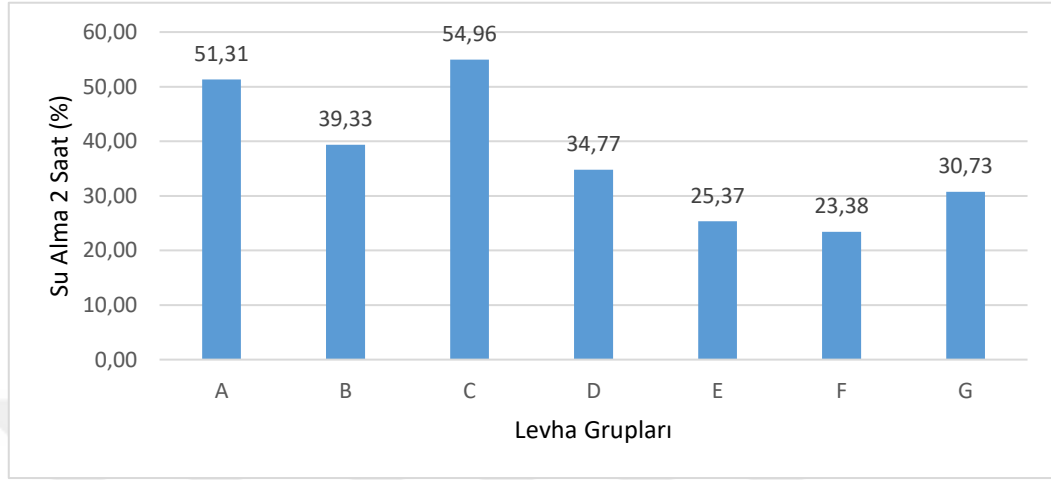
Levhalar arasındaki farkın hangi grup ya da gruplardan oluştuğunu belirlemek için Duncan testi uygulanmıştır. Duncan test sonuçları Çizelge 4.15’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15. Su alma Duncan testi sonuçları (2 Saat).

Gruplar	N	Alt Gruplar				
		1	2	3	4	5
F	10	23,38				
E	10	25,37	25,37			
G	10		30,73	30,73		
D	10			34,77	34,77	
B	10				39,33	
A	10					51,31
C	10					54,96
Sig.		0,570	0,127	0,248	0,193	0,296

Duncan testi sonuçlarına göre ortalama 2 saatlik su alma oranları bakımından F - E, E - G, G - D, D - B ve A - C grupları yaklaşık aynı, diğer gruplarda ise farklılıklar bulunmuştur.

Deneme levhalarına ait ortalama 2 saat su alma oranları incelendiğinde Şekil 4.5'te gösterildiği gibi en düşük F grubu levhalarda (%23,38), en yüksek C grubu levhalarda (%54,96) olduğu görülmüştür.



Şekil 4.5. Su alma grafiği 2 saatlik.

Deneme levhalarının her birine ait 24 saat su alma değeri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Su alma değerleri 24 saatlik (%).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)
A	68,80	5,21	4,94	60,99	75,83	7,567
B	64,91	7,93	7,53	50,70	79,95	12,224
C	72,72	4,60	4,37	68,44	84,82	6,331
D	61,35	2,77	2,62	57,14	65,31	4,507
E	49,87	7,80	7,40	39,83	60,08	15,634
F	46,06	11,76	11,15	27,43	65,21	25,525
G	51,19	11,96	11,35	34,66	75,26	23,363

Kontrol grubu (A) levhaların 24 saatlik su alma oranı ortalaması %68,80 olarak tespit edilmiştir. En düşük 24 saatlik su alma oranı F grubu levhalarda (%46,06) ve en yüksek C grubu levhalarda (%72,72) olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen levhaların 24 saatlik su alma değerleri arasında farklılık, varyans analizi ile test edilmiştir. 24 saatlik su alma varyans analizi sonuçları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Su alma 24 saatlik varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	6358,201	6	1059,700	16,091	< 0,001
Gruplar İçi	4149,100	63	65,859		
Toplam	10507,301	69			

Yapılan varyans analizinde, levhaların 24 saatte su alma miktarları arasında %95 güven aralığında istatistiki olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p < 0,01$). Bu farkın hangi grup ya da gruplarda meydana geldiğini belirlemek için Duncan testi uygulanmıştır. Su alma oranları 24 saat için Duncan testi sonuçları Çizelge 4.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Su alma 24 saat Duncan testi sonuçları.

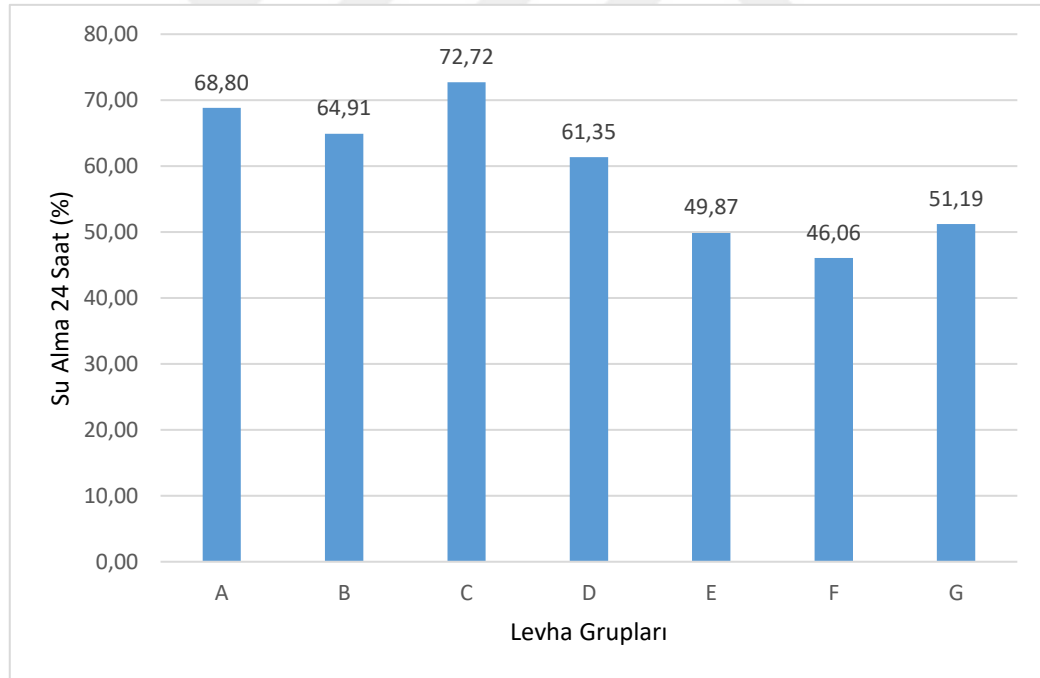
Gruplar	N	Alt Gruplar		
		1	2	3
F	10	46,06		
E	10	49,87		
G	10	51,19		
D	10		61,35	
B	10		64,91	
A	10		68,80	68,80
C	10			72,72
Sig.		0,188	0,056	0,286

Duncan testi sonuçlarına göre ortalama 24 saatlik su alma oranları bakımından F - E - G, D - B - A ve A - C grupları benzer, diğer gruplar birbirinden farklı bulunmuştur.

Deneme levhalarına ait ortalama 24 saatteki su alma oranları incelendiğinde Şekil 4.6’da görüldüğü gibi en düşük F grubu levhalarda (%46,06) ve en yüksek C grubu levhalarda (%72,72) olduğu görülmektedir. MDF Zımpara tozu kullanım oranı arttıkça, genel olarak su alma oranlarında bir azalma görülmüştür, bunun sebebi MDF zımpara tozu levha içerisinde bağlayıcı rol üstlenmiş olabilir, ayrıca MDF zımpara tozları odun liflerine göre daha az higroskopiktir.

İstek ve Özlüsoylu tutkal oranının lif levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada, tutkal oranı arttıkça levhaların 24 saat suda bekleme sonucu su alma oranlarının azaldığını tespit etmişler [53].

Güler (2021) kumaş atıklarının lif levha üretiminde değerlendirilmesi çalışmasında %100 odun lifinden ürettiği kontrol grubu levhada 24 saat SA değerini %37,27 bulmuştur [21]. Bu çalışmada ise tamamen odun lifinden üretilen lif levhalarda SA değeri %68,80 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6. Su alma grafiği 24 saatlik.

4.1.5. Yüzey Ağırlık

Deney levhalarının her birine ait yüzey ağırlık değerleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Yüzey ağırlık değerleri(kg/m²).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)(%)
A	7,76	0,124	0,117	7,63	8,00	1,593
B	8,18	0,110	0,105	8,03	8,36	1,349
C	7,95	0,124	0,118	7,66	8,06	1,560
D	8,22	0,167	0,158	7,93	8,42	2,027
E	8,28	0,160	0,152	8,02	8,62	1,937
F	8,08	0,237	0,225	7,66	8,31	2,933
G	7,77	0,152	0,144	7,59	7,97	1,954

Kontrol grubu (A) levhaların yüzey ağırlık değeri ortalaması 7,76 kg/m² olarak tespit edilmiştir. En düşük yüzey ağırlık; A grubu levhada (7,76 kg/m²) ve en yüksek E grubu levhada (8,28 kg/m²) tespit edilmiştir.

Üretilen levhaların yüzey ağırlık değerleri arasında fark varyans analizi ile test edilmiştir. Yüzey ağırlık değerlerine ait varyans analiz sonucu Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Yüzey ağırlık değeri varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	2,66	6	0,443	17,698	< 0,001
Gruplar İçi	1,58	63	0,0250		
Toplam	4,24	69			

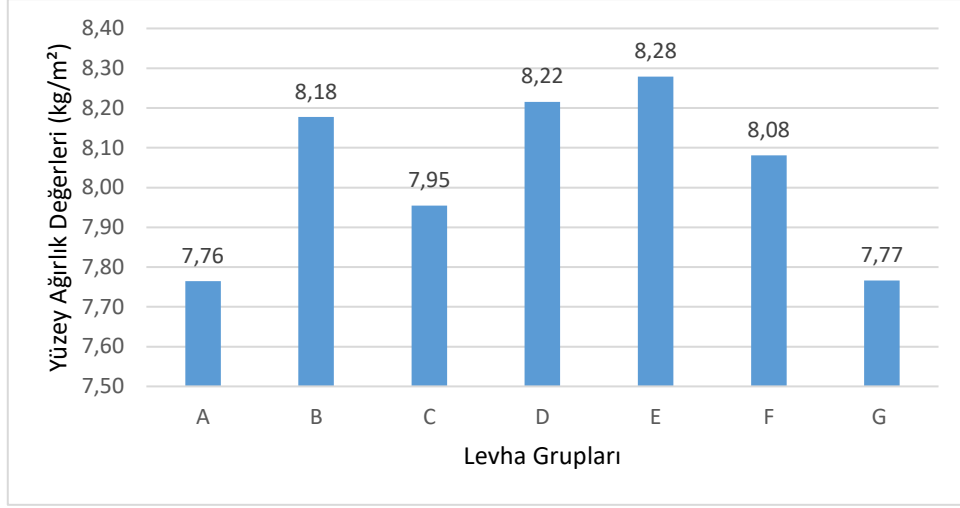
Yapılan varyans analizi sonucuna göre levhaların yüzey ağırlık değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiki açıdan anlamlı fark bulunmuştur ($p < 0,01$). Farkın hangi grup ya da gruplarda meydana geldiğini belirlemek için Duncan Testi yapılmıştır. Yüzey ağırlık değerleri için Duncan testi sonucu Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Yüzey ağırlık değeri Duncan testi sonuçları.

Gruplar	N	Alt Gruplar			
		1	2	3	4
A	10	7,76			
G	10	7,77			
C	10		7,95		
F	10		8,08	8,08	
B	10			8,18	8,18
D	10			8,22	8,22
E	10				8,28
Sig.		1	0,074	0,079	0,178

Duncan testine göre yüzey ağırlık değerleri bakımından A - G, C - F, F - B - D ve B - D - E grupları hemen hemen aynı, diğer gruplar ise birbirinden farklı bulunmuştur.

Levhanın homojenliğinin kontrolü, levha taslağı veya preslenmiş levhanın yüzey ağırlığının analizi ile yapılır. Önemli olan taslak ve levhanın her bir metrekaresinde aynı miktarda lif kütlelerinin bulunmasıdır. Ancak yüzey ağırlık artması ile levhanın eğilme direnci de artış gösterir [54]. Üretilen levhaların yüzey ağırlığı 7,76- 8,28 kg/m² arasında değişmekte olup birbirlerine yakın değerlerde olduğu kabul edilebilir. Levhalarda yüzey ağırlık değerleri incelendiğinde Şekil 4.7’de ki gibi D ve E grubu levhalarda kısmen yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Yüzey ağırlık değerleri grafiği.

4.2. MEKANİK ÖZELLİKLER

4.2.1. Eğilme Direnci

Deney levhalarının her birine ait eğilme direnci değeri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Eğilme direnci değerleri(N/mm²).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)(%)
A	28,16	4,17	3,86	22,82	35,08	14,792
B	35,00	3,43	3,17	28,25	38,63	9,789
C	28,19	3,84	3,55	21,34	31,34	13,621
D	33,47	3,69	3,41	28,15	39,62	11,032
E	30,90	3,06	2,83	26,02	34,62	9,912
F	27,54	3,47	3,21	21,37	32,14	12,600
G	22,77	1,98	1,83	19,96	25,86	8,712

Kontrol grubu (A) levhaların eğilme direnci değerleri ortalaması 28,16 N/mm² olarak tespit edilmiştir. En düşük eğilme direnci değeri G grubu levhalarda (22,77 N/mm²) ve en yüksek B grubu levhalarda (35 N/mm²) olduğu ortaya çıkmıştır.

Üretilen levhaların eğilme direnci değerleri arasında farklılık olup olmadığı varyans analizi ile test edilmiştir. Eğilme direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. Eğilme direnci değerleri varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P(Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	703,529	6	117,255	9,912	< 0,001
Gruplar İçi	496,826	42	11,829		
Toplam	1200,355	48			

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre levhaların eğilme direnci değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiki olarak önemli farklılıklar bulunmuştur ($p < 0,001$). Farkın hangi grup ya da gruplarda ortaya çıktığını belirlemek için Duncan Testi yapılmıştır. Levhaların eğilme direnci Duncan testi sonuçları Çizelge 4.24'te verilmiştir.

Çizelge 4.24. Eğilme direnci değerleri Duncan testi sonuçları.

Gruplar	N	Alt Gruplar			
		1	2	3	4
G	7	22,77			
F	7		27,54		
A	7		28,16		
C	7		28,19		
E	7		30,90	30,90	
D	7			33,47	33,47
B	7				35,00
Sig.		1	0,101	0,169	0,410

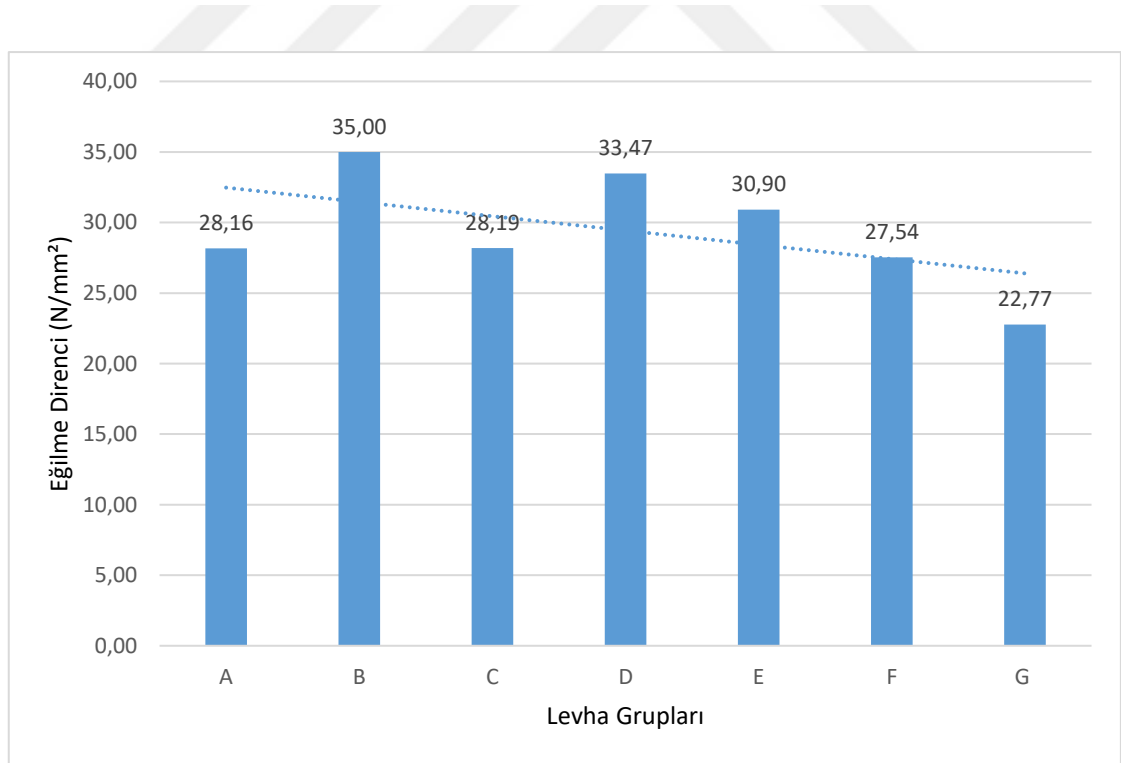
Duncan testi sonuçlarına göre eğilme direnci değerleri F - A - C - E, E - D ve D - B gruplarında yaklaşık aynı, diğer gruplarda birbirinden farklı bulunmuştur.

MDF Zımpara tozu kullanım oranı arttıkça ilk önce eğilme direnci değerlerinde yükselme, %20 oranından sonra azalma görülmüştür. TS 64-5 EN 622-5'te orta sert ve kuru şartlarda kullanılacak $9 < t \leq 12$ mm kalınlığında olan lif levhalar için eğilme direnci değeri min. 22 N/mm² olması gerektiği belirtilmiştir [12]. Bu sonuçlara göre tüm levha gruplarında eğilme direnci değerleri standartlara uygun olup bu durumda %50'ye kadar MDF zımpara tozunun lif levhada kullanılabileceğini göstermiştir.

Diğer üretim şartları aynı olmak kaydıyla eğilme direncini etkileyen en önemli faktör lif uzunluğudur, lif uzunluğu arttıkça liflerin birbirleri arasındaki temas uzunluğu artar ve daha fazla bir yapışma alanı oluşur ve levhanın eğilme direnci yükselir [27].

Güler (2021) çalışmasında %100 odun lifinden ürettiği kontrol grubu levhada eğilme direnci değerini 38,94 N/mm² bulmuştur [21]. Bu çalışmada ise tamamen odun lifinden üretilen lif levhalarda eğilme direnci değeri 28,16 N/mm² olarak bulunmuştur.

Levhaların eğilme direnci değeri Şekil 4.8'de görüldüğü gibi B ve D grubu levhalarda yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Eğilme direnci değerleri grafiği.

4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri(N/mm²).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)(%)
A	3011	251,56	232,90	2721	3444	8,353
B	4031	334,10	309,32	3361	4415	8,288
C	3162	495,38	458,63	2114	3582	15,664
D	3871	301,33	278,97	3513	4285	7,785
E	3587	233,94	216,58	3223	3968	6,522
F	3441	527,51	488,37	2473	3936	15,330
G	2664	300,47	278,17	2128	3024	11,280

Kontrol grubu (A) levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri ortalaması 3011 N/mm² olarak tespit edilmiştir. En düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri ortalaması G grubu levhalarda (2664 N/mm²) ve en yüksek B grubu levhalarda (4031 N/mm²) olduğu tespit edilmiştir.

Üretilen levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasında fark varyans analizi ile tespit edilmiştir. Levhaların eğilmede elastikiyet modülü direncine ait varyans analizi sonucu Çizelge 4.26'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	9842118	6	1640353	12,2888	< 0,001
Gruplar İçi	5606270	42	133483		
Toplam	15448388	48			

Yapılan varyans analizi sonucuna göre levhalarda eğilmede elastikiyet modülü değerinde %95 güven düzeyinde istatistiki olarak anlamlı farklılık bulunmuştur ($p < 0,001$). Bu farkın hangi grup ya da gruplarda meydana geldiğini belirlemek amacıyla Duncan testi yapılmıştır. Levhaların eğilmede elastikiyet modülü için Duncan testi sonucu Çizelge 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. Eğilmede elastikiyet modülü Duncan testi sonuçları.

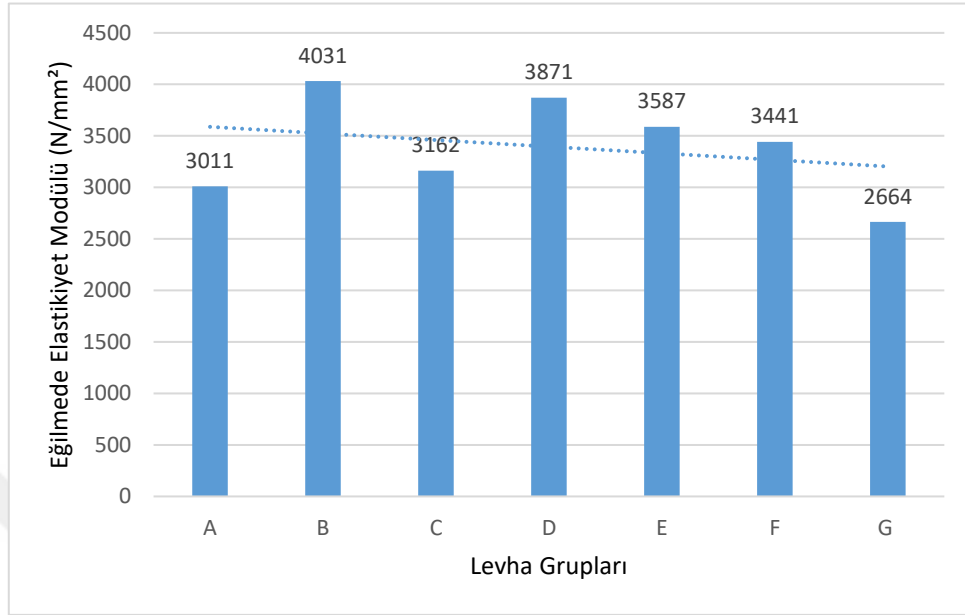
Gruplar	N	Alt Gruplar					
		1	2	3	4	5	6
G	7	2664					
A	7	3011	3011				
C	7		3162	3162			
F	7			3441	3441		
E	7				3587	3587	
D	7					3871	3871
B	7						4031
Sig.		0,082	0,444	0,161	0,459	0,154	0,416

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede elastikiyet modülü değerleri bakımından G - A, A - C, C - F, F- E, E - D ve D - B grupları yaklaşık aynı, diğer grupların birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir.

MDF Zımpara tozu kullanım oranı arttıkça ilk önce eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde yükselme, %20 oranından sonra azalma görülmektedir. TS 64-5 EN 622-5’te orta sert ve kuru şartlarda kullanılacak $9 < t \leq 12$ mm kalınlığında olan lif levhalar için eğilmede elastikiyet modülü değeri minimum 2500 N/mm² olması gerektiği belirtilmiştir [12].

Bu sonuçlara göre tüm levha gruplarında eğilmede elastikiyet modülü değerleri standartlara uygun olup %50 oranına kadar MDF zımpara tozunun lif levha üretiminde kullanılabileceğini göstermektedir.

Eğilmede elastikiyet modülü ile ilgili grafik incelendiğinde Şekil 4.9’da B ve D grubu levhalarda yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri grafiği.

4.2.3. Yüzeye Dik Yönde Çekme Direnci

Deney levhalarının her birine ait yüzeye dik yönde çekme direnci aritmetik ortalamaları Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri (N/mm²).

Levha Grupları	Aritmetik Ortalama (X)	Std. Sapma (S)	Std.Hata (S.E)	Minimum Değer	Maksimum Değer	Varyasyon Katsayısı (S/X)(%)
A	0,58	0,080	0,076	0,43	0,67	13,941
B	0,72	0,084	0,080	0,63	0,88	11,660
C	0,62	0,079	0,075	0,46	0,72	12,807
D	0,71	0,036	0,034	0,65	0,77	5,019
E	0,74	0,082	0,078	0,59	0,90	10,983
F	0,85	0,084	0,080	0,72	1,00	9,961
G	0,63	0,091	0,086	0,52	0,76	14,498

Kontrol grubu (A) levhaların yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri ortalaması 0,58 N/mm² olduğu ortaya çıkmıştır. En düşük yüzeye dik yönde çekme direnci değeri A grubu levhalarda (0,58 N/mm²) ve en yüksek F grubu levhalarda (0,85 N/mm²) meydana gelmiştir.

Üretilen levhaların yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri arasında fark varyans analizi ile ortaya konmuştur. Yapılan varyans analizi sonucu Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Yüzeye dik yönde çekme direnci varyans analizi sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F (Oran)	P (Önem Düzeyi)
Gruplar Arası	0,515212	6	0,08586869	13,9322624	< 0,001
Gruplar İçi	0,388288	63	0,00616329		
Toplam	0,903500	69			

Burada varyans analizi sonucuna göre levhaların yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri arasında %95 güven düzeyinde istatistiki açıdan önemli farklar bulunmuştur (p<0,001). Bu farkın hangi grup ya da gruplarda olduğunu belirlemek için Duncan testi yapılmıştır. Duncan testi sonucu Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Yüzeye dik yönde çekme direnci Duncan testi sonuçları.

Gruplar	N	Alt Gruplar		
		1	2	3
A	10	0,58		
C	10	0,62		
G	10	0,63		
D	10		0,71	
B	10		0,72	
E	10		0,74	
F	10			0,85
Sig.		0,165	0,378	1

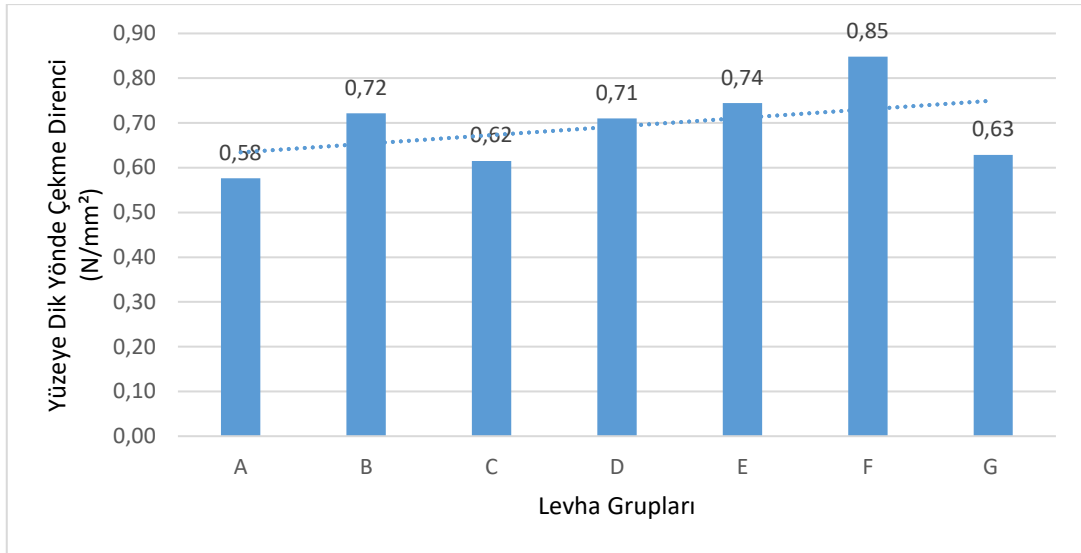
Duncan testi sonucuna göre yüzeye dik yönde çekme direnci A - C - G ve D - B - E grupları hemen hemen aynı, diğer gruplar arasında ise fark bulunmuştur.

MDF levhası zımpara tozu kullanım oranı arttıkça genel olarak yüzeye dik yönde çekme direncinde artış görülmektedir. Zımpara tozu genel olarak poröz yani boşluklu yapıları doldurduğundan dolayı lifler arasında bağı tutkal ile birlikte kuvvetlendirmiştir. Bu durumun aynı şekilde kalınlık artımını da olumlu yönde etkilemiş olduğu ifade edilebilir. TS 64-5 EN 622-5'te orta sert ve kuru şartlarda kullanılacak $9 < t \leq 12$ mm kalınlığında olan lif levhalarda yüzeye dik yönde çekme mukavemeti min. $0,60 \text{ N/mm}^2$ olması gerektiği ifade edilmiştir [12]. Bu sonuçlara göre A grubu levhalar hariç diğer tüm grupların standartlara uygun olduğu görülmüştür.

İstek ve Özlüsoylu tutkal oranının lif levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırdıkları bir çalışmada, tutkal oranı arttıkça levhaların yüzeye dik çekme direncinin arttığını tespit etmişler [53].

Güler (2021) çalışmasında %100 odun lifinden ürettiği kontrol grubu levhada yüzeye dik çekme direnci değerini $0,68 \text{ N/mm}^2$ bulmuştur [21]. Bu çalışmada ise tamamen odun lifinden üretilen lif levhalarda eğilme direnci değeri $0,58 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

Levhalarda yüzeye dik yönde çekme direnci grafikte incelendiğinde Şekil 4.10'da görüldüğü gibi en yüksek değer F gurubundaki levhalarda olduğu görülmüştür.



Şekil 4.10. Yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri grafiği.

4.3. FORMALDEHİT EMİSYONU

Perforatör yöntemine göre ölçülen formaldehit emisyon değerleri Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Formaldehit emisyon değerleri(mg/100g levha).

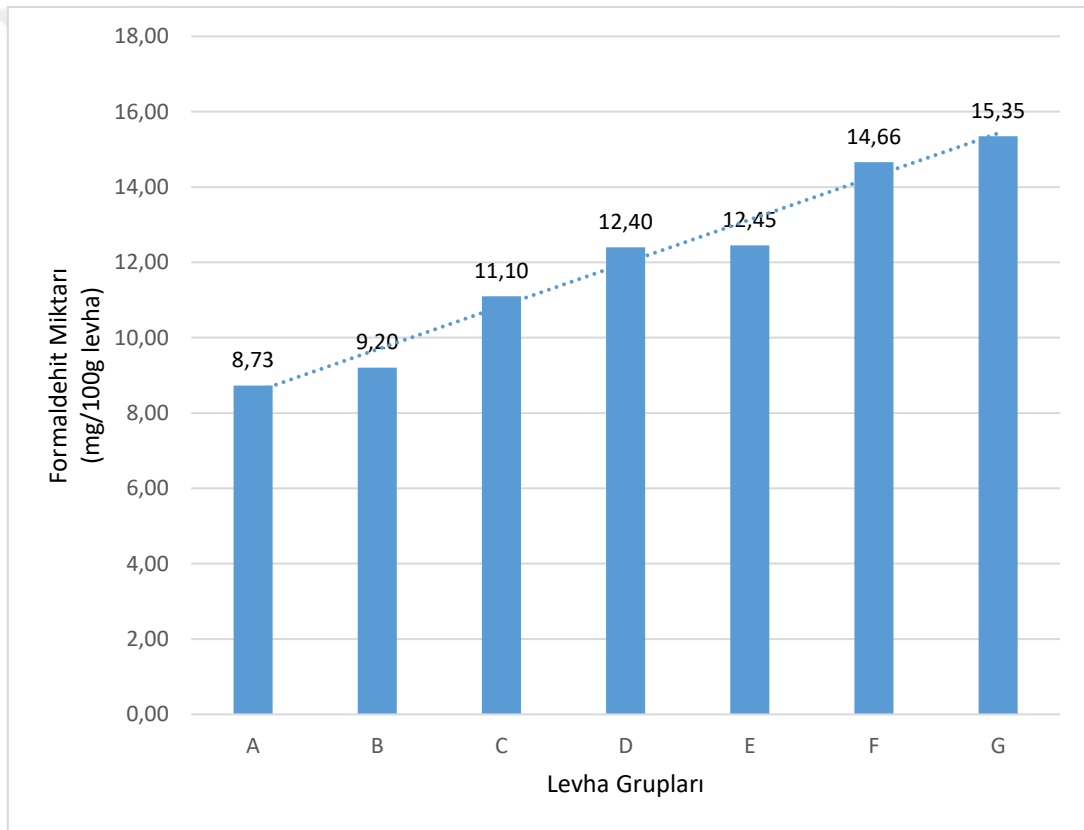
Levha Grupları	Rutubet(%)	Formaldehit Miktarı (mg/100g)
A	5,58	8,73
B	5,10	9,20
C	4,78	11,10
D	4,64	12,40
E	4,20	12,45
F	4,52	14,66
G	5,37	15,35

MDF zımpara tozu kullanım oranı arttıkça genel olarak levhaların formaldehit emisyonu perforatör değerlerinde artış görülmektedir. TS 64-1 EN 622-1’e göre kuru işlemler için levhalar için perforatör değeri $8 < x \leq 30$ mg/100 g fırın kuru levha aralığında olan levhalar E2 sınıfı olarak nitelendirilirler [51]. Bu sonuçlara göre bütün gruptaki levhalar E2 sınıfındadır.

Dünya’da artan tüketici bilinci ve serbest formaldehit emisyonuna getirilen yasal sınırlamalardan dolayı serbest formaldehit emisyonunu azaltıcı çalışmalar hız kazanmıştır. Bu amaçla İstek ve Özlüoslu üre formaldehit tutkalına belirli oranlarda üre katarak formaldehit salınımını düşürücü çalışmalar yapmıştır [55].

Boran (2010) çalışmasında lif levha üretiminde kullanılan üre formaldehit tutkalına belirli oranlarda çeşitli kimyasal maddeler ilave ederek serbest formaldehit emisyonunu düşürücü çalışmalar yapmıştır [56].

Formaldehit emisyon perforatör değerleri incelendiğinde Şekil 4.11’de görüldüğü gibi en yüksek değerin G gurubunda üretilen levhalarda olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11. Formaldehit emisyonu perforatör değeri grafiği.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada odun liflerine kuru lif ağırlığına oranla %5, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında MDF zımpara tozu katılarak üretilen 10 mm kalınlığındaki orta sert lif levhaların fiziksel, mekanik direnç özellikleri ve formaldehit emisyon perforatör değerleri incelenmiş olup kontrol grubu örnekleriyle karşılaştırılmıştır.

Üretilen levhaların rutubetleri %4,20 ile %5,58 arasında değişmektedir. TS 64-1 EN 622-1'e göre orta sert levhaların rutubet değerleri %4 - %9 arasında olabilir [51]. Sonuç olarak üretilen levhaların rutubetleri standartlara uygundur.

Levha gruplarının ortalama yoğunluk değerleri 0,791 g/cm³ ile 0,819 g/cm³ arasında değişmektedir. TS 64 - 1 EN 622-1'e göre levhadaki yoğunluğa dair tolerans $\pm$ %7 olabilir denilmektedir [51]. Levhalar içerisinde ortalama yoğunluk dağılımı oldukça homojen olup standartlara uygundur.

Kalınlık artımı 2 saat suda bekletme sonucunda en yüksek C grubu levhalarda (%16,04), en düşük F grubu levhalarda (%6,71) gerçekleşmiştir. 24 saat suda bekletme sonucunda ise en yüksek C grubu levhalarda (%21,65), en düşük G grubu levhalarda (%12,48) gerçekleşmiştir. Zımpara tozu kullanım oranı arttıkça kalınlık artımında genel olarak azalma görülmektedir. Bu durum zımpara tozunun odun lifine göre daha az higroskopik olmasıyla ve bağlayıcı madde olarak işlev görmesiyle açıklanabilir. TS 64-5 EN 622-5'e göre kuru şartlarda kullanılacak $9 < t \leq 12$ mm kalınlığında olan genel amaçlı lif levhalar için kalınlık artışı 24 saatte en fazla %15 olması gerektiği belirtilmiştir [12]. Elde edilen sonuçlara göre kalınlık artımı 24 saat için A, B, C, D, E gruplarında standart değerden yüksek, F ve G grubu levhalar standart değere uygun bulunmuştur.

Su alma 2 saat suda bekletme sonucunda en yüksek değer C grubu levhalarda (%54,96), en dūřuk F grubu levhalarda (%23,38) geręekleřmiřtir. 24 saat suda bekletme sonucunda ise en yüksek C grubu levhalarda (%72,72), en dūřuk F grubu levhalarda (%46,06) geręekleřmiřtir. Su alma miktarı ile ilgili standartlarda herhangi bir bilgi yoktur. MDF zımpara tozu kullanım oranı arttıkęa genel olarak su alma değerlerinde azalma görülmektedir. Bu durum zımpara tozunun odun liflerine göre daha az higroskopik olmasıyla ve levha içerisinde bağlayıcı rol üstlenmesiyle açıklanabilir.

Yüzey ağırlığı değeri en yüksek E grubu levhalarda 8,28 kg/m², en d şuk A grubu levhalarda 7,76 kg/m² olarak bulunmuştur. Yüzey ağırlık değerleri bakımından levha grupları arasında önemli bir fark yoktur. Genel olarak yoğunluk arttıkęa yüzey ağırlık değerlerinde artış görülmektedir.

Eğilme direnci en yüksek B grubu levhalarda 35,00 N/mm², en d şuk G grubu levhalarda 22,77 N/mm² olarak bulunmuştur. MDF zımpara tozu kullanım oranı arttıkęa eğilme direncinde düşüş görülmektedir. Eğilme direncini en çok levha yoğunluğu etkilemektedir, zımpara tozu kullanım oranı arttıkęa yoğunluk değerinde düşüşe paralel olarak, eğilme direncinde de düşüş görülmektedir. TS 64-5 EN 622-5'e göre kuru şartlarda kullanılacak $9 < t \leq 12$ mm kalınlığında olan genel amaçlı levhalar için eğilme direnci en az 22 N/mm² olması gerektiği belirtilmiştir [12]. Bütün gruplarda bu değerden yüksek bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre eğilme direnci değerleri bakımından %50 oranına kadar MDF zımpara tozu lif levha üretiminde güvenle kullanılabilir.

Elastikiyet modülü, eğilme direncine paralel olarak en yüksek B grubu levhalarda 4031 N/mm², en d şuk G grubu levhalarda 2664 N/mm² olarak bulunmuştur. TS 64-5 EN 622-5'e göre kuru şartlarda kullanılacak $9 < t \leq 12$ mm kalınlığında olan genel amaçlı levhalar için elastikiyet modülü en az 2500 N/mm² olması gerektiği belirtilmiştir [12]. Bütün gruplarda bu değerden yüksek bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre elastikiyet modülü değerleri bakımından %50 oranına kadar MDF zımpara tozu lif levha üretiminde güvenle kullanılabilir.

Yüzeye dik yönde çekme direnci en yüksek F grubu levhalarda 0,85 N/mm², en düşük A grubu levhalarda 0,58 N/mm² olarak bulunmuştur. MDF zımpara tozu kullanım oranı arttıkça genel olarak çekme direnci değerlerinde artış görülmektedir. Bu durum MDF zımpara tozunun levha içerisinde iç yapışmayı artırdığını ve bağlayıcı olarak görev yaptığını göstermektedir. TS 64-5 EN 622-5'e göre kuru şartlarda kullanılacak $9 < t \leq 12$ mm kalınlığında olan genel amaçlı levhalar için yüzeye dik yönde çekme direnci en az 0,60 N/mm² olması gerektiği belirtilmiştir [12]. Elde edilen sonuçlara göre yüzeye dik yönde çekme direnci değerleri bakımından %50 oranına kadar MDF zımpara tozu lif levha üretiminde güvenle kullanılabilir.

Formaldehit emisyonu perforatör değeri en yüksek G grubu levhalarda 15,35 (mg/100 g levha), en düşük A grubu levhalarda 8,73 (mg/100 g levha) olarak bulunmuştur. Genel olarak MDF zımpara tozu kullanım oranı arttıkça formaldehit emisyonu artmaktadır. Bu durum MDF zımpara tozunun kendisinin de tutkallı olmasından kaynaklanabilir. Üretimde kullanılan tutkal miktarı arttıkça formaldehit emisyon değerleri artmaktadır. TS 64-1 EN 622-1'e göre kuru işlemli levhalar için perforatör değeri $8 < x \leq 30$ mg/100g fırın kurusu levha aralığında olan levhalar E2 sınıfı olarak nitelendirilirler [51]. Bu sonuçlara göre bütün gruptaki levhalar E2 sınıfındadır.

Elde edilen sonuçlara göre MDF zımpara tozu, levhanın fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından değerlendirildiğinde levha bünyesinde %50'ye kadar kullanımının uygun olduğu ifade edilebilir.

Lignoselülozik malzemeye olan talep günümüzde artış gösterme eğilimindedir. Oduna olan talep orman kaynaklarının azalmasına yol açmakta, hammaddeye ulaşmada güçlükler ortaya çıkmaktadır. Bu da hammadde kaynaklarının fiyatını yükseltmektedir. Bu yüzden; fabrikada levha üretimi sonucu elde edilen tonlarca MDF zımpara tozu yakılarak değil, geri dönüşümde tekrar kullanımı sağlanarak yenilikçi ürünler ortaya çıkarılmalı ve endüstriye kazandırılmalıdır.

MDF zımpara tozu, enerji maksadıyla yakılmadan tekrar üretime aktarılması ile karbon emisyonunun azaltılmasında önemli katkı sağlaması söz konusudur. Özellikle fabrikasyon odunsu atıkların geri dönüşümü ile daha yenilikçi bir yaklaşımla ürün

çerçevesi genişletilmiş olacaktır. Aynı zamanda MDF tozu gibi atıkların değerlendirilmesi ile çevre problemlerinin azaltılmasına, hammadde kaynaklarının korunmasına imkan sağlayacağı gibi yeni istihdam alanları ile ekonomiye katkı sağlayabilir.

Dünya genelinde hammadde kaynaklarının yetersiz olması nedeniyle alternatif hammadde kaynaklara yönelik akademik ve bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. Zımpara tozu yakılarak atmosfere karbon salınımına neden olmadığından çevre dostu ve sürdürülebilir yapıda üretimde kullanılabilir önemli bir kaynaktır. Özellikle yeterli direnç özelliklerine sahip olması nedeniyle mobilyada kullanılan levhaların üretiminde değerlendirilmesinin mümkün olduğu ifade edilebilir.

MDF zımpara tozu, başta lif levha olmak üzere kompozit malzeme üretiminde belirli oranda kullanılması ile ülkemizdeki hammadde potansiyelinin daha rasyonel, amaca ve hedefe uygun olarak kullanımına katkı sağlayacağı düşünülebilir. Bu sayede üretim maliyetleri azalacağı için rekabet gücü ve kar marjı artırılabilir, hammaddeye olan talep kısmen de olsa azaltılarak dövizde olan talep azaltılabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] H. Eroğlu, *Lif levha endüstrisi*, Ders Notu. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, 1998.
- [2] V. Doğan ve C. Güler, “MDF üretiminde zımpara tozu kullanım olanaklarının araştırılması”, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, c. 5, sy 1, ss. 1-7, 2022.
- [3] A. Chavooshi, M. Madhoushi, M. Navi, ve M. Y. Abareshi, “MDF dust/PP composites reinforced with nanoclay: Morphology, long-term physical properties and withdrawal strength of fasteners in dry and saturated conditions”, *Constr Build Mater*, c. 52, ss. 324-330, Şub. 2014.
- [4] M. Madhoushi ve A. B. Shahrehabak, “Mechanical and physical properties of green biocomposite based on medium density fiberboard sanding powder/polyethylene/nanoclay”, *J Polym Environ*, c. 25, sy 2, ss. 221-228, Haz. 2017.
- [5] N. Narlıoğlu, “Gürgen odunu zımpara tozunun termoplastik kompozit üretiminde değerlendirilmesi”, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, c. 4, sy 1, ss. 9-18, Haz. 2021.
- [6] A. Dönmez, “Farklı lignoselülozik ve termoplastik maddelerle üretilen odun-plastik kompozitlerinin incelenmesi”, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2011.
- [7] H. Köse, “Farklı lignoselülozik atıklar eklenerek lif takviyeli çimentolu kompozit levha üretimi”, Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 2016.
- [8] H. Eroğlu ve M. Usta, *Lif levha üretim teknolojisi*. Trabzon: KTÜ Orman Fakültesi Yayınları, 2000.
- [9] *Odundan Mamul Lif Levhalar - Tarifler, Sınıflandırma ve Semboller, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 316*, 2011.
- [10] *ISO 818:1975 Fibre building boards- Definition - Classification*.
- [11] Otto. Suchsland ve G. E. Woodson, *Fiberboard Manufacturing Practices in the*

United States. Louisiana, USA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. No: 640, 1987.

- [12] *Lif Levhalar- Özellikler - Bölüm 5: Kuru İşlemlili Levhalar (MDF) İçin Gereker, Türk Standartları Enstitüsü TS 64-5 EN 622-5, 2011.*
- [13] C. Güler, *Odun kökenli kompozit malzemeler*, Ders Notu. Düzce: Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, 2020.
- [14] “www.fao.org/forestry/statistics/80570/en/”, 2021.
- [15] “www.trademap.org”, 2021.
- [16] MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği, “Türkiye Ağaç Bazlı Panel Sektörü Nisan 2022”, 2022.
- [17] O. Çamlıbel, “Ormangülü biyokütlesinden MDF üretimi olanaklarının araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Düzce, 2006.
- [18] *Odun(lif, yonga ve talaş imalinde kullanılan), Türk Standartları Enstitüsü TS 1351, 2010.* 2010.
- [19] C. Güler, “Odun esaslı kompozit malzeme üretiminde bazı yıllık bitkilerin değerlendirilmesi”, *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, c. 14, sy 2, ss. 70-78, 2015.
- [20] A. İstek, “Buğday saplarından MDF üretimi”, Doktora tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın, 1999.
- [21] C. Güler, “Lif levha üretiminde kumaş atıklarının değerlendirilmesi”, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, c. 17, sy 1, ss. 53-61, 2021.
- [22] Y. Çöpür, C. Güler, C. Taşçıoğlu, ve A. Tozluoğlu, “Fındık kabuğu ve zurufunun MDF üretiminde kullanılması”, *Bioresour Technol*, c. 99, sy 15, ss. 7402-7406, Eki. 2008.
- [23] T. Akbulut, “Orüs vezirköprü fabrikasında üretilen yonga levhaların teknolojik özellikleri”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 1991.
- [24] S. Huş, “Ağaç malzeme tutkalları”, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 12, sy 2, ss. 1-11, 1962.
- [25] H. Kalaycıoğlu, “Sahil çamı odunlarının yonga levha üretiminde kullanılması

- imkanları”, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1991.
- [26] Heiko. Thoemen, Mark. Irle, ve Milan. Sernek, *Wood-Based Panel Technology*. Brunel University Press, 2010.
- [27] N. Ayrılmış, “MDF’nin teknolojik özellikleri üzerine ağaç türünün etkisi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2000.
- [28] A. Jalonen, S. Manager, W. Metso Paper, ve P. Oy, “GentleBarking-a log debarking method for higher yield ‘From innovation to reality’”.
- [29] “HOMBAK Tamburlu Yongalama Makinesi”.
https://www.hombak.com/fileadmin/hombak_redakteur/Download_PDF/HMT_EN.pdf (erişim 10 Ağustos 2022).
- [30] “Salınımlı Elek Makinesi”.
https://www.siempelkamp.com/fileadmin/user_upload/03._Holz/2._Sortierung_und_Reinigung/c._Schwingsieb/Schwingsieb_2.jpg (erişim 28 Ağustos 2022).
- [31] “Pişirme Kazanı ”.
https://www.siempelkamp.com/fileadmin/user_upload/03._Holz/3._Zerfaserung/a._Refiner-Anlage/Pallmann_Refiner-System.jpg (erişim 28 Ağustos 2022).
- [32] “Tutkallama ünitesi”.
https://www.siempelkamp.com/fileadmin/user_upload/03._Holz/6._Beleimung/e._Ecoresinator-und-Blowline-fuer-MDF/ecoresinator-1.jpeg (erişim 17 Ağustos 2022).
- [33] “Lif Kurutma Hattı SundsFibertech”. https://www.sundsfibertech.com/wp-content/uploads/2022/05/Drying-Pneumatics_001-1000x1000.jpg (erişim 16 Ağustos 2022).
- [34] “sundszifter”. https://www.sundsfibertech.com/wp-content/uploads/2022/05/SundZifter_001-1000x1000.jpg (erişim 17 Ağustos 2022).
- [35] “Serme Hattı MDF Dynaformer”.
<https://www.imalpal.com/en/scheda.php?pr=124> (erişim 15 Ağustos 2022).
- [36] “Lif Serme Ünitesi Şematik Görüntüsü”.
https://dieffenbacher.com/fileadmin/images/holzwerkstoffe/produkte/formstation_mdf/MDF_Bin.png (erişim 16 Ağustos 2022).

- [37] “Siempelkamp MDF Ön Pres”.
https://www.siempelkamp.com/fileadmin/user_upload/03._Holz/8._Formstrasse/d._MDF-Vorpresse/5-40_MDF-Vorpresse-B-.jpg (erişim 20 Ağustos 2022).
- [38] “MDF Lif Taslağı Kenar Kesme”.
https://www.siempelkamp.com/fileadmin/_processed_/9/a/csm_5-50_MDF-Mattenbesaeumsaege_a921f5522b.jpg (erişim 20 Ağustos 2022).
- [39] “Çok Katlı Pres”. https://www.sundsibertech.com/wp-content/uploads/2022/05/MultiOpeningPress_001-1000x1000.jpg (erişim 14 Ocak 2023).
- [40] “Sürekli Sıcak Pres”.
https://www.siempelkamp.com/fileadmin/user_upload/03._Holz/9._Presse/1._Contiroll/Contiroll.jpg (erişim 21 Ağustos 2022).
- [41] “Yıldız Soğutma Bölümü ”.
https://www.siempelkamp.com/fileadmin/user_upload/03._Holz/10._K%C3%BChlung_und_Abstapelung/7._K%C3%BChlbereich/Kuehlung_und_Abstapelung_Kuehlbereich_Kuehlsternwender_3.jpg (erişim 23 Ağustos 2022).
- [42] “Ham MDF Depolama”.
https://www.siempelkamp.com/fileadmin/user_upload/03._Holz/10._K%C3%BChlung_und_Abstapelung/9._Fl%C3%A4chenlager/Kuehlung_und_Abstapelung_Flaechenlager_Plattenlager-Satellit.jpg (erişim 24 Ağustos 2022).
- [43] “Zımparalama ”. https://img.directindustry.com/images_di/photo-g/115531-12715071.webp (erişim 24 Ağustos 2022).
- [44] *Ahşap Esaslı Levhalar – Birim Hacim Ağırlığının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 323, 1999.*
- [45] *Ahşap Esaslı Levhalar – Rutubet Miktarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 322, 1999.*
- [46] *Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Su İçerisine Daldırma İşleminde Sonra Kalınlığına Şişme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 317, 1999.*
- [47] *Ahşap Esaslı Levhalar - Eğilme Dayanımı ve Eğilme Elastikiyet Modülünün Tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 310, 1999.*
- [48] *Yonga Levhalar ve Lif Levhalar-Levha Yüzeyine Dik Çekme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 319, 1999.*

- [49] *Ahşap Esaslı Levhalar – Deney Parça Boyutlarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 325, 2012.*
- [50] *Ahşap Esaslı Levhalar – Formaldehit Miktarının Tayini - Ekstraksiyon Metodu ile Ayırma, Türk Standartları Enstitüsü TS 4894 EN 120, 1999.*
- [51] *Lif Levhalar - Özellikler - Bölüm 1: Genel Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü TS 64-1 EN-622-1, 2005.*
- [52] A. İstek ve H. Sıradağ, “The effect of density on particleboard properties”, *International Caucasian Forestry Symposium*, c. 932, sy 938, ss. 24-26, Eki. 2013.
- [53] A. İstek, I. Özlüsoylu, H. Sıradağ, ve Ş. Mercik, *Orta yoğunluklu lif levhaların bazı özellikleri üzerine tutkal kullanım oranının etkisi*. 2019.
- [54] H. Kalaycıoğlu ve R. Özen, *Yonga levha endüstrisi*, Ders Notu. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi , 2012.
- [55] A. İstek ve I. Özlüsoylu, “Tutkal çözeltisine üre ilavesinin formaldehit emisyonu ve levha özelliklerine etkisi”, *II. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi*, ss. 824-830, 2018.
- [56] S. Boran, “Orta yoğunlukta lif levha (MDF) üretiminde kullanılan üre formaldehit tutkalına farklı kimyasal maddeler ilave edilerek serbest formaldehit içeriğinin azaltılması”, Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Vural DOĞAN

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Orman Endüstri Müh.	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	Orman Endüstri Müh.	A.İ.B.Ü. Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Cem Sultan Lisesi	2003

YAYINLAR

Güler C., Doğan V.,(2022), MDF üretiminde zımpara tozu kullanım olanaklarının araştırılması, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5 (1), 1-7. DOI: 10.33725/mamad.1114080.