



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**ATIK MDF LİFLERİN LİGNİN İLE MODİFİKASYONU VE MDF ÜRETİMİNDE
YENİDEN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Samet GÜRSOY

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ**

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Samet GÜRSOY tarafından, **Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ** danışmanlığında hazırlanan **ATIK MDF LİFLERİN LİGNİN İLE MODİFİKASYONU VE MDF ÜRETİMİNDE YENİDEN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **12/01/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Turgay AKBULUT İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Türker DÜNDAR İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN Marmara Üniversitesi Organik Kimya Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Gürdal KANAT Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Bilimleri Anabilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

BÜTÇE DESTEKLERİ

ATIK MDF LİFLERİN LİGNİN İLE MODİFİKASYONU VE MDF ÜRETİMİNDE YENİDEN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.



TEŞEKKÜR

“Atık MDF liflerin ligninle modifikasyonu ve MDF üretiminde yeniden kullanımının Araştırılması” konulu bu çalışma İ.Ü-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’ne Doktora Tezi olarak sunulmuştur. Doktora eğitim sürecim, YÖK tarafından imkân sağlanan 100/2000 Orman ürünleri öncelikli alanında burs programı ile desteklenmiştir.

Doktora öğreniminin devam ettiği sırada bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve tez çalışmam sırasında yardımlarını eksik etmeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ’a, Doç. Dr. Ender Hazır’a ve Arş. Gör. Dr. Hızır Volkan GÖRGÜN’e teşekkür ederim. Tez jürimde bulunan, bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren Sayın Prof. Dr. Turgay AKBULUT, Sayın Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN ve Sayın Prof. Dr. Türker DÜNDAR hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmalarım sırasındaki yardımları için Tugay YARICI’ya, Merih ÖZER’e, Ramazan ÇARDAK’a ve Onur AYKANAT’a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hayata geçirilmesi için gerekli olan araştırmaları yapmama izin verdikleri için bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Kastamonu Entegre ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamın devam ettiği süre boyunca, çalışma hayatımın tezimin hazırlanmasına engel olmaması için sürekli destek veren Kastamonu İş Planlama ve İnovasyon Direktörümüz Hüseyin GÜLER’e, Arge Müdürü Başak BENGÜ ve Uğur ÇELİK’e teşekkür ederim.

Yaptığım tüm çalışmalarda desteğini esirgemeyen her zaman yanımda olan, hayatıma anlam katan değerli eşim Sevda GÜRSOY’a, varlığıyla bana güç ve azim veren oğlum Kuzey Efe GÜRSOY’a, her zaman yanımda olduklarını hissettiren aileme şükranlarımı sunarım.

Ocak 2024

Samet GÜRSOY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BÜTÇE DESTEKLERİ	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xx
ABSTRACT	xxii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler	4
1.1.1. Lif Levhaların Tanımı ve Sınıflandırılması.....	4
1.1.1.1. Yoğunluklarına Göre Lif Levhaların Sınıflandırılması.....	6
1.1.1.2. Üretim Yöntemine Göre Lif Levhaların Sınıflandırılması.....	6
1.1.1.2.1. Yaş Yöntemle Üretilen Lif Levhalar.....	7
1.1.1.2.2. Yarı kuru yöntemle üretilen lif levhalar.....	7
1.1.1.2.3. Kuru yöntemle üretilen lif levhalar.....	7
1.1.2 MDF'nin tanımı, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları.....	10
1.2. Ahşap Esaslı Levha Endüstrisinin Dünya Ve Türkiye'deki Durumu	11
1.2.1. Dünya'da Ağaç Bazlı Panel Endüstrisinin Durumu	12
1.2.2 Türkiye'de Ağaç Bazlı Panel Endüstrisinin Durumu.....	13
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	18
2.1 Mdf Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	18
2.1.1. Odun ve Lignoselülozik Maddeler	18
2.1.1.1. Odunun kimyasal bileşenleri.....	20

2.1.1.1.1. Selüloz.....	20
2.1.1.1.2. Hemiselüloz.....	22
2.1.1.1.3. Lignin.....	22
2.1.1.1.3.1. Lignin izolasyonu.....	25
2.1.1.1.3.2. Lignin karakterizasyonu ve kullanım alanları.....	29
2.1.1.1.4. Pektin ve Ekstraktif maddeler.....	31
2.1.2. Tutkallar.....	31
2.1.3. Sertleştiriciler.....	36
2.1.4. Hidrofobik Maddeler.....	37
2.2. MDF Üretim Teknolojisi.....	38
2.2.1. Odun hammaddesinin depolanması.....	38
2.2.2. Yongalama prosesi.....	39
2.2.3. Yongaların depolanması.....	41
2.2.4. Yongaların eleklerle elenmesi.....	42
2.2.5. Liflendirme prosesi.....	43
2.2.6. Liflerin tutkallanması (tutkal mutfağı).....	50
2.2.7. Kurutma prosesi	51
2.2.8. Serme prosesi	53
2.2.9. Sıcak presleme işlemi.....	56
2.2.10. Ebatlama ve soğutma işlemi.....	59
2.2.11. İstifleme işlemi.....	61
2.2.12. Zımparalama işlemi.....	62
2.3. MDF'nin Geri Dönüşümünde Uygulanan Yöntemler.....	64
2.3.1. Atık levhaların yongalanarak değerlendirilmesi.....	64
2.3.2. MDF üretimine ekleme yöntemi.....	65
2.3.3. Mikrodalga yöntemi.....	65
2.3.4. Termohidroliz yöntemleri.....	66
2.3.4.1. Sandberg yöntemi.....	66
2.3.4.2. Pfeiderer yöntemi.....	66
2.3.4.3. Kimyasal-termo mekanik yöntemi (WKI).....	67
2.3.5. Geri dönüşüm metodu olarak asitlerin kullanılabilirliği.....	67

3. YÖNTEM.....	68
3.1. Malzeme.....	68
3.1.1. Odun hammaddesi.....	68
3.1.2. Tutkal.....	70
3.1.3. Parafin.....	70
3.1.4. Sertleştirici.....	71
3.1.5. Lignin.....	71
3.2 Deneme levhalarının üretimi.....	72
3.2.1. Liflerin Kurutulması	73
3.2.2. Liflerin ligninle modifikasyonu.....	73
3.2.3. Tutkallama.....	73
3.2.4. Taslak hazırlama.....	74
3.2.5. Presleme.....	74
3.2.6. Levhaların klimatize işlemi.....	75
3.3. Üretilen levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerinin tespiti.....	76
3.3.1. Fiziksel özellikler.....	76
3.3.1.1. Birim hacim ağırlığı.....	76
3.3.1.2. Rutubet miktarı.....	76
3.3.1.3. Su alma miktarı.....	77
3.3.1.4. Kalınlığına şişme miktarı.....	77
3.3.1.5. Levha yüzey emiciliği testi (yüzey absorpsiyonu).....	78
3.3.1.6 Formaldehit emisyonu.....	78
3.3.2. Mekanik özellikler	79
3.3.2.1. Levha yüzeyine dik yönde çekme direnci	80
3.3.2.2. Eğilme direnci.....	80
3.3.2.3. Eğilmede elastikiyet modülü.....	81
3.3.2.4. Yüzey sağlamlığı.....	82
3.3.3. Lif Boyut Analizi.....	83
3.3.4. Elementel Analiz....	83
3.3.5. İstatistiksel Yöntem.....	84

4. BULGULAR	85
4.1. Fiziksel Özellikler	85
4.1.1. Birim hacim ağırlığı (Yoğunluk)	86
4.1.2. Rutubet miktarı	90
4.1.3. Su alma miktarı	94
4.1.4. Kalınlığına şişme miktarı	98
4.1.5. Levha yüzey emiciliği testi (yüzey absorpsiyonu)	102
4.1.6. Serbest formaldehit test değerleri	106
4.2. Mekanik özellikler	109
4.2.1. Levha yüzeyine dik yönde çekme direnci	110
4.2.2. Eğilme direnci test değerleri	114
4.2.3. Elastikiyet modülü test değerleri	117
4.2.4. Yüzey sağlamlığı	121
4.3. Lif boyut analizi	124
4.4. Elementel analiz	125
4.4.1. DSC Analizler	125
4.4.2. TGA Analizleri	128
5. TARTIŞMA	130
5.1. Fiziksel Özellikler	130
5.1.1. Birim hacim ağırlığı (Yoğunluk)	130
5.1.2. Rutubet miktarı	130
5.1.3. Su alma miktarı	131
5.1.4. Kalınlığına şişme miktarı	134
5.1.5. Levha yüzey emiciliği testi (yüzey absorpsiyonu)	137
5.1.6. Serbest formaldehit test değerleri	139
5.2. Mekanik özellikler	143
5.2.1. Levha yüzeyine dik yönde çekme direnci	143
5.2.2. Eğilme direnci test değerleri	148
5.2.3. Elastikiyet modülü test değerleri	151
5.2.4. Yüzey sağlamlığı	154
5.3. Lif boyut analizi	156

5.4. Elementel analiz.....	157
5.4.1. DSC Analizler.....	157
5.4.2. TGA Analizleri.....	159
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	162
KAYNAKLAR.....	166
KURUM İZNİ YAZILARI.....	174



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Ahşap esaslı kompozit levharın yoğunluklarına göre sınıflandırılması (Suchsland ve Woodson 1986).....	5
Şekil 1.2. Ahşap esaslı kompozit levhaların üretim şekline göre sınıflandırılması (Suchsland ve Woodson 1986).....	5
Şekil 1.3. Kuru Yöntem Liflevha Üretim İş Akışı	8
Şekil 1.4. Yaş Yöntem ve Kuru yöntemle üretilen MDF de Lif Yönleri	9
Şekil 1.5. Ahşap esaslı kompozit levha üretimi dünya sıralaması (2020) (FAO, MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği, Ahlstrom-Munksjö (2020)	12
Şekil 1.6. Ahşap esaslı kompozit levha üretimi Avrupa sıralaması (2020) (FAO, MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği, Ahlstrom-Munksjö (2020)	13
Şekil 1.7. Türkiye’deki Ahşap Esaslı kompozit levha üreticileri	15
Şekil 1.8. Orman Ürünleri Endüstrisinde 2020 yılı Ağustos Ayında İhracat Payları (TIM, 2020).....	17
Şekil 2.1. Odunun kimyasal yapısı (Hafızoğlu 1982).	20
Şekil 2.2. Selüloz molekülü (Voet vd. 2008)	21
Şekil 2.3. Selülozun yapısı (Ayrılmış N., 2000).....	21
Şekil 2.4. Hücre çeperinde selüloz, hemiselüloz, ligninin yerleşme düzenini gösteren kesikli lamel modeli (Bozkurt ve Erdin, 2000)	24
Şekil 2.5. Lignoselülozik hammaddelerin kimyasal bileşimi (Han, 1998)	24
Şekil 2.6. Kalıntı lignin elde edilen üretim yöntemlerinin genel şeması (Holladay vd., 2007)	25
Şekil 2.7. Lignin delignifikasyon yöntemlerinin genel şeması	26
Şekil 2.8. Farklı pişirme yöntemlerinden elde edilecek ligninlerdeki fonksiyonel grup değişimleri (Melro vd., 2018).....	28
Şekil 2.9. Ligninin kullanım alanları (Holladay vd., 2007).....	30

Şekil 2.10. Monometilol üre ve Dimetilol üre oluşumu	33
Şekil 2.11. Monometilol üre ve Dimetilol üre kondenzasyon reaksiyonları	33
Şekil 2.12. Fenol ve formaldehitin birleşmesi sonucu Trimetilol-Fenol oluşması.....	35
Şekil 2.13. Fenol formaldehit oluşumu	35
Şekil 2.14. Vibrasyonlu tekneye odun beslenmesi	39
Şekil 2.15. Kabuk soyma makinesi	40
Şekil 2.16. Yongalama makinesi	41
Şekil 2.17. Beton yonga silosu	42
Şekil 2.18. Yeniden Yongalayıcı.....	43
Şekil 2.19. Mekanik Elek	43
Şekil 2.20. Liflendirme Prosesi	44
Şekil 2.21. Pişirici besleme helezonu	45
Şekil 2.22. Pişirme kazanı çıkışında parafin verilen enjektörler	46
Şekil 2.23. Pişirme kazanı	47
Şekil 2.24. Liflendirme makinası sabit ve hareketli bıçak resimleri (Rotor – Stator).....	48
Şekil 2.25. Liflendirme makinası genel.....	49
Şekil 2.26. Liflendirme makinası öğütme haznesi	49
Şekil 2.27. Tutkal vb. kimyasalların verildiği sistem	51
Şekil 2.28. Kurutma borusu ve fanı	52
Şekil 2.29. Kurutma bacaları dış görünüşü.....	52
Şekil 2.30. Serme dağılım düzeltici sistem (Ekolayzır)	53
Şekil 2.31. Mekanik Serme.....	54
Şekil 2.32. Serme bunkerı	54
Şekil 2.33. Soğuk pres	55
Şekil 2.34. Kimyasal püskürtme cihazı (pasta üst yüzeyine)	56
Şekil 2.35. Sürekli pres.....	57
Şekil 2.36. Spesifik Pres faktörü	58

Şekil 2.37. Sağ ve sol kenar kesme testereleri.....	59
Şekil 2.38. Hareketli diyagonal testereler.....	60
Şekil 2.39. Yıldız soğutucular	61
Şekil 2.40. İstifleme Asansörleri	61
Şekil 2.41. Zımpara makinesi NS kafa	62
Şekil 2.42. Zımpara makinesi K kafa	63
Şekil 2.43. Zımpara bandı	63
Şekil 2.44. Zımpara makinası	64
Şekil 2.45. Termohidroliz Yöntemi	66
Şekil 3.1. Temin edilen Çam odunu lifleri	68
Şekil 3.2. Atık MDF levhaların yongalanması ve depolanması	69
Şekil 3.3. Liflerin ligninle modifikasyonu ve liflerin tutkallanması	73
Şekil 3.4. Laboratuvar tipi pres	75
Şekil 3.5. Üretilen deneme levhası	75
Şekil 3.6. Test yapılma anından bir görüntü.....	76
Şekil 3.7. Havuzda bekletilen levhalar	78
Şekil 4.1 %100 Ham Odundan Elde Edilen Liflerin Boyut Analizi.....	124
Şekil 4.2. % 90-10 Ham Odun Atık MDF Lif Karışımından Elde Edilen Liflerin Boyut Analizi	124
Şekil 4.3. % 70-30 Ham Odun Atık MDF Lif Karışımından Elde Edilen Liflerin Boyut Analizi	125
Şekil 4.4. Amonyum Klorür Kullanılan Liflerin DSC Termogramı	125
Şekil 4.5. HMTA Kullanılan Liflerin DSC Termogramı	126
Şekil 4.6. %100 ham odun lifi ve atık MDF lifi katkı oranının DSC termogramı	126
Şekil 4.7 %10 Atık MDF lifi+lignin içeren numunelerin DSC termogramı	127
Şekil 4.8 %30 Atık MDF lifi+lignin içeren numunelerin DSC termogramı	127
Şekil 4.9 %100 ham odun lifi ve atık MDF lifi katkı oranının TGA termogramı (Amonyum Klorür+HMTA)	128

Şekil 4.10 % 90 -10 ve %70-30 + Ham odun lifi- Atık MDF lif TGA Termogramları (Amonyum Klorür).....	129
Şekil 5.1. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Su Alma Yüzdeleri	131
Şekil 5.2. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Su Alma Yüzdeleri	132
Şekil 5.3. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Su Alma Yüzdelerine Etki Grafiği	133
Şekil 5.4. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Kalınlığına Şişme Yüzdeleri.....	134
Şekil 5.5. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Kalınlığına Şişme Yüzdeleri Grafiği.....	135
Şekil 5.6. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Kalınlığına Şişme Yüzdelerine Etki Grafiği.....	136
Şekil 5.7. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Yüzey Absorpsiyon Değerleri	137
Şekil 5.8. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Yüzey Absorpsiyon Değeri Grafiği.....	138
Şekil 5.9. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Yüzey Absorpsiyon Değerine Etki	139
Şekil 5.10. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Serbest Formaldehit Değerleri.....	140
Şekil 5.11. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Serbest Formaldehit Değerleri Grafiği.....	141
Şekil 5.12. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Serbest Formaldehit Değerine Etkisi.....	143
Şekil 5.13. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Çekme Direnci.....	144
Şekil 5.14. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Çekme Direnci.....	145
Şekil 5.15. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Çekme Direncine Etkisi.....	146
Şekil 5.16. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Eğilme Direnci Değerleri.....	149

Şekil 5.17. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Eğilme Direnci Değerleri	150
Şekil 5.18. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Eğilme Direncine Etkisi.....	151
Şekil 5.19. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Elastikiyet Modülü Grafiği.....	152
Şekil 5.20. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Elastikiyet Modülü Grafiği.....	152
Şekil 5.21. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Elastikiyet Modülüne Etki Grafiği	153
Şekil 5.22. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Yüzey Sağlamlığı Grafiği.....	154
Şekil 5.23. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Yüzey Sağlamlığı Grafiği.....	155
Şekil 5.24. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Yüzey Sağlamlığına Etki Grafiği	156

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Ana Üretim Gruplarına Göre 2020 yılı Ağustos Ayında İhracat Payları (TIM, 2020).....	15
Tablo 1.2 Türkiye’deki Ahşap esalı levha üreticilerinin kurulu kapasite bilgileri.....	16
Tablo 3.1. Üre formaldehit tutkalı teknik özellikleri.....	70
Tablo 3.2. Parafin Analiz Sonuçları	71
Tablo 3.3. Stora Enso firmasından temin edilen ligninin özellikleri;.....	71
Tablo 3.4. Levha Üretim Planı	72
Tablo 3.5. Levhalara uygulanan testler	82
Tablo 3.6.Üretilen liflevhalarda kullanılan liflerin boyut analizi.....	83
Tablo 4.1. Üretilen levhaların Fiziksel Özellikleri	85
Tablo 4.2. Deneme levhalarının birim hacim ağırlığına ait istatistik parametreler	86
Tablo 4.3. Lignin kullanım oranının MDF’nin yoğunluk değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	87
Tablo 4.4. Deneme levhalarına ait yoğunluk homojen grupları ve ortalama değeri	87
Tablo 4.5. Üretilen deneme levhalarının yoğunluk değeri.....	88
Tablo 4.6. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre yoğunluk varyans analizi	88
Tablo 4.7. %95 güven düzeyinde yoğunluk değeri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	89
Tablo 4.8. Deneme levhalarının rutubet miktarına ait istatistik parametreler	90
Tablo 4.9. Lignin kullanım oranının MDF’nin rutubet değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	91
Tablo 4.10. Deneme levhalarına ait rutubet miktarı homojen grupları ve ortalama değeri .	91
Tablo 4.11. Üretilen deneme levhalarının rutubet değeri.....	92
Tablo 4.12. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre rutubet varyans analizi.....	93
Tablo 4.13. %95 güven düzeyinde rutubet değeri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	93

Tablo 4.14. Deneme levhalarının su alma miktarına ait istatistik parametreler	94
Tablo 4.15. Lignin kullanım oranının MDF'nin su alma değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	95
Tablo 4.16. Deneme levhalarına ait su alma miktarı homojen grupları ve ortalama değerleri	95
Tablo 4.17. Üretilen deneme levhalarının su alma değerleri	96
Tablo 4.18. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre su alma varyans analizi	97
Tablo 4.19. %95 güven düzeyinde rutubet değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	97
Tablo 4.20. Deneme levhalarının kalınlığına şişme miktarına ait istatistik parametreleri	98
Tablo 4.21. Lignin kullanım oranının MDF'nin kalınlığına şişme değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	99
Tablo 4.22. Deneme levhalarına ait kalınlığına şişme oranlarının homojen grupları ve ortalama değerleri	99
Tablo 4.23. Üretilen deneme levhalarının kalınlığına şişme değerleri	100
Tablo 4.24. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre kalınlığına şişme varyans analizi	101
Tablo 4.25. %95 güven düzeyinde kalınlığına şişme değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	101
Tablo 4.26. Deneme levhalarının yüzey absorpsiyon miktarına ait istatistik parametreler ...	102
Tablo 4.27. Lignin kullanım oranının MDF'nin yüzey absorpsiyon değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	103
Tablo 4.28. Deneme levhalarına ait yüzey absorpsiyon değerlerinin homojen grupları ve ortalama değerleri	103
Tablo 4.29. Üretilen deneme levhalarının yüzey emiciliği değerleri	104
Tablo 4.30. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre yüzey absorpsiyon varyans analizi	105
Tablo 4.31. %95 güven düzeyinde yüzey absorpsiyon değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	105
Tablo 4.32. Deneme levhalarının serbest formaldehit değerine ait istatistik parametreler	106
Tablo 4.33. Lignin kullanım oranının MDF'nin serbest formaldehit değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	106
Tablo 4.34. Üretilen deneme levhalarının serbest formaldehit değerleri	107

Tablo 4.35. Odun lif karışımı ve lignine göre serbest formaldehit varyans analizi	108
Tablo 4.36. %95 güven düzeyinde serbest formaldehit değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	108
Tablo 4.37. Üretilen Levhaların mekanik özellikleri	109
Tablo 4.38. Deneme levhalarının çekme direnci değerine ait istatistik parametreler	110
Tablo 4.39. Lignin kullanım oranının MDF'nin çekme direnci değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	111
Tablo 4.40. Deneme levhalarına ait çekme direnci değerlerinin homojen grupları ve ortalama değerleri.....	111
Tablo 4.41. Üretilen deneme levhalarının çekme direnci değerleri	112
Tablo 4.42. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre çekme direnci varyans analizi	113
Tablo 4.43. %95 güven düzeyinde çekme direnci değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	113
Tablo 4.44. Deneme levhalarının eğilme direnci değerine ait istatistik parametreler	114
Tablo 4.45. Lignin kullanım oranının MDF'nin eğilme direnci değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	114
Tablo 4.46. Üretilen deneme levhalarının eğilme direnci değerleri	115
Tablo 4.47. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre eğilme direnci varyans analizi	116
Tablo 4.48. %95 güven düzeyinde eğilme direnci değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	116
Tablo 4.49. Deneme levhalarının elastikiyet modülü değerine ait istatistik parametreler	117
Tablo 4.50. Lignin kullanım oranının MDF'nin elastikiyet modülü değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	118
Tablo 4.51. Deneme levhalarına ait elastikiyet modülü değerlerinin homojen grupları ve ortalama değerleri	118
Tablo 4.52. Üretilen deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri.....	119
Tablo 4.53. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre elastikiyet direnci varyans analizi	120
Tablo 4.54. %95 güven düzeyinde elastikiyet direnci değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	120

Tablo 4.55. Deneme levhalarının yüzey sağlamlığı değerine ait istatistik parametreler.....	121
Tablo 4.56. Lignin kullanım oranının MDF'nin yüzey sağlamlığı değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları	121
Tablo 4.57. Üretilen deneme levhalarının yüzey sağlamlığı değerleri.....	122
Tablo 4.58. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre yüzey sağlamlığı varyans analizi	123
Tablo 4.59. %95 güven düzeyinde yüzey sağlamlığı değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)	123
Tablo 5.1. Liflevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri (Mancera vd., 2011).....	147
Tablo 5.2. Lif levhaların mekanik özellikleri (Hwang vd., 2005).....	148
Tablo 5.3. %100 Ham odun liflerinin DSC Termogramlarından elde edilen veriler	157
Tablo 5.4. % 90 -10 ve %70-30 + Ham odun lifi- Atık MDF lif DSC Termogramlarından elde edilen veriler	158
Tablo 5.5. %100 Ham odun liflerinin TGA Termogramlarından elde edilen veriler.....	159
Tablo 5.6. % 90 -10 ve %70-30 + Ham odun lifi- Atık MDF lif TGA Termogramlarından elde edilen veriler	160

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
DP	: Polimerizasyon derecesi
Tg	: Termal geçiş sıcaklığı
Tm	: Erime sıcaklığı

Kısaltmalar	Açıklama
HMTA	: Hekzametilentetramin
MDF	: Orta yoğunluklu lif levha
HDF	: Yüksek yoğunlukta lif levha
LDF	: Düşük yoğunlukta lif levha
SIS	: Sadece bir yüzü düz
MR	: Rutubete karşı dayanıklı
FR	: Yangına karşı dayanıklı
AC	: Amonyum klorür
CNSL	: Kaju fıstığı kabuğu sıvısı
YL	: Yonga levha
C	: Karbon
H	: Hidrojen
O	: Oksijen
N	: Azot
MWL	: Öğütülmüş Odun Lignini
cP	: Santipuz
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
TGA	: Termogravimetrik Analiz

ÖZET

[DOKTORA TEZİ |

[ATIK MDF LİFLERİN LİGNİN İLE MODİFİKASYONU VE MDF ÜRETİMİNDE YENİDEN KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI |

[Samet GÜRSOY]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

[Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı |
Orman Endüstri Mühendisliği, Doktora Programı

[Danışman : Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ |

[Odun hammaddesi ile yapılan kompozit ürünler denince ilk akla gelen ürünlerden olan MDF levhalar günümüzde mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. MDF levhalara olan talebin artması ve üretim teknolojisinin ilerlemesinin sonucu olarak odun hammaddesine olan ihtiyaç gün geçtikçe artmakta olduğundan, Türkiye’de ahşap esaslı levha üretimi yapan fabrikalar hammadde sorunları ve artan maliyetlerden dolayı yurtdışından odun hammaddesi ithal etmektedirler. Liflevha üretimi için hammadde alternatifleri arasında çevreye olan katkısı da göz önüne alındığında endüstriyel odun atıkları ve fabrikada üretim sırasında ortaya çıkan kusurlu levha atıklarının yeniden kullanımı büyük önem arz etmektedir. Liflevha üreticileri üretim sırasında ortaya çıkan ıskarta, uç kesim ve iç patlak levhaları yongalayıp pişirme kazanında normal odunlarla birlikte liflendirmek suretiyle yeniden üretim hatlarında kullanılmaktadırlar. Ancak, üretimde kullanılan atık yonga miktarını %2’ile sınırlıdır. Çalışma kapsamında atık liflevhalardan elde edilen liflerin yüzeylerinin ligninle modifikasyonu ile atık levhadan elde edilen liflerinin kullanım oranının artırılması ve ithal edilen odun hammaddesinin de azalmasına katkı sağlanması amaçlandı.

Bu çalışmada; ham odundan elde edilen lifler ve atık liflevhadan elde edilen lif karışımının kraft ligninle modifikasyonu ile üretilen liflevhaların mekanik ve fiziksel özellikleri araştırıldı. Ham odundan elde edilen liflere atık liflevhadan elde edilen lifler %10 ve %30 olacak şekilde 2 farklı oranda karışım yapılarak ve 2 farklı sertleştirici (Amonyum klorür ve HMTA) kullanılarak üretilen MDF levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar ham odun lifleri kullanılarak üretilen MDF panellerle karşılaştırıldı.

Liflevhalar, Burkle marka preste 210°C sıcaklık, 3,5 N/mm² basınç ve 210 sn presleme süresinde 5 mm kalınlığında üretildi. Üretilen levhalara fiziksel testlerden; yoğunluk testi, levha rutubet testi, 24 saat su alma ve suda şişme ve yüzey emiciliği testi yapılmıştır.

Mekanik testlerden; eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, levha yüzeyine dik çekme direnci ve yüzey sağlamlığı testleri TSE EN standartlarına göre yapılmıştır. Üretilen levhalara SPSS programında istatistiksel analiz ve atık liflevhadan elde edilen lif ve ham odundan elde edilen lif karışımına termal analiz yapılmıştır. Test sonuçlarına göre; Atık liflevhadan elde edilen lif kullanım oranı arttıkça üretilen liflevhaların kalınlığına şişme, su alma ve mukavemet özelliklerini olumsuz etkilemesine rağmen, lignin kullanılarak liflerin modifikasyonu ile lif levhanın mekanik ve fiziksel özellikleri iyileşti.

Ham odundan elde edilen liflerin % 10 oranda atık liflevhadan elde edilen lif karışımının tam kuru lif oranına göre ağırlıkça % 5 ve % 7,5 oranında ligninle modifiye edilmesi ile üretilen lif levhaların dik çekme direnci ligninle modifiye edilmeden % 100 ham çam odunu lifleri ile üretilen lif levhalardan daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Liflevhaların formaldehit emisyonu, atık liflevhadan elde edilen lif içeriğinin artmasıyla artmıştır. Liflerin ligninle modifikasyonu, atık liflevhalardan elde edilen liflerle üretilen MDF'nin formaldehit emisyonunu azalttığı görüldü. Atık liflevhadan elde edilen liflerin kullanımının MDF'nin mekanik özelliklerini azaltırken, liflerin ağırlıkça %5 ve %7,5 oranda kraft ligninle modifikasyonu MDF'nin mekanik özelliklerini iyileştirdiği görüldü. Liflerin ligninle modifikasyonu ile su direncinin arttığı ve formaldehit emisyon değerinin azaldığı tespit edildi. MDF prosesinde ligninle modifiye edilen liflerle yapılan üretimde sertleştirici olarak HMTA'nın uyumlu olmadığı görüldü.

Sonuçlara göre; MDF üretiminde amonyum klorür sertleştiricisi kullanılarak %10 oranda atık MDF liflerinin ham odun lifleriyle karışımının ağırlıkça %5 ve %7,5 oranda ligninle modifikasyonu ile %100 ham odundan üretilen levhalara göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Liflerin ligninle modifikasyonu MDF üretiminde atık MDF lifi kullanımı oranının %10 a çıkmasına imkan sağlamaktadır.

Ocak 2024 , 202 sayfa.

Anahtar kelimeler: Orta yoğunluklu liflevha, Kraft lignin, MDF mekanik özellikler, Atık MDF, Hekzametilen tetramin, Amonyum klorür, Üre formaldehit reçinesi, Sıfır Atık

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

**MODIFICATION OF WASTE MDF FIBERS WITH LIGNIN AND INVESTIGATION OF
REUSE OF THEM IN MDF PRODUCTION**

Samet GÜRSOY

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Industry Engineering

Forest Industry Engineering Programme

Supervisor : Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ

MDF boards, which are one of the first products that come to mind when it comes to composite products made with wood raw materials, are widely used in the furniture industry today. Since the need for wood raw materials is increasing day by day as a result of the increase in demand for MDF boards and the advancement of production technology, factories producing wood-based boards in Turkey import wood raw materials from abroad due to raw material problems and increasing costs. Among the raw material alternatives for fiberboard production, considering its contribution to the environment the reuse of industrial wood waste and defective board waste generated during factory production is of great importance. Fiberboard manufacturers use the scrap, end-cut and inner-split boards that arise during production in their production lines by chipping them and fiberizing them together with normal wood in the digester. However, the amount of waste chips used in production is limited to 2%. Within the scope of the study, it was aimed to increase the usage rate of fibers obtained from waste fiberboards by modification of the surfaces of fibers obtained from waste fiberboards with lignin and to contribute to the reduction of imported wood raw materials.

In this study; The mechanical and physical properties of fiberboards produced by modification of the fiber mixture obtained from raw wood and waste fiberboard with kraft lignin were investigated. The mechanical and physical properties of MDF boards which are produced by mixing fibers obtained from raw wood with fibers obtained from waste fiberboard in 2 different ratios of 10% and 30% and using 2 different hardeners (Ammonium chloride and HMTA) were examined. The results were compared with MDF panels which are produced using raw wood fibers.

Fiberboards were produced in a Burkle brand press with a thickness of 5 mm at 210°C temperature, 3.5 N/mm² pressure and 210 s pressing time. The produced boards, from physical tests; Density test, sheet moisture test, 24-hour water absorption and water swelling and surface absorbency tests were performed.

From mechanical tests; Bending resistance and modulus of elasticity in bending, tensile strength perpendicular to the board surface and surface durability tests were carried out according to TSE EN standards. Statistical analysis was performed on the produced boards in the SPSS program, and thermal analysis was performed on the fiber mixture obtained from waste fiberboard and raw wood. According to the test results; Although the increase in the use of fiber obtained from waste fiberboard negatively affected the swelling, water absorption and strength properties of the produced fiberboards, the mechanical and physical properties of the fiberboard improved with the modification of fibers using lignin.

Vertical tensile strength of fibreboards produced by modifying the fiber mixture obtained from raw wood with 5% and 7.5% lignin by weight, according to the fully dry fiber ratio of the fiber mixture obtained from waste fiberboard at a rate of 10%. Fiber produced with 100% raw pine wood fibers without modification with lignin It was found to be higher than the fiberboards.

Formaldehyde emission of fiberboards increased with increasing fiber content obtained from waste fiberboard. Modification of fibers with lignin was observed to reduce the formaldehyde emission of MDF produced with fibers obtained from waste fiberboards. It was observed that the use of fibers obtained from waste fiberboard reduced the mechanical properties of MDF, while modification of the fibers with 5% and 7.5% kraft lignin by weight improved the mechanical properties of MDF. It was determined that water resistance increased and formaldehyde emission value decreased by modification of fibers with lignin. It was observed that HMTA was not compatible as a hardener in the production of fibers modified with lignin in the MDF process.

According to the results; In MDF production, using ammonium chloride hardener and modifying the mixture of 10% waste MDF fibers with raw wood fibers with 5% and 7.5% lignin by weight gives better results than boards produced from 100% raw wood. Modification of fibers with lignin allows the use of waste MDF fiber in MDF production to increase to 10%.

January 2024, | 202 | pages.

Keywords: | Medium density fiberboard, Kraft lignin, MDF mechanical properties, Waste MDF, HMTA, Ammonium chloride, Urea formaldehyde resin, Zero waste |

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar odun esaslı malzemeler en çok tercih edilen malzemelerin başında gelmektedir. Günümüzdeki hızlı nüfus artışı odun hammaddesine olan ihtiyacı arttırmakla birlikte gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için lignoselülozik hammaddeye olan talebin gelecek dönemde önemli bir sorun haline gelebileceğini göstermektedir.

Orman ürünleri endüstrisinde meydana gelen bu talep artışıyla beraber odun hammaddesine olan ihtiyaç da artmakta olduğundan lignoselülozik hammaddelerin tedarik problemlerine çözüm arayışları devam etmektedir. Üretilen ürünlerin miktar ve çeşitliliklerindeki artışlar her geçen gün odun hammaddesine olan talebi arttırmakta ve çeşitli yüzey ve desenlerde üretilen ürünlerin kullanım yerinde ömrünü tamamladıktan sonra atık durumuna düşen ürünlerin bertarafının nasıl yapılacağına dair çalışmalar artmaktadır. Atık ürünlerin geri dönüşümünde en büyük problemlerden biri üretimde kullanılan sentetik termoset tutkalların çevreye verebileceği zararlardır.

Bunun en önemli sebebi bu ürünlerin üretiminde kullanılan sentetik tutkalların genellikle termoset yani ısı ile sertleşen tutkallar olmasından kaynaklandığı ve bertaraf edilmesi sırasında çevre açısından önemli problem oluşturduğu düşünülmektedir. Doğal bir yapı malzemesi olan odun, yenilenebilir yapısından dolayı yüksek katma değere sahiptir ve çok farklı alanlarda kullanılabilir. Orman endüstri sektörlerindeki gelişimlerle beraber hızla artan liflevha üretimi ülkemizdeki odun üretimi üzerinde bir baskı oluşturmaktadır. Bundan dolayı odun ve odun esaslı ürünlerin atıklarının hem çeşitliliği hem de miktarı büyük önem ve potansiyele sahiptir.

Orman ürünleri endüstrisinde odun ve lignoselülozik lifler en çok tercih edilen hammaddedir. Dünyada ve ülkemizdeki orman kaynaklarının azalması, odun liflerinin dışında hammadde kaynaklarının önemini arttırmaktadır (Ganapathy, P.M. 1997).

Son yıllarda gelişen ve değişen teknolojiyle ahşap malzemelere olan talep ahşap esaslı kompozit levhaların masif malzemeye alternatif malzemeler olarak önemini arttırmıştır ve orman ürünleri sektöründe önemli gelişmeler gerçekleşmiştir. Levha üreticilerinin sürekli pres sistemine geçmesi ve sürekli pres sisteminin yaygınlaşmasından sonra ahşap esaslı kompozit

levha üretim kapasitesinde önemli artışlar görülmektedir. Orman ürünleri endüstrisinde faaliyet gösteren lif levha üreticileri yaptıkları yatırım ve teknolojik yenilikler sayesinde dünya çapında önemli bir konuma geldiği görülmektedir.

Günümüzde mobilya endüstrisinde yaygın olarak kullanılan orta yoğunluklu liflevha (MDF) en önemli ahşap esaslı kompozit levhalar arasında bulunmaktadır.

Daha iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip liflevhalar, masif malzemeler ve diğer ahşap esaslı kompozit levhalarla karşılaştırıldıklarında avantajlı duruma sahip oldukları bilinmektedir. Liflevha üretiminde odun lifi kullanılmasından dolayı ağaç malzeme gibi yüksek değerde mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptir. Liflevhalarda mekanik ve fiziksel özellikler her yerde benzerdir, işlenmesi kolaydır ve aynı zamanda yoğunluk, boyut, mekanik ve fiziksel özelliklerinin istenilen spektrlerde üretimi mümkündür. Bu özelliklerinden dolayı liflevhalara talep gün geçtikçe artmaktadır.

Liflevha üretim proseslerinde çıkan bazı atıklar bulunmaktadır. Bunlara örnek verilmesi gerekirse odun kabukları, proses şartlarına uygun olarak üretilmeyen lifler, ıskarta levhaları, uç kesim levhaları ve iç patlak levhaları olarak söylenebilir.

MDF üreticileri liflevha üretimi sırasında ortaya çıkan kendi ıskarta levhalarını, uç kesim levhalarını ve iç patlak levhaları yongalayıp pişirme kazanında normal odunlarla birlikte liflendirmek suretiyle MDF üretim hatlarında kullanılmaktadırlar. Ancak atık levhalardan elde edilen yongaların yongalama işleminden sonra boyutlarının biçimsiz ve ideal yonga geometrisinde olmadığından lif kalitesi de olumsuz yönde etkilenmektedir.

Bu sebeple çoğu MDF üreticisi, üretimde kullandıkları atık MDF yongası miktarını % 2-3'den daha az olacak şekilde sınırlandırmaktadır. Bu durum, atık MDF levhalardan elde edilen liflerin yüzey yapılarının normal odundan elde edilen liflerden daha farklı yani, daha uyumsuz (fonksiyonel gruplarının özellikle hidroksil gruplarının az olması) olmasından kaynaklanmaktadır.

MDF üretiminde, liflerin birbirleri ile güçlü bir şekilde tutkalla yapıştırılması gerekmektedir. Yeniden yongalamada; levha yapışma hatlarından gelişigüzel kırıldıklarından düzensiz boyut ve şekillerde yongalar oluşmaktadır. Bu da yeniden üretimde üreticilerin, ne kadar lif tutkal karışımı kullanacaklarını, preslemenin nasıl olacağını ve levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin nasıl değişeceğini tahmin etmelerini güçleştirmektedir. Yeniden

yongalamada toz miktarıda artmaktadır. Tüm bu hususlar üretimde tutkal sarfiyatının da artmasına sebep olmaktadır (Uzer, E., 2018).

Türkiye’de ahşap esaslı levha üretimi yapan fabrikalar hammadde sorunları ve artan maliyetlerden dolayı yurtdışından odun hammaddesi ithal etmektedirler. Türkiye özelinde liflevha üretimi için hammadde alternatifleri arasında son yıllarda çevreye olan katkısı da göz önüne alındığında gerek endüstriyel odun atıkları gerekse fabrikadaki ıskarta levhalar, uç kesim levhaları ve iç patlak levhaları gibi kusurlu levha atıklarının yeniden kullanımı dikkat çekmeye başlamıştır (Ulay G., Güler C. 2010).

MDF, mobilya sektöründe yonga levhadan sonra en çok kullanılan ikinci panel olup; binalardaki kapı kaplamaları, pervazlar ve laminat parke gibi ürünler olarak kullanılır. Dünya çapında 2001 yılında MDF üretimi yaklaşık 23.6 milyon m³ iken 2021’de yaklaşık 111 milyon m³e yükselerek sürekli artma eğilimindedir. (Zimmer, A., & Bachmann, S. A. L. 2023).

Küresel mobilya endüstrisi, özellikle MDF olmak üzere büyük miktarda ahşap esaslı kompozit levha üretmektedir. Ancak MDF levhaların kullanım sonrasında imha edilmesi konusunda artan endişeler bulunmaktadır. Organik bileşimin varlığı nedeniyle MDF'nin yeniden kullanımı oldukça sınırlıdır ve bertarafı çevre sorunlarına neden olmaktadır. Genellikle bu levha atıklarının çoğu çöp depolama alanlarına atılıyor veya kullanım ömrü sonunda yakılıyor. Bu nedenle atık MDF'nin açık havada yakılması birçok ülkede yasaklanmıştır. (Antov, P., Mantanis, G. I., & Savov, V. 2020).

Mobilya üreticileri ve tasarımcıları, son kullanıcılarda dayanıklı bir üründen ziyade modaaya uygun bir ürün algısı oluşturdıkları için tüketici davranışlarını değiştiriyorlar ve bu nedenle MDF levhaların ömrü eskiye göre daha kısa oluyor. Genel amaçlı MDF levhaların atık haline gelmeden önceki yaklaşık ömrü 15 ile 20 yıl arasındadır. (Thirugnanam, S., Srinivasan, R., Anand, K., Bhardwaj, A., Puthilibai, G., Madhu, P., & Karthick, A. 2022).

Lif ve yonga levha gibi ahşap esaslı kompozit levhaların üretim prosesinde kullanılan odun ve lignoselülozik hammaddelere alternatif olabilecek organik ve inorganik malzemeler son yıllarda fazlaca araştırma konusu olmuştur. Odun liflerinden üretilen levhaların geri dönüşümü çevreye katkı sağlamakta, odun ve odundan üretilen levhaların son kullanım yerinde ömürleri dolduktan sonra geri dönüştürülerek sisteme yeniden kazandırılması araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Odunsu atık levhaların çöp konteynerlarına ya da dış ortama bırakılması

geri dönüşüm ile yeniden kullanılabilir bir malzemenin boş yere atık olarak çöpe atılması anlamına gelmektedir (Warnken, M. 2001).

Geri dönüşüm işlemi, liflerin mekanik özelliklerinde değişikliklere neden olur ve bu da orijinal mukavemetin %30 kadar azalmasına neden olabilir. Ayrıca ömrünü tamamlamış ve hurdaya ayrılan MDF'nin toprağa bırakılması veya yakılması halinde çevreye zarar vermesi kaçınılmazdır (Mulenga, T. K., Ude, A. U., & Vivekanandhan, C. 2021).

Günümüzde doğal lifler biyokompozitlerde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, mobilya endüstrisinden gelen atık MDF levhalardan elde edilen lifler ve MDF üretim prosesinde sıcak presleme sonrası kusurlu olan MDF levhalardan elde edilen liflerin kullanımı %2-%3 ile sınırlıdır. (Roffael vd., 2016).

Bu çalışmada, atık MDF'den ve ham odundan elde edilen liflerin lignin ile modifikasyonu ve MDF üretiminde yeniden kullanımı araştırılmıştır. Orta yoğunluklu liflevha (MDF) üretiminde levha kalite özelliklerini değiştirmeden MDF prosesinde ortaya çıkan atık durumdaki levhaların MDF üretiminde kullanım oranının artırılması amaçlanmıştır. Ayrıca ithal edilen odun hammaddesinde azalmasına katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

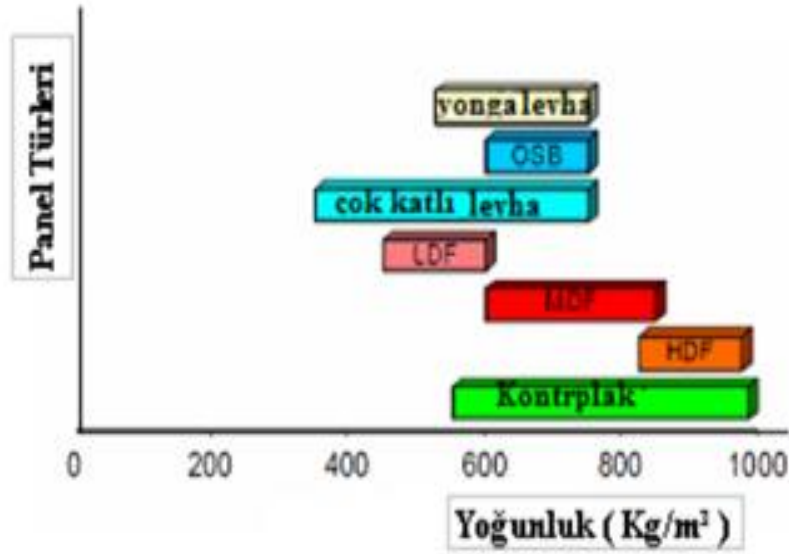
Bu amaçla atık MDF'den elde edilen lifler ve ham odun lifleri, MDF üretimi öncesinde üre-formaldehit (UF) reçinesi kullanılarak kraft lignin ile modifiye edilmiştir. MDF levhalar, atık MDF'den elde edilen liflerin ham ağaç liflerine farklı oranlarda (ağırlıkça %10 ve %30) karıştırılması ile üretilmiştir. Üretilen MDF'nin suya direnci, mukavemet özellikleri, formaldehit emisyonu ve termal özellikleri üzerindeki genel etkisi incelenmiştir.

1.1. GENEL BİLGİLER

1.1.1. Lif Levhaların Tanımı ve Sınıflandırılması

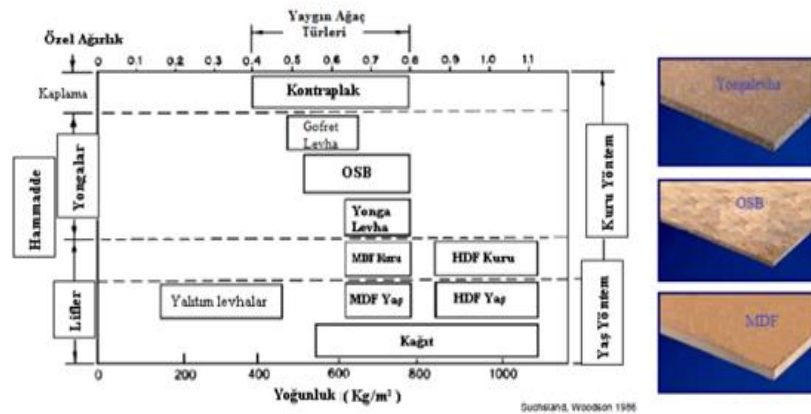
Liflevha, odun ve lignoselülozik malzemelerden elde edilen, lif demetlerinin doğal keçeleşme ve yapışma özelliklerinden yararlanılarak veya ilave tutkal püskürtülerek kurutulduktan sonra oluşturulan levha taslağının yüksek basınç ve sıcaklık altında preslenmesi sonucu meydana gelen kompozit bir levhadır (Eroğlu, 1988).

Ahşap esaslı kompozit levhaların yoğunluklarına göre sınıflandırılması Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Ahşap esaslı kompozit levhaların yoğunluklarına göre sınıflandırılması (Suchsland ve Woodson 1986).

Liflevhalar genellikle yoğunluklarına göre sınıflandırılmaktadır (Şekil 1.2). Liflevhalar hem kuru hem de yaş proses ile üretilebilmektedir. Yüksek yoğunlukta liflevha (HDF) ve orta yoğunlukta liflevha (MDF) kuru yöntemle üretilmektedir. Düşük yoğunlukta liflevha (LDF), MDF ve izolasyon levhası yaş yöntemle üretilebilmektedir. (Wood Handbook 1999).



Şekil 1.2. Ahşap esaslı kompozit levhaların üretim şekline göre sınıflandırılması (Suchsland ve Woodson 1986)

1.1.1.1. Yoğunluklarına Göre Liflevhaların Sınıflandırılması

Yoğunluklarına göre liflevhalar ISO 818 (1975)'e göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır:

- Düşük yoğunlukta liflevhalar (LDF) - izolasyon liflevhası ($<0,35 \text{ g/cm}^3$)
- Orta yoğunlukta liflevhalar (MDF) ($0,35 \text{ g/cm}^3 - 0,80 \text{ g/cm}^3$)
- Yüksek yoğunlukta liflevhalar-sert liflevhalar (HDF) ($0,80 \text{ g/cm}^3 - 1,1 \text{ g/cm}^3$)

1.1.1.2. Üretim Yöntemlerine Göre Liflevhaların Sınıflandırılması

Liflevha üretimi 3 farklı yöntemle yapılmaktadır.

- Yaş yöntem,
- Yarı kuru yöntem
- Kuru yöntemdir.

Günümüzde üretim yöntemlerinden en çok tercih edilen yöntem kuru yöntemdir. Diğer yöntemlerin maliyetlerinin yüksek oluşu ve günümüzde çok önemli olan atık yönetimi göz önüne alındığında tüm dünyada terkedilmeye başlanmıştır.

Yöntemlerin ayrıştığı en belirgin etken levha taslağının oluşumundaki liflerin içindeki rutubet miktarıdır. Rutubet oranı, yaş yöntemle üretimde %100 veya daha yüksek, yarı kuru yöntemle üretimde %12 ile 45 arasında, kuru yöntemle üretimde ise %5-12 arasında değişmektedir.

Diğer önemli husus ise, liflerin taşındığı ve presleme öncesinde oluşturulan levha taslağının hazırlandığı yerdir. Yaş yöntemde bahsedilen işlemler su kullanılarak sağlanır. Yarı kuru ve kuru üretim yöntemlerinde pnömatik ve mekanik araçlar kullanılarak sağlanır. Bunların dışında, yapıştırıcı olarak katkı maddelerinin kullanılıp kullanılmamasını da önemli bir farklılık olarak söylenebilir. Yaş yöntemle üretimde sadece özel ürünlerde yapıştırıcı kullanılırken, yarı kuru ve tam kuru yöntemle yapılan üretimlerde yapıştırıcı kullanılması zorunludur.

1.1.1.2.1.Yaş Yöntemle Üretilen Liflevhalar

Yaş yöntem kullanılan üretim proseslerinde levha taslağı oluşturma ortamı sulu lif süspansiyonu şeklindedir. Presleme öncesi oluşturulan levha taslağının rutubeti %100'den fazla olmaktadır. Bu husus, yaş yöntemi diğer üretim yöntemlerinden farklı kılan temel özelliktir. % 1–2 arasında olan lif süspansiyonu bir elekten geçmekte ve mümkün olduğu oranda homojen lif dağılımı yapılarak lif keçesi haline dönüşmektedir. Yaş yöntemde homojen bir levha taslağı oluşturulması en önemli sorundur. Çünkü lifler demetler halinde topaklaşmaya meyilli olduğundan, topaklaşmayı önlemek için mekanik karıştırma işlemi yapılmaktadır. Elde edilen lif keçesi preslerde sıcaklık ve basınç altında preslenmektedir. (Eroğlu 1988).

Yaş yöntemle ilave bir tutkal olmadan levha üretimi mümkündür. Lifler arasındaki yapışmayı sağlayan, odun yapısında bulunan hemiselülozlerin hidrolizi ile oluşan maddeler ve lameldeki lignindir. Yaş yöntemle üretilen levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacı ile levhada istenilen kalite özelliklerine göre %1–3 oranında fenol formaldehit, , termoplastikler vb. ilave yapıştırıcılar kullanılabilir. (Eroğlu 1988).

Üretilen levhaların yüksek nemli koşullarda boyutsal stabilizasyonunu korumak amacıyla tam kuru lif ağırlığına oranla %1–2 oranında parafin ya da parafin emülsiyonu kullanılabilir. (Eroğlu 1988).

Sert liflevha üretiminde levhanın yüzeyleri %7–12 oranında kuruyan ve sertleşen yağlar ile emprenye edilerek ekstra sert lif levha üretimi mümkündür. (Akbulut 2001).

1.1.1.2.2. Yarı Kuru Yöntemle Üretilen Liflevhalar

Yarı kuru yöntemde oluşturulan levha taslağının rutubeti yaklaşık %12–45 arasında olup, pres öncesi levha taslağının oluşturulmasında sulu ortam olmadan havalı ya da mekanik ekipmanlarla serme işlemi yapılmaktadır. Bağlayıcı madde olarak orta lamelde bulunan ligninle sentetik bağlayıcılar kullanılmaktadır. Yarı kuru yöntemle genellikle bir yüzü düzgün levhalar üretilmektedir (Eroğlu 1988).

1.1.1.2.3. Kuru Yöntemle Üretilen Liflevhalar

Bu yöntemde presleme öncesi oluşturulan levha taslağının rutubet oranı %8-12 arasındadır. Liflendirme sonrası tutkallanan liflerin rutubetinin uzaklaştırılması için liflere kurutma işlemi uygulanmaktadır. Kurutma işlemi sonrasında rutubeti azaltılan lifler mekanik

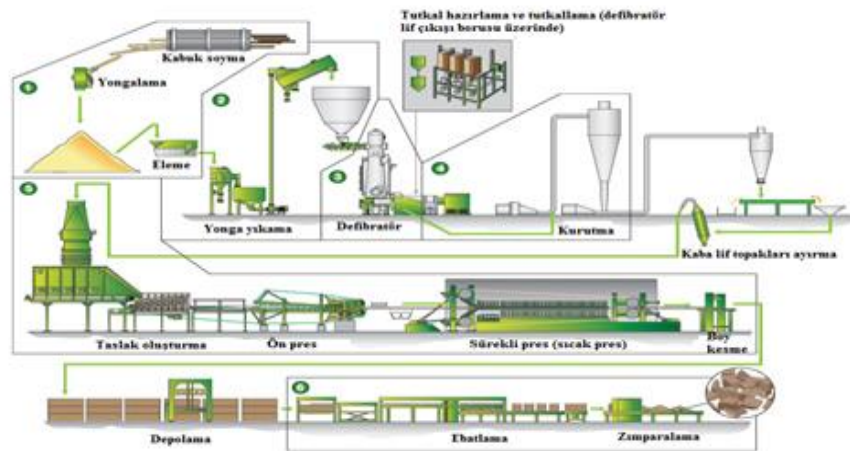
ve havalı serme yapılarak, presleme öncesi istenilen yoğunluk ve kalınlığa göre levha taslağı oluşturulmaktadır. Kurutulmuş ve %7-12 tutkalla muamele edilmiş lifler, sıcaklık ve basınç altında preslenmektedir.

Levhaların suya karşı direnci ve yüksek nemli koşullarda boyutsal stabilizasyonunu korumak amacıyla tam kuru lif ağırlığına oranla %0,3–2 oranında parafin ya da parafin emülsiyonu kullanılabilmektedir.

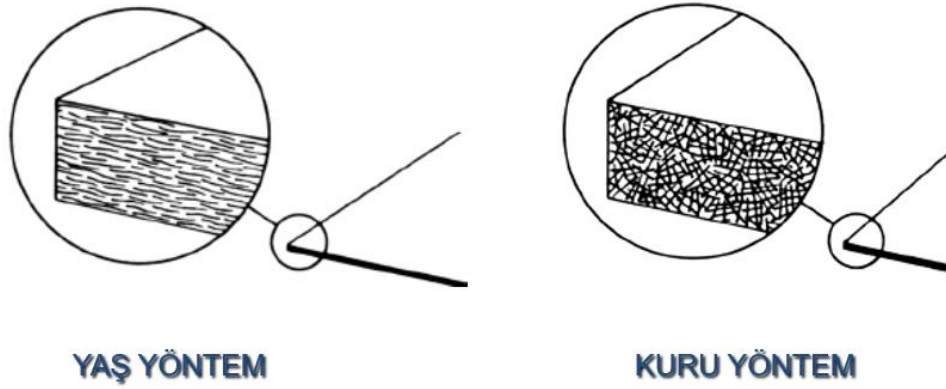
Dış ortamda kullanılacak levhalarda asfalt veya asfalt emülsiyonları kullanılabilmektedir. Kuru yöntemde odun bileşenlerinden selüloz, hemiselüloz ve ligninin oluşturduğu bağlar olmadığından tam kuru lif ağırlığına oranla %7–12 oranında üre formaldehit, melamin üre formaldehit gibi tutkallar kullanılmaktadır. Kuru yöntemle levhalar 600–850 kg/m³ yoğunlukta ve 1.5–40 mm kalınlıkta üretilebilmektedir. Bu yöntemle üretilen levhalar ahşap malzeme gibi kolaylıkla işlenebildiğinden mobilya üretiminde ve dekorasyon işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

HDF yüksek yoğunluklu liflevhalar (850–1000 kg/m³) çoğunlukla zemin kaplamaları uygulamalarında parke olarak kullanılmaktadır. HDF'lerin formaldehit emüsyonunun E1 sınıfında olması, ayrıca aşınma, çizilmeye karşı dirençli, zeminde kullanıldığı için rutubete karşı dayanıklı (MR) ve yangına karşı dayanıklı (FR)'lık gibi özelliklerde olması beklenmektedir (Eroğlu 1988).

Kuru yöntem ile liflevha üretim prosesi iş akışı genelde aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Kuru Yöntem Liflevha Üretim İş Akışı



Şekil 1.4. Yaş Yöntem ve Kuru yöntemle üretilen MDF de Lif Yönleri

Yaş Yöntemle Üretilen Liflevhada;

- Sulu ortamda serme nedeniyle lifler yüzeye paralel iki boyutlu
- Bütün liflere yüzeye paralel
- Yüksek esneklik
- Üstün boyanabilirlik

Kuru Yöntemle Üretilen Liflevhada;

- Havalı ve mekanik serme nedeniyle lifler rasgele dağınık halde üç boyutlu dağılım
- Bazı lifler dikey yönde uzanır.
- Yüksek yüzey sertliği
- Üstün iç yapışma (minimum ayrılma)
- Yüksek delaminasyon direnci

Bir lifin şekli (uzunluk, çeper kalınlığı ve yoğunluğu) ve yapısı lif morfolojisini ifade etmektedir. Lif morfolojisi; levhanın mekanik ve fiziksel özellikleri, pres öncesi oluşturulan levha taslağının homojenliği, yaş yöntemde süzülme (drenaj), yaş ve kuru yöntemde presleme öncesi levha taslağı oluşumunda liflerin yönlenmesi ve levha yüzey pürüzlülüğü bakımından önemlidir (Şekil 1.4).

Lif uzunluğu arttıkça liflevboyuhanın tsal stabilitesi iyileşir. Yani, levhanın rutubet alıp vermesiyle boyutları daha az değişir. Levhanın su alma ve kalınlığına şişme oranları da artan lif uzunluğu ile azalmaktadır. Uzun lifler, özellikle sert liflevha üretiminde serme sırasında pres öncesi levha taslağı yüzeyinde yoğunluk bakımından küçük düzensizliklere neden olan kümelenmeler oluşturmaktadır. Uzun lifler levhanın başta eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü olmak üzere mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Ülkemizde çoğu levha üreticisi kuru yöntemle üretim yapmaktadır.

1.1.2. MDF'nin Tanımı, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları

Orta yoğunlukta liflevha (MDF), lignoselülozik veya odun hammaddelerinden termomekanik olarak elde edilen liflerin %6–11 rutubet oranında kurutulduktan sonra, üre formaldehit, melamin formaldehit, melamin üre fomaldehit gibi termoset veya akrilik bazlı reçinelerle tutkalandıktan sonra oluşturulan levha taslağının yüksek sıcaklık ve basınç altında preslenmesiyle elde edilen kompozit levhadır (Akbulut 2001).

Orta yoğunluklu liflevhalara son yıllarda dünya'da artan talepten dolayı üretim hacmi ve kullanım yerleri artmaktadır. Liflevhalar Avrupa'da genellikle mobilya endüstrisinde ve zemin uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuzey Amerika'da ise yapı malzemesi olarak tercih edilmektedir. Liflevhalar ülkemizde genellikle mobilya endüstrisinde, zeminde parke olarak (HDF), kapı ve profil üretiminde kullanılmaktadır. LDF (düşük yoğunlukta lif levha) MDF ve HDF'ye göre düşük yoğunluklu ve poröz yapıda olduğundan tavan, ısı ve ses izolasyonu, ara bölme gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Liflevhalar bazı özelliklerinden dolayı yaygın kullanım alanına sahiptir. Lif levhanın özellikleri;

- Yüzey yoğunluğunun ve yüzey kalitesinin yüksekliğı
- Yoğunluk profilinin düzgün olması ve levhanın enine yönünde ve kalınlığı boyunca homojen olması
- Üretim prosesinde farklı odun türlerinin kullanılabilmesi (düşük kaliteli odun ve tarımsal esaslı yıllık bitkilerin kullanılabilmesi)
- Mekanik ve fiziksel özelliklerinin yüksek olması
- İşlenebilirliğinin ve şekil verilebilirliğinin yüksek olması
- Yanmaya ve rutubete karşı dayanıklı üretilmesi
- Farklı kalınlık ve ebatlarda üretilmesi

- Melamin reçinesi emdirilmiş emprenyeli kâğıt, ahşap kaplama, pvc, membran, vb. dekoratif kaplama malzemeleri ile kaplanabilmesi

Yukarıda belirtilen özellikler, orta yoğunlukta liflevhanın tercih edilmesindeki en önemli özelliklerdendir. Bu sebeplerden dolayı mobilya üreticileri yonga levhaya göre MDF'yi daha çok tercih etmektedir. Avrupa MDF üreticileri birliğinin sınıflandırmasına göre yoğunluklarına göre MDF levhalar aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

Yoğunluklarına göre;

- Yüksek yoğunluklu liflevha (HDF): Yoğunluk $\geq 800 \text{ kg/m}^3$
- Orta yoğunluk liflevha (MDF)

1. Standart MDF: $650 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 800 \text{ kg/m}^3$

2. Hafif MDF: $550 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 650 \text{ kg/m}^3$

3. Çok Hafif MDF: $450 \text{ kg/m}^3 \leq \text{yoğunluk} < 550 \text{ kg/m}^3$

TSE EN 622-5'e göre kullanım yerlerine göre MDF;

- MDF, Kuru ortamda kullanılan MDF
- MDF.H, Nemli ortamlarda kullanılan MDF
- MDF.LA, Kuru ortamlarda kullanılan yük taşıyıcı MDF
- MDF.HLS, Nemli ortamlarda kullanılan yük taşıyıcı MDF
- L-MDF, Kuru ortamlarda kullanılan hafif MDF
- L-MDF.H, Nemli ortamlarda kullanılan hafif MDF
- UL1-MDF, Kuru ortamlarda kullanılan çok hafif MDF
- UL2-MDF, Kuru ortamlarda kullanılan çok hafif MDF
- MDF.RWH, Zemin ve çatılarda kullanılan MDF

1.2. Ahşap Esaslı Levha Endüstrisinin Dünya ve Türkiye'deki Durumu

Liflevha endüstrisi ilk olarak 1900'lü yılların başlarında olsa da, gerçek anlamda ticari üretimi ikinci dünya savaşı yıllarında ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmıştır. 1898 yılında Büyük Britanya'da ilk liflevha üretimi yapan fabrika kurulmuştur. 1908 yılında New

Jersey’ de (A.B.D.) 2. Liflevha fabrikası ve 1909 yılında ise Kanada’ da 3. olarak kurulan fabrikalar bunu takip etmiştir. Donanımlı olarak ilk liflevha fabrikası 1926 yılında Mississippi’de (A.B.D.) kurulmuştur (Tank ve ark., 1998, Akbulut, 2001).

Liflevha üretiminin ilk döneminde tüm dünya genelinde liflevha üretimi bir milyon tonun altında iken, üretimin Kuzey Amerika, Avrupa ve Avustralya’da yoğunlaştığı görülmektedir. O dönemde Avrupa’nın büyük kısmı savaşta olması nedeniyle liflevha üretimi yapılmazken sadece İsveç, Norveç ve Finlandiya’ da liflevha üretimi gelişmeye devam etmiştir (Akbulut, 1999).

1.2.1. Dünya’da Ağaç Bazlı Panel Endüstrisinin Durumu

Avrupa’da MDF levha endüstrisindeki taleplerin yükselmesi ile levha üretim kapasite miktarları da artış göstermektedir. Dünya MDF üretim kapasitesi 2000-2011 yılları arasında %179.4’a ulaşmıştır.

Bugün Türkiye’nin ahşap esaslı levha endüstrisinin Dünya ve Avrupa’daki sıralaması Türkiye için gurur kaynağıdır. Türkiye, Dünya ağaç bazlı panel üretiminin %5.2’sini, laminat parke üretiminin ise %12’sini karşılamaktadır. 2020 yılı verileri incelendiğinde Dünya genelinde ağaç bazlı panel toplam üretimi 200 milyon m³ olarak gerçekleşmiştir.

Ahşap esaslı kompozit levha üretiminde son 15 yılda dünyada ortalama bileşik büyüme oranı %3.6 iken; aynı dönemde ülkemizde bu oran %6,5 olmuştur. Dünyadaki toplam 200 milyon m³ üretimin yarısından fazlası Asya’da üretilmektedir (Şekil 1.5). Daha sonra Avrupa %35’lik oranla 2. Sırada bulunmaktadır. Türkiye 10.4 milyon m³’lük üretim ile üretim payının %5.2’sini karşılamaktadır. Bu orana yurt dışında üretim yapan Türk şirketlerin üretimleri dahil edilerek hesaplanmıştır.



Şekil 1.5. Ahşap esaslı kompozit levha üretimi dünya sıralaması (FAO, MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği, Ahlstrom-Munksjö (2020)

Avrupa’da liflevha üretimi 6 milyon m³ / yıl üretim kapasitesi ile 1. Sıraya yerleşmiştir. Parke üretim kapasitesi 120 milyon m² / yıl üretimle 2. Sırayı almaktadır. Yonga levha üretim kapasitesi 4.4 milyon m³ / yıl ile 3. Sırayı almaktadır (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Ahşap esaslı kompozit levha üretimi Avrupa sıralaması (FAO, MDF ve Yonga Levha Sanayicileri Derneği, Ahlstrom-Munksjö (2020).

Fortune Business Insights'ın raporuna göre , MDF küresel pazar büyüklüğü 2020'de 38.25 milyar ABD dolarıydı ve 2021'de 39.04 milyar ABD dolarından 2028'de 57.11 milyar ABD dolarına çıkması bekleniyor. Kuzey Amerika ve Avrupa'da 2021 yılında ticari ve evsel ortamların yenilenmesinden kaynaklanan büyüme gözlemlendi. Bu davranışın, COVID-19 pandemisi sonrası dönemde daha da yoğunlaştığı görülmektedir. Rapor ayrıca Latin Amerika'nın Amazon gibi ormanların varlığından dolayı kolay ve ucuz geniş bir ham madde mevcudiyetine sahip olduğunu ve ana MDF bölgesel uygulamasının inşaat sektöründe olduğunu vurgulamaktadır .

1.2.2. Türkiye’de Ağaç Bazlı Panel Endüstrisinin Durumu

Türkiye’de ilk liflevha tesisi 1958 yılında Selolit A.Ş. firması tarafından yaş yöntemle 18.000 m³ /yıl üretim kapasitesi ile İzmir’de kurulmuş ve sonraki yıllar da Manisa’ya taşınmıştır. Türkiye’de ilk MDF tesisi Ordu’da Çamsan A.Ş. tarafından 1985 yılında katlı pres üretim hattı kurulmuştur. İlk sürekli presle MDF üretimi İse Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi A.Ş. tarafından 1994 yılında Gebze, İzmit’te faaliyete başlamıştır (Yonga Levha Sanayicileri Derneği, 2012).

Türkiye’de çok sayıda ahşap esaslı levha üreticisi bulunmaktadır. 2020 yılı sonunda Türkiye’de üretilen yonga levha, liflevha ve OSB toplamda 15.2 milyon m³ kapasiteye ulaşmıştır.

Son yirmi yılda yapılan yatırımlarla, dünyanın en yeni ve modern tesisleri ülkemize kazandırıldı. Bu sayede Türkiye global bir ahşap esaslı kompozit levha üretim merkezi haline gelmiş olmaktadır. Ülkemiz önceki yıllarda levha ihtiyacının %15-20'sini ithalatla karşılarken, yapılan son yatırımlarla birlikte günümüzde ahşap esaslı kompozit levha ithalatı neredeyse sıfırlanmış ve üretimin yaklaşık %25'i ihraç edilir hale geldiği görülmektedir.

Türkiye'de MDF endüstrisi, imalat sanayi içinde ileri teknoloji ve işletmecilik uygulamalarında yapılan yeni yatırımlar ile en çok gelişim gösteren sektörlerden biri haline geldi (Tablo 1.2).

Türkiye levha sektörü gösterdiği gelişim potansiyeli ve başarılarıyla dünya sıralamasında kendini ispatladığı görülmektedir. Dünyanın en büyük 2. levha üreticisi olarak bu sektörde yapılan her türlü yatırım ve faaliyet, sektörün gelişimi ile ülke ekonomisinin hedeflerine ulaşmasında ve cari açığın azaltılmasına büyük katkı sağlamaktadır (Şekil 1.7).

MDF, yonga levha, OSB, laminat parke, kapı yüzeyi, kontrplak ağırlıklı ürünler olarak bilinen ahşap esaslı levha sektörü raporlarına bakıldığında, orta yoğunluklu liflevha (MDF) pazarının büyüklüğü 2020 yılında tahmini US \$26.4 milyar iken 2027 yılına kadar bu rakamın US \$50.2 milyar olması bekleniyor. Sektörde özellikle Asya'da çok hızlı bir büyüme görülüyor.

Amerika pazarındaki tahmin edilen hacim 7,1 milyar USD iken, dünyanın ikinci büyük ekonomisine sahip Çin'de 10.6 milyar USD olması beklenmektedir.

Türkiye'de ağaç bazlı kompozit levha ve mobilya sektöründe direkt ve dolaylı olarak 1 milyon kişi istihdam edilmektedir (Şekil 1.8).

Orman ürünleri endüstrisinde üretim yapan firmaların çoğunun TSE kalite yeterlilik ve TSE uygunluk belgeleri bulunmaktadır. Üretimler ilgili standartlarda belirtilen koşullara göre gerçekleşmektedirler.



Şekil 1.7. Türkiye’deki Ahşap Esaslı kompozit levha üreticileri

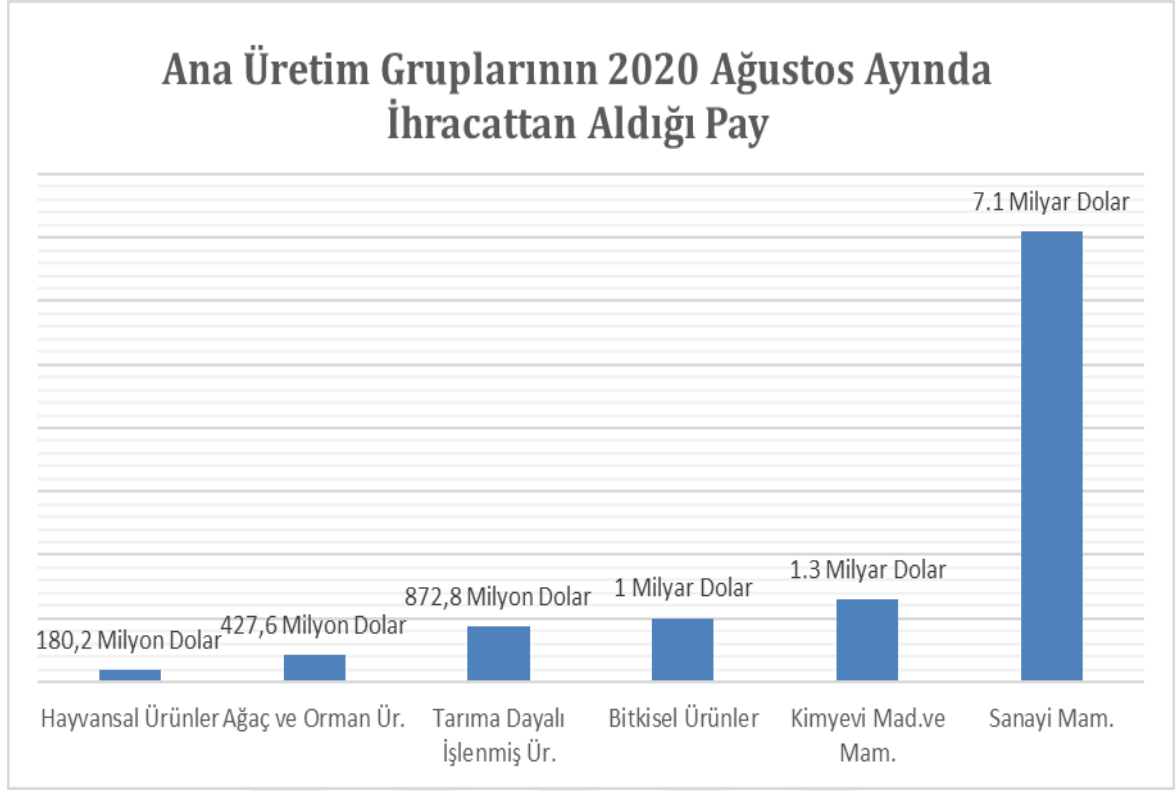
İhracat yapan ana üretim grupları bazında incelendiğinde ağaç bazlı panel üreticilerinin içinde bulunduğu ağaç ve orman ürünleri endüstrisine olan ilgi tüm Dünya’da artmaya devam etmektedir. 2020 yılı Ağustos ayında %3.4 oranında büyüme kaydetmiştir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Ana Üretim Gruplarına Göre 2020 yılı Ağustos Ayında İhracat Payları (TIM, 2020)

SEKTÖRLER	1-30 AĞUSTOS				1 OCAK - 31 AĞUSTOS			
	2019	2020	Değişim (20/19)	Pay(20) (%)	2019	2020	Değişim (20/19)	Pay(20) (%)
AĞAÇ VE ORMAN ÜRÜNLERİ	413.010	427.625	3,5	3,4	3.536.358	3.430.097	-3	3,3
Mobilya, Kağıt ve Orman Ürünleri	413.010	427.625	3,5	3,4	3.536.358	3.430.097	-3	3,3

Tablo 1.2 Türkiye’deki Ahşap esalı levha üreticilerinin kurulu kapasite bilgileri

Kurulu Kapasite (Yıllık, 320 gün kabulü ile)				
Üretici Firma	YONGA LEVHA	MDF	OSB	Toplam
Kastamonu Entegre Ağaç San.ve Tic. A.Ş.	1.878.400	1.780.000		3.658.400
Starwood Orman Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.	1.264.000	1.401.000		2.665.000
Yıldız Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.	912.000	1.632.000		2.544.000
Yıldız Sunta MDF Orman Ürünleri Sanayi Tesisleri İthalat İhracat ve Ticaret A.Ş.	544.000	568.000		1.112.000
AGT Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.		808.000		808.000
Kronospan Entegre Orman Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.	64.000	481.600	166.400	712.000
Çamsan Ordu Ağaç San. ve Tic. A.Ş.		704.000		704.000
Orma Orman Mahsülleri İntegre Sanayi ve Ticaret A.Ş.	672.000			672.000
Çamsan Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.		560.000		560.000
Teverpan MDF Levha Sanayii ve Ticaret A.Ş.	144.000	410.560		554.560
Küpeliler Otomotiv Ambalaj İnşaat Malzemeleri Ticaret ve Sanayi A.Ş.	70.400		200.000	270.400
Vezirköprü Orman Ürünleri ve Kağıt Sanayi A.Ş.	56.000	192.000		248.000
Divapan Entegre Ağaç Panel Sanayi ve Ticaret A.Ş.		192.000		192.000
Beypan Entegre Orman Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.		96.000		96.000
Balkanlar Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.		96.000		96.000
Sumaş Sun-i Tahta ve Mobilya Sanayi ve Ticaret A.Ş.			70.400	70.400
Koyuncuoğlu San. ve Tic. A.Ş.			70.400	70.400
İlker Entegre Ağaç Sanayi Tekstil İnşaat ve Ticaret A.Ş.	64.000			64.000
Gentaş Genel Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş.	40.000			40.000
Selolit Liflevha Sanayi ve Ticaret A.Ş.		19.200		19.200
Toplam	5.708.800	8.940.360	507.200	15.156.360



Şekil 1.8. Orman Ürünleri Endüstrisinde 2020 yılı Ağustos Ayında İhracat Payları (TIM, 2020)

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. MDF ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

Liflevha üretim prosesinde odun ve lignoselülozik hammaddeler, tutkallar, su itici kimyasallar, sertleştirici maddeler, yanmaya karşı dirençli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Kuru yöntemde üretilen liflevhaların içeriğinin yüzdelik dağılımı incelendiğinde ürün tipine göre, %75–90 odun ve diğer lignoselülozik maddeler, %8–20 kimyasallar, %4–10 arasında nem içerdiği görülmektedir.

2.1.1. Odun ve Lignoselülozik Maddeler

Ormanların giderek azalmasıyla birlikte, ahşap esaslı kompozit levha üreticilerinin kaliteli odun hammaddesine olan talepleri artmıştır. Odun hammaddesine artan bu talebin karşılanması için masif ağacın yerini alabilen daha düşük kalitede odun kullanılarak üretimi gerçekleştirilen liflevha ve yongalevha üretimi yapılmıştır. Ancak, liflevha üretiminde düşük kaliteli odun kullanım imkanının fazlalığı nedeniyle MDF yonga levhaya kıyasla daha avantajlı bir üründür.

MDF üretiminde çok farklı çeşitlilikte ağaç türleri kullanılmaktadır. Odun hammaddesinden farklı olarak iki tür hammadde daha, MDF üretiminde kullanılmaktadır. Birinci olarak, biyolojik lignoselülozik lifler (tarımsal esaslı yıllık bitkilerden elde edilenler); bunlardan ikincisi olarak kullanılan hammadde ise mineral liflerdir.

Örnek olarak şeker kamışı atıkları, bambu, buğday sapı, mısır ve diğer tahıl sapları ve keten lifleri verilebilir. Uzak doğu'da buğday saplarından liflevha üretimi yapılmaktadır. Amerika'da izolasyon liflevhası üretiminde şeker kamışı kullanılmaktadır. Ayrıca atık kâğıtlarda MDF üretiminde değerlendirilebildikleri için MDF'nin hammaddesi yonga levhaya kıyasla daha geniş sınırlar içindedir (Çamlıbel, 2012).

Liflevha üretiminde orta yoğunlukta, üzerinde budak bulunmayan, içeriğinde tanen ve reçine gibi ekstraktif maddelerin oranı düşük olan , pH değeri 4-5 ile 8 arasında değişen, rutubet oranı %40-60 arasında ve kabuk oranı %20'yi geçmeyen odun hammaddeleri kullanılmaktadır. Liflevha üretiminde kullanım odun hammadesinde kabuk oranı arttıkça tutkal tüketimi artmaktadır.

Odun hammaddesindeki kum ve taş parçaları liflendirme makinası bıçaklarını aşındırmakta ve pişirme kazanında gereksiz yere hacim kaplayarak ısı ve buhar enerjisi kayıpları olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, fiziksel ve mekanik özellikleri iyi, kalitesi yüksek liflevha üretimi için kabukları soyulmuş odun hammaddesi kullanılmaktadır (Eroğlu, 1998).

Liflevha üretiminde kullanılacak odun hammaddesinin lif boyları, liflerin keçeleşme ve levha kalitesi için önem arz etmektedir. Yapraklı ağaçların lif boyları 0.8-2 mm, İğne yapraklı ağaçların ise 3-7 mm arasında değişmektedir.

Liflevha üretiminde uzun lifli odunlar kısa lifli odunlara göre daha çok tercih edilmektedir. Kısa lifli odunlarla yapılan üretimlerde tutkal tüketimi uzun lifli levhalarla yapılan liflevha üretimlerine göre daha yüksek olmaktadır. Keçeleşmenin yüksek kalitede oluşması için %70 iğne yapraklı ağaç, %30 yapraklı ağaç karışımı tercih edilmektedir. İğne yapraklı ağaç ile yapraklı ağaç odunu karışımlarından üretilen liflevhanın fiziksel ve mekanik özellikleri yüksek değerlere ulaşmaktadır (Eroğlu, 1998).

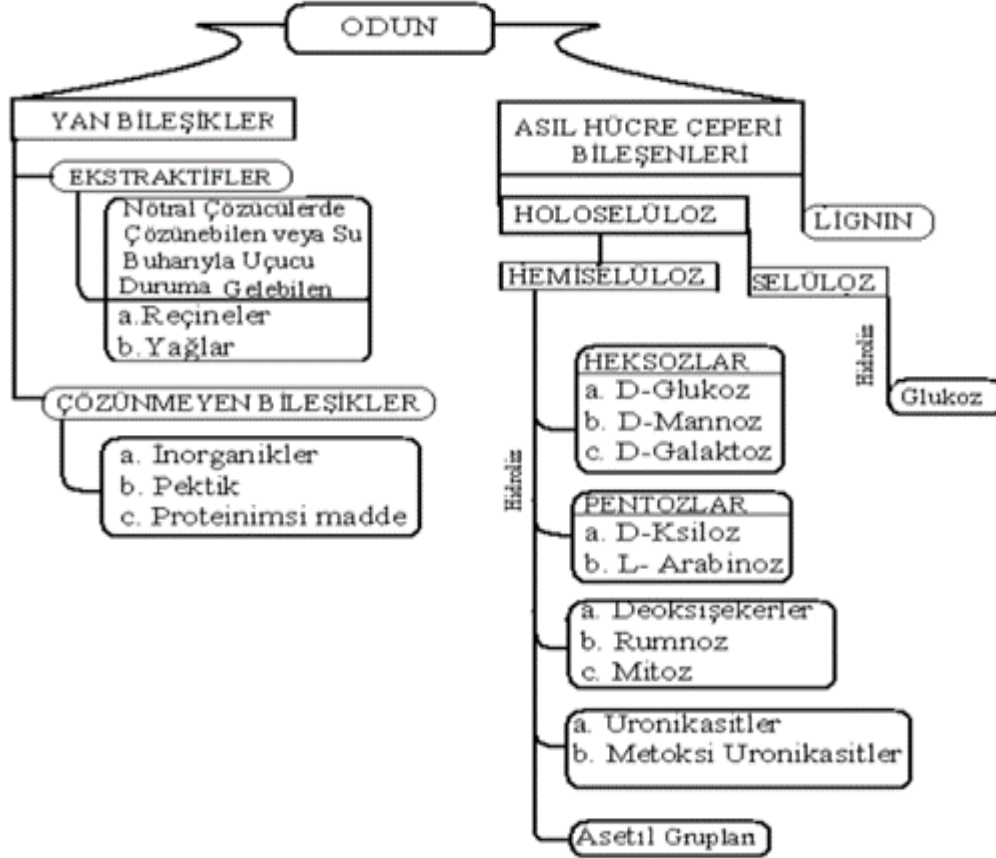
Günümüzde MDF üretiminde kullanılan odun hammaddesi karışımı ve liflerin boyutları üretilen MDF kalınlıklarına ve üretilen MDF'nin kullanılacağı özelliklere göre belirlenmektedir. Örneğin, 2,6 mm kalınlığında yüzeyinde boya uygulaması yapılacak bir levha üretiliyorsa liflerin kısa olması istenir. Liflerin boyutu ve lif levhanın yüzey kalitesi boya tüketimini ve son ürün kalitesini etkilemektedir. Ancak, üretilen 8 mm kalınlığında laminat parke üretiminde kullanılacak MDF'lerin liflerinin uzun olması istenir. Laminat parke için üretilen Hdf levhalarda mekanik özelliklerin daha yüksek olması, su alma ve kalınlığına şişme değerlerinin düşük olması istenir.

Günümüzde Türkiye'de odun hammaddesi darboğazı iyice artmıştır. İstenilen odun türleri istenen miktarda ve zaman tamamen karşılanamamaktadır. Özellikle iğne yapraklı ağaçların eksikliğini gidermek için yurt dışından hazır yongalar ithal edilmektedir.

Liflevha maliyetlerinin artmasını önlemek için odun hammaddesinin istenen özellikleri karşılayacak şekilde uygun olarak seçilerek kullanılması gerekmektedir. Liflevha üreticileri üretimde kullandıkları odun karışımlarında temin edilebilen odun hammaddelerine göre düzenlemeler yapmaktadır.

2.1.1.1. Odunun Kimyasal Bileşenleri

Odunun yapısı selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmaktadır (Şekil 2.1).



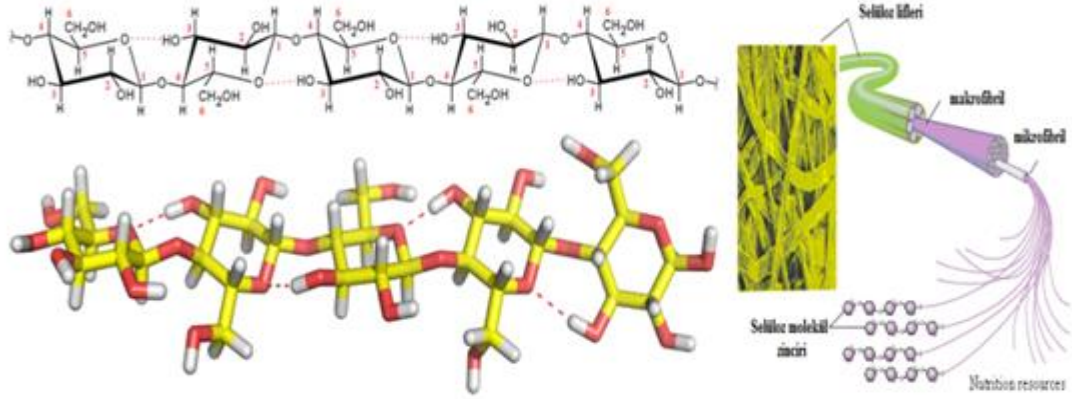
Şekil 2.1. Odunun kimyasal yapısı (Hafizoğlu 1982).

Odun, kimyasal yapısı C, H, O' den oluşmaktadır. N ve kül çok az miktarda bulunmaktadır. C: % 49–50, H: %5,8–6, N: % 0,2, O: % 43,5–44,5 ve kül: %0,2–0,5 arasında bulunmaktadır. (Hafizoğlu 1982).

2.1.1.1.1. Selüloz

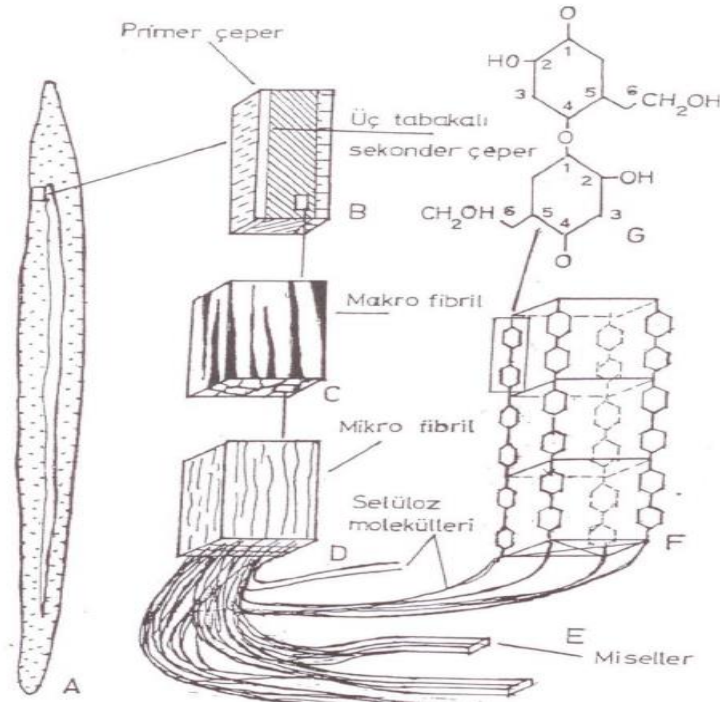
Doğada en çok bulunan organik maddelerden biri selülozdur. Selüloz, küçük bitkilerde ve mantolu hayvanların dokularında ve bitkilerin dokusunun önemli bir parçasını oluşturmaktadır. $(C_6H_{10}O_5)_n$ saf selülozun kapalı formülüdür, n sayısı polimerizasyon sayısını göstermektedir. Selüloz, 5 adet sellobioz'dan meydana gelmektedir (Şekil 2.2). Selüloz zincir uzunluğu 50000 Å ve polimerizasyon derecesi ise yaklaşık olarak 10000'dir. Polimerizasyon

derecesi 10.000-30.000 arasında olabilmektedir. Selüloz molekülleri 0.8 μm çapında, 5 μm (1/200 mm) boyunda olabilmektedir (Bozkurt 1992).



Şekil 2.2. Selüloz molekülü (Voet vd. 2008)

Selüloz molekülleri su ortamında değişiklik gösterdiğinden odun ve lignoselülozik hammaddelerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri değişmektedir. Selüloz molekülleri hücre çeperinde demetler halindedir. En küçük yapısal birimi elementel fibril olarak adlandırılır (Şekil 2.3). Bu elementel fibriller biraraya gelerek mikrofibrilleri oluştururlar. (Fengel ve Wegener, 1989).



Şekil 2.3. Selülozun yapısı (Ayrılmış N., 2000)

2.1.1.1.2 Hemiselüloz

Hemiselülozlar selülozdan sonra odunun kimyasal bileşenleri içerisinde diğer polisakkaritlerdir. Hemiselüloz asitle muameyle hidroliz olabilirler ve alkalilerin sulu çözeltilerinde çözünebilirler (Hafızoğlu ve Deniz, 2011).

Fotosentez sonucunda üretilen glikoz primer bir şekerdir. Hemiselüloz kimyasal yapı olarak selüloza benzemekte ve şeker gruplarından oluşmaktadır. Hemiselülozlar kâğıt ve lif levha sektöründe yapıştırıcı özelliğinden dolayı üretime katkıları oldukça fazladır (Eroğlu 1988).

Odun içerisinde hemiselülozlar odunun kuru ağırlığına göre yaklaşık %20-30 orandadır. Odun hammadesi içerisindeki hemiselülozlar ağaç türüne ve ağacın gövdesi, dalları kökleri gibi bölgelerde farklılıklar gösterir. (Hafızoğlu ve Deniz, 2011).

2.1.1.1.3 Lignin

Lignin, selülozdan sonra doğada en çok bulunan ikinci doğal polimerdir. Polifenolik yapısı nedeniyle ahşap yapıştırıcıların hazırlanmasında her zaman ilgi uyandırmıştır. Odunun ana yapısal bileşenlerinden biri olan lignin, büyük ölçüde dallanmış üç boyutlu bir biyopolimerdir. Lignin ticari olarak kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinin bir yan ürünü olarak, çoğunlukla kraft lignini ve lignosülfonatlar olarak izole edilir. Selüloz ve hemiselülozla karşılaştırıldığında hidrofobik bir karaktere sahiptir. Son zamanlarda ligninin ahşap esaslı kompozit levhalarda yapıştırıcı olarak kullanılması veya ahşapta modifikasyon kimyasalı olarak kullanılması bilimsel ilgi kazanmıştır. (Olgun, Ç., & Ateş, S. 2023)

Orman ürünleri endüstrisinde MDF üretim prosesinde biyo bazlı yapıştırıcıların kullanımı yetersiz olmasından dolayı bu konuda bilimsel çalışmalar artmaktadır. Günümüzde sürdürülebilir malzemelere yönelik artan trendle birlikte ve değişen regülasyonlardan dolayı MDF üreticileri de biyo bazlı yapıştırıcılara ilgi göstermektedir.

Sentetik tutkalların hammaddesi büyük oranda petrol ve doğalgaza dayalı olup, fosil yakıt rezervlerinin azalmasına bağlı olarak fiyatları da giderek artmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir çevre dostu biyo bazlı yapıştırıcıların üretimine öncelik verilmektedir. Hammaddesi yenilenebilir kaynaklar olan, açık havaya ve suya dayanıklı yapıştırıcıların geliştirilmesi gelecek açısından büyük önem taşımaktadır. Günümüzde saf ligninden yapılan

yapıştırıcıların hiçbirisi ticarileştirilmemiştir. Ancak sentetik tutkal ilavesiyle başarılı oldukları görülmüştür. (Pizzi, A. 2016).

Kraft lignin ahşap esaslı kompozit levha üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. (Karthäuser, J., Biziks, V., Mai, C., & Militz, H. 2021).

Lignin selülozdan sonra doğada en çok bulunan fenolik bir polimerdir. Fenolik bir polimer olmasından dolayı fenolik reçineler ve petro kimya ürünleri için önemli bir hammadde kaynağı olabilme özelliğine sahiptir (Sudo ve Shimizu, 1992).

Kağıt hamuru endüstrisinde atık olarak önemli miktarlarda lignin çıkmaktadır. Atık özelliği olan lignin farklı endüstriler için hammadde olma potansiyelindedir. (Fengel ve Wegener, 1989).

Kağıt ve levha sektöründe ligninden yapıştırıcı ve katkı maddesi olarak yararlanmak mümkündür. Modifiye lignin kullanılarak üretilbilecek ürünler arasında emisyon stabilizatörü dispersantlarda makro molekül olarak kullanımı, aktif karbon, polimerik materyal, veya karbon lifi de bulunmaktadır (Alma, 1999).

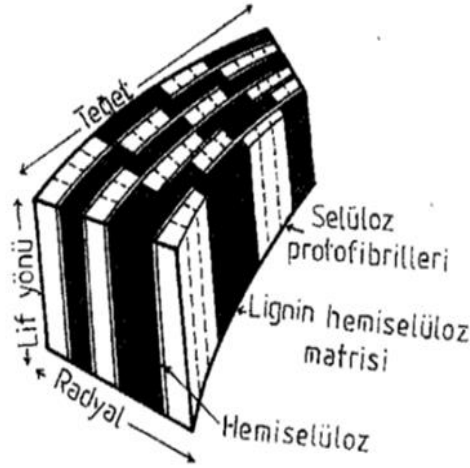
Fakat ligninden yararlanmayı kısıtlayıcı bazı durumlar bulunmaktadır kompleks kimyasal yapısı, molekül ağırlığındaki yüksek dalgalanmalar, safsızlıkların yüksekliği bunlardan bazılarıdır. Bundan dolayı elde edilen ligninin özellikleri kimyasal analizler ve spektroskopik metotlar ile karakterize edilmelidir (Hafizoğlu ve Deniz, 2011).

Odun ve tek yıllık bitkiler hücrelerden meydana gelmektedir. Yapraklı ağaç ve iğne yapraklı ağaçların hücrelerinde morfolojik farklılıklar bulunmaktadır.

Doğal bir malzeme olan odun ve tek yıllık bitkiler hücrelerden oluşmaktadır. İğne yapraklı, yapraklı ağaç odunlarını ve tek yıllık bitkileri oluşturan hücreler birbirinden morfolojik olarak farklıdır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Hücreler farklı morfolojik yapıya sahip olsalar da içerdikleri kimyasallar aynıdır. Odun hücre bileşenlerini oluşturan bu kimyasallar lignin, hemiselüloz ve selülozdur. Bundan dolayı lignoselülozik malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Bitkilerin anatomik farklılıkları nedeniyle odun hücre bileşenleri homojen bir dağılım göstermez ve her zaman aynı miktarda bulunmazlar (Şekil 2.4).

Selüloz hücre çeperinin iskeletini, hemiselülozlar ve lignin bu iskeleti saran ve boşlukları dolduran ara madde olarak söylenebilir. (Hafızoğlu ve Deniz, 2011).



Şekil 2.4. Hücre çeperinde selüloz, hemiselüloz, ligninin yerleşme düzenini gösteren kesikli lamel modeli (Bozkurt ve Erdin, 2000)

Polimer bir yapıya sahip lignin termoplastik özellik gösterir. Lignin yüksek sıcaklıkta yumuşayarak esnek bir form almakta ve yükseltile sıcaklık azaltıldığında sertleşmektedir. Bu ligninin termoplastik özelliğinden dolayı liflevha üretiminde yaygın şekilde yararlanılmaktadır. Lignin oranı iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlarda farklılık göstermektedir. İğne yapraklı ağaç odunlarının %24-33'ü, yapraklı ağaç odunlarının %16-24'ü ligninden oluşmaktadır (Şekil 2.5) (Hafızoğlu ve Deniz, 2011).

Lif Tipi	Selüloz (%)	Lignin (%)	Pentozan (%)	Kül (%)	Silis (%)
Pirinç	28-48	12-16	23-28	15-20	9-14
Buğday	29-51	16-21	26-32	4.5-9	3-7
Arpa	31-45	14-15	24-29	5-7	3-6
Yulaf	31-48	14-19	27-38	6-8	4-6.5
Çavdar	33-50	14-19	27-30	2-5	0.5-4
Şeker kamışı	32-48	19-24	27-32	1.5-5	0.7-3.5
Bambu	26-43	21-31	15-26	1.7-5	0.7
Kenaf	44-57	15-19	22-23	2-5	-
Jüt	45-63	21-26	18-21	0.5-2	-
Kenevir	57-77	9-13	14-17	0.8	-
İğne yapraklı ağaç	40-45	26-34	7-14	< 1	-
Yapraklı ağaç	38-49	23-30	19-26	< 1	-

Şekil 2.5. Lignoselülozik hammaddelerin kimyasal bileşimi (Han, 1998)

2.1.1.1.3.1 Lignin İzolasyonu

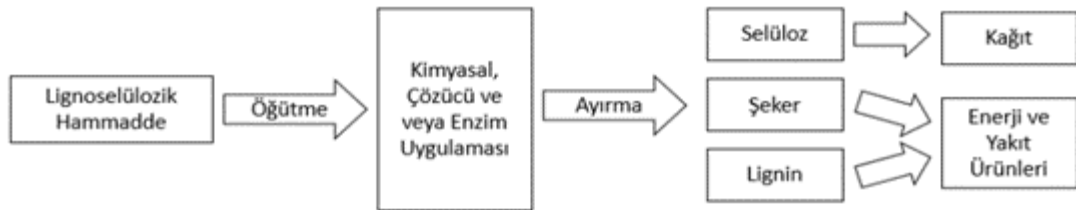
Lignin izolasyonu temel olarak iki kategoriye ayrılabilir;

- 1- Lignoselülozik hammaddelerin içerisindeki selüloz ve hemiselülozleri hidrolize etme ve veya polisakkaritleri çözerek kalıntı lignini elde etme
- 2- Delignifikasyon işlemi, kağıt ve biyo-etanol üretiminde kullanılan selüloz liflerini ayrıştırmak için ligninin çözülmesi ve sistemden uzaklaştırma (Holladay vd., 2007).

Lignin izolasyonu sonunda oluşan atık siyah renkli çözelti yüksek miktarda organik madde içermektedir (Dafinov vd., 2005).

Ligninin kalıntı olarak elde edildiği yöntemler;

En eski ve en yaygın şekilde günümüzde lignoselülozik hammaddelerdeki lignin miktarının belirlenmesinde de halen kullanılan Klason lignini yöntemidir. Bu yöntemde lignoselülozik malzemede bulunan ekstraktifler öncelikli olarak alkol-benzen ekstraksiyonu ile uzaklaştırılır (Şekil 2.6). Arkasından ekstrakte edilmiş numuneler %72'lik sülfürik (H_2SO_4) asit çözeltisi ile oda sıcaklığında 2 saat bekletilir. Ardından çözeltideki asit oranı %3 olacak şekilde su ile seyreltilir ve 4 saat boyunca kaynatılır. En eski ve en yaygın kullanımda yöntemdir, fakat farklı literatür çalışmalarında bu yöntemle lignin izolasyonu esnasında lignin yapısının değişebileceği bildirilmiştir (Lopez vd., 2010; Li, 2011).

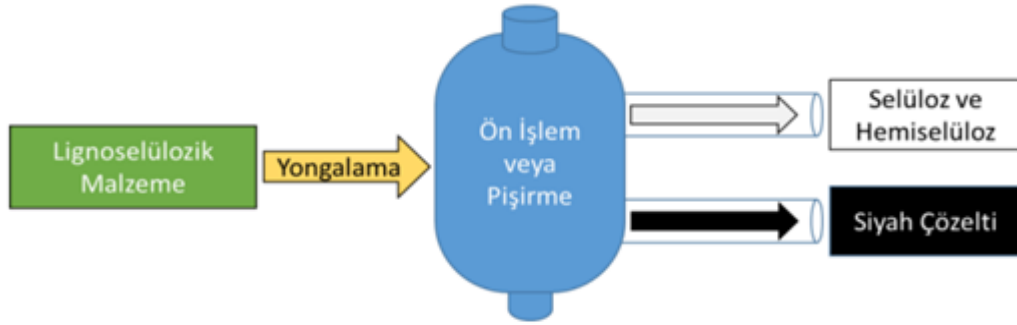


Şekil 2.6. Kalıntı lignin elde edilen üretim yöntemlerinin genel şeması (Holladay vd., 2007)

Lignin Delignifikasyon Yöntemleri;

Isı ve kimyasal işleme ligninin çözülerek uzaklaştırıldığı yöntemlerdir. Lignin delignifikasyonunda çözünerek uzaklaştırılan lignin atık çözelti içerisinde titrasyonla uzaklaştırılmakta ya da çözücünün uzaklaştırılması ile elde edilmektedir.

Özellikle kimyasal yöntemle kağıt hamuru üretiminde selüloz ve hemiselülozlara mümkün olan en az zarar verecek şekilde lignini çözerek uzaklaştırmak amaçlanır. Bu yöntemlerde lignin, kağıt hamurunun pişirilmesi sonrasında elde edilen siyah çözeltide çözülmüş durumda bulunmaktadır. Siyah çözeltilerin içerdikleri maddeler ve oranları elde edildikleri pişirme yöntemine göre farklılık gösterebilmektedir (Şekil 2.7). Kağıt hamuru üretimi günümüzde yaygın olarak alkali, asidik ve organasolv yöntemler olarak ayrılmaktadır (Kırcı, 2000).



Şekil 2.7. Lignin delignifikasyon yöntemlerinin genel şeması

Lignin delignifikasyon yöntemleri;

- Kraft Yöntemi
- Soda Pişirme Yöntemi
- Sülfite pişirme yöntemi
- Organasolv yöntemi
- İyonik sıvılarla lignin izolasyonu

Olarak sıralanabilir.

Kraft yöntemi dünyada en çok kullanılan yöntemdir. Günümüzde yaklaşık 130 milyon ton kağıt hamuru üretimi ile kimyasal yöntemle üretilen liflerin % 90'nı bu yöntemle üretilmektedir. Bu yöntemin yaygın olarak kullanılmasının sebebi, tüm lignoselülozik hammaddelerin kullanılabilir olması, dirençli kağıtlar üretilmesi, yüksek oranda kimyasal

geri dönüşümün mümkün olması ve enerji verimliliğinin yüksek olması şeklinde belirtilebilir. (Tran ve Vakkilainen, 2008).

Kraft yöntemi ile lignin delignifikasyonunda her ton kağıt hamurunun siyah çözeltisi içerisinde yaklaşık 350 - 500 kg lignin mevcuttur (Ghatak, 2012).

Kraft ligninini diğer yöntemlerden ayıran en önemli özellik yoğun β -O-4 bağı parçalanmasıdır. (Lora, 2008).

Soda yönteminde, kraft yönteminden farklı olarak sadece sodyum hidroksit kullanılmaktadır. Kraft yönteminde çıkan ve çevreye zararlı olan sülfür gazının yayılmaması, kükürt içermeyen lignin ve nano kristalin selüloz üretimi amacı ile kullanılmaktadır (Gomes vd., 2014).

Kraft yöntemi ile benzer şekilde en önemli delignifikasyon reaksiyonu alkali koşullarda fenolik olmayan β -O-4 bağlarının ayrılma reaksiyonudur (Dimmel ve Gellerstedt, 2009).

Ayrıca bu yöntemde pişirme işlemi esnasında karbonhidratlarda alkali koşullarda hidroliz ve soyulma reaksiyonları gerçekleşir. Her iki reaksiyonda da selüloz liflerinin polimerizasyon derecesinde önemli ölçüde düşüşler meydana gelmektedir (Dimmel ve Gellerstedt, 2009). Sülfite yönteminde pişirmede su, kireç ve kükürt gibi doğal, bol bulunan ve ucuz maddeler kullanılmaktadır. Aynı hammadde kullanıldığında hamur verimi kraft hamuruna göre yüksektir ve hamur rengi ağartılma işlemi yapılmadan bile oldukça açıktır.

Krafta yöntemine göre pişirme süresinin uzun olmasının nedenleri, pişirmede kullanılan kimyasal maddelerin atık pişirme çözeltisinden geri kazanılmasının zor olması ve hamurun direnç özelliklerinin kraft yöntemine göre düşük olmasıdır (Kırcı, 2000).

Lignosülfonat lignini sülfite yöntemle elde edilmektedir. Lignosülfonatın suda çözünebilir yapıda olması bu yöntemi öne çıkartmaktadır (Fernandez-Costas vd., 2014).

Organosolv yöntemler kağıt hamuru üretiminde kullanılan özellikle kraft ve sülfite metotlarına alternatif olabilecek teknolojilerin geliştirilmesi hedeflenerek ortaya çıkan ve temelinde organik çözücü bulunan metotlar olarak söylenebilir. (Şahin ve Cengiz, 2003).

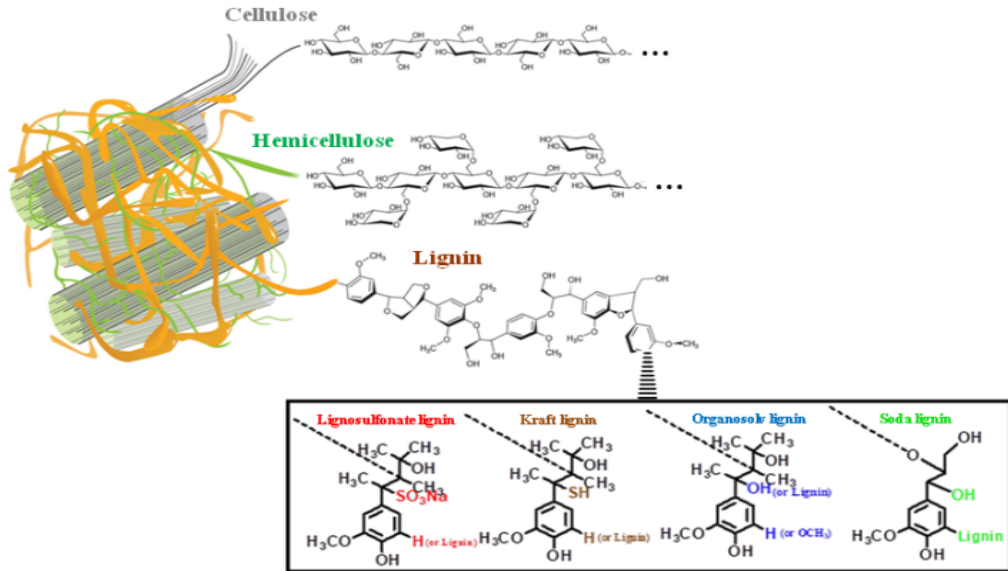
Bu yöntemle elde edilen lignin, ligninin izole edilmesinde kullanılan organik çözücünün ismi ile adlandırılmaktadır (Fengel ve Wegener, 1989).

Organosolv yönteminde organik çözücüler kullanıldığından lignin izolasyonu için ayrıntılı kimyasal işlem gerekmemektedir.

Lignin izolasyonunda iyonik sıvı kullanımı son yıllardaki araştırmalarda sıklıkla kullanılan yeni bir teknolojidir ve endüstriyel olarak uygulaması mevcut değildir. (Fernandez-Costas vd., 2014).

Lignin elde edilmesinde ligninin özelliklerini direkt etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler hammaddenin türü, lignin eldesi için tercih edilen pişirme yöntemi, uygulama yöntemindeki sıcaklık, basınç, ph değişimleri olarak söylenebilir. Lignoselülozik hammaddenin kimyasal bileşenlerinin değişkenliğide ligninin kalitesini ve özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Hafızoğlu ve Deniz, 2011).

Lignin eldesinde uygulanan pişirme yöntemi ve pişirme koşulları elde edilen ligninin kalitesini ve özelliklerini önemli derecede etkileyen değişkendir. Pişirme koşullarındaki değişkenliğe göre kimyasal reaksiyonlar farklılaştığından ligninin birçok özelliği değişmektedir. Elde edilen ligninin kalitesi ve özellikleri ligninin kullanım alanlarını etkilemektedir. (Melro vd., 2018).



Şekil 2.8. Farklı pişirme yöntemlerinden elde edilecek ligninlerdeki fonksiyonel grup değişimleri (Melro vd., 2018)

Lignin eldesinde pişirme yöntemlerinden alkali pişirmede reaksiyonlar daha karmaşıktır (Şekil 2.8). Alkali ortamda şişmiş olan lignoselülozik hammaddedeki lignin –OH

ve –SH iyonları ile fraksiyonlara ayrılmaktadır. Bu fraksiyonlar fenolat ve karboksilattır. Alkali pişirmede reaksiyonla lignoselülozik hammadde içerisindeki selüloz ve hemiselülozların bir kısmı çözünmektedir. Alkali pişirmeden elde edilen lignin asidik pişirmeye göre daha kararlı daha az saf olduğu tespit edilmiştir (Smook ve Kocurek, 1982).

Piştirme yöntemi değıştikçe ligninin geri kazanım yöntemide değışmektedir. Organosolv yöntemlerinde geri kazanım için çözücüyü uzaklaştırmak yeterli olurken sülfite yönteminde lignin suda çözünmektedir (Lin ve Dence, 1992; Lebo vd., 2001).

2.1.1.1.3.2 Lignin Karakterizasyonu ve Kullanım Alanları

Ligninin elde edilmesinde seçilen izolasyon yöntemi, lignoselülozik hammaddenin türü, botanik yapısı, odun hammaddesinin kök, dal veya gövde oluşu gibi değışkenler, elde edilen ligninin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir (Bajpai, 2017).

Lignin izolasyonundaki bu değışkenler ligninin kalitesini doğrudan etkilediği için dolaylı olarak ligninin kullanım alanlarındaki kullanılabilirliği de doğrudan değışmektedir. Lignin üzerine yapılan çalışmaların birçoğu lignoselülozik kaynaktan lignin izolasyonu sonrası mevcut ve potansiyel kullanım alanlarında kullanılabilirliğinin tespit etmek amaçlı karakterizasyonuna dayanmaktadır.

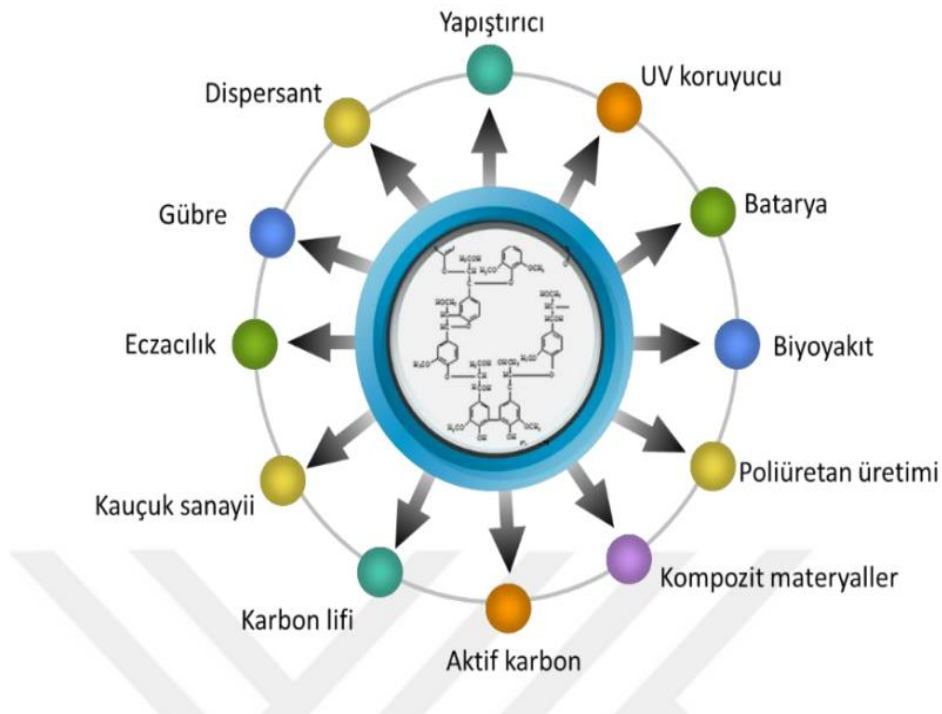
İlk kez 1865'te Schulze lignini terim olarak kullanmıştır. 1897'de Klason ligninin koniferil alkolle bağlantılı olduğu tespit etmiştir. Klason 1908 'de klason lignini yöntemini gerçekleştirmiştir. Zamanla Klason yöntemine alternatif birço yöntem geliştirilmiştir. 1856'da Björkman lignin yapısının tespitinde kullanılan öğütölmüş odun lignini yöntemini geliştirmiştir (Adler, 1971).

Polimerlerin kullanımında termal davranış, molekül ağırlığı ve molekül büyüklüğü önem arz etmektedir. Değışik molar kütlelere sahip kraft lignini ortalama molekül kütlesi 1000–2000 g/mol arasında ve ağırlıklı ortalama mol kütlesi ortalama molekül kütlelerinden 2-4 kat daha yüksektir (Jacobs ve Dahlman, 2000).

H⁺ değeri ve iyonik kuvvet gibi çözelti koşullarını etkileyen faktörlerin kraft ligninlerinin stabilitesini kontrol etmede önemli olduğunu belirtilmiştir. Bir diğere önemli parametre, sıcaklığın kraft lignininin çözeltisinin davranışı üzerindeki etkisidir. Çözeltideki

polimerlerin ayrışması, çözünürlüğü ve konformasyon davranışı sıcaklıktaki değişimle değişir (Ghatak, 2012).

Lignin termoplastik bir özellik gösterir ve amorf bir yapıya sahiptir. Bu sebepten dolayı lignin uygulamalarında termal geçiş sıcaklığı değeri önem arz etmektedir. Elde edilen ligninlerin termal geçiş sıcaklığı yöntemine göre değişmekte olup, kraft lignininde 140 °C, organosolv ise 80 °C olduğu tespit edilmiştir (Hatakeyama ve Hatakeyama, 2010).



Şekil 2.9. Ligninin kullanım alanları (Holladay vd., 2007).

Orman ürünleri endüstrisinde lignin lifler arasında yapıştırıcı olarak kullanılan fenol formaldehit türü tutkallarda kullanılabilmektedir. Fenol formaldehit tutkalı genellikle kontrplak üretiminde kullanılmaktadır. Ligninin fenolün yerine kullanılması fenol formaldehit tutkalının üretim maliyeti azalmaktadır.

Üretim prosesinde üretilen levhalarda iyi bir yapışma ve üretim sürecinde değişiklik olmaması için lignin katkılı fenol formaldehit tutkalı kullanılması avantajlıdır. Ancak ligninin yapısı fenolün yapısından farklıdır. Bu yapısal farklılıktan dolayı lignin katkılı fenol formaldehit tutkalı üretiminde homojenliği sağlanmak zordur (Meister, 2002).

Ligninin fenollendirme gibi modifikasyonları ile fonksiyonel grupların azaltılarak üretimde homojenlik ve %40'a kadar lignin eklenerek üretilecek yapıştırıcılardan iyi bir yapıştırma özelliği sağlanması mümkündür (Çetin ve Özmen, 2002)

Yapılan literatür araştırmalarında lignin orman ürünleri endüstrisinde genellikle yapıştırıcı üretiminde katkı maddesi olarak kullanıldığı ya da doğrudan lignin esaslı bağlayıcı üretimi üzerine çalışıldığı görülmüştür (Şekil 2.9). Odun liflerinin ligninle modifiye edilmesiyle ilgili çalışmalar çok görülmemiştir.

2.1.1.1.4. Pektin ve Ekstraktif Maddeler

Odun içerisinde selüloz, hemiselüloz ve ligninin dışında pektin ve ekstraktif maddelerde bulunmaktadır. Bu maddeler odun hücresi çeperinde, hücre liflerinde ve hücresi içinde bulunmaktadır. Bu maddeler odundan çeşitli uygulamalarla çıkartılabilir. Alkol, aseton, benzer gibi kimyasallarla ya da sıcak veya soğuk su ile çıkartılabilir. Pektin, karbonhidratlardan oluşmaktadır ve odundaki oranı % 0.5 den azdır.

Odun içerisindeki bu maddelerden reçine, kolofan, terebentin ve polifenoller ekonomik olarak en değerli olanlarıdır. İğne yapraklı ağaç odunlarından terebentin yağı ve kolofan su buharı destilasyonu elde edilmektedir. Sakızlar, yağlar, yağ asitleri, mumlar ve uçucu hidrokarbonlar odun içerisinde diğer ekstraktiflerdir. Silis, kalsiyum gibi benzeri maddeler inorganik esaslı ekstraktif maddelerdir. Ekstraktif maddelerin bilinmesi önem arz etmektedir. Odun içerisinde bulunan ekstraktif maddeler, ağacın yoğunluğunu, sertliğini, ağaçta öz odunun kokusunu, rengini, böcek ve mantarlara karşı direncini ve odunun permeabilitesini etkilemektedir (Hafızoğlu 1982).

2.1.2. Tutkallar

Liflevha üretiminde birçok farklı kimyasallar kullanılmaktadır. Tüm liflevha tiplerinde ortak olarak kullanılan kimyasallar tutkallar ve sertleştiricilerdir. Bunların dışında neme dayanıklılık, yanmaya karşı dayanıklılık sağlayan kimyasallar ve serbest formaldehit tutucularda kullanılmaktadır. Kuru yöntemle liflevha üretiminde liflerin birbirine tutkallar ile bağlanarak liflevhadan istenen mekanik ve fiziksel özelliklerin alınması sağlanmaktadır. Liflevha üretiminde en çok kullanılan tutkallar türlerine örnek olarak üre formaldehit ve melamin üre formaldehit gösterilebilir. Tutkal liflere liflendirme makinası çıkışında bulunan blow line denilen boru üzerinde nozullar yardımıyla verilmektedir.

Yaş yöntemde levha üretiminde liflerin keçeleşme özelliğinden faydalanarak levha üretilmektedir. Yaş yöntemde odun hammaddesi içerisinde bulunan lignin ve hemiselüloz yapıştırıcı görevi görmektedir. 130 °C sıcaklıkta yumuşamaya başlayan lignin başlar ve termoplastik tutkal gibi özellik göstermektedir.

Yaş yöntemle levha üretiminde liflerin yüzeylerinin lignin ihtivasi bakımından zengin içeriğe sahip olması istenmektedir. Liflerin yüzeylerinin lignin bakımından zengin olması sayesinde presleme esnasında lifler basınçla birlikte bir araya gelerek kovalentbağlar oluşturduğundan lifler arasında yapışma meydana gelmektedir. Lignin gibi hemiselülozlarda aynı şekilde yapıştırıcı görevi görmektedir.

Üre formaldehit, melamin formaldehit, melamin-üre formaldehit gibi tutkallar termoset özellik göstermektedir. Bu tutkallar sertleşme sürecini bitirdikten sonra kuvvetli çapraz bağlar meydana getirirler. Çapraz bağlar aracılığı ile üç boyutlu bir yapı oluşur ve mekanik etki ve yüklemelere karşı kararlı bir yapı oluştururlar. Termoset tutkalar genellikle sentetik tutkallar olarak bilinirler. Sıcaklıkla veya herhangi bir katalizör etkisi ile sertleşen bu tutkalların eski formuna dönmesi mümkün değildir. Termoplastik tutkallar sertleştikten sonra ısı veya yumuşama ile eski haline dönebilmektedir (Korucu ve Mengeloğlu, 2007).

Orman ürünleri endüstrisinde en çok üre formaldehit tutkalı kullanılmaktadır. Genel olarak kullanılan tutkal çeşitleri aşağıdaki gibidir.

- Üre Formaldehit (UF),
- Fenol Formaldehit (FF),
- Melamin Formaldehit,
- Melamin-üre Formaldehit

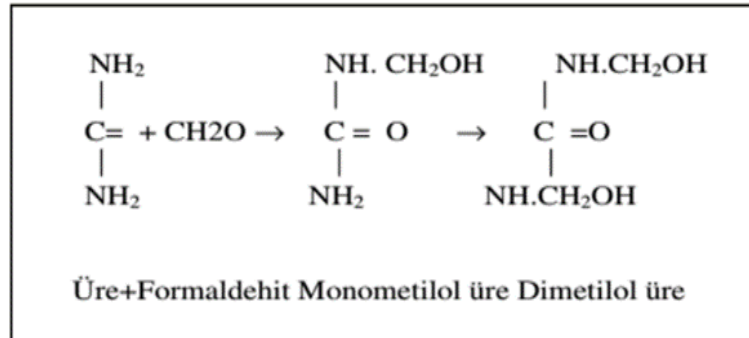
Üre Formaldehit Tutkalı;

Lif ve yonga levha üretiminde ucuz olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Üre formaldehit tutkalında kullanılan formaldehit metanolden elde edilmektedir. Metanol ise maden kömürü, oksijen ve hidrojenle elde edilmektedir. (Bozkurt ve Göker, 1990).

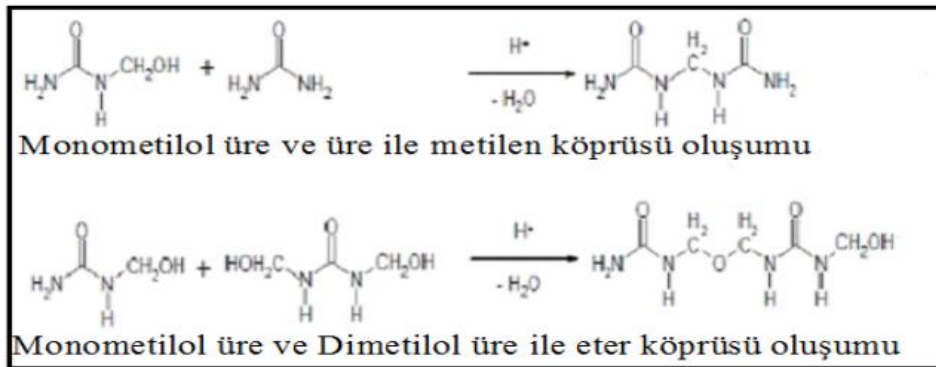
Suda kolay çözünen üre kristal yapıda olup, amonyak ve karbondioksitin birleşmesi sonucunda meydana gelmektedir (Bozkurt ve Göker, 1990).

Formaldehit ucuz ve çok verimli olmasına rağmen, kanserojendir, MDF atıklarının bertarafı için sorun yaratır. Bu nedenle, bertaraf gibi bazı durumlarda formaldehitin uygulanmadan önce çıkarılmasına ihtiyaç vardır.

Üre ile formaldehitin su bazlı çözelti içerisinde kondenzasyonuyla elde edilen üre formaldehit tutkalı kuru ve sıvı şekilde üretilmektedir. Alkali ortamda dimetil ve monometilol reaksiyona girer ve monometilol ve dimetilol oluşur (Şekil 2.10). Üre bünyelerinden su kaybederek metilen veya eter köprüleri oluşturarak kondenzasyon polimerizasyonu devam eder (Şekil 2.11). İstenilen polimerizasyon derecesi elde edildikten sonra reaksiyon hafif asidik olan çözeltinin soğutulması ve nötrleştirilmesi ile yarıda kesilir. Üre formaldehit tutkalı kullanılan katalizör miktarı, üre formaldehitin mol oranı, reaksiyon süresi, pH değeri, sıcaklık gibi faktörler tutkalın özelliğini etkilemektedir (Çolakoğlu, 2004).



Şekil 2.10. Monometilol üre ve Dimetilol üre oluşumu



Şekil 2.11. Monometilol üre ve Dimetilol üre kondenzasyon reaksiyonları

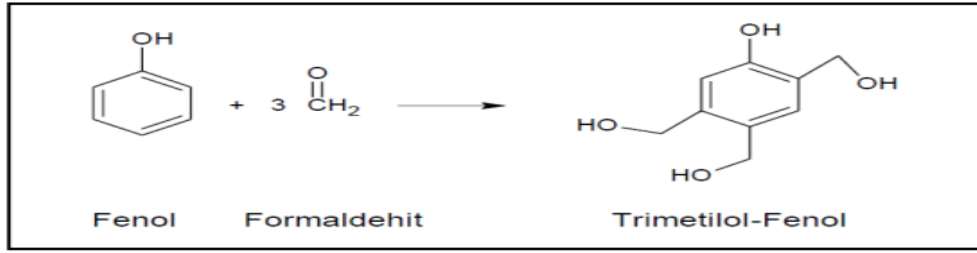
Mdf üretiminde üre formaldehit tutkalının sertleştiricisi olarak genellikle amonyum klorür, yonga levha üretiminde sertleştirici olarak amonyum sülfat tercih kullanılmaktadır. Lif levha üretiminde istinilen levha özelliklerine göre üretimde kullanılan üre formaldehit tutkalının özellikleri değişmektedir. Üre formaldehit tutkalı 0.75-1.17 mol oranında genellikle içeriği %50-%65 katı olacak şekilde üretilmekte olup katı madde oranına göre viskozitesi 50-400 cP arasında değişmektedir. Liflevha üretiminde değişken mevsim şartlarına bağlı olarak sıcaklık değişimi ile üre formaldehit tutkalının sertleşme süresi değişmektedir. Üf tutkalının pH değeri 8-8.5 arasındadır. Üretim şartlarına göre tutkalın pH değeri tutkal üretimi esnasında ayarlanabilmektedir. ÜF tutkalının raf ömrü katı madde miktarı arttıkça veya tutkalın pH değeri düştükçe azalmaktadır. Uygun koşullarda depolandığı takdirde 2-3 ay ömrü vardır. Türkiye ve dünyada değişen regülasyonlarla final ürünlerde daha düşük serbest formaldehit emisyon değerleri istendiğinden tutkalın mol oranı önem arz etmektedir.

Amino reçine sınıfının en önemli ve çok kullanılan üre formaldehit tutkalı formaldehit esaslı diğer reçinelere göre ucuz ve preslemede sertleşme sıcaklığı daha düşük olduğundan levha üretiminde en çok kullanılan tutkaldır. Dünyadaki levha üretiminin %90'ı ÜF tutkalı ile üretilmektedir. (Pizzi ve Mittal, 2003).

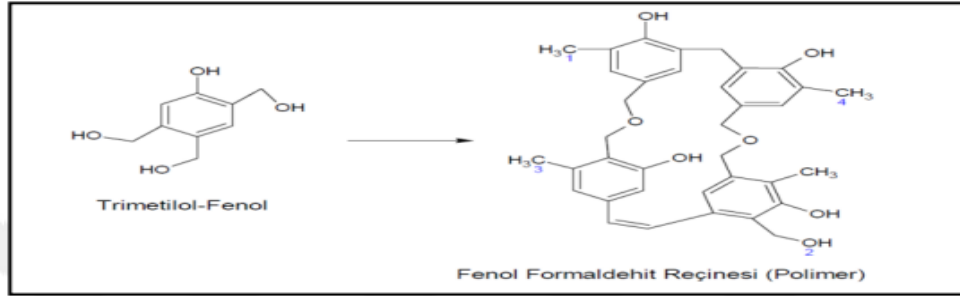
Tutkal üretimi esnasında formaldehitin üreye oranı, reaksiyon süresi, pH, sıcaklık gibi değişkenler üretilen üre formaldehit tutkalının özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Tutkalın mol oranı düştükçe preste üretilen final ürünün serbest formaldehit değeri düşmektedir. (Ayrılmış, 2000).

Fenol Formaldehit Tutkalı

Fenol formaldehit reçinesi genellikle kontrplak üretiminde kullanılmaktadır. Fenol ham petrolden elde edilir ve fenol formaldehit reçinesi fenol ve formaldehit karışımıyla üretilmektedir (Şekil 2.12). Fenol ve formaldehit karıştırıcı yardımıyla birleştirilir ve önce fenol ve formaldehitin katılma reaksiyonu ile metilol fenoller oluşur. Metilol fenollerden su ayrılması ile eter, su ve formaldehit ayrışması ile metilen köprüleri oluşturulmak suretiyle kondenzasyon gerçekleşmektedir (Şekil 2.13). Fenol formaldehit reçinesi koyu kahverengi, yanmaz ve kokusuzdur. Fenol formaldehit reçine yapısındaki serbest formaldehit, levha üretimi sırasında preslemeyle birlikte ortaya çıkmaktadır (Uysal ve Kurt, 2005).



Şekil 2.12. Fenol ve formaldehitin birleşmesi sonucu Trimetilol-Fenol oluşması



Şekil 2.13. Fenol formaldehit oluşumu

Fenol formaldehit reçineleri de termoset bir yapıştırıcıdır. Kullanıldığı yerde sertleştikten sonra tekrar bozunma olmamaktadır. Fenol formaldehit reçinesi suya karşı oldukça dayanıklıdır. Bu özelliğinden dolayı üre formaldehit reçinelerine göre daha üstün özellikte olup daha pahalıdır. (Yeniocak, 2008).

Fenol formaldehit reçinelerinin sertleşme sıcaklığı üre formaldehit reçinelerine göre daha yüksektir. Pahalı olmasından dolayı yonga levha ve MDF üretiminde yaygın kullanılmamaktadır, ancak yonga ve lifler arasında güçlü bağ sağlamaktadır (Huş, 1979).

Melamin Formaldehit Tutkalı

Melamin formaldehit tutkalının üretimi üre formaldehit tutkalının üretimine benzemektedir. Kondenzasyon reaksiyonları benzerdir. Formaldehit metilol bileşiklerini oluşturmak için melaminin amino grupları ile reaksiyon girer. Üre formaldehit tutkalının üretimi ile kıyaslandığında formaldehitin melamine eklenmesi üreye göre kolaydır.

Formaldehit ve melamin arasındaki tepkimede formaldehit, melamindeki amin gruplarına katılarak farklı sayıda metilol grupları içeren türevler meydana gelir. Metilol gruplarının sayısı altıya kadar ulaşabilir. Bu metilol gruplar suda çözünabilir özellikte olup yüksek sıcaklıklarda metilen veya eter köprüleri oluşturmakta ve çapraz yapıda melamin formaldehit reçinesine dönüşmektedir.

Melamin formaldehit tutkalı üre formaldehit tutkalına göre daha pahalıdır ancak bazı avantajları vardır. Üre formaldehit tutkalına göre suya daha fazla dirençli ve ısı stabilitesi yüksektir. Düşük sıcaklıklarda sertleşebilir ve levha üretiminde sertleştirici olmaksızın sertleşebilme gibi özellikleri vardır (Huş, 1979).

2.1.3. Sertleştiriciler

Sertleştirici kimyasallar olarak liflevha üretiminde en çok kullanılanlara örnek olarak amonyum klorür ve amonyum sülfat verilebilir. Liflevha üretiminde sertleştirici kimyasallar özellikle üre formaldehit tutkalları için çok önemlidir. Sertleştirici kimyasal kullanılmadan üre formaldehit tutkalı ile yapılan üretimlerde tutkalın sertleşme süresi kontrol edilemediğinden levhaların kalitesi ve üretim kapasitesi açısından stabil bir üretim gerçekleştirilememektedir.

Sadece asit kullanılması sonucunda levha taslağı prese gelmeden önce sertleşmekte ve bu sebeple her zaman sertleştiriciler karışımlar olarak kullanılmaktadır. Amonyak levha taslağı prese gelmeden önce oluşabilecek asidi nötralize ederek tutkalın sıcak pres öncesinde sertleşmesini önlemektedir. Amonyak sıcak preste buharlaşmaktadır. Levha üretiminde kullanılan tutkalın sıcak pres öncesinde kürlenmemesi büyük önem taşımaktadır. Pres içerisindeki levha taslağında oluşan asit tutkalın sertleşmesini sağlamaktadır. Liflevha üretiminde çoğunlukla sertleştiricisi olarak amonyum klorür kullanılır. Amonyum klorür kullanımı sonucu ortaya çıkan tuz asidi uçucu olduğu için presleme esnasında levha taslağının içinde homojen bir şekilde dağılmaktadır. Sertleştirici olarak amonyum sülfat kullanılması durumunda sülfirik asit meydana gelmektedir. Sülfirik asit uçucu olmadığı için presleme esnasında homojen olarak dağılamamaktadır. Amonyum sülfat tutkalın sertleşmesinde ve üretim prosesinde düzensizliklerin meydana gelmesine neden olur (Yapıcı, 2008).

Levha üretiminde kullanılan odun hammaddesinin pH değeri sürekli olarak ölçülmektedir. Çünkü kullanılan ağaç türüne göre tutkalın sertleşmesi için sertleştirici oranı belirlenmektedir. Odunun pH değeri düşük ise sertleştirici oranının azaltılması gerekmektedir. Ayrıca sertleştirici oranı üretimde kullanılan tutkal miktarına ve tipine göre sertleşme zamanı grafikleri oluşturularak belirlenir. MDF üretiminde pres sıcaklıkları kullanılan tutkal çeşidine göre değişmekte olup, üre-formaldehit tutkalı kullanıldığında tutkalın sertleşmesi için pres öncesi levha taslağının ortasında sıcaklığın en az 100°C olması gerekmektedir.

Kaju fıstığı kabuğu sıvısı (CNSL), dört alkil ikameli fenolden oluşan doğal olarak oluşan bir kimyasal monomerdur. Fenolik doğası, katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve

sertleştirici olarak kullanılan hekzametilentetramin (HMTA) kullanılarak formaldehit ile reçinelere polimerizasyon için uygun hale getirilir. Kürleşme derecesini izlemek için HMTA'lı ve HMTA'sız fırında kürlenmiş reçinenin camsı geçiş sıcaklığındaki değişimi incelemek için yapılan bir çalışmada DSC tekniği uygulanmıştır. Kullanılan formaldehit konsantrasyonundan bağımsız olarak, alkali katalizli reçine daha yüksek kürleme sıcaklıklarına tabi tutulduğunda camsı geçiş sıcaklığının yükseldiği bulunmuştur. NaOH katalizli CNSL-formaldehit reçinesinin sertleşme modunun, HMTA sertleştirici ile daha düzenli olduğu tespit edilmiştir.

Hekzametilentetramin, metenamin, ürotropin ve heksamin dahil olmak üzere diğer birçok isimle bilinir. Heksa metilentetramin, daha yaygın olarak heksamin olarak bilinen organik, heterosiklik bir kimyasal bileşiktir ve formaldehit ile amonyak fazlasının sulu bir ortamda veya buhar fazında reaksiyonuyla elde edilmektedir.

Çoğu uygulama alanında heksamin, formaldehitin özel bir formu olarak kabul edilebilir. Dönüşüm sırasında suyun açığa çıkmaması ve asit ortamda hidrolize olması ve formaldehitin yavaşça salınması avantajına sahiptir. Çok düşük toksisiteye sahiptir ve seyreltilmiş çözeltiler biyolojik olarak parçalanabilmektedir (Kaur, N., & Kishore, D. (2013).

2.1.4. Hidrofobik Maddeler

Liflevhaların kullanım yerinde boyutsal satbilizasyonu ve su alarak şişmesini önlemek için üretim prosesinde yonga veya liflere püskürtmek suretiyle hidrofobik maddeler kullanılmaktadır. Parafin veya parafin emülsiyonu gibi hidrofobik liflevhanın su alarak şişmesini tamamen engellemez ancak su alma miktarını ve hızını yavaşlatabilir. Hidrofobik maddeler sayesinde levhalar kullanım yerinde kısa süreli su veya rutubete maruz kalırsa, bu durumdan etkilenmez.

Liflevhalarda boyutsal stabilizasyon ve su alma için öncelikle levha üretiminde kullanılan tutkal önem taşımaktadır. Tutkal dışında levhanın su alarak şişmesini önlemek için çeşitli mumlar, parafin veya parafin emülsiyonu kullanılmaktadır. En çok parafin emülsiyonu kullanılmaktadır. MDF üretiminde genellikle, ürün tipine göre tam kuru lif ağırlığına oranla %0.3–1.2 oranda parafin kullanılmaktadır.

Parafin emülsiyonu liflevha üretiminde su itici özelliği için kullanılmakta olup, liflevhanın neme dayanımını arttırmaktadır. Parafin emülsiyonu pişiricide pişirme işlemi tamamlandıktan sonra yongalara nozullar ile püskürtülerek verilmektedir. Liflendirme makinasına giren yongalara verilmesi parafin emülsiyonunun liflendirme işlemi sırasında, lifler

üzerinde daha homojen dağılması sağlanmakta ve liflendirme makinası içindeki segment adı verilen bıçakların arasındaki sürtünmeyi de bir miktar azalttığından enerji tasarrufu da sağlamaktadır. Bu sayede bıçakların üzerinde bulunan kesici kısımların yıpranması önlenmekte ve bıçak çalışma ömrü uzamaktadır. Su alma ve şişmeyi önlemek amacıyla proponik anhidrit ile yapılan bir çalışmada yonga levhanın kalınlığına şişme değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. (Yusuf, 1996)

2.2. MDF ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

2.2.1. Odun Hammaddesinin Depolanması

Liflevha üretiminde ana malzeme olarak boyu 0.5-2 m arasında olan ve ince uç çapı 4 cm kalın uç çapı 20 cm aralığında olan ve kesilen ağaçların kesim artıklarından ve dallarından elde edilen odunlar kullanılmaktadır. Odun miktarı “ster” ile ölçülmektedir. İstifli halde 1 m³ oduna 1 ster denilmektedir. Ahşap esaslı kompozit levha üretiminde kullanılacak odunların nem oranının %35-50 arasında olması gerekmektedir (Burdurlu, 1994).

Odunların özellikle kış aylarında ve baharda yoğun yağışlı dönemlerde ormanlardan sevki zorlaşmakta ve sevkiyatlarında aksamalar olmaktadır. Liflevha üretim tesislerinde odun tedarikinde yaşanan problemlerden etkilenmemek ve üretimin devamlılığı için en az 3 aylık stoklar bulundurulmaktadır. Fabrikalar odun ihtiyacını Orman Genel Müdürlüğü'nün levha üretim sektörüne tahsis ettiği odunlardan, ihaleler veya yurt dışından ithal edilen yonga veya odunlarla karşılanmaktadır.

Odunlar tomruk halinde odun sahasında istiflenmektedir. Liflevha üretiminde yapraklı ağaç ve iğne yapraklı ağaç türleri kullanılmaktadır. Her bir odun türü, diğer odun türleriyle karışmayacak şekilde istifler oluşturmaktadır. Odunun yongalama işlemine beslenmesi sırasında istiflerde ilk giren ilk çıkar (FIFO) uygulaması yapılmaktadır. İlk giren odunun ilk çıkması uygulaması çok önem arz etmektedir. Odunlar uzun süre bekletilirse rutubet kaybeder ve pH değeri düşmeye başlamaktadır. Odunlar istif sahasında böceklenmeye maruz kalabilmektedirler. Bu tarz çürümeye maruz kalan odunlarla yonga yapma işleminde verimsizlik ortaya çıkmakta ve bu yongaların liflendirme aşamasında istenen kalitede lif boyutu elde edilememektedir. Bu durum son ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Çürüklük ve mantar tahribatına karşı depolardaki odunlar arasında çok iyi hava dolaşımı sağlanmalı ve kabukları soyulmuş odunların toprak zeminini üzerinden yaklaşık 50 cm yüksekte

depolanması sağlanmalıdır. (Duran, 2004). Ağaç malzemenin depolanmasında bakteri saldırılarından dolayı porozite artması, çürüme ve oksidasyon lekesi, böcek ve mantar zararları, ısınma ve donmadan dolayı lif ayrılması, çatlama, enine kesitlerde ve çevresinde çatlama, kurumalar, mavi renklenme ile hoş olmayan koku oluşumları görülebilmektedir. Su içerisinde depolama ve yağmurlama sistemi ile odunların nem oranlarını ayarlama gibi önlemlerin yanında bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı kimyasal maddelerin kullanılması gerekir. En iyi yöntem ağaç malzemenin hemen üretime verilmesi veya odunları su içerisinde depolama ya da odunların üzerine su püskürtmektir (Güler, 2001).

2.2.2. Yongalama Prosesi

Yongalama prosesi yongalanacak tomrukların yongalama makinesine beslemesini yapan vibrasyonlu teknelere beslenmesi ile başlamaktadır (Şekil 2.14). Tomruklar tekneye kepçeler yardımı ile beslenmektedir. Teknelerdeki vibrasyon hareketi ile odunlar yongalama makinesi ağızına doğru ilerlemeye başlamaktadırlar.

Yongaların hazırlanması aşamasındaki ilk işlem kabuk soymadır (Şekil 2.15). Kaliteli bir liflevha üretimi için kabukların soyulması gereklidir. Kabuk fosilleşmiş hücrelerden oluştuğundan, kompozit levhanın su çekme kabiliyetini ve görünüş özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Ayrıca tutkal tüketim miktarında artmasına sebep olmaktadır. (Burdurlu, 1994). Üretimde kabuk kullanılmaması durumunda elde edilen levhaların direnç değerleri daha yüksek ve levhanın rengi daha homojendir. Bu nedenle levha kütlesine oranla kabuk miktarı %10'u geçmemelidir (Güler, 2001).



Şekil 2.14. Vibrasyonlu tekneye odun beslenmesi

Kabuk liflevha üretiminde istenmeyen bir malzemedir. Liflenme sırasında çok küçük boyutlarda parçalandığı için tutkal tüketimine etki ederek, liflevhanın mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır.



Şekil 2.15. Kabuk soyma makinesi

Yongalama makinesinin odun liflerini ezmemesi, koparmaması ve yonga kalınlığının homojen olmasını sağlaması gerekmektedir. Yongalama işleminde odunun yongalama makinesinin kesici bıçakları ile yaptığı açı, verimliliği etkilemektedir. Odun hammaddesi liflere dik yönde yongalanması sırasında, liflere paralel yongalama için harcanan enerjiden daha fazla enerji harcamaktadır. Harcanan enerji odun türüne göre değişkenlik göstermektedir. Odunun yoğunluğu yükseldikçe yongalama sırasında gereken enerji ihtiyacı da artacaktır. Yonganın uzunluğunu, bıçakla yongalanan odunun arasındaki açı etkilemektedir. Kesici bıçakla yonga arasındaki açı azaldıkça yonganın boyu kısalmaktadır. Sert odun türleri ile yumuşak odun türlerine göre kalın yongalar elde edilmektedir. Yongalama makinası bıçak açısı için 30° ile 35° yeterli görülmektedir (Şekil 2.16).

Elde edilen yongaların boyutları ve özellikle uzunluk ve kalınlığı diğer bir deyimle yonga geometrisi levhanın kalitesini ve yüzey düzgünlüğünü sağlayan en önemli faktörlerden birisidir. Yonga kalınlığı arttıkça eğilme direnci değerlerinde azalma fakat yüzeye dik yönde çekme direnci değerlerinde artış görülmektedir. Yonga uzunluğu arttıkça eğilme direnci artmasına karşın levha yüzeyine dik yönde çekme direncinde bir azalma görülür. Yongalama sırasında yonga içerisindeki toz miktarının artışı yüzeye dik çekme ve eğilme direncinin azalmasına neden olur (Karakuş, 2007).



Şekil 2.16. Yongalama makinesi

2.2.3. Yongaların Depolanması

Liflevha üretiminde kayın, meşe, çam, okalüptus gibi çeşitli ağaç türleri kullanılmaktadır. Vibrasyonlu tekneler yardımıyla yongalama makinasına taşınan tomruklar yongalama makinesinde yonga haline geldikten sonra bantlı konveyörlerle yonga silolarına taşınmaktadır. MDF'nin fiziksel ve mekanik özelliklerinde optimum kalitenin sağlanması uygun (ibrelili ağaç ve yapraklı ağaç) yonga karışımıyla elde edilir. Liflevha üretiminde kullanılan ağaç türü ve karışım oranı MDF'nin fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli derecede etkiler. Üretilecek liflevha türüne göre yonga karışım oranları değişmektedir.

Yongalama makinasından elde edilen yongalar her ağaç türüne göre ayrılmış çeşitli bölmeleri olan beton silo içerisinde depolanmaktadır. Her ağaç türünün ayrı bölmede depolandığı beton silonun içerisinde her bölmenin alt kısmında yongaları taşıyan helezonlar bulunmaktadır. Helezonlar elektrik motoru ile tahrik edilen ve frekans konvertörü ile devir değiştirilebilen sistemlerden oluşur. (Şekil 2.19). Üretimde istenilen odun karışımına göre helezonların devirleri ayarlanmaktadır.

Yonga silosunda yongaların bekleme süreleri, 10–15 günden fazla olmamalıdır. Eğer bu süre aşırsa yongaların rengi koyulaşmakta ve bakteri vb. canlılar zarara neden olmaktadır. Dolayısıyla yonganın kalitesi düşmekte ve üretilen lifin kalitesi de azalmaktadır.

Mikroorganizmalar, odun yongaları arasındaki birtakım kimyasal reaksiyonlara sebep olarak sıcaklığı yükseltir, yangın çıkmasını neden olabilir. Kimyasal faaliyetler neticesinde ayda %15 oranında kayıplar meydana gelmektedir. Bu nedenle yongalar siloda fazla bekletilmemelidir. Üretime bir gün süre ile yetecek kadar yonga depolanması idealdir (Suchsland ve Woodson 1986). Beton silo içerisindeki yongalar helezonların altında bulunan bantlı konveyörlere dökülmekte ve bantlı konveyörlerle eleklerle taşınmaktadır (Şekil 2.17). Yonga silosunun içerisi yongalar karışmayacak şekilde bölünmeli, drenaj iyi ve temiz olmalıdır. (Ayrılmış 2000).



Şekil 2.17. Beton yonga silosu

2.2.4. Yongaların Eleklerle Elenmesi

Yongalar üretim tipine uygun karışımda hatta gönderilmeye başlayınca, sıradaki proses eleklerde yongaların boyutlarına uygun şekilde tasnif edilmesidir. Yongaların boyutları liflendirme prosesinde pişirme işlemi sırasında çok önem arz etmektedir. Çok iri yongalar pişirme işlemi sırasında stabil şekilde pişmeyeceği gibi, çok küçük yongalarda pişirme işlemi sırasında lifler arasındaki bağların zayıflamasına ve bu nedenle liflendirme sırasında tozlaşmaya neden olmaktadır. Bu sebeple yongaların eleklerde tasnif edilmesi üretim kalitesini etkileyen önemli bir adımdır.

45 milimetreden daha kalın yongalar eleklerin altında duran küçük yeniden yongalayıcı makinalarına gönderilir ve o anda yongalama yapıp tekrar hatta besleme yapan bant üzerine dökülmektedirler (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Yeniden Yongalayıcı

5–45 milimetre arasındaki kalınlığa sahip yongalar direkt olarak üretim hattına beslenirler. 5 milimetreden küçük olan yongalar 2 milimetreye kadar olan aralıkta üretim tipine göre üretimde kullanılabilir (Şekil 2.19). Genel olarak 5 milimetreden daha ufak olan yongalar yakıt olarak değerlendirilmek üzere hattın dışarıya alınır.



Şekil 2.19. Mekanik Elek

2.2.5 Liflendirme Prosesi

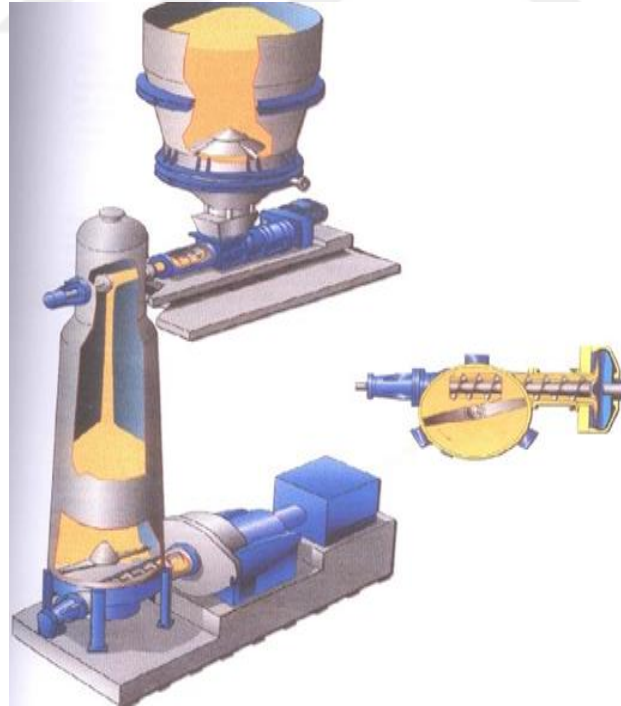
Liflevha üreten fabrikalarda lignoselülozik hammaddelerden lif üretimi için çoğunlukla mekanik yöntem kullanılmaktadır (Şekil 2.20). Mekanik yöntemde yongalar yonga bunker ve pişiricide basınç ve buhar altında yumuşatılmaktadır. Yumuşatma işleminden sonra mekanik olarak liflendirme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Keçeleşme oranı liflevha üretiminde yapışmayı etkileyen hususlardan birisidir. Lif uzunluğunun lif genişliğine bölünmesi ile çıkan oran keçeleşme oranı olarak ifade edilmektedir. Lif uzunluğunun artması yapışmayı olumlu yönde etkilemektedir ancak liflevha üretiminde final ürüne yüzey işlemleri uygulandığından levha yüzeyinde uzun lifler istenmemektedir. İzolasyon levhası üretiminde uzun lifler kullanılabilirken MDF üretiminde kısa lifler kullanılmaktadır (Bostancı 1987).

Lifler tek olarak incelendiğinde silindirik formdadır. Tutkallandıktan sonra istenilen taslak rutubetine kadar kurutulan lifler presleme işlemi sırasında sıcaklık ve basınç etkisiyle birbirine yapışmaktadır. Kollapsa uğramayan lifler birbirine iki silindirin yan yana getirildiğindeki temas alanı kadar yapışma yüzeyi oluşturmaktadır. Bu durum levha mukavemetini azaltır. Kolaylıkla kollapsa uğrayan liflerin silindirik formu yassılaşılarak temas yüzeyi artmaktadır.

Toplam yapışma alanı arttığından levha mukavemet değerleri de artmaktadır. Levha yoğunluğu pres sırasında keçenin sıkışık veya gevşek olmasıyla belirlenmektedir. Lif uzunluğu levha düzleminde su absorpsiyonu ve desarpsiyonu nedeniyle meydana gelen boyutsal değişimlere etki etmekte olup lif boyu uzadıkça azalmaktadır (Suchland ve Woodson 1986).

Liflendirme prosesi birkaç adımdan meydana gelen bir prosestir (Şekil 2.22). Bu adımlar yongaların ön ısıtma işlemine tabi tutulması, pişirici besleme helezonu ile fazla suyun çıkarılarak pişiriciye beslenmesi, pişirme işlemi ve liflendirme işlemi olarak sıralanabilir.



Şekil 2.20. Liflendirme Prosesi

Yongalara Ön Isıtma İşlemi Uygulanması;

Yongalara pişirme kazanına girmeden önce ön buhar verilerek yumuşamaları sağlanmaktadır. Şinekenin pişirme kazanına açılan kısmında bir tıpa vardır. Bunun amacı ilk olarak yonga alınmaya başladığında buhar çıkışını engellemek ve lifleri sıkıştırarak yongaların yavaş yavaş alınmasını sağlamaktır. Pişirme kazanı içindeki yonga seviyesinin muhafaza edilmesi şinekenin devir sayısının artırılması veya azaltılması ile sağlanmaktadır. Yongaların nem içeriği %40-80 arasında olması idealdir. Yongalara ön buhar verilmesi ile hem yonga sıcaklığı artmakta hem de yonga içindeki hava yerine su buharı geçtiği için pişirme süresi kısalmaktadır.

Piştirici Besleme Helezonu İle Yonga Transferi;

Yonga bunkerinde ön ısıtma işlemi tamamlandıktan sonra plug screw diye adlandırılan helezon yardımıyla yongalar piştiriciye taşınmaya başlanmaktadır. Piştiriciye besleme helezonunun en önemli özelliği konik şekli vasıtasıyla yongayı taşıırken aynı zamanda da sıkıştırarak yonga içerisinde bulunan suyun dışarı atılmasını sağlamaktadır (Şekil 2.21). Suyun dışarıya atılması sayesinde kurutma prosesinde daha az ısı enerjisine ihtiyaç olur. Bu sayede maliyetlerin düşmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.21. Piştirici besleme helezonu

Piştirme İşlemi;

Yongalar pişirme kazanında kapalı bir sistem içerisinde basınç ve sıcaklık altında tutularak lignin yumuşatılmaktadır (Şekil 2.22). Böylece, yongalar lif ve lif demetleri haline gelmektedir. Aksi takdirde yumuşatılmamış yongalardan lif elde edilmesi mümkün değildir.

Yongalar diskler arasında kömürleşir ve yanarlar. Pişirme süresi ve şartları kullanılan ağaç türü ve final üründe istenilen özelliklere göre değişkenlik göstermektedir.

Yongalar 7-9 bar arasında, 170-180 derecede yaklaşık 3-5 dakika süre arasında pişirilerek yumuşaması sağlanmaktadır. Pişirme kazanı içerisinde alttaki karıştırıcı ile yongalar sürekli karıştırılmaktadır. Pişirme işlemi tamamlandıktan sonra bir helezon sayesinde pişiriciden yongalar çıkarılmaktadır.

Bu helezon üzerinde bulunan nozullar sayesinde parafin emülsiyonu yongalara püskürtülmektedir (Şekil 2.23). Liflendirme makinesine girmeden önce yongalara parafin emülsiyonu püskürtülmektedir.

Bu sayede yonga liflenme aşamasında parafinle daha iyi harmanlanmış olmakta ve liflendirme makinesi içinde öğütme işlemi yapan segment olarak adlandırılan bıçaklar arasında sürtünmenin azalması sağlanmış olmaktadır.



Şekil 2.22. Pişirme kazanı çıkışında parafin verilen enjektörler



Şekil 2.23. Pişirme kazanı

MDF endüstrisinde kullanılan defibratörler biri sabit diğeri ise 1500 devir/dakika hızla dönen liflendirme bıçaklarının olduğu sistemlerdir. Defibratör segment olarak adlandırılan liflendirme bıçaklarının ileri ve geri hareket etmesi ile liflendirme basıncı ve lif boyutu ayarlanabilen sistemlerden oluşmaktadır. MDF üretiminde genellikle “Pallman”, “Andritz” ve “Metso” markalı defibratörler kullanılmaktadır. Bu yeni nesil defibratörlerde, geleneksel olarak uygulanan radyal boşaltma yerine helezon şeklinde yeni bir boşaltma sistemi tasarlanmıştır. Bu sayede enerji tasarrufu amaçlanmıştır.

Pişirme kazanında yumuşatılan yongaların liflendirildiği karşılıklı iki diskten oluşan ve aralarındaki açıklık son derece yakın 0.05-0.4 mm arasındadır. Liflevhada biri sabit diğeri döner tiptedir. Karşılıklı iki diskin her biri üzerinde farklı sayıda segmentlerden oluşmaktadır.

Liflendirme makinası içinde yongaların liflendirildiği hazne içerisinde 2 adet bıçak bulunmaktadır. Bu bıçaklardan biri sabit (stator), biri hareketlidir (rotor). Sabit bıçak ortasındaki boşluktan yongalar öğütme yapılacak hazneye gelmektedir. Döner bıçakla sabit bıçak arasında kalan yongalar liflenmeye başlamaktadırlar (Şekil 2.24).

Disk üzerindeki segmentlere yakından bakıldığından diskin merkezinden çevreye doğru profillerin arası yivler gittikçe daralmaktadır. Böylece, diskin ortasından kenarlarına doğru

yongalar spiral bir yol izleyerek önce ince yongalara ve kaba lif demetlerine ayrılmakta çevreye doğru liflerde saçaklanma artmakta ve ince lif ve lif demetleri elde edilmektedir (Şekil 2.25).

Liflerin boyutları bıçakların arasındaki açıklık değiştirilerek ayarlanabilmektedir. İnce lif istendiğinde bıçakların arasındaki mesafe azaltılmaktadır. Liflerin daha büyük olması istendiğinde bıçaklar arasındaki mesafe arttırılmaktadır (Şekil 2.26).



Şekil 2.24. Liflendirme makinası sabit ve hareketli bıçak resimleri (Rotor – Stator)

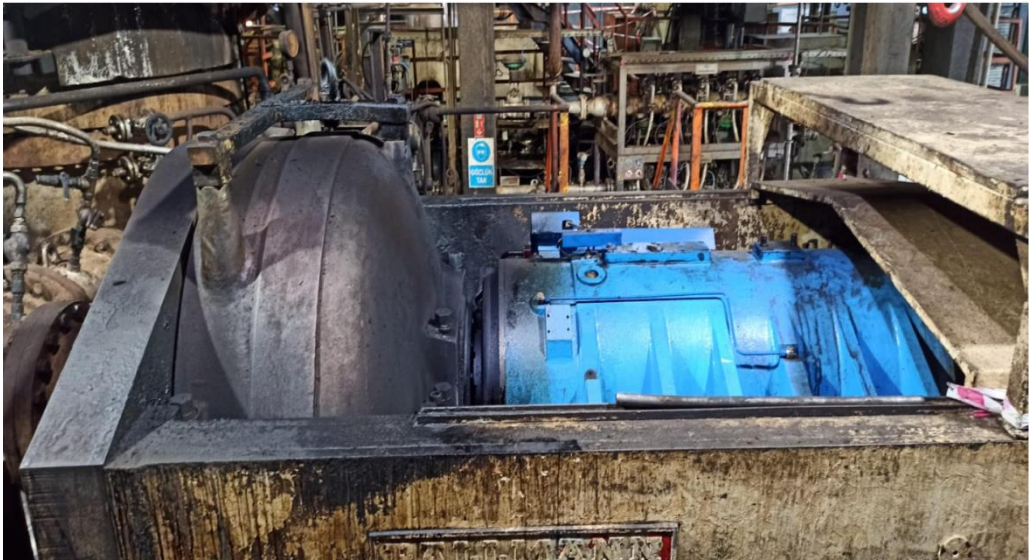
Liflendirme derecesini ve lif kalitesini etkileyen faktörler;

- Yonga kalitesi (boyut homojenliği, yoğunluk, ağaç türü, rutubet miktarı, kabuk içeriği)
- Pişirme kazanındaki buhar basıncı, pişirme sıcaklığı ve süresi
- Liflendirici tipi
- Liflendirme süresi
- Liflendirme sıcaklığı
- pH
- Konsantrasyon
- Defibratör diskleri arası mesafe
- Disklerin karşılıklı konumu

- Diskler üzerindeki segmentlerin yapısı ve çalışma süresi
- Rafiner besleme hızı



Şekil 2.25. Liflendirme makinası genel



Şekil 2.26. Liflendirme makinası öğütme haznesi

2.2.6. Liflerin Tutkallanması (Tutkal Mutfağı)

Rafiner çıkış kısmında “lif çıkış borusu” (blowline) bulunmaktadır. MDF üretiminde tutkallama iki şekilde yapılmaktadır. Bunlardan birincisi ve günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntem, rafiner çıkışında liflerin kurutma tüpüne girmeden önce tutkallanmasıdır. İkincisi ise yongalevha da olduğu gibi liflerin kurutulduktan sonra bir tutkallama makinasında tutkallanmasıdır.

Yaş yöntemle liflevha üretiminde yapıştırıcı olarak hücreler arasında odunun doğal yapıştırıcısı olan lignin yeterli olurken, kuru yöntemle MDF üretiminde ilave bir termoset tutkal gerekmektedir. Tutkal miktarı ürün tipine göre tam kuru lif ağırlığına oranla %9- 15 civarında kullanılmaktadır. MDF üretiminde en çok kullanılan tutkal üre formaldehittir. Üre formaldehit tutkalı renginin beyaz olması, ucuz oluşu, kısa sürede sertleşmesi ve kullanımının kolay olması gibi önemli avantajlarından dolayı liflevha üretiminde daha çok tercih edilir. Liflevha üreticileri UF tutkalını genelde fabrikaya sıvı halde tedarik eder veya fabrikada üretmektedirler.

Üre-Formaldehit tutkalının sertleşmesi için mutlaka bir sertleştirici gereklidir. Aynı zamanda ısı etkisi de olursa sertleşme çok hızlanmaktadır. Ancak ısı, tek başına sertleştirme ve suda çözünmezlik için yeterli olmamaktadır. Levha üretiminde kullanılan ağaç türlerinin pH değerlerine göre tutkal içindeki sertleştirici oranı belirlenmektedir. Eğer ağaç türünün pH değeri düşük (asidik) ise sertleştirici oranı azaltılır. Aksi takdirde, tutkal sıcak prese gelmeden ön kürlenmeye başlamaktadır.

Liflenme işlemi sonrasında lifler blow line hattı ile kurutma ünitesine doğru buhar basıncı sayesinde taşınmaya başlar. Bu hat üzerinde bulunan nozullar sayesinde liflere tutkal ve sertleştirici verilmektedir. Ayrıca özel amaçlar için kullanılan kimyasallarda yine bu hat üzerinde eklenen nozullar sayesinde life püskürtülmektedir. Sertleştirici olarak günümüzde amonyum klorür çözeltisi kullanılmaktadır. Genelde %10 ya da %15 katı oranında sertleştirici hazırlanmaktadır.

Liflevha üretiminde sertleştirici olarak en çok amonyum klorür kullanılmaktadır. Sertleştirici olarak sadece asit kullanma durumunda sertleşme o kadar çabuk olmaktadır ki MDF taslağı sıcak prese gelmeden sertleşmektedir. Bu yüzden daima tamponlanmış karışımlar kullanılır. Tamponlayıcı madde olarak amonyak, üre veya hekzametilentedramin kullanılmaktadır. MDF üretiminde amonyum klorür/amonyak tampon sistemi çok kullanılmaktadır. Amonyum oranının arttırılması sertleşmeyi hızlandırıcı, amonyak oranının

arttırılması ise yavaşlatıcı etkiye sahip bulunmaktadır. Liflevha üretiminde kullanılan tüm tutkal ve kimyasallar bu alanda hazırlanıp liflere verildiği için bu alana tutkal mutfağı denmektedir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27. Tutkal vb. kimyasalların verildiği sistem

2.2.7 Kurutma Prosesi

Liflendirme prosesinden çıkan liflere tutkal ve yardımcı kimyasallar püskürtüldükten sonra buhar basıncı yardımıyla kurutma hattına taşınan lifler kurutma borusuna girmektedir (Şekil 2.28). Lifler boyu 100-150 m arasında hızı 30-40 m/sn arasında değişen kurutma hattında sıcak hava ile serme hattına taşınırken, aynı zamanda da kurutma işlemi gerçekleşmiş olur. Kurtucu çıkışındaki final lif rutubeti üretilcek levhadan istenilen özelliklere göre değişiklik göstermektedir. Presleme öncesinde oluşturulan levha taslağı içerisindeki liflerin rutubetleri %6 – 13 arasında değişkenlik göstermektedir. Kurutma işlemi sırasında açığa çıkan su buharı siklonlarla dışarı atılırken, kurutulmuş lifler serme bunkerine gelmektedir. Liflerin kurutulmasına ve kurutma sıcaklığına birçok faktör etki etmektedir. Kullanılan odun hammadresi türü, liflendirme işleminden çıkan liflerin boyu, kurutma hızı, sıcaklığı, kurutma borusunun çapı ve kurutma borusunun uzunluğu olarak sıralanabilir.



Şekil 2.28. Kurutma borusu ve fanı

Liflendirme işlemi sonrası çıkan kaba lifler, kum, topaklı tutkallar ve metallerin normal liflerden ayrılması için havalı ayırıcılar kullanılmaktadır. (Şekil 2.29). Bu sistem sürekli presin çelik bandının mekanik zararlardan korunmasına yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.29. Kurutma bacaları dış görünüşü

2.2.8 Serme Prosesi

Lif levha üretiminde vakumlu ve mekanik olmak üzere iki tip serme sistemi vardır. Kurutulmuş lifler serme bunkerine geldikten sonra üretim tipine uygun yoğunluğu sağlayacak şekilde serme bandına dökülmeye başlanmaktadır. Serme işleminde liflerin serme boyuna ve enine yönde dengeli şekilde dağılması çok önemlidir. Aksi takdirde levhada kalınlık farklılıkları, iç yapışma, vida tutma ve diğer mekanik özelliklerde dengesizlik gibi kalite kusurları oluşmaktadır. Bunu önlemek için serme bandına dökülüşten sonra lifler ekolayzır denen tırmık ve helezonlardan oluşan sistem sayesinde enine ve boyuna yönde dengelenecek şekilde dağıtılmaktadır (Şekil 2.30). Kuru lif siklonundan gelen liflerin yeknesak bir taslak halinde serilmesi ve presleme işlemine hazırlanması liflevha üretiminin en önemli kısmını teşkil etmektedir. Zira, bu safhada yapılan hatalar sadece fiziksel özelliklerin ve yoğunluğun değişmesini etkilemekle kalmayacak, levhaların uygun bir şekilde preslenmesini de etkileyecektir.



Şekil 2.30. Serme dağılım düzeltici sistem (Ekolayzır)

Siklondan aşağıya inen lifler, fan ve ayar klepleri vasıtasıyla pnömatik olarak havada taşınırken lif topakları ağır olduğundan havada kalamamakta ve artıkların toplandığı bölüme düşmektedirler.



Şekil 2.31. Mekanik Serme

Kurutulmuş lifler serme bunkerine geldikten sonra üretim tipine uygun yoğunluğu sağlayacak şekilde serme bandına dökülmeye başlanmaktadır (Şekil 2.31). Serme işleminde liflerin serme boyuna ve enine yönde dengeli şekilde dağılması çok önemlidir.

Liflevhada kalınlık farklılıkları, iç yapışma, vida tutma ve diğer mekanik özelliklerde dengesizlik gibi kalite kusurları oluşmaktadır. Bunu önlemek için serme bandına dökülüştten sonra lifler ekolayzır denen tırmık ve helezonlardan oluşan sistem sayesinde enine ve boyuna yönde dengelenecek şekilde dağıtılmaktadır.



Şekil 2.32. Serme bunkerı

Üretime uygun olan lifler pnömatik hatttan serme bunkerinin üstündeki siklona gelmektedirler (Şekil 2.32). Serme bunkerinin hacmi fabrikanın üretim kapasitesine bağlı

olarak değişmektedir. Liflevha üretiminde kapasite artması için pres öncesi levha taslağının belirli sıcaklıkta olması istenmektedir. Liflevha üretim prosesinde özellikle kış aylarında lif sıcaklığını yükseltmek için serme bunker ve fabrika içi serme hattı bulunan ortam sıcak hava fanları ile ısıtılmaktadır.

Liflevha üretiminde sürekli pres ile üretim yapan fabrikalarda kesintisiz üretim olması için sürekli ön presler kullanılmaktadır. Oluşan levha taslağının prese taşınabilmesi için gerekli sağlamlığı kazanması gerekmektedir. Bunun içinde levha taslağına ön presleme işlemi yapılması gerekmektedir

Ön presleme işlemi PVC kaplı çift taraflı basınç silindirlerle yapılmaktadır. Ön presleme işleminde sıcak pres öncesi oluşturulan levha taslağına herhangi sıcaklık uygulaması yapılmaz ve ön pres basıncı 80-140 bar arasındadır. Ön presleme işlemi levha taslağının bozulmadan devamlılığı için önemlidir. Yüksek basınçlarda presleme işlemi yapılırsa levha taslağı bozulmakta ve levhanın kalite özellikleri düşmektedir. (Şekil 2.33).



Şekil 2.33. Soğuk pres

Serme hattında serme bantı üzerine ve ön presleme sonrası pasta üzerine ısı iletimi arttırıcı kimyasal-su karışımı püskürten cihazlar bulunmaktadır (Şekil 2.34). Püskürtülen bu karışım sayesinde sıcak pres içerisinde pastanın merkezine ısı iletim hızı artmakta ve kapasite artışına yardımcı olmaktadır.



Şekil 2.34. Kimyasal püskürtme cihazı (pasta üst yüzeyine)

2.2.9. Sıcak Presleme İşlemi (Pres)

Dünya’da çeşitli pres teknolojileri geliştirilmiştir. İlk önceleri tek katlı aç–kapa presler kullanılırken kapasite artırmak için çok katlı presler geliştirilmiştir. Müşteri beklentileri ve levha ürünlerine aşırı talep artışından dolayı makine üreticileri sürekli pres teknolojilerini geliştirmiştir. Dünya’daki sürekli pres üreticileri Siempelkamp, Dieffenbacher, Metso, Kusters ve Bison’dur. Dünya’daki ilk sürekli pres Siempelkamp şirketi tarafından 1985 yılında üretilmiştir.

Ön preslemeden çıkan levha taslağının yoğunluğu sıcak prese girmeden önce yoğunluk ölçme cihazı ile otomatik olarak ölçülür. Yoğunluk ölçerden geçen levha taslağı, final ürünün istenilen genişliğine göre daire testereler ile kesilir. Kesilen levha taslağının yan artıkları testerelerin önünde bulunan aspiratörle pnömatik olarak tekrar üretimde kullanılmak üzere serme bunkerine gönderilir.

Yan alma daire testeresinden sonra yer alan metal arama dedektörü levha taslağının içinde metal olup olmadığını saptamak için tarama yapar. Metale rastlanması durumunda otomatik uyarıcılar aracılığıyla serme bandı üzerindeki taslağın içindeki metalin uzaklaştırılması için lifler kazana gönderilir.

Levha taslağının sürekli prese giriş öncesinde başlangıç kısmının pres girişine uygun şeklinde olmasının faydaları vardır. Taslak iki çelik bant arasına uygun şekilde girebilmeli, aksi takdirde bozulan levha taslağı pres girişinde yığılır ve pres çelik bantına, prese zarar verir.

Taslağın uygun formda olması iki çelik bant arasına ilk girdiğinde presin basınç pistonlarının zorlanmasını önler.



Şekil 2.35. Sürekli pres

Son dönemlerde liflevha ürünlerine karşı artan yoğun talep karşısında tüm firmalar genelde sürekli pres hatları satın almaktadır. Sürekli pres hatları, üretim kapasitesinin yüksek olması ve üretim maliyetlerinin diğer üretim yöntemlerine göre daha düşük olması sebebiyle tercih edilmektedir (Şekil 2.35).

Sürekli preslerde levha taslağı prese girdikten sonra sıcaklık ve basınç altında presleme işlemi başlar. Üretim tipine göre hat hızı yani pres faktörü değişmektedir. Preste 3 farklı basınç bölgesi bulunmaktadır. Presin giriş bölgesinde yüksek sıcaklık ve basınç uygulanmaktadır. Daha sonra presin orta bölgesinde sıcaklık düşürülmekte ve basınç sıfırlanmaktadır. Bu bölgeye gaz atma bölgesi denmektedir. Tutkalın reaksiyonu sonucunda açığa çıkan gazlar bu bölgeden rahatça çıkmakta ve levha içerisinde iç basınç oluşmasını önlemektedir. Son olarak pres çıkışında düşük basınç ve düşük sıcaklık uygulanmaktadır. Bu bölgedeki amaç levhayı kalibre etmektir. Kalınlıkların her noktada eşit olması sağlanmaktadır.

Pres basıncı taslak yoğunluğuna, taslak rutubetine, sıcaklığa ve tutkala bağlı olarak 35-40 kg/cm² arasında değişir. Pres girişindeki ilk pistonda yüksek basınç uygulanır. Sürekli sistemde levha taslağı prese ilk girdiğinde 35-40 kg/cm² basınç uygulanmakta, presin ortalarına

doğru basınç 1-10 kg/cm²'ye düşmekte, son kısmında ise levhanın nihai kalınlığının sağlandığı 15-20 kg/cm² basınç uygulanmaktadır. Orta tabakanın sıcaklığı 100°C'ye ulaştığında levhanın nihai kalınlığına ulaşılmalıdır. Aksi takdirde tutkalın yapışma direnci düşmektedir.

Sıcak presleme süresi, spesifik pres faktörü ile belirtilmektedir.

$$\text{Spesifik Pres Faktörü (sn/mm)} = \frac{\text{Pres Süresi (sn)}}{\text{zımparalanmamış levha kalınlığı (mm)}}$$

Şekil 2.36. Spesifik Pres faktörü

Spesifik pres faktörü her mm. kalınlık için preslemede ihtiyaç duyulan süreyi göstermektedir (Şekil 2.36). Levha taslağını taşıyan serme bandının hızını silindirler etrafında dönen çelik bandın hızı belirlemektedir. Çelik bandın hızı ise presleme faktörüne göre belirlenmektedir. İnce levha üretiminde bant hızı yüksek olduğundan presleme süresi kalın levhalara göre daha kısa olmakta fakat çelik bandı daha kısa sürede aşındırmaktadır. 18 mm MDF için taslağı taşıyan serme bandı hızı yaklaşık 5-7 m/dak iken, 3 mm için 30-33 m/dak 'dır.

Sıcak preste taslağın yüzey tabakasının sıcaklığı 100°'ye ulaştığı zaman yüzeydeki rutubet buhara dönüşerek taslağın orta bölgelerine doğru ilerlemekte ve soğuk olan bir nokta bulunduğu yoğunlaşarak sıcaklığını buraya vermektedir.

Üre-formaldehit tutkalı kullanıldığında tutkalın sertleşmesi için taslağın orta bölgesinin en az 100 °C' ye ulaşması gerekmektedir. Taslağın alt ve üst yüzeylerinden gelen iki buhar akımı orta tabakada karşılaştığında, levha kenarlarından küçük miktarlarda buhar çıkmaya başlamakta ve kısa süre sonra tutkalın katılaşması sona ermektedir.

Sıcak prese giren taslağın rutubeti ortalama %10.5'dur. Taslak rutubetinin %13-14'ten yüksek olması, pres süresinin uzamasına neden olduğu gibi sıcak presleme sırasında taslağın orta bölgesinde oluşan buhar basıncı pres açıldığında levhanın yapışma direncinden yüksek olduğu takdirde levhada patlama kusuruna neden olabilmektedir. Taslak rutubetinin yüksek olmasının diğer bir sakıncası da taslağın sürekli ve katlı preslerde çelik banda veya pres plakalarına yapışmasına neden olmasıdır.

2.2.10. Ebatlama ve Soğutma İşlemi

Sıcak preste presleme işlemi sonrasında levha ebatlama hattına gelmektedir. Sürekli pres hatlarında levha presten sonsuz boyda çıkmaktadır. Levhanın enine ve boyuna yönde kesilmesi için farklı tipte testereler kullanılmaktadır. Liflevha presten çıktığında hattın üretim yönüne göre sağ ve sol tarafında kenar kesme testereleri levhanın enini ayarlamak için kesime başlamakta olup, levhanın boyunu ayarlamak için diyagonal testereler kullanılmaktadır (Şekil 2.37).

Diyagonal testereler üretim hızına uygun şekilde belli bir açıda hareket ederek levhanın hat üzerinde hareket halindeyken düzgün şekilde ebatlanmasını sağlamaktadır (Şekil 2.38). Testerelerden çıkan kesim artıkları testere üzerlerinde bulunan emişlerle kazana gönderilerek yakıt olarak kullanılmaktadır.

Emişlerde bir problem olması halinde çıkan çapaklar levha üzerlerinde kalmakta ve istif asansörlerinde paketlenme sırasında levha yüzeylerinde çukurlar vb. kalite problemlerinin olmasına neden olmaktadır. Bu durum özellikle üst yüzey işlemi uygulanacak zımparasız levhalar için ciddi bir kalite kusuru oluşturmaktadır.



Şekil 2.37. Sağ ve sol kenar kesme testereleri

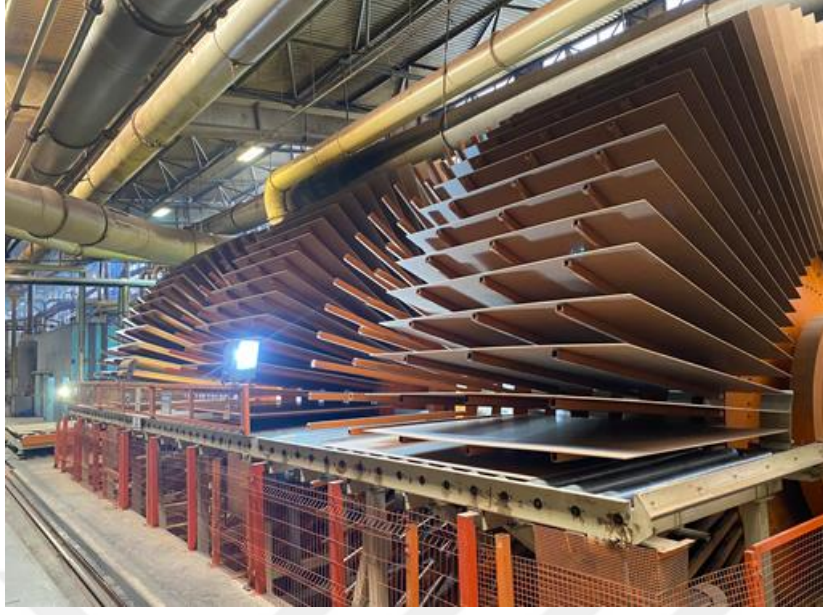


Şekil 2.38. Hareketli diyagonal testereler

Ebatlama işlemleri tamamlandıktan sonra levhalar soğutma işlemine tabi tutulmalıdır. Tutkalda kürlenme devam ettiği ve levha çok sıcak olduğu için levhalar yıldız soğutucu adı verilen soğutma ünitesine alınmaktadır. Sıcak presten çıkan levhalar ebatlandıktan sonra tartılır ve klimatize işlemine tabi tutulur.

Bu işlem fabrikalarda “Yıldız Soğutucu” adı verilen, yıldız şeklinde kolları olan ve belirli bir hızla dönen mekanik sistemler vasıtasıyla yapılmaktadır. Presten sıcak çıkan levhanın belirli bir süre soğutulduktan sonra istif edilmesi gerekmektedir. Levhalar yıldız soğutucuda yaklaşık 30–45 dk kadar (18 mm MDF için) bekletildikten sonra istif asansöründe paket haline getirilmektedir. Pres sonrası levhanın sıcaklığı 100– 120°C iken yıldız soğutucu sonrasında levha sıcaklığı yaklaşık olarak 60°C’ye düşmektedir. Sıcak pres sonrası levha rutubeti ise % 5–7 civarındadır. Yıldız soğutucuda bekleme süresi, levha kalınlığı düştükçe azaltılmaktadır.

Yıldız soğutucularda levhada tutkal kürlenmeye aynı zamanda da gaz çıkışı olmaya devam etmektedir (Şekil 2.39). Levhalar enine ve boyuna yönde yaklaşık 1 milimetre kadar çekmektedir. Soğutma işlemi ile levhaların istiflenmeden önce boyutsal olarak da stabil hale gelmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.39. Yıldız soğutucular

2.2.11. İstifleme İşlemi

Yıldız soğutucularda soğutulması sağlanan levhalar paketler halinde istiflenmek üzere asansörlere alınmaktadır (Şekil 2.40). Asansörlerde levhalar belli bir adette biriktirilerek paket haline getirilmektedir. Daha sonra bu paketler zımpara öncesi bekleme alanına gönderilmektedir.



Şekil 2.40. İstifleme Asansörleri

2.2.12. Zımparalama İşlemi

Asansörlerden çıkan paketler zımpara işlemi öncesi bekleme alanına alınmaktadır. Bu alanda minimum 24 saat bekletilerek tutkal yapışma reaksiyonun ve soğuma işleminin tamamlanması sağlanmaktadır. Bekleme süresi dolan ürünler zımparaya alınmaktadır.

MDF levhada kalınlık kalibrasyonu, mobilya üretiminde, boya, cila veya dekor kâğıdı gibi üst yüzey kaplaması için düzgün yüzeyli ve az pürüzlü levha elde etmek için önem arz etmektedir. Liflevhanın zımparalama işleminde 60-80 kumlu zımpara bandı ile kaba zımparalama (kalınlık kalibrasyonu) peşinden 120 kum ile ince zımparalama (düzgün yüzey) uygulaması yapılır.

Zımparalama işleminin amacı presten çıkan levhaların her noktasında kalınlıklarının eşit olması ve yüzey görselinin iyileşmesidir. Zımpara makinesinde levha aynı anda hem alt hem de üst yüzeyi zımparalayacak şekilde silindirlere vardır. Bu silindirlere zımpara bantları takılarak işlem gerçekleştirilmektedir. Silindirlerin levha yüzeyine bandın değmesini sağladığı değişik tipleri vardır. Bunlar K kafa, NS Kafa gibi isimlerle anılmaktadırlar (Şekil 2.41).



Şekil 2.41. Zımpara makinesi NS kafa

Zımpara makinasının başlangıcında K kafalar kullanılmaktadır (Şekil 2.42). Bu kafalara kalın kumlar takılmaktadır. Amaçları levhanın kalınlık kalibresini sağlamaktır. Yani her noktada kalınlıklar eşitlenmektedir. NS kafa ise zımpara makinesinin çıkışında daha ince kumlar takılarak kullanılmaktadırlar (Şekil 2.43). Amaçları yüzeylerin daha pürüzsüz ve güzel

görünmesini sağlamaktır. Girişte genelde K kafalarda 40 kum, 50 kum, 60 kum zımpara bantları kullanılırken, çıkışta NS kafalarda 80 kum, 100 kum ve 150 kum bantlar kullanılmaktadır. Özel ürünlerde yüzeylerin daha da iyi görünmesi için 180 kum zımpara bantları kullanılmaktadır (Şekil 2.44).



Şekil 2.42. Zımpara makinesi K kafa



Şekil 2.43. Zımpara bandı



Şekil 2.44. Zımpara makinası

2.3. MDF'nin Geri Dönüşümünde Uygulanan Yöntemler

Geri dönüşüm çeşitli yöntemlerle atık malzemeyi temel olarak kendi hammaddesi haline dönüştürme işlemi olarak açıklanabilir. Lif esaslı malzemelerin geri dönüşümlerinde selüloz molekülleri mekanik etkilerle parçalanmakta bu durumda lif boyutları azalmaktadır. Bu durum elde edilecek yeni ürünün direnç özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Şahin, 2014).

2.3.1. Atık Levhaların Yongalanarak Değerlendirilmesi

Atık MDF'den elde edilen geri dönüştürülmüş lifler, MDF üreticileri için yeni, düşük enerjili ve güvenilir bir hammadde kaynağı sunmaktadır. MDF üretim sürecinde hidrotermal veya buhar bazlı defibrilasyon prosesleri nedeniyle, lif kısalması, liflerin kimyasal bileşimindeki değişiklikler ve yüzeylerinde kürlenmiş reçine kalıntıları gibi bazı dezavantajların birleşik etkilerinden dolayı atık MDF liflerinden elde edilen levhaların mukavet ve suya karşı direnci ham ağaç liflerinden elde edilen MDF levhaya göre düşüktür. (Hagel, S., Joy, J., Cicala, G., & Saake, B. 2021).

Özellikle lifler arasındaki arayüzey bağ mukavemeti %100 ham odun liflerinden yapılan MDF levhalara göre daha düşüktür. (Moezzi-pour, B., Ahmadi, M., Abdolkhani, A., & Doosthoseini, K. 2017)

En iyi geri dönüşüm yöntemlerinden biri, atık MDF levhaların lif haline getirilerek ham odun lifleriyle karıştırılarak kullanılmasıdır. (Hwang, C. Y., Hse, C. Y., & Shupe, T. F. 2005).

Ağırlıkça %33 oranında ham odundan elde edilen liflerle dönüştürülmüş liflerin değiştirildiği bir çalışmada, çekme mukavemeti yaklaşık %26 azalmış ve geri dönüştürülmüş

liflerin daha yüksek miktarı MDF levhanın standart gereksinimlerini karşılamamıştır (Roffael, E., Behn, C., Schneider, T., & Krug, D. 2016).

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na (EPA) göre , 1990'larda odun atıklarının geri dönüştürülmesi şirketler tarafından ekonomik olarak uygun görülmedi. Ancak, odun fiyatlarının artması ve orman koruma ihtiyacının bir sonucu olarak doğal kaynakların kullanılabilirliğinin sınırlanması nedeniyle, artık geri dönüşüm seçeneği dikkate alınmaktadır. Ayrıca bilim camiasının MDF geri dönüşümünü içeren konulara olan ilgisinin arttığı görülmektedir.

2.3.2. MDF Üretimine Ekleme Yöntemi

Liflevha üretimi sırasında çıkan uç kesim, patlak, ıskarta gibi levhaların lif üretimindeki süreçlerden yeniden geçirilerek doğrudan üretime katılması prensibine dayanmaktadır.

Ekleme yönteminde lif boyutları ve formu olumsuz etkilesen de yapılan çalışmalarda fiziksel ve mekanik özellikler açısından istatistiksel olarak anlamlı derecede bir farkın görülmediği tespit edilmiştir. (Demirkır ve Çolak, 2011).

2.3.3. Mikrodalga Yöntemi

Mikrodalga yönteminde atık liflevhalarda bulunan liflerin ve yine atık yonga levhalarda bulunan yongaların geri dönüştürülerek tekrar kullanımı amaçlanmaktadır.

Bu yöntemde liflevhaların geri dönüştürülmesinde su kullanılmaktadır. Atık liflevhalar küçük parçlara ayrılmakta ve su içerisinde iyice ıslanması sağlanmaktadır. Daha sonra mikrodalga cihazında ısıtma işlemi uygulanarak levhaların kalınlığına şişmesi ve numune içerisindeki tutkalın yapmış olduğu bağların kopması sağlanmaktadır. Geri kazanılmış liflerin fiziksel görüntüsü liflendirme yöntemi kullanılarak elde edilmiş liflerin fiziksel görüntüsüyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Lubis et al., 2016).

Mikro dalga yönteminde liflerin formu olumsuz etkilenmediğinden üretimde istenilen lif formasyonu konusunda diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır.

Mikro dalga yönteminin üretim prosesinde ne kadar yatırım maliyeti getireceği belirsiz ve ticari bir uygulaması yoktur (Wan et al., 2014).

2.3.4. Termohidroliz Yöntemleri

Bu yöntemlerin tamamı odun ile tutkal arasında meydana gelen bağları, doygun buhar ortamında birbirinden koparma esasına dayanmaktadır (Şekil 2.45). Bu teknolojilerin maliyeti ve enerji ihtiyaçları; sıcaklık, basınç ve buhar uygulamasının gerekli olmasından dolayı yüksektir.



Şekil 2.45. Termohidroliz Yöntemi

2.3.4.1. Sandberg yöntemi

Sandberg yönteminde mekanik olarak yongalanmış yonga levha atıkları, geniş bir otoklav içerisinde 500 kpa basınç altında yaklaşık olarak 4 saat buhar muamelesine tabi tutulması ile sağlanmaktadır. Bu işlem sonucunda gevşeyen bağlar mekanik ayırma yöntemi ile kolaylıkla ayrılabilirler. Yaklaşık %30 oranında geri kazanılmış yonga kullanılarak üretilen yonga levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli derecede bir kaybın olduğu tespit edilmemiştir (Demirkır ve Çolak, 2011).

2.3.4.2. Pflaiderer yöntemi

Liflerdeki tutkal bağlarının kopması için 180°C'lik otoklavda 2 dakika boyunca bekletilmektedir. Bu yöntemle geri kazanılmış liflerde etkili bir yapışma sağlanabilmesi için, üre formaldehit tutkalı kullanılması gerekmektedir (Demirkır ve Çolak, 2011).

2.3.4.3. Kimyasal-termo mekanik yöntemi (WKI)

Yöntemin ilk basamağında yongalanan yonga levha veya MDF atıklarından elde edilen yonga veya lifleri ayırmak için, su ve üreden oluşan bir emprenye çözeltisi ile muamele edilmektedir. İkinci basamakta ise ayrılan yongalara 200 kpa basınç ve 80-120 °C sıcaklık altında levha içerisindeki tutkal-lif bağı ayrışana kadar ısıtıl işlem uygulanmaktadır. Bu işlemden sonra yongaların bir kurutucu aracılığı ile kurutulması gerekmektedir. (Demirkır ve Çolak, 2011).

Yapılan araştırma sonuçlarına göre kimyasal-termo mekanik yöntemi ile %100 oranında geri kazanılmış yongalardan levha üretiminin mümkün olduğu tespit edilmiştir (Demirkır ve Çolak, 2011).

2.3.5 Geri Dönüşüm Metodu olarak Asitlerin Kullanılabilirliği

Asidik hidrolizin başlangıç evresinde selülozun polimerizasyon derecesi hızla düşer. Ancak, selülozun amorf kısımları hidrolizle uzaklaştırıldığında DP bir dengeye ulaşmaktadır. Geriye kalan mikrokristalitlerin hidrolizi sadece kristalit yüzeyinde olmaktadır. Eğer, meydana gelen hidroliz işlemi fosforik asit gibi homojen bir sistem içerisinde meydana gelirse tüm bağların kopması benzer şekilde gerçekleşmektedir (Hafızoğlu ve Deniz, 2011).

3. YÖNTEM

3.1. Malzeme

3.1.1 Odun Hammaddesi

Ham Odundan Elde Edilen Çam liflerinin temin edilmesi;

Çalışmada kullanılan ham odun lifleri Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ş. Gebze MDF işletmesinden temin edilmiştir (Şekil 3.1). %100 Çam odunundan elde edilen yongalar pişirme kazanına girmeden önce yonga bunkerinde ön buhar verilerek yumuşamaları sağlanmıştır. Daha sonra pişirme kazanına geçen yongalar 170-180° derecede, 9 bar basınç altında 2.5 dakika süresince yumuşatılmaktadır. Yongalar, pişirme kazanı içerisinde alttaki karıştırıcı ile yongalar sürekli karıştırılmaktadır. Normal MDF üretim hattında yongalara parafin defibratöre yumuşamış yongaları besleyen alt boşaltma şinekesi (konveyör) üzerine yerleştirilmiş ince borudan pülverize edilmekte ve sonra yongalar liflendirilmektedirler. Ancak bu çalışmada yongalar defibratöre beslenmeden önce parafin kapatılmış ve yongalar parafinsiz liflendirilmiştir. Yongalar lif haline geldikten sonra tutkal ve sertleştirici muamelesi olmadan, kurutucuya girmeden blow out valf çıkışından alınmıştır.



Şekil 3.1. Temin edilen Çam odunu lifleri

Atık MDF'den Elde Edilen Liflerinin Temin Edilmesi;

Çalışmada kullanılan atık MDF lifleri %100 Çam lifi kullanılan üretim hattında uç kesim levhaları ve ıskarta olarak çıkan MDF levhalardan elde edilmiştir. %100 Çam lifi kullanılarak üretilen uç kesim ve ıskarta MDF levhalar öncelikli olarak yongalama makinasından geçirilerek tekrar yonga haline getirilmiştir. Atık MDF levhalardan elde edilen yongalar yonga depolama sahasında diğer yongalarla karışmayacak şekilde ayrı bir yerde depolanmıştır.

Atık MDF levhalardan elde edilen yongalar daha sonra MDF üretim akışı içerisinde yonga bunkerine alınarak buhara maruz bırakılmıştır. Daha sonra pişirme kazanına alınarak 9 bar buhar basıncında 2.5 dakika pişirilmiştir. Pişirme işleminden sonra buhar basıncı ile patlayan yongalar rafinera alınarak liflendirildi. Lif haline gelen yongalar tutkallanmadan, parafin verilmeden ve kurutma hattına girmeden önce MDF üretim hattında lif çıkış borusundan alınmıştır. Atık MDF levhalardan elde edilen liflerde tutkal, parafin, sertleştirici vb hiçbir kimyasal olmadan temin edilmiştir. Atık MDF lifleri Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ş. Gebze MDF işletmesinden temin edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Atık MDF levhaların yongalanması ve depolanması

Fabrikada defibratörden çıkan ham odun ve atık MDF lifleri, Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ş. Arge Merkezi ahşap kompozit Laboratuvarına taşınmıştır.

3.1.2. Tutkal

Üre-Formaldehit tutkalı, üre ve formaldehitin sulu çözeltilerinin kademeli bir şekilde asit katalizörler kullanarak sıcaklık etkisi altında kondanse olmasıyla elde edilir. Elde edilecek tutkalın özelliklerini; sıcaklık, reaksiyon süresi, pH değeri, katalizör konsantrasyonu ve üre ile formaldehitin molar oranı etkilemektedir. MDF levhaların üretiminde yapıştırıcı madde olarak Kastamonu Entegre Gebze tutkal işletmesinden temin edilen 1.05 mol üre formaldehit tutkalı kullanılmıştır (Tablo 3.1). Kullanılan 1.05 mol üre-formaldehit tutkalının özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Üre formaldehit tutkalı teknik özellikleri

1	Katı madde tayini %	50
2	Vizkosite(cps)	17-50
3	Yoğunluk (gr/cm ³)	1.190-1.225
4	Jell time (sn)	40-100
5	pH değeri	7.8-9

3.1.3. Parafin

Parafinin su itici etkisi yüksek, ergime noktası uygun ve diğer hidrofobik maddelere göre daha ucuzdur. Ham petrolden elde edilen nispeten yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbonlardır. Suda çözünmezler ve polar olmadıklarından kimyasal yönden aktif değildirler.

Hidrofobik özellikler, mum içindeki kristal tipi ile doğrudan ilişkilidir. Parafinik mumlar, suya karşı en iyi direnci sağlayacak uzun iğne kristallere sahiptir. Kısa, yanlara dallanmış kristal yapısına sahip mumları hidrofobik madde olarak kullanmak, yeterli olmamaktadır. Bu sebeple levha denemelerinde parafin emülsiyonu kullanıldı.

MDF levhaların üretilmesinde kullanılan parafin Kastamonu Entegre Gebze tesislerinden temin edilmiştir (Tablo 3.2). Levhalar %60 katı oranına sahip sıvı parafin ile üretilmiştir. Tam kuru lif ağırlığına oranla %0.5 katı olacak parafin kullanıldı. Parafin Mercan Kimya firmasında üretilmiştir. Sıvı parafin analiz sonucu aşağıdaki çizelgede görülmektedir.

Tablo 3.2. Parafin Analiz Sonuçları

Sıvı Parafin Analiz Sonuçları	
Analiz Edilen Maddeler	Test Sonuçları
Katı Madde Oranı (%)	60.44
Yoğunluk (gr/cm ³)	0.95
Erime Noktası Tayini	62
pH	9.9
Akma Zamanı (sn)	18.67

3.1.4. Sertleştirici

Günümüzde sertleştirici olarak en çok amonyum klorür ve amonyum sülfat tercih edilmektedir. Sertleştirici olarak sadece asit kullanma durumunda sertleşme o kadar çabuk olmaktadır ki MDF taslağı sıcak prese gelmeden sertleşmektedir. Bu yüzden daima tamponlanmış karışımlar kullanılır. Tamponlayıcı madde olarak amonyak, üre veya hekzametilentetramin kullanılmaktadır. Odun lifi ile lignin arasında kovalent bir bağ oluşturabilmek için, selülozda bulunan OH grupları kullanıldı. MDF levhaların üretiminde sertleştirici olarak 2 farklı sertleştirici kullanılmıştır.%25 katı olacak şekilde HMTA ve amonyum klorür kullanılmıştır. Sertleştiriciler Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ş. Gebze MDF işletmesinden temin edilmiştir.

3.1.5. Lignin

Üretilen MDF levhalarda kullanılan ham odun ve atık MDF'den elde edilen lif karışımının ligninle modifikasyonu için Stora Enso (Finlandiya) firmasından kraft lignin kuru toz halinde temin edilmiştir (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Stora Enso firmasından temin edilen ligninin özellikleri;

Ligninin Teknik Özellikleri	
Görünüm	Koyu kahverengi toz
Katı madde	%60-70
Kül miktarı (%)	<1.5
Kükürt (%)	<2,5
Artık karbonhidratlar (%)	<2
PH (%40 lık su çözeltisinde)	2.5-3.5
Rutubet içeriği (%)	≤% 4
Yoğunluk (kg/m ³)	550-650
Ortalama molekül ağırlığı MW	5500-7500

Levhaların üretiminde odun karışımı ve lignin kullanım oranları hariç diğer üretim değişkenleri (parafin, tutkal ve sertleştirici miktarları, taslak rutubeti, presleme şartları, yoğunluk, levha boyutları vb.) sabit tutulmuştur. Levha üretiminde katı tutkal miktarına göre sertleştirici oranı sabit tutulmuş olup, iki farklı tip sertleştirici ile levhalar üretilmiştir. Levha kalınlığı 5 mm yoğunluğu 800 kg/m³ rutubeti %6 hedeflenmiştir. Final MDF levha hedefine göre levha grupları ve bu gruplarda kullanılan kimyasalların ve odun karışımlarının yüzdesel oranları Tablo 3.4 de ifade edilmiştir.

Tablo 3.4. Levha Üretim Planı

MDF Grup Numarası	Odun Karışımı		Parafin	Lignin	Tutkal	Sertleştirici	
	Ham Odun (%)*	Atık MDF (%)*	Parafin (%) (Tam kuru lif ağırlığına oranla)	Kraft Lignin (%) (Tam kuru lif ağırlığına oranla)	Tutkal (%) (Tam kuru lif ağırlığına oranla)	Amonyum Klorür (AC) Katı Tutkal Miktarına göre % oranla)	Hekzametilen tetramin (HMTA) Katı Tutkal Miktarına göre % oranla)
1	100	-		-		0.35	-
2	100	-		-		-	0.35
3	90	10		0		0.35	-
4	90	10		2,5		0.35	-
5	90	10		5		0.35	-
6	90	10		7,5		0.35	-
7	90	10		0		-	0.35
8	90	10		2,5		-	0.35
9	90	10		5		-	0.35
10	90	10		7,5		-	0.35
11	70	30	0.5	0	10	0.35	-
12	70	30		2,5		0.35	-
13	70	30		5		0.35	-
14	70	30		7,5		0.35	-
15	70	30		0		-	0.35
16	70	30		2,5		-	0.35
17	70	30		5		-	0.35
18	70	30		7,5		-	0.35
19	-	100		-		0.35	-
20	-	100		-		-	0.35

*Üretilen levhalarda kullanılan rutubet ve katı kimyasal ağırlığı çıkarıldıktan sonra kalan tam kuru lif ağırlığının yüzde içeriği.

3.2. Deneme Levhalarının Üretimi

Deneme levhalarının üretimi Kastamonu Entegre Ağaç San. Tic. A.Ş. Arge Merkezi ahşap kompozit Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Liflerin Kurutulması

Ham odundan ve atık MDF levhadan elde edilen lifler hava sirkülasyonlu kurutma fırınında %2-3 rutubet oranına kadar kurutularak ortamdan rutubet almamaları için açık havada bekletilmeksizin tutkallamadan önce plastik torbalarda ağzı kapalı şekilde muhafaza edilmişlerdir.

3.2.2. Liflerin Ligninle Modifikasyonu

Liflerin yüzeylerinin ligninle modifikasyonu ile, liflerin temel özelliklerini etkilemeden lifler arasındaki çapraz bağlanmayı artırmak için yüzeyde fiziksel modifikasyon gerçekleştirilmiştir. Fiziksel modifikasyonla lif yüzeylerindeki lignin oranının artırılması sağlanmaktadır.

MDF üretiminde levhanın her bölgesinde aynı özellikteki liflerin kullanılması ön görüldüğünden, ham odundan ve atık MDF levhadan elde edilen lif karışımının ligninle modifikasyonu, içerisinde 4 karıştırma koluna sahip tutkallama makinasında yapılmıştır. Lifler ligninle modifiye edilmeden önce tam kuru lif ağırlığına oranla %0.5 parafin kullanıldı. Parafinle muamele edilmiş liflere lignin katısı %50 olacak şekilde hazırlanan çözelti gözenek çapı 2 mm olan tutkal püskürtme tabancasında püskürtülmüştür. Lif karışımının modifikasyonu tutkallamadan önce yapıldı.

3.2.3. Tutkallama

Ham odun ve atık MDF levhadan elde edilen lif karışımı ligninle modifiye edildikten sonra içerisinde Şekil 3.3'te görülen 4 karıştırma koluna sahip tutkallama makinasında tutkallanmışlardır. Üre formaldehit tutkalı tam kuru lif ağırlığına oranla %10 olarak uygulanmıştır. Tutkalın liflere püskürtülmesinde 2 mm çapında boya püskürtme tabancası kullanılmıştır. Lifler tutkallandıktan sonra sertleştirici püskürtülmüştür.



Şekil 3.3. Liflerin ligninle modifikasyonu ve liflerin tutkallanması

3.2.4. Taslak Hazırlama

Tutkallama makinesinden çıkan lifler oluşabilecek lif toplanmalarını gidermek için elektrikli bir tırmık ile karıştırılmıştır. Levha taslağının hazırlanmasında 500 mm x 500 mm boyutlarında şekillendirme çerçevesi ve 5 mm kalınlığında kalınlık takozları kullanılmıştır. Tutkallanmış liflerin elle homojen bir şekilde serilmiş amaçlanmıştır.

Serme işlemi tamamlandıktan sonra, şekillendirme çerçevesi büyüklüğünde bir plaka ile lifler üzerine basınç uygulanarak bir nevi soğuk pres yapılmıştır.

Soğuk presleme işleminden sonra, şekillendirme çerçevesi dikkatli bir şekilde levha taslağının kenarlarına zarar vermeyecek şekilde yavaşça çıkarılarak serilen taslak üzerine üst pres sacı yerleştirilmiş ve böylece taslak sıcak preslemeye hazır hale getirilmiştir.

Tüm taslak levhaların homojen olarak aynı kalınlıkta olmalarını sağlamak amacıyla preslemede 5 mm kalınlığındaki kalınlık takozları kullanılmıştır.

3.2.5. Presleme

Levha taslakları Kastamonu Entegre Arge merkezinde bulunan Burkle marka elektrikle ısıtılan tek katlı laboratuvar tipi hidrolik preste levha haline getirilmiştir (Şekil 3.4). Her bir grup için 3 adet levha basılmıştır.

MDF üretiminde tüm levhalar için sabit tutulan presleme şartları aşağıdaki gibidir:

Pres sıcaklığı : 210°C

(Pres alt ve üst ısı plaka sıcaklıkları 210°C olacak şekilde eşit olarak çalışıldı.)

Pres basıncı : mak. 3.5 N/mm²

Pres süresi : 100 saniye

Levha Kalınlığı: 5 mm

Levha Yoğunluğu: 800 kg/m³



Şekil 3.4. Laboratuvar tipi sıcak pres.

3.2.6. Levhaların Klimatize İşlemi

Klimatize edilmesi gereken levhalar $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ derecede ve $\% 65 \pm 5$ rutubette değişmez ağırlık elde edilinceye kadar klima odasında kondisyonlanmıştır (Şekil 3.5). 24 saat aralıklarla yapılan tartımlarda birbirini izleyen iki tartı arasındaki farkın $\% 0.1$ veya daha az olduğu anda örneklerin değişmez ağırlığa ulaştığı kabul edilmiştir. Böylece levhaların kapsadığı rutubet miktarının yaklaşık $\%12$ olduğu gözlenmiştir.

Klimatize edilen levhalardan hazırlanan standart boyutlardaki numunelerin ölçülmesi ve tartılması TS EN 325'e göre yapılmıştır. Buna göre, numune kalınlıkları 0.001 mm hassasiyetli dijital mikrometreyle, genişlik ve uzunlukları 0.01 mm hassasiyetli dijital kumpasla, ağırlıkları ise 0.01 gr hassasiyetli dijital terazi ile tartılmıştır. Uzunluğun ve genişliğin ölçülmesinde, kumpas ayakları ile deney numunesi yüzeyi arasında yaklaşık 45° 'lik bir açı oluşacak biçimde kumpasın ayakları deney parçasına yavaşça ve fazla bir basınç yapmaksızın uygulanmıştır.



Şekil 3.5. Üretilen deneme levhası

3. 3. Üretilen Levhaların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Tespiti

Üretilen MDF levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespitinde, yapılan deneme türüne bağlı olarak standartlar ve yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

3.3.1. Fiziksel Özellikler

Üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri test edilerek kontrol levhaları ve standartlarla karşılaştırılmıştır.

3.3.1.1. Birim Hacim Ağırlığı

TS-EN 323 (1999) 'de belirtildiği gibi 50x50 mm² ölçüsünde 2 farklı şarttan üretilen 2'şer levhadan alınan toplamda 10 parça kullanılmıştır.

$$D = \frac{m}{V}$$

D: Birim Hacim Ağırlığı(Yoğunluk) (gr/cm³)

m: Ağırlık (gr)

V: Hacim (cm³)



Şekil 3.6. Test yapılma anından bir görüntü

3.3.1.2. Rutubet Miktarı

Rutubet miktarı belirlenirken TS-EN 322 (1999) baz alınmıştır. Her levha için 3 adet 50x50 mm² ölçülerinde örnekler kullanılmıştır. Örnekler 0,01 g duyarlılıkta hassas terazide tartılmıştır. Hazırlanan örnekler kurutma dolabına konarak 103 ± 2 °C'de sabit kütleye ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Sabit kütleye ulaşıldıktan sonra örnekler tekrar 0.01 g duyarlılıkta hassas terazide tartılarak aşağıda görülen formül ile hesaplanmıştır.

$$r = \frac{mr - m0}{m0} \times (100)$$

Formülde görülen kısaltmalar;

r : Yüzdelik olarak rutubet, mr : Örnek ilk ağırlığı (g), m0 : Tam kuru haldeki örnek ağırlığı (g)

3.3.1.3. Su Alma Miktarı

24 saat su alma miktarlarının belirlenmesi için her levhadan 10'ar adet 50x50 mm² örnekler hazırlanmıştır. Örnekler 0.01 g duyarlılıkta assa terazide tartılmıştır. Tartılma işlemi bittikten sonra suyunun sıcaklığı 20±1 °C olan termostatlı su banyosu havuzuna örnekler birbirlerine temas etmeyecek şekilde su yüzeyi üzerinden 25 mm aşağıda olacak şekilde konmuştur. 24 saat sonra örnekler su banyosu havuzundan dışarı alınmıştır. Fazla suları bezle silindikten sonra 0.01 g duyarlılıktaki hassas terazi ile tartılmışlardır. Bu ölçümler sonrasında su alma miktarı aşağıda belirtilen formül ile hesaplanmıştır.

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

Bu formüle göre;

Sa : Su alma değeri (%)

t1 : Örneğin suya daldırılmadan önceki ağırlığı (g)

t2 : Örneğin suya daldırıldıktan sonraki ağırlığı (g)

3.3.1.4. Kalınlığına Şişme

Alınan örnekler tam orta noktalarından 0.01 mm duyarlılıkta kumpasla ölçülmüştür. Deney örnekleri 20±2 °C sıcaklıkta temiz suda 24 saat boyunca su yüzeyi üzerinden 25 mm aşağıda tutulmuştur. 24 saat bekledikten sonra sudan çıkarılmıştır (Şekil 3.7). Örneklerin fazla suları bir bez yardımı ile silinmiştir. Kalınlıklar ilk ölçüm noktalarından tekrar ölçülerek kalınlık artışı aşağıda görülen formül ile hesaplanmıştır.

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

Bu formülde;

Ka : Kalınlık artışı (%)

my : Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

ek : Suda bekletilmeden önceki örnek kalınlığı (mm)



Şekil 3.7. Havuzda bekletilen levhalar

3.3.1.5. Levha Yüzey Emiciliği Testi (Yüzey Absorpsiyonu)

MDF yüzeyinin pürüzsüzlüğünü ölçmek için 50x410 cm ölçülerindeki levha numunesi 45 dereceli bir aparatın üzerine konur. 5 ml Toluen 90 derece açı ile levha yüzeyine bırakılır.

Toluenin levha yüzeyindeki akış mesafesi levhanın pürüzsüzlüğünü göstermektedir. Toluen mesafesi uzun olan levhanın yüzey pürüzsüzlüğü en yüksek ölçüm değeri alınmalıdır. Toluen testi MDF'nin yüzey kalitesini ölçmek için yapılan pratik fikir veren bir testir. Levha yüzeyindeki toluen mesafesi levhanın yüzey kalitesi, yüzeyde sıvı tutma ve pürüzlülük hakkında bilgi vermektedir.

MDF levhalarının yüzey absorpsiyonunun belirlenmesi, TS EN 382-1 (1999)'a göre yapılmıştır. MDF'nin yüzey absorpsiyonu deneyinde toluenin akma mesafesi, minimum 150 mm olmalıdır.

Deney numunesi zımparalama yönü aşağı bakacak şekilde 45° açılı destek üzerine sabitlenir. Oda sıcaklığında pipet içinde 5 ml toluen deney numunesi yüzeyine 1 ± 0.1 mm uzaklıkta ve $90^\circ \pm 5^\circ$ açıyla dik olarak serbest bırakılır.

3.3.1.6. Formaldehit Emisyonu

Levhaların serbest formaldehit değerleri perforatör test yöntemi ile hesaplanmıştır. Toluen kimyasalının içinde kaynatılan levha örneklerinin, kaynatılan levhalardan ayrılan formaldehitin destile suya geçmesi sonucu yapılan ölçüme dayanmaktadır (TS EN 12460-5).

Perforatör test yönteminde 105±5 gr levha örneği kullanılmış ve UV Spektrofotometre cihazı ile numunelerin serbest formaldehit ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Örnekler 103±2°C sıcaklıkta etüvde levha ağırlığı sabit hale gelene kadar bekletilmiştir ve levha rutubetleri belirlenmiştir. Sonrasında alınan 105±5 gr levha örneği 1 lt'lik cam balona konmuştur. Üzerine 600 ml saf tolüen eklenmiştir. Sistemin sızdırmazlığı teflon kullanılarak sağlanmıştır. Soğutucu kısmına 150 ml'lik saf su konularak kaçan gaz burada toplanmıştır. Isıtıcı 20 – 30 dakika arasında kaynamayı oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Toluen dakikada 70 -90 damlama olacak şekilde sabitlenerek takip edilmiştir. Kaynama başladıktan iki saat sonra kaynama işlemi sonlandırılmıştır.

Sonrasında tolüen dinlendirilmiş olarak soğutulmuş ve perforatör musluğundan saf su geçirilerek balon jojeye konulmuştur. Perforatörün bütün parçaları saf suda yıkanılarak toluensiz olan kısmı balon jojeye alınmıştır. Ayrıca soğutucu kısmındaki 150 ml'lik saf su balon joje içerisine alınır ve karışım saf su ile 2 lt'ye tamamlanmıştır. 2 lt'ye tamamlanan karışımdan otomatik pipet yardımı ile 1 ml numune alınmıştır ve LCK 325 kitindeki Asetaldehit solüsyonu içine boşaltılmıştır. Sonra LCK 325 kitindeki amonyum asetat sıvısından da otomatik pipet yardımı ile 1 ml örnek alınmış ve asetaldehit solüsyonu içine boşaltılmıştır. 40 °C'de 15 dakika süre boyunca termoreaktörde ısıtılmıştır. Sonrasında karanlık bir dolapta kitler 1 saat bekletilmiştir. 1 saatlik bekleme süresinden sonra kitin dış yüzeyi temiz bir peçete ile silinmiştir. Önceden açılmış olan spektrofotometre içerisine konmuştur. Daha sonra cihaz üzerinde okunan değer alınmıştır.

Aşağıda serbest formaldehit değerlerinin hesaplandığı formül görünmektedir.

$$\text{Numune Levha Kuru Ağırlığı} = \frac{\text{Rutubetli Ağırlık}}{(1+r)/100}$$

$$\text{Serbest Formaldehit} = \frac{\text{Cihazda Okunan Değer} \times 2}{\text{Numune Levha Kuru Ağırlığı}} \times 100$$

3.3.2. Mekanik Özellikler

Deney için üretilen levhaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için Kastamonu Entegre Arge merkezindeki Zwick marka bilgisayar kontrollü test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz belirli periyotlarda kalibrasyon yapılarak ölçümler için gerekli sertifikaları güncellenmektedir.

3.3.2.1. Levha Yüzeyine Dik Yönde Çekme Direnci

Yüzeye dik çekme direnci deneyleri TS-EN 319 (1999) da verilen standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen her gruptan 50x50 mm² boyutlarında örnekler hazırlanmıştır. Levha yüzeyine dik yönde çekme direnci deneylerinin yapılması için zwick test cihazı kullanılmıştır. Numuneler, test makinasındaki kavrama noktaları arasına yerleştirilmiştir. Çekme kuvveti uygulanarak kırılması sağlanmıştır. Kuvveti uygulayan basıncın hareket hızı, yükü deney boyunca sabit olarak gerçekleşmesine ve 60±30 saniyede, deney parçasını koparacak en yüksek kuvvete gelecek şekilde ayarlanmıştır. Deney parçasının kopmasını sağlayan maksimum kuvvet %1 hassasiyetle ölçülmüştür. Yüzeye dik yönde çekme direnci aşağıda belirtilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$f_t = \frac{F_{max}}{a \times b}$$

Bu formülde;

f_t : Yüzeye dik çekme kuvveti (N/mm²)

F_{max} : Kopma yükü (Newton)

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

3.3.2.2. Eğilme Direnci

Eğilme direnci deneyleri TS-EN 310 (1999) standartlarına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Eğilme direncinin belirlenmesi için her levhadan 3'er adet örnek alınmıştır. Örnekler 15x5 cm² ölçülerinde hazırlanmışlardır. Kalınlıklar 0.01 mm duyarlılıkta kumpasla ölçülerek ortalaması alınarak belirlenmiştir. Eğilme direnci deneyi Zwick üniversal test makinesinde yapılmıştır. Yapılan ölçümler aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_s}{2 \cdot b \cdot t^2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Bu formülde;

f_m : Eğilme direnci (N/mm²)

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

l_s : Dayanakların eksenleri arasındaki mesafe (mm)

b : Deney parçasının genişliği (mm)

t : Deney parçasının kalınlığı (mm)

3.3.2.3. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deney, TS EN 310’da belirtilen esaslara göre her bir deneme levhasından yarısı levha uzunluğuna paralel, diğer yarısı levha uzunluğuna dik olarak kesilmiş ve kondisyonlanmış numuneler üzerinde yapılmıştır. Her gruba ait olan numunelerin yarısı levha uzunluğuna paralel, diğer yarısı ise levha uzunluğuna dik olacak şekilde alınmıştır. Numuneler üzerine yük uygulanırken levha yüzeyine paralel olan numunelerin yarısına üst yüzünden diğer yarısına ise alt yüzünden uygulanmıştır. Aynı işlem levha yüzeyine dik olan numuneler üzerinde de yapılmıştır. Deney bir ton güçlü universal ağaç malzeme test makinasında yapılmış ve basınç silindirinin çapının 30 ± 0.5 mm olmasına, dayanak silindirlerinin ise 15 ± 0.5 mm olmasına dikkat edilmiştir. Kullanılan numune boyutları aşağıdaki gibidir.

- Uzunluğu (L) = LS + yaklaşık 50 mm’dir. (LS:Dayanak açıklığı)

- Genişliği (b) = 50 ± 1 mm

- Kalınlığı (a) = Levha kalınlığı, mm

- Dayanak açıklığı (LS) = $20 \times a$ mm’dir.

Her deney numunesinin eğilmede elastikiyet modülü aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$E_m = \frac{(F_2 - F_1) \cdot Ls^3}{4 \cdot b \cdot a^3 \cdot (a_2 - a_1)}$$

Burada;

E_m = Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm²)

LS = Dayanak açıklığı (mm)

b = Numune genişliği (mm) a = Numune kalınlığı (mm)

$F_2 - F_1$ = Yük-sehim diyagramı oranlılık bölgesindeki yük artışı, (N)

$a_2 - a_1$ = $F_2 - F_1$ yük artışları nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışı (mm).

3.3.2.4. Yüzey Sağlamlığı

TS EN 311 (2005) standartına göre yüzey sağlamlığı testi yapılır. Yüzey sağlamlığının belirlenmesi levha eninden 50x50 mm ebatlarında numune alınır. Numune yüzeyinin orta kısmına termoplastik tutkaldan bir miktar sürülür. Çelik yastık tutkalın üzerine koyulur ve numuneye sıkıca yapışması sağlanır. Tutkalın tamamen soğuması beklendikten sonra numuneler çelik yastık etrafınca klavuz açmak için klavuz yuva açma aparatına yerleştirilerek dekopaj yardımı ile 0.3 ± 0.1 mm lik yuva açılır. Numune çelik askı içine yerleştirilerek 60-90 sn. arasında kopacak şekilde kuvvet uygulanır. Kopma anındaki kuvvet kaydedilir.

Numunenin yüzey sağlamlığı miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Yüzey Sağlamlığı} = SS \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{En Büyük Kuvvet} = F \text{ (N)} \quad SS = F / A$$

$$\text{Yüzey Alanı} = 1.000 \text{ mm}^2$$

Levhalara uygulanan testler Tablo 3.5'te topluca verilmiştir.

Tablo 3.5. Levhalara uygulanan testler

Yöntem adı	Standart no	Limit	Boyut (mm)	MDF Numune sayısı
Yoğunluk (Birim hacim ağırlığı)	TS EN 323	% ± 7	50 x 50	9
Rutubet Miktarı	TS EN 322	%4-11	50 x 50	9
Su Alma Miktarı	TS EN 317	% 90	50 x 50	9
Kalınlığına Şişme Miktarı	TS EN 317	% 30	50 x 50	9
Yüzey Emiciliği Testi (Yüzey Absorpsiyonu)	TS EN 382-1	Min 150 mm	50x410	9
Formaldehit Emisyonu	TS EN 12460-5	E1< 8mg/100g	25 x 25	9
Eğilme Direnci	TS EN 310	23 N/mm ²	150 x 50	9
Eğilmede Elastikiyet Modülü	TS EN 310	2700 N/mm ²	150 x 50	9
Levha Yüzeyine Dik Yönde Çekme Direnci	TS EN 319	0,65 N/mm ²	50 x 50	9
Yüzey Sağlamlığı	TS EN 311	Min ≥ 1 N/mm ²	50x50	9

3.3.3. Lif Boyut Analizi

Üretilen liflevhalarda kullanılan liflere Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi Tic. A.Ş.'de İMAL marka Fiber CAM 100 cihazında lif boyut analizi yapılmıştır. Üretilen liflevhalarda kullanılan %100 ham odundan elde edilen liflerin, %90 ham odun-%10 atık MDF lifi karışımının ve %70 ham odun-%30 atık MDF lifi karışımının lif boyutları Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Üretilen liflevhalarda kullanılan liflerin boyut analizi

Lif Karışım Oranı	<0.5 mm (%)	0.5- 2 mm (%)	2- 8 mm (%)
%100 Ham odun lifi	6.8	25.1	68.1
%90 Ham odun-%10 atık MDF Lif Karışımı	8.8	32.9	58.3
%70 Ham odun-%10 atık MDF Lif Karışımı	8.9	37.8	53.3

3.3.4. Elementel Analiz

Ligninle lif modifikasyonun ve sertleştiricilerin kürlenmeye etkisini incelemek amacı ile DSC ve TGA analizleri yapılmıştır. Testler kapsamında %100 ham odundan elde edilen liflere ve %90 ham odun %10 atık MDF lifi karışımından elde edilen liflere DSC ve TGA analizleri yapılmıştır.

DSC Analizleri;

DSC analizleri 25°C'den 350 °C'ye 10 °C/min. hızla, azot (50 ml/dak.) Mettler Toledo ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 100 µL alüminyum pan kullanılmıştır. DSC termogramları ve bu analizlerden elde edilen Kürlenme başlangıç sıcaklığı (onset), Kürlenme sıcaklığı (peak), Kürlenme bitiş sıcaklığı (endset) ve kürlenme zamanı aşağıdaki tabloda verilmiştir. Kürlenme zamanı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$t_{curing} = \frac{Endset(^{\circ}C) - Onset(^{\circ}C)}{\beta (^{\circ}Cmin^{-1})}$$

Denkleimde;

t_{curing} : Kürlenme Zamanı

Endset: Kürlenme bitiş sıcaklığı

Onset: Kürlenme başlangıç sıcaklığı

β : Isıtma Hızı

TGA Analizleri;

TGA analizleri 25°C'den 600°C'ye 10 °C/min. hızla, azot (20 ml/dak.) Mettler Toledo ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 70 L alümina pan kullanılmıştır.

3.3.5. İstatistiksel Yöntem

Üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özellik testleri yapılmış ve elde edilen değerler aşağıdaki ilgili b şlıklar altında gösterilmiştir. MDF levhaları üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen sayısal veriler, "SPSS 18.0 for Windows" istatistik programı kullanılarak bilgisayar ortamında  z mlenmiş ve yorumları yapılmıştır.

Çalışmada, kullanılan bağımsız değişkenler odun-lif karışımı ve lignindir. Bağımlı değişkenler çekme direnci, eğilme dirrenci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzey sağlamlığı, serbest formaldehit, su alma, kalınlığına şişme vb. mekanik ve fiziksel testlerdir. Bu çalışmada, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin etklerini araştırmak için varyans analizi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar herbir bağımsız değişkene göre aşağıdaki tablolalarda verilmiştir.

Gruplara ait sayısal verilerin ilk önce tanımlayıcı istatistik değerleri hesaplanmıştır. Bununla ilgili numune sayısı ortalama değer, standart sapma, değişim genişliği, varyans ve varyasyon katsayısına dair istatistik parametreler belirtilmiştir. Yapılan analizlerde güven düzeyi (significance level) %95 olarak alınmıştır. Homojenlik denetlemesinden sonra gruplar arasında aynı özellik için fark olup olmadığını ve eğer gruplar arasında farklılık çıkıyor ise farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını bulmak için Duncan testleri yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Fiziksel Özellikler

Üretilen levhaların fiziksel özellik testleri yapılmış ve elde edilen değerler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Üretilen levhaların Fiziksel Özellikleri

Levha Üretim Planı	Yoğunluk Değeri (kg/m ³)	Rutubet Miktarı (%)	Su Alma (%)	Şişme (%)	Yüzey Emiciliği Testi (mm)	Formaldehit Emüsyonu (mg/100gr)
%100 Ham odun + %0,35 AC	818	6.1	57	31	165	6.9
%100 Ham odun + %0,35 HMTA	825	6.2	58	31	170	7.3
%90 Ham Odun%10 Atık Mdf %0,35 AC	815	6.2	60	34	125	7.9
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %2,5 Lignin+ %0,35 AC	812	6.6	53	29	155	7.8
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %5 Lignin+ %0,35 AC	841	6.4	51	27	170	7.4
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %7,5 Lignin+ %0,35 AC	817	7.1	49	25	175	7.2
%90 Ham Odun%10 Atık Mdf %0,35 HMTA	830	5.9	59	33	135	8.3
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %2,5 Lignin+ %0,35 HMTA	825	6.9	56	31	155	8.2
%90 Ham Odun +% 10 Atık Mdf %5 Lignin+ %0,35 HMTA	821	6.3	56	30	160	.
%90 Ham Odun +% 10 Atık Mdf %7,5 Lignin+ %0,35 HMTA	819	6.8	54	28	165	7.9
%70 Ham Odun +% 30 Atık Mdf %0,35 AC	790	6.8	58	32	115	8.2
%70 Ham Odun +% 30 Atık Mdf %2,5 Lignin+ %0,35 AC	795	6.3	52	28	120	8.3
%70 Ham Odun +% 30 Atık Mdf %5 Lignin+ %0,35 AC	818	6.5	50	27	125	8.1
%70 Ham Odun +% 30 Atık Mdf %7,5 Lignin+ %0,35 AC	821	6.9	49	24	135	7.9
%70 Ham Odun +% 30 Atık Mdf %0,35 HMTA	827	6.1	59	31	130	8.9
%70 Ham Odun +% 30 Atık Mdf %2,5 Lignin+ %0,35 HMTA	816	6.9	58	30	125	8.7
%70 Ham Odun +% 30 Atık Mdf %5 Lignin+ %0,35 HMTA	810	7.3	55	28	140	8.6
%70 Ham Odun +% 30 Atık Mdf %7,5 Lignin+ %0,35 HMTA	825	6.3	52	28	135	8.4
%100 Atık Odun+%0,35 AC	825	5.4	50	26	95	9.1
%100 Atık Odun+%0,35 HMTA	820	5.9	51	25	90	9.4

4.1.1. Birim Hacim Ağırlığı (Yoğunluk)

Deneme levhalarının birim hacim ağırlıklarına ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Deneme levhalarının birim hacim ağırlığına ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin oranı*	Örnek sayısı	Ortalama (kg/m ³)	Değişim genişliği (kg/m ³)	Standart sapma (kg/m ³)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	818	44	14.01	196.5	1.17
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	825	48	16.94	287.25	2.05
%90 ham odun lifi	0	9	815	21	8.10	65.75	0.99
%10 atık MDF lifi	2.5	9	812	33	10.55	111.5	1.30
%10 atık MDF lifi (AC)	5	9	841	40	13.60	185	1.61
	7.5	9	817	32	8.66	75	1.06
%90 ham odun lifi	0	9	830	35	10.39	108	1.25
%10 atık MDF lifi	2.5	9	825	28	10.70	114.5	1.29
%10 atık MDF lifi (HMTA)	5	9	821	50	16.06	258	1.95
	7.5	9	819	28	7.79	60.75	0.95
%70 ham odun lifi	0	9	790	24	8.38	70.25	1.06
%30 atık MDF lifi	2.5	9	795	45	12.71	161.75	1.59
%30 atık MDF lifi (AC)	5	9	818	18	6.02	36.25	0.73
	7.5	9	821	26	9.26	85.75	1.12
%70 ham odun lifi	0	9	827	37	12.23	149.75	1.47
%30 atık MDF lifi	2.5	9	816	19	6.30	39.75	0.77
%30 atık MDF lifi (HMTA)	5	9	810	38	14.37	206.75	1.77
	7.5	9	825	50	15.72	247.25	0.90
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	825	34	13.26	176	1.60
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	820	40	15.50	240.5	1.89

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların yoğunluk değerleri üzerine etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Lignin kullanım oranının MDF'nin yoğunluk değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun-%10 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	1470.100	2,398	NS
	Gruplar içi	36	7355.400		
	Toplam	39	8825.500		
%70 ham odun- %30 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	7460	31,610	S*
	Gruplar içi	36	2832		
	Toplam	39	10292		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.3'teki varyans analizi incelendiğinde %70 ham odun-%30 atık mdf lif karışından üretilen levhalarda lignin kullanımının levha yoğunluğunu %95 güvenle etkilemektedir. Yapılan Duncan testi ile birbirinden farklı ve eşit kabul edilecek gruplar tespit edilmiştir.

Tablo 4.4. Deneme levhalarına ait yoğunluk homojen grupları ve ortalama değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama değer (kg/m ³)	H.G	Standardın ön gördüğü değer TS EN 323
%90 ham odun	0	815		
lifi - %10 atık	2.5	812	-	
MDF lifi	5	841		
(AC)	7.5	817		
%70 ham odun	0	790	AA	± %7
lifi - %30 atık	2.5	795	AA	
MDF lifi	5	818	BB	
(AC)	7.5	821	BB	

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.4'e göre %70 ham odun- %30 atık MDF lifinden üretilen levhalarda lignin katılım oranı %0- 2.5 ve %5-7.5 değerlerinde gruplar arasında farklılık göstermiştir.

TS EN 323, ahşap esaslı levhaların deney parçalarının, birim hacim ağırlığının tayin edilmesi standartına göre MDF'nin yoğunluk değerindeki sapma oranı ±%7 olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.5’de üretilen levhaların yoğunluk değerleri incelendiğinde ortalama yoğunluk değeri 818 kg/m^3 , en yüksek yoğunluk değeri (841 kg/m^3) %5 ligninle modifiye edilmiş %90-Ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda, en düşük yoğunluk değeri (790 kg/m^3) ligninle modifiye edilmemiş %70- Ham odun- %30 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda ölçülmüştür. Değerler $\pm\%7$ sapma oranından daha düşük çıkarak standardın ön gördüğü limitlerde kalmıştır.

Tablo 4.5. Üretilen deneme levhalarının yoğunluk değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama (kg/m^3)	Standart sapma (kg/m^3)
%100 ham odun lifi (AC)	-	818	14.01
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	825	16.94
%90 ham odun lifi	0	815	8.10
%10 atık MDF lifi	2.5	812	10.55
(AC)	5	841	13.60
	7.5	817	8.66
%90 ham odun lifi	0	830	10.39
%10 atık MDF lifi	2.5	825	10.70
(HMTA)	5	821	16.06
	7.5	819	7.79
%70 ham odun lifi	0	790	8.38
%30 atık MDF lifi	2.5	795	12.71
(AC)	5	818	6.02
	7.5	821	9.26
%70 ham odun lifi	0	827	12.23
%30 atık MDF lifi	2.5	816	6.30
(HMTA)	5	810	14.37
	7.5	825	15.72
%100 atık MDF lifi (AC)	-	825	13.26
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	820	15.50

Tablo 4.6’da ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre yoğunluk varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre yoğunluk varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF lif karışımı A-B	2	19.298	,000*
Lignin	3	4.289	,007*
Ham odun-Atık MDF lif karışımı *Lignin	3	16.215	,000*
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli farklılık bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.6’te belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde odun lif karışımı, lignin ve lignin ile odun lif karışımı arasındaki etkileşimin yoğunluğu etkilediği sonucuna varılmıştır. Lignin ve odun lif karışımı önemli farklılık gösterdiği için duncan analizi yapılmıştır.

Tablo 4.7’de %95 güven düzeyinde yoğunluk değerleri için duncan analiz sonucu verilmiştir.

Tablo 4.7. %95 güven düzeyinde yoğunluk değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
0	20	810.03		A
2,5	20	812.8	812.8	AB
7,5	20	817.65	817.65	AB
5	20		818	B
Ham odun Atık MDF lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
A	20		821.25	BB
B	20	806.05		AA
C (Kontrol Grubu)	20		818	BB

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.7’de lignin katılım oranına göre yoğunluk değerlerine etkisi %2.5 ve %7.5’da aynı homojenlik sınıfındadır. %0 ve %5 oranlarında ise farklı homojenlik sınıflarında olduğu gözlemlenmiştir.

A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını ve C kontrol grubunu temsil etmektedir. A ve C grubu aynı homojenlikte, B grubu ise farklı homojenlik sınıfında elde edilmiştir.

4.1.2. Rutubet Miktarı

Deneme levhalarının rutubet miktarına ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Deneme levhalarının rutubet miktarına ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin oranı*	Örnek sayısı	Ortalama (%)	Değişim genişliği (%)	Standart sapma (%)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	6.1	0.7	0.27	0.07	4.56
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	6.2	1.4	0.39	0.15	6.35
%90 ham odun lifi	0	9	6.2	0.6	0.18	0.03	3.01
%10 atık MDF lifi	2.5	9	6.6	0.8	0.24	0.06	3.71
(AC)	5	9	6.4	0.8	0.26	0.07	4.13
	7.5	9	7.1	0.9	0.31	0.09	4.39
%90 ham odun lifi	0	9	5.9	0.7	0.23	0.05	4.06
(HMTA)	2.5	9	6.9	0.6	0.20	0.04	2.89
%10 atık MDF lifi	5	9	6.3	0.8	0.25	0.06	4.04
	7.5	9	6.8	1.3	0.46	0.21	6.81
%70 ham odun lifi	0	9	6.8	0.8	0.24	0.06	3.60
(AC)	2.5	9	6.3	0.9	0.31	0.10	5.01
%30 atık MDF lifi	5	9	6.5	1.3	0.38	0.15	5.95
	7.5	9	6.9	0.9	0.28	0.08	4.16
%70 ham odun lifi	0	9	6.1	0.5	0.19	0.03	3.17
(HMTA)	2.5	9	6.9	0.8	0.28	0.08	4.16
%30 atık MDF lifi	5	9	7.3	1.2	0.40	0.16	5.60
	7.5	9	6.3	1.4	0.43	0.19	6.91
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	5.4	1	0.35	0.12	6.61
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	5.9	1.4	0.48	0.23	8.21

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların rutubet değerleri üzerine etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. Lignin kullanım oranının MDF’nin rutubet değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun- %10 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	0.237	.449	NS
	Gruplar içi	36	6.338		
	Toplam	39	6.575		
%70 ham odun- %30 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	2.275	8.694	S*
	Gruplar içi	36	3.140		
	Toplam	39	5.415		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.9’daki varyans analizi incelendiğinde %70 ham odun-%30 atık MDF lif karışından üretilen levhalarda lignin kullanımının levha rutubet değerini %95 güvenle etkilemektedir. Yapılan Duncan testi ile birbirinden farklı ve eşit kabul edilecek gruplar tespit edilmiştir.

Tablo 4.10. Deneme levhalarına ait rutubet miktarı homojen grupları ve ortalama değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama değer (kg/m ³)	H.G	Standardın ön gördüğü değer TS EN 322
%90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi (AC)	0	6.2		
	2.5	6.6		
	5	6.4	-	
	7.5	7.1		
%70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi (AC)	0	6.8	AA	%4-11
	2.5	6.3	AA	
	5	6.5	BB	
	7.5	6.9	BB	

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.10'a göre %70 ham odun- %30 atık MDF lifinden üretilen levhalarda lignin katılım oranı %0- 2.5 ve %5-7.5 değerlerinde gruplar arasında farklılık göstermiştir.

TS EN 322, ahşap esaslı levhaların deney parçasının, rutubet miktarının tayini standartına göre MDF'nin rutubeti %4-11 aralığında belirtilmiştir. Tablo 4.11'de üretilen deneme levhalarının rutubet değerleri incelendiğinde üretilen ortalama rutubeti %6.4, en yüksek levha rutubeti (%7,3) %5 ligninle modifiye edilmiş %90- ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda, en düşük levha rutubet değeri %5 ligninle modifiye edilmiş %100 atık MDF lifleriyle üretilen levhalarda %5.4 olarak ölçülmüştür. Değerler standardın ön gördüğü limitler aralığında kalmıştır.

Tablo 4.11. Üretilen deneme levhalarının rutubet değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama (%)	Standart sapma (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	6.1	0.27
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	6.2	0.39
	0	6.2	0.18
%90 ham odun lifi	2.5	6.6	0.24
%10 atık MDF lifi	5	6.4	0.26
(AC)	7.5	7.1	0.31
	0	5.9	0.23
%90 ham odun lifi	2.5	6.9	0.20
%10 atık MDF lifi	5	6.3	0.25
(HMTA)	7.5	6.8	0.46
	0	6.8	0.24
%70 ham odun lifi	2.5	6.3	0.31
%30 atık MDF lifi	5	6.5	0.38
(AC)	7.5	6.9	0.28
	0	6.1	0.19
%70 ham odun lifi	2.5	6.9	0.28
%30 atık MDF lifi	5	7.3	0.40
(HMTA)	7.5	6.3	0.43
%100 atık MDF lifi (AC)	-	5.4	0.35
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	5.9	0.48

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.12'de ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre rutubet varyans analizi verilmiştir.

Tablo 4.12. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre rutubet varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF			
lif karışımı A-B	2	7.711	.001*
Lignin	3	3.372	.022
Ham odun-Atık MDF			
lif karışımı *Lignin	3	3.345	.023
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.12’de belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde odun lif karışımının rutubet miktarını etkilediği sonucuna varılmıştır ve duncan analizi yapılmıştır.

Tablo 4.13’te ham odun-atık MDF lif karışımı, rutubet değerlerine etkisi anlamlı farklılık gösterdiği için duncan testi sonucunda elde edilen homojenlik grupları verilmiştir.

Tablo 4.13. %95 güven düzeyinde rutubet değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
0	20	6.4533		
2,5	20	6.4250		
5	20	6.57	6.57	
7,5	20		6.775	
Odun Lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
A	20		6.575	BB
B	20		6.625	BB
C (Kontrol Grubu)	20	6.1		AA

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.13’te belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımı, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımı duncan analizi sonucuna göre aynı homojenlik grubunda sınıflandırılmıştır. Bu iki grup ile kontrol grubunda farklılık olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.3. Su Alma Miktarı

Deneme levhalarının su alma miktarına ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.14’te verilmiştir.

Tablo 4.14. Deneme levhalarının su alma miktarına ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin oranı*	Örnek sayısı	Ortalama (%)	Değişim genişliği (%)	Standart sapma (%)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	57	13	4.60	21.25	8.08
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	58	15	5.26	27.75	9.08
%90 ham odun lifi	0	9	60	12	4.06	16.5	6.77
%10 atık MDF lifi (AC)	2,5	9	53	5	2	4	3.77
	5	9	51	4	1.73	3	3.39
	7,5	9	49	10	2.95	8.75	6.03
%90 ham odun lifi	0	9	59	16	5.59	31.25	9.47
%10 atık MDF lifi (HMTA)	2,5	9	56	12	4.63	21.5	8.28
	5	9	56	11	3.57	12.75	6.37
	7,5	9	54	8	2.54	6.5	4.72
%70 ham odun lifi	0	9	58	9	3.31	11	5.71
%30 atık MDF lifi (AC)	2,5	9	52	10	3.35	11.25	6.45
	5	9	50	10	3.12	9.75	6.24
	7,5	9	49	8	2.82	8	5.77
%70 ham odun lifi	0	9	59	25	7.34	54	12.45
%30 atık MDF lifi (HMTA)	2,5	9	58	14	5.38	29	9.28
	5	9	55	17	4.92	24.25	8.95
	7,5	9	53	11	3.70	13.75	6.99
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	50	13	4.84	23.5	9.69
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	51	14	4.66	21.75	9.14

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların su alma değerleri üzerine etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.15’te verilmiştir.

Tablo 4.15. Lignin kullanım oranının MDF'nin su alma değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun- %10 atık md f lifi (AC)	Gruplar arası	3	48.500	.649	NS
	Gruplar içi	36	897.000		
	Toplam	39	945.500		
%70 ham odun- %30 atık md f lifi (AC)	Gruplar arası	3	487.500	18.281	S*
	Gruplar içi	36	320.000		
	Toplam	39	807.500		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.15'teki varyans analizi incelendiğinde %70 ham odun-%30 atık MDF lif karışından üretilen levhalarda lignin kullanımını levhaların su alma değerlerini %95 güvenle etkilemektedir. Yapılan Duncan testi ile birbirinden farklı ve eşit kabul edilecek gruplar tespit edilmiştir.

Tablo 4.16'da deneme levhalarına ait su alma miktarı homojen grupları ve ortalama değerleri verilmiştir.

Tablo 4.16. Deneme levhalarına ait su alma miktarı homojen grupları ve ortalama değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama değer (kg/m ³)	H.G	Standardın ön gördüğü değer TS EN 317
%90 ham odun lifi - %10 atık MDF lifi (AC)	0	60	-	% 90
	2.5	53		
	5	51		
	7.5	49		
%70 ham odun lifi - %30 atık MDF lifi (AC)	0	58	CC	
	2.5	52	BB	
	5	50	AB	
	7.5	49	AA	

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.16'ya göre %70 ham odun- %30 atık MDF lifinden üretilen levhalarda lignin katılım oranı %0-2.5-5-7.5 değerlerinde gruplar arasında farklılık göstermiştir.

MDF'nin 24 saat süreli suda bekletme sonucu su alma oranı TS EN 317'de 2.5-6 mm arası levha kalınlıkları için su alma oranı en fazla %90 olarak belirtilmiştir. Tablo 4.17'de üretilen levhaların su alma değerleri incelendiğinde ortalama su alma miktarı %54, en iyi değer (%49) %7,5 ligninle modifiye edilmiş %70- ham odun- %30 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda, en kötü su alma değeri (%60) ligninle modifiye edilmemiş %90- ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda ölçülmüştür. Değerler standardın ön gördüğü maksimum %90 oranından daha düşük çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir.

Tablo 4.17. Üretilen deneme levhalarının su alma değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama (%)	Standart sapma (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	57	4.60
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	58	5.26
	0	60	4.06
%90 ham odun lifi	2.5	53	2
%10 atık MDF lifi (AC)	5	51	1.73
	7.5	49	2.95
	0	59	5.59
%90 ham odun lifi	2.5	56	4.63
%10 atık MDF lifi (HMTA)	5	56	3.57
	7.5	54	2.54
	0	58	3.31
%70 ham odun lifi	2.5	52	3.35
%30 atık MDF lifi (AC)	5	50	3.12
	7.5	49	2.82
	0	59	7.34
%70 ham odun lifi	2.5	58	5.38
%30 atık MDF lifi (HMTA)	5	55	4.92
	7.5	53	3.70
%100 atık MDF lifi (AC)	-	50	4.84
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	51	4.66

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.18’de ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre levhaların su alma miktarının varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.18. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre su alma varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF			
lif karışımı A-B	2	.654	.523
Lignin	3	8.069	.000*
Ham odun-Atık MDF			
lif karışımı *Lignin	3	2.365	.077
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.18’de belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde ligninin su alma değerlerini etkilediği sonucuna varılmıştır ve duncan analizi yapılmıştır.

Tablo 4.19’da ligninin su alma değerlerine etkisi anlamlı farklılık gösterdiği için duncan testi sonucunda elde edilen homojenlik grupları verilmiştir.

Tablo 4.19. %95 güven düzeyinde rutubet değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
0	20		56.6	
2.5	20	52.85		
7.5	20	50.45		
5	20	51.30		
Ham odun				H.G
Atık MDF lif	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	
karışımı				
A	20	53.25		AA
B	20	52.25		AA
C (Kontrol Grubu)	20		57	BB

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.19’da belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımı, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımı duncan analizi sonucuna göre aynı homojenlik grubunda sınıflandırılmıştır. Bu iki grup ile kontrol grubunda farklılık olduğu tespit edildi.

4.1.4. Kalınlığına Şişme Miktarı

Deneme levhalarının kalınlığına şişme miktarına ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20. Deneme levhalarının kalınlığına şişme miktarına ait istatistik parametreleri

Levha grupları	Lignin*	Örnek sayısı	Ortalama (%)	Değişim genişliği (%)	Standart sapma (%)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	31	10	3.27	10.75	10.57
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	31	9	2.87	8.25	9.26
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (AC)	0	9	34	9	2.54	6.5	7.49
	2.5	9	29	7	2.44	6	8.44
	5	9	27	4	1.65	2.75	6.14
	7.5	9	25	4	1.58	2.5	6.32
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (HMTA)	0	9	33	17	4.76	22.75	14.45
	2.5	9	31	12	3.74	14	12.06
	5	9	30	10	3.84	14.75	12.80
	7.5	9	28	12	3.87	15	13.83
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (AC)	0	9	32	8	2.54	6.5	7.96
	2.5	9	28	10	3.42	11.75	12.24
	5	9	27	4	1.58	2.5	5.85
	7.5	9	24	6	2	4	8.33
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (HMTA)	0	9	31	17	5.93	35.25	19.15
	2.5	9	30	8	2.82	8	9.42
	5	9	28	9	2.69	7.25	9.61
	7.5	9	28	14	5.43	29.5	19.39
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	26	18	6.51	42.5	25.07
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	25	14	5.04	25.5	20.19

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların kalınlığına şişme değerleri üzerine etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.21’de verilmiştir.

Tablo 4.21. Lignin kullanım oranının MDF'nin kalınlığına şişme değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun- %10 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	22.900	.485	NS
	Gruplar içi	36	566.600		
	Toplam	39	589.500		
%70 ham odun- %30 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	327.500	19.848	S*
	Gruplar içi	36	198.000		
	Toplam	39			

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.21'deki varyans analizi incelendiğinde %70 ham odun-%30 atık MDF lif karışından üretilen levhalarda lignin kullanımının levha yoğunluğunu %95 güvenle etkilemektedir. Yapılan Duncan testi ile birbirinden farklı ve eşit kabul edilecek gruplar tespit edilmiştir.

Tablo 4.22'de deneme levhalarına ait kalınlığına şişme oranlarının homojen grupları ve ortalama değerleri verilmiştir.

Tablo 4.22. Deneme levhalarına ait kalınlığına şişme oranlarının homojen grupları ve ortalama değerleri

Levha grupları	Kimyasal madde oranı*	Ortalama değer (kg/m ³)	H.G	Standardın ön gördüğü değer TS EN 317
%90 ham odun lifi - %10 atık MDF lifi (AC)	0	34		%30
	2.5	29		
	5	27	-	
	7.5	25		
%70 ham odun lifi - %30 atık MDF lifi (AC)	0	32	CC	%30
	2.5	28	BB	
	5	27	BB	
	7.5	24	AA	

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.22'ye göre %70 ham odun- %30 atık MDF lifinden üretilen levhalarda lignin katılımı %0- 7.5 oranlarında ve 2.5-5 değerlerinde gruplar arasında farklılık göstermiştir.

TS EN 317’de 2.5-6 mm arası levha kalınlıkları için kalınlığına şişme değeri en fazla %30 olarak belirtilmiştir. Tablo 4.23’de belirtilen kalınlığına şişme değerleri incelendiğinde üretilen levhaların ortalama kalınlığına şişme miktarı %28.9, en iyi değer (%24) %7,5 ligninle modifiye edilmiş %70 ham odun- %30 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda , en kötü su alma değeri (%34) ligninle modifiye edilmemiş %90 ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda tespit edilmiştir.

Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhalar standardın ön gördüğü maksimum %30 oranından daha düşük çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir. %100 ham odun lifleriyle üretilmiş levhaların, ligninle modifiye edilmemiş %90 ham odun- %10 atık MDF lifi ve %70 ham odun- %30 atık MDF lifi karışımından üretilen levhaların kalınlığına şişme değerleri standartın öngördüğü değerden yüksek çıkmıştır.

Tablo 4.23. Üretilen deneme levhalarının kalınlığına şişme değerleri

Levha grupları	Lignin*	Ortalama (%)	Standart sapma (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	31	3.27
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	31	2.87
	0	34	2.54
%90 ham odun lifi	2.5	29	2.44
%10 atık MDF lifi (AC)	5	27	1.65
	7.5	25	1.58
	0	33	4.76
%90 ham odun lifi	2.5	31	3.74
%10 atık MDF lifi (HMTA)	5	30	3.84
	7.5	28	3.87
	0	32	2.54
%70 ham odun lifi	2.5	28	3.42
%30 atık MDF lifi (AC)	5	27	1.58
	7.5	24	2
	0	31	5.93
%70 ham odun lifi	2.5	30	2.82
%30 atık MDF lifi (HMTA)	5	28	2.69
	7.5	28	5.43
%100 atık MDF lifi (AC)	-	26	6.51
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	25	5.04

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.24'te ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre yoğunluk varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.24. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre kalınlığına şişme varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF lif karışımı A-B	2	,991	,376
Lignin	3	7,831	,000*
Ham odun-Atık MDF lif karışımı *Lignin	3	3,292	,025*
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.24'te belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde lignin ve lignin ile ham odun atık MDF lif karışımı arasındaki etkileşimin kalınlığına şişme değerlerini etkilediği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.25'te lignin ve lignin ile ham odun-atık MDF lif karışımının kalınlığına şişme değerlerine etkisi anlamlı farklılık gösterdiği için duncan testi sonucunda elde edilen homojenlik grupları verilmiştir.

Tablo 4.25. %95 güven düzeyinde kalınlığına şişme değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	GRUP 3	H.G
0	20			30.7667	CC
2,5	20		28.70		BB
7,5	20	25.75			AA
5	20		27.90		BB
Ham odun Atık MDF lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	-	H.G
A	20	28.75			AA
B	20	27.75			AA
C (Kontrol Grubu)	20		31		BB

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.25'te belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımı, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımı duncan analizi sonucuna göre aynı homojenlik grubunda sınıflandırılmıştır. Bu iki grup ile kontrol grubunda farklılık olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.5. Levha Yüzey Emiciliği Testi (Yüzey Absorpsiyonu)

Deneme levhalarının yüzey absorpsiyon miktarına ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.26’da verilmiştir.

Tablo 4.26. Deneme levhalarının yüzey absorpsiyon miktarına ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin*	Örnek sayısı	Ortalama (mm)	Değişim genişliği (mm)	Standart sapma (mm)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	165	25	9	81	5.45
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	170	30	10.30	106.25	6.06
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (AC)	0	9	125	40	12.99	168.75	10.39
	2.5	9	155	35	11.45	131.25	7.39
	5	9	170	20	7.07	50	4.15
	7.5	9	175	30	10	100	5.71
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (HMTA)	0	9	130	35	12.24	150	9.42
	2.5	9	155	45	16.39	268.75	10.57
	5	9	160	55	17.5	306.25	10.93
	7.5	9	160	50	16.20	262.5	10.12
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (AC)	0	9	115	25	9.35	87.5	8.13
	2.5	9	120	30	11.45	131.25	9.54
	5	9	125	30	9.35	87.5	7.48
	7.5	9	135	35	12.24	150	9.07
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (HMTA)	0	9	130	25	8.29	68.75	6.37
	2.5	9	125	30	10.30	106.25	8.24
	5	9	140	45	14.36	206.25	10.25
	7.5	9	135	40	11.45	131.25	8.48
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	95	25	9.01	81.25	9.48
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	90	30	10.30	106.25	11.45

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların yüzey emiciliği değerleri üzerine etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.27’de verilmiştir.

Tablo 4.27. Lignin kullanım oranının MDF'nin yüzey absorpsiyon değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun- %10 atık mdflifi (AC)	Gruplar arası	3	292.500	.190	NS
	Gruplar içi	36	18495.000		
	Toplam	39	18787,500		
%70 ham odun- %30 atık mdflifi (AC)	Gruplar arası	3	2187.500	7.192	S*
	Gruplar içi	36	3650.000		
	Toplam	39	5837.500		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.27'deki varyans analizi incelendiğinde %70 ham odun-%30 atık MDF lif karışından üretilen levhalarda lignin kullanımı levhaların yüzey emiciliğini %95 güvenle etkilemektedir. Yapılan Duncan testi ile birbirinden farklı ve eşit kabul edilecek gruplar tespit edilmiştir.

Tablo 4.28'de deneme levhalarına ait yüzey emiciliğinin homojen grupları ve ortalama değerleri verilmiştir

Tablo 4.28. Deneme levhalarına ait yüzey absorpsiyon değerlerinin homojen grupları ve ortalama değerleri

Levha grupları	Kimyasal madde oranı*	Ortalama değer (kg/m ³)	H.G	Standardın ön gördüğü değer TS EN 382-1
%90 ham odun	0	125		min. 150 mm
lifi - %10 atık	2.5	155		
MDF lifi	5	170	-	
(AC)	7.5	175		
%70 ham odun	0	115	AA	
lifi - %30 atık	2.5	120	AB	
MDF lifi	5	125	BB	
(AC)	7.5	135	CC	

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.28'e göre %70 ham odun- %30 atık MDF lifinden üretilen levhalarda bütün lignin katılım oranlarında gruplar arasında farklılık göstermiştir.

MDF'nin yüzey emiciliği değeri TS EN 382-1'de 2.5-6 mm arası levha kalınlıkları için minimum 150 mm olarak belirtilmiştir. Tablo 4.29'da belirtilen yüzey absorpsiyon değerleri incelendiğinde üretilen levhaların ortalama yüzey absorpsiyon değeri 140 mm, en iyi değer (% 175 mm) %7.5 ligninle modifiye edilmiş %90 ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda , en düşük değer (90 mm) ligninle modifiye edilmemiş %100 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda ölçülmüştür.

%100 ham odun lifi ile ve %90-10 ham odun atık MDF liflerinin ligninle modifiye edilmesiyle üretilen levhalar standardın ön gördüğü minimum 150 mm değerinden yüksek çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir. Diğer grupların yüzey absorpsiyon değeri standartın ön gördüğü değerden düşük olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.29. Üretilen deneme levhalarının yüzey emiciliği değerleri

Levha grupları	Lignin*	Ortalama (mm)	Standart sapma (mm)
%100 ham odun lifi (AC)	-	165	9
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	170	10.30
	0	125	12.99
%90 ham odun lifi	2.5	155	11.45
%10 atık MDF lifi	5	170	7.07
(AC)	7.5	175	10
	0	130	12.24
%90 ham odun lifi	2.5	155	16.39
%10 atık MDF lifi	5	160	17.5
(HMTA)	7.5	160	16.20
	0	115	9.35
%70 ham odun lifi	2.5	120	11.45
%30 atık MDF lifi	5	125	9.35
(AC)	7.5	135	12.24
	0	130	8.29
%70 ham odun lifi	2.5	125	10.30
%30 atık MDF lifi	5	140	14.36
(HMTA)	7.5	135	11.45
%100 atık MDF lifi (AC)	-	95	9.01
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	90	10.30

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.30’da ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre yüzey emiciliği varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.30. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre yüzey absorpsiyon varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF			
lif karışımı A-B	2	48.376	.000*
Lignin	3	2.017	.118
Ham odun-Atık MDF			
lif karışımı *Lignin	3	.921	.435
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.30’da belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde odun lif karışımının yüzey emiciliğini etkilediği tespit edilmiştir.

Tablo 4.31’de ham odun atık MDF lif karışımının yüzey emiciliği değerlerine etkisi anlamlı farklılık gösterdiği için duncan testi sonucunda elde edilen homojenlik grupları verilmiştir.

Tablo 4.31. %95 güven düzeyinde yüzey absorpsiyon değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
0	20	144.8333		
2.5	20	136.5		
7.5	20	146.25		
5	20	142.5		
Ham odun Atık MDF lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
A	20		156.25	BB
B	20	123.75		AA
C (Kontrol Grubu)	20		165	BB

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.31’de belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını ve C kontrol grubunu temsil etmektedir. Duncan analizi sonucunda A ve C grubu aynı homojenlikte B grubu ise bu gruplardan farklı homojenlikte sınıflandırılmıştır.

4.1.6. Serbest Formaldehit Test Değerleri

Deneme levhalarının serbest formaldehit değerine ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.32’de verilmiştir.

Tablo 4.32. Deneme levhalarının serbest formaldehit değerine ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin oranı*	Örnek sayısı	Ortalama (mg/100g)	Değişim genişliği (mg/100g)	Standart sapma (mg/100g)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	6.9	1.8	0.62	0.38	8.99
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	7.3	1.7	0.60	0.36	8.30
	0	9	7.9	1.9	0.70	0.5	8.95
%90 ham odun lifi	2.5	9	7.8	2.3	0.88	0.78	11.35
%10 atık MDF lifi	5	9	7.4	1.8	0.58	0.34	7.93
(AC)	7.5	9	7.2	3	0.84	0.72	11.78
	0	9	8.3	1.9	0.75	0.56	9.03
%90 ham odun lifi	2.5	9	8.2	1.5	0.44	0.19	5.41
%10 atık MDF lifi	5	9	8	2.3	0.88	0.78	11.07
(HMTA)	7.5	9	7.9	1.9	0.66	0.43	8.37
	0	9	8.2	1.8	0.62	0.38	7.59
%70 ham odun lifi	2.5	9	8.3	2.5	0.69	0.47	8.32
%30 atık MDF lifi	5	9	8.1	2.8	0.85	0.73	10.56
(AC)	7.5	9	7.9	2.3	0.71	0.51	9.06
	0	9	8.9	2.5	0.94	0.89	10.62
%70 ham odun lifi	2.5	9	8.7	2	0.69	0.48	7.96
%30 atık MDF lifi	5	9	8.6	3.4	1.18	1.39	13.74
(HMTA)	7.5	9	8.4	1.9	0.62	0.38	7.38
%100 atık MDF lifi	-	9	9.1	2.8	0.95	0.91	10.52
(AC)	-						
%100 atık MDF lifi	-	9	9.4	2.6	0.93	0.87	9.92
(HMTA)	-						

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların serbest formaldehit değerleri üzerine etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.33’te verilmiştir.

Tablo 4.33. Lignin kullanım oranının MDF’nin serbest formaldehit değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun- %10 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	1.973	1.178	NS
	Gruplar içi	36	20.102		
	Toplam	39	22,075		
%70 ham odun- %30 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	.875	.622	NS
	Gruplar içi	36	16.880		
	Toplam	39	17.755		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.33'teki sonuçlara göre her iki grupta da anlamlı farklılık bulunmadığı için duncan testi yapılmamıştır.

MDF'nin serbest formaldehit değeri TS EN 12460-5 standartında belirtilen perfaratör test yöntemine göre, MDF levhaların serbest formaldehit değeri E0 sınıflandırmasında 1-2 mg/100gr, E1 sınıflandırmasında 2-8 mg/100 gr levhaya, E2 sınıflandırmasında ise 8-30 mg /100 gr arasında olması gerekmektedir

Tablo 4.34'te serbest formaldehit değerleri incelendiğinde üretilen levhaların ortalama formaldehit emisyonu 8.12 mg/100g, en yüksek değer (9.4 mg/100g) ligninle modifiye edilmemiş %100 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda, en düşük formaldehit emisyon değeri (6.9 mg/100g) ligninle modifiye edilmemiş %100 ham odun lifleriyle üretilen levhalarda ölçülmüştür. TS EN 12460-5 standartına göre %100 ham odun lifleri ile üretilen levhalar ve ligninle modifiye edilmiş %90 ham odun ve atık MDF lifleri karışımından elde edilen levhalar E1 formaldehit emisyon sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Diğer grupların E2 formaldehit emisyon sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.34. Üretilen deneme levhalarının serbest formaldehit değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama (mg/100g)	Standart sapma (mg/100g)
%100 ham odun lifi (AC)	-	6.9	0.62
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	7.3	0.60
%90 ham odun lifi	0	7.9	0.70
%10 atık MDF lifi	2.5	7.8	0.88
(AC)	5	7.4	0.58
	7.5	7.2	0.84
%90 ham odun lifi	0	8.3	0.75
%10 atık MDF lifi	2.5	8.2	0.44
(HMTA)	5	8	0.88
	7.5	7.9	0.66
%70 ham odun lifi	0	8.2	0.62
%30 atık MDF lifi	2.5	8.3	0.69
(AC)	5	8.1	0.85
	7.5	7.9	0.71
%70 ham odun lifi	0	8.9	0.94
%30 atık MDF lifi	2.5	8.7	0.69
(HMTA)	5	8.6	1.18
	7.5	8.4	0.62
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9.1	0.95
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9.4	0.93

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.35’te ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre yoğunluk varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.35. Odun lif karışımı ve lignine göre serbest formaldehit varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF lif karışımı A-B	2	11.101	.000*
Lignin	3	.855	.468
Ham odun-Atık MDF lif karışımı *Lignin	3	1.064	.369
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.29’da belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde odun lif karışımının serbest formaldehit değerlerini etkilediği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.36’da ham odun atık MDF lif karışımının serbest formaldehit değerlerine etkisi anlamlı farklılık gösterdiği için yapılan duncan testi sonucunda homojenlik grupları verilmiştir.

Tablo 4.36. %95 güven düzeyinde serbest formaldehit değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	GRUP 3	H.G
0	20	7.4733			
2.5	20		8.06		
7.5	20	7.835	7.835		
5	20	7.745	7.745		
Ham odun Atık MDF lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	GRUP 3	H.G
A	20		7.575		BB
B	20			8.125	CC
C (Kontrol Grubu)	20	6.9			AA

Tablo 4.36’da belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını ve C kontrol grubunu temsil etmektedir. Duncan testi sonucunda bütün gruplar farklı homojenlikte sınıflandırılmıştır.

4.2 MEKANİK ÖZELLİKLER

Üretilen levhaların mekanik özellik testleri yapılmış ve elde edilen değerler Tablo 4.37’de verilmiştir.

Tablo 4.37. Üretilen Levhaların mekanik özellikleri

Levha Üretim Planı	Dik Çekme Direnci (N/mm ²)	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	Yüzey Sağlamlığı (N/mm ²)
%100 Ham odun + %0,35 AC	0.68	48.1	3790	1.2
%100 Ham odun + %0,35 HMTA	0.68	48.3	3850	1.2
%90 Ham Odun%10 Atık Mdf %0,35 AC	0.62	41.1	2836	0.9
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %2,5 Lignin+ %0,35 AC	0.67	48.2	3800	0.95
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %5 Lignin+ %0,35 AC	0.69	49.3	3850	1.1
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %7,5 Lignin+ %0,35 AC	0.74	50.4	3990	1.3
%90 Ham Odun%10 Atık Mdf %0,35 HMTA	0.64	42.2	3225	0.95
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %2,5 Lignin+ %0,35 HMTA	0.67	43.1	3415	0.98
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %5 Lignin+ %0,35 HMTA	0.68	45.3	3570	1.05
%90 Ham Odun+% 10 Atık Mdf %7,5 Lignin+ %0,35 HMTA	0.69	48.1	3620	1.05
%70 Ham Odun+% 30 Atık Mdf %0,35 AC	0.59	37.3	2524	0.85
%70 Ham Odun+% 30 Atık Mdf %2,5 Lignin+ %0,35 AC	0.6	39.3	2615	0.87
%70 Ham Odun+% 30 Atık Mdf %5 Lignin+ %0,35 AC	0.62	38.2	2714	0.87
%70 Ham Odun+% 30 Atık Mdf %7,5 Lignin+ %0,35 AC	0.63	40.1	3015	0.92
%70 Ham Odun+% 30 Atık Mdf %0,35 HMTA	0.6	41.4	2911	0.85
%70 Ham Odun+% 30 Atık Mdf %2,5 Lignin+ %0,35 HMTA	0.61	41.2	2875	0.9
%70 Ham Odun+% 30 Atık Mdf %5 Lignin+ %0,35 HMTA	0.63	42.3	3021	0.92
%70 Ham Odun+% 30 Atık Mdf %7,5 Lignin+ %0,35 HMTA	0.63	43.1	3078	0.91
%100 Atık Odun+%0,35 AC	0.5	29.1	2321	0.7
%100 Atık Odun+%0,35 HMTA	0.52	30.3	2295	0.75

4.2.1. Levha Yüzeyine Dik Yönde Çekme Direnci

Deneme levhalarının çekme direnci değerine ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.38’de verilmiştir.

Tablo 4.38. Deneme levhalarının çekme direnci değerine ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin oranı*	Örnek sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Değişim genişliği (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	0.68	0.10	0.03	0,000925	4.47
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	0.68	0.14	0.04	0,001625	5.92
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (AC)	0	9	0.62	0.07	0.02	0.00055	3.78
	2.5	9	0.67	0.11	0.03	0.0013	5.38
	5	9	0.69	0.07	0.02	0.00067	3.76
	7.5	9	0.74	0.13	0.04	0.00177	5.69
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (HMTA)	0	9	0.64	0.14	0.04	0.0020	7.03
	2.5	9	0.67	0.11	0.04	0.0018	6.41
	5	9	0.68	0.11	0.03	0.0015	5.69
	7.5	9	0.69	0.14	0.04	0.0020	6.52
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (AC)	0	9	0.59	0.08	0.02	0.00055	3.97
	2.5	9	0.60	0.08	0.02	0.00077	4.63
	5	9	0.62	0.06	0.01	0.00037	3.12
	7.5	9	0.63	0.07	0.02	0.00072	4.27
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (HMTA)	0	9	0.60	0.08	0.02	0.00075	4.56
	2.5	9	0.60	0.12	0.03	0.0013	6.00
	5	9	0.63	0.23	0.06	0.0038	9.78
	7.5	9	0.63	0.15	0.04	0.0020	7.18
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	0.50	0.17	0.05	0.0029	10.86
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	0.52	0.10	0.03	0.0013	6.93

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların çekme direnci üzerine etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.39’da verilmiştir.

Tablo 4.39. Lignin kullanım oranının MDF'nin çekme direnci değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun- %10 atık mdflifi (AC)	Gruplar arası	3	0.11	1.298	NS
	Gruplar içi	36	0.98		
	Toplam	39	.108		
%70 ham odun- %30 atık mdflifi (AC)	Gruplar arası	3	.010	6.186	S*
	Gruplar içi	36	.019		
	Toplam	39	.029		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.39'daki varyans analizi incelendiğinde %70 ham odun-%30 atık MDF lif karışından üretilen levhalarda lignin kullanımının levhaların çekme direncini %95 güvenle etkilemektedir. Yapılan Duncan testi ile birbirinden farklı ve eşit kabul edilecek gruplar tespit edilmiştir.

Tablo 4.40'ta deneme levhalarına ait çekme direnci sonuçlarının homojen grupları ve ortalamaları verilmiştir.

Tablo 4.40. Deneme levhalarına ait çekme direnci değerlerinin homojen grupları ve ortalama değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama değer (kg/m ³)	H.G	Standardın ön gördüğü değer TS EN 319
%90 ham odun lifi - %10 atık MDF lifi (AC)	0	0.62		0,65 N/mm ²
	2.5	0.67		
	5	0.69	-	
	7.5	0.74		
%70 ham odun lifi - %30 atık MDF lifi (AC)	0	0.59	AA	
	2.5	0.60	AB	
	5	0.62	BC	
	7.5	0.63	CC	

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.40'a göre %70 ham odun %30 atık MDF lifinden üretilen levhalarda bütün lignin katılım oranlarında gruplar arasında farklılık göstermiştir.

MDF'nin yüzeye dik çekme direnci TS EN 319'da 4-6 mm arası levha kalınlıkları için 0.65 N/mm² olarak belirtilmiştir. Tablo 4.41'de levhaların çekme direnci incelendiğinde üretilen levhaların ortalama çekme direnci 0.63 N/mm², en yüksek değer (0.74 N/mm²) %7,5 ligninle modifiye edilmiş %90 ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda, en düşük değer (0.50 N/mm²) ligninle modifiye edilmemiş %100 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda olarak ölçülmüştür. Sadece %100 ham odun lifleriyle üretilen ve %90-10 ham odun atık MDF liflerinin %2.5, %5 ve %7.5 oranda ligninle modifiye edilmesiyle elde edilen levhaların çekme direnci standardın ön gördüğü minimum 0.65 N/mm² değerinden yüksek çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir.

Tablo 4.41. Üretilen deneme levhalarının çekme direnci değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)
%100 ham odun lifi (AC)	-	0.68	0.03
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	0.68	0.04
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (AC)	0	0.62	0.02
	2.5	0.67	0.03
	5	0.69	0.02
	7.5	0.74	0.04
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (HMTA)	0	0.64	0.04
	2.5	0.67	0.04
	5	0.68	0.03
	7.5	0.69	0.04
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (AC)	0	0.59	0.02
	2.5	0.60	0.02
	5	0.62	0.01
	7.5	0.63	0.02
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (HMTA)	0	0.60	0.02
	2.5	0.60	0.03
	5	0.63	0.06
	7.5	0.63	0.04
%100 atık MDF lifi (AC)	-	0.50	0.05
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	0.52	0.03

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.42’de ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre çekme direnci için varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.42. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre çekme direnci varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF lif karışımı A-B	2	38.403	.000*
Lignin	3	2.619	.056
Ham odun-Atık MDF lif karışımı *Lignin	3	1.839	.147
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.35’te belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde odun lif karışımının çekme direnci değerlerini etkilediği sonucuna varılmıştır. Tablo 4.43’te odun lif karışımının çekme direnci değerlerine etkisi anlamlı farklılık gösterdiği için duncan testi sonucunda elde edilen homojenlik grupları verilmiştir.

Tablo 4.43. %95 güven düzeyinde çekme direnci değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
0	20	.6433		
2,5	20	.6475		
7,5	20	.649		
5	20	.6585		
Ham odun Atık MDF lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
A	20		.68	BB
B	20	.61		AA
C (Kontrol Grubu)	20		.68	BB

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.43’te belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını ve C kontrol grubunu temsil etmektedir. A ve C grubu aynı homojenlik sınıfında B grubu ise farklı homojenlik sınıfında listelenmiştir.

4.2.2. Eğilme Direnci Test Değerleri

Deneme levhalarının eğilme direnci değerine ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.44'te verilmiştir.

Tablo 4.44. Deneme levhalarının eğilme direnci değerine ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin oranı*	Örnek sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Değişim genişliği (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	48.1	9.1	3.01	9.10	6.27
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	48.3	8.2	2.72	7.4	5.63
	0	9	41.1	8.6	2.72	7.41	6.62
%90 ham odun lifi	2.5	9	48.2	10.3	3.67	13.52	7.62
%10 atık MDF lifi (AC)	5	9	49.3	6.9	2.63	6.95	5.34
	7.5	9	50.4	7.9	2.70	7.30	5.36
	0	9	42.2	5.7	2.27	5.15	5.38
%90 ham odun lifi	2.5	9	43.2	9.2	3.43	11.79	7.94
%10 atık MDF lifi (HMTA)	5	9	45.3	5	1.67	2.80	3.69
	7.5	9	48.1	7.3	2.86	8.21	5.95
	0	9	37.3	6.9	2.07	4.30	5.56
%70 ham odun lifi	2.5	9	39.3	7.8	2.49	6.20	6.33
%30 atık MDF lifi (AC)	5	9	38.2	8.8	3.08	9.5	8.06
	7.5	9	40.1	7.6	2.34	5.50	5.85
	0	9	41.4	9.6	3.19	10.20	7.71
%70 ham odun lifi	2.5	9	41.2	7.4	2.91	8.51	7.08
%30 atık MDF lifi (HMTA)	5	9	42.3	7.4	2.42	5.88	5.73
	7.5	9	43.1	8.8	2.80	7.87	6.50
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	29.1	5.7	1.82	3.33	6.27
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	30.3	15.5	4.85	23.59	16.03

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların eğilme direnci değerlerine etkisini tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.45'te verilmiştir.

Tablo 4.45. Lignin kullanım oranının MDF'nin eğilme direnci değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun- %10 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	27,992	,430	NS
	Gruplar içi	36	782,048		
	Toplam	39	810,040		
%70 ham odun- %30 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	45,275	2,662	NS
	Gruplar içi	36	204,080		
	Toplam	39	249,355		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.45'teki varyans analizi incelendiğinde lignin kullanımı eğilme direncini %95 güvenle etkilememektedir.

TS EN 310 'da 4-6 mm arası levha kalınlıkları için eğilme direnci 23 N/mm² olarak belirtilmiştir. Üretilen levhaların eğilme direnci incelendiğinde ortalama eğilme direnci 42.3 N/mm², en yüksek değer (50.4 N/mm²) %7,5 ligninle modifiye edilmiş %90 ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda, en düşük değer (29.1 N/mm²) ligninle modifiye edilmemiş %100 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda ölçülmüştür. Levha grupları standardın ön gördüğü minimum 23 N/mm² oranından daha yüksek çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir.

Tablo 4.46. Üretilen deneme levhalarının eğilme direnci değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)
%100 ham odun lifi (AC)	-	48.1	3.01
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	48.3	2.72
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (AC)	0	41.1	2.72
	2.5	48.2	3.67
	5	49.3	2.63
	7.5	50.4	2.70
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (HMTA)	0	42.2	2.27
	2.5	43.2	3.43
	5	45.3	1.67
	7.5	48.1	2.86
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (AC)	0	37.3	2.07
	2.5	39.3	2.49
	5	38.2	3.08
	7.5	40.1	2.34
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (HMTA)	0	41.4	3.19
	2.5	41.2	2.91
	5	42.3	2.42
	7.5	43.1	2.80
%100 atık MDF lifi (AC)	-	29.1	1.82
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	30.3	4.85

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.47’de ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre yoğunluk varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.47. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre eğilme direnci varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF lif karışımı A-B	2	64.152	.000*
Lignin	3	.695	.558
Ham odun-Atık MDF lif karışımı *Lignin	3	1.173	.325
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.47’de belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde odun lif karışımının eğilme direnci değerlerini etkilediği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.48’de %95 güven düzeyinde eğilme direnci değerleri için duncan analiz sonucu verilmiştir.

Tablo 4.48. %95 güven düzeyinde eğilme direnci değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
0	20	44.2367		
2.5	20	43.875		
7.5	20	43.095		
5	20	42.675		
Odun Lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
A	20		47.25	BB
B	20	38.725		AA
C (Kontrol Grubu)	20		48.1	BB

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.48’de belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını ve C kontrol grubunu temsil etmektedir. Gruplar içerisinde B grubunun farklı homojenlik değerinde olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.3. Elastikiyet Modülü Test Değerleri

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerine ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.49’da verilmiştir.

Tablo 4.49. Deneme levhalarının elastikiyet modülü değerine ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin oranı*	Örnek sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Değişim genişliği (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	3790	630	184.54	34056	4.86
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	3850	460	191.12	36528	4.96
%90 ham odun lifi	0	9	2836	346	130.79	17108	4.61
%10 atık MDF lifi	2.5	9	3800	532	142.01	20169	3.73
(AC)	5	9	3850	478	156.12	24376	4.05
	7.5	9	3990	636	192.09	36902	4.81
%90 ham odun lifi	0	9	3225	896	272.62	74327	8.45
%10 atık MDF lifi	2.5	9	3415	829	334.51	111900	9.79
(HMTA)	5	9	3570	720	245.58	60310	6.87
	7.5	9	3620	688	227.88	51930	6.29
%70 ham odun lifi	0	9	2524	580	184.29	33964	7.30
%30 atık MDF lifi	2.5	9	2615	516	177.36	31459	6.78
(AC)	5	9	2714	500	149.38	22317	5.50
	7.5	9	3015	320	96.19	9253	3.19
%70 ham odun lifi	0	9	2910	638	184.20	33931	6.32
%30 atık MDF lifi	2.5	9	2875	548	175.10	30662	6.09
(HMTA)	5	9	3021	747	242.62	58865	8.03
	7.5	9	3078	224	95.18	9060	3.09
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	2321	524	191.70	36750	8.25
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	2295	557	179.24	32129	7.81

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkili olup olmadığını tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.50’de verilmiştir.

Tablo 4.50. Lignin kullanım oranının MDF'nin elastikiyet modülü değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
%90 ham odun- %10 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	157035	.209	NS
	Gruplar içi	36	8999921,000		
	Toplam	39	9156956.000		
%70 ham odun- %30 atık mdf lifi (AC)	Gruplar arası	3	1364456,075	21.101	S*
	Gruplar içi	36	775944.900		
	Toplam	39	2140400.975		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.50'deki varyans analizi incelendiğinde %70 ham odun-%30 atık MDF lif karışından üretilen levhalarda lignin kullanımının levha yoğunluğunu %95 güvenle etkilemektedir. Yapılan Duncan testi ile birbirinden farklı ve eşit kabul edilecek gruplar tespit edilmiştir.

Tablo 4.51. Deneme levhalarına ait elastikiyet modülü değerlerinin homojen grupları ve ortalama değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama değer (kg/m ³)	H.G	Standardın ön gördüğü değer TS EN 310
%90 ham odun	0	2836		
lifi - %10 atık				
MDF lifi	2.5	3800		
(AC)	5	3850	-	
	7.5	3990		
%70 ham odun	0	2524	AA	2700 N/mm ²
lifi - %30 atık				
MDF lifi	2.5	2615	AB	
(AC)	5	2714	BB	
	7.5	3015	CC	

H.G: Homojenlik grubu. Aynı harfe sahip levha grupları Duncan testi sonuçlarına göre farklılık göstermemektedir.

Tablo 4.51'e göre %70 ham odun- %30 atık MDF lifinden üretilen levhalarda bütün lignin katılım oranlarında gruplar arasında farklılık göstermiştir.

TS EN 310 'da 4-6 mm arası levha kalınlıkları için eğilmede elastikiyet modülü 2700 N/mm² olarak belirtilmiştir. Tablo 4.52'de levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde üretilen levhaların ortalama eğilme direnci 3165 N/mm², en yüksek değer (3990 N/mm²) %5 ligninle modifiye edilmiş %90 ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda, en düşük değer (2295 N/mm²) ligninle modifiye edilmemiş %100 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda ölçülmüştür.

Tablo 4.52. Üretilen deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)
%100 ham odun lifi (AC)	-	3790	184.54
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	3850	191.12
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (AC)	0	2836	130.79
	2.5	3800	142.01
	5	3850	156.12
	7.5	3990	192.09
%90 ham odun lifi %10 atık MDF lifi (HMTA)	0	3225	272.62
	2.5	3415	334.51
	5	3570	245.58
	7.5	3620	227.88
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (AC)	0	2524	184.29
	2.5	2615	177.36
	5	2714	149.38
	7.5	3015	96.19
%70 ham odun lifi %30 atık MDF lifi (HMTA)	0	2910	184.20
	2.5	2875	175.10
	5	3021	242.62
	7.5	3078	95.18
%100 atık MDF lifi (AC)	-	2321	191.70
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	2295	179.24

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.53'te ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre elastikiyet modülü varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.53. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre elastikiyet direnci varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF lif karışımı A-B	2	80.937	.000*
Lignin	3	2.783	.046*
Ham odun-Atık MDF lif karışımı *Lignin	3	1.305	.278
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.53'de belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde odun lif karışımı, lignin elastikiyet modülü değerlerini etkilediği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.54'de %95 güven düzeyinde eğilmede elastikiyet modülü değerleri için duncan analiz sonucu verilmiştir.

Tablo 4.54. %95 güven düzeyinde elastikiyet direnci değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
0	20	3286.03	3286.03	AB
2,5	20	3096.2		AA
7,5	20		3332.2	BB
5	20	3209.6	3209.6	AB
Ham odun Atık MDF lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	H.G
A	20		3619	BB
B	20	2717.025		AA
C (Kontrol Grubu)	20		3790	BB

Tablo 4.54'te gösterilen duncan sonuçlarında lignin katılım oranının hepsinde farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Odun lif karışımında ise B grubunda (%70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımı) farklılık olduğu görülmüştür.

4.2.4 Yüzey Sağlamlığı

Deneme levhalarının yüzey sağlamlığı değerine ilişkin örnek sayısı, ortalama, değişim genişliği, standart sapma, varyans ve varyasyon katsayısı Tablo 4.55'te verilmiştir.

Tablo 4.55. Deneme levhalarının yüzey sağlamlığı değerine ait istatistik parametreler

Levha grupları	Lignin oranı*	Örnek sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Değişim genişliği (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Varyans	Varyasyon katsayısı (%)
%100 ham odun lifi (AC)	-	9	1.2	0.4	0.12	0.016	10.01
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	9	1.2	0.35	0.10	0.011	8.33
%90 ham odun lifi	0	9	0.9	0.4	0.13	0.021	15.49
%10 atık MDF lifi	2.5	9	0.95	0.45	0.17	0.034	18.40
(AC)	5	9	1.1	0.45	0.14	0.023	13.03
	7.5	9	1.3	0.45	0.12	0.018	9.76
%90 ham odun lifi	0	9	0.95	0.35	0.13	0.019	13.81
%10 atık MDF lifi	2.5	9	0.98	0.50	0.17	0.033	17.70
(HMTA)	5	9	1.05	0.30	0.11	0.013	10.52
	7.5	9	1.05	0.35	0.11	0.013	10.52
%70 ham odun lifi	0	9	0.85	0.25	0.07	0.006	9.19
%30 atık MDF lifi	2.5	9	0.87	0.30	0.09	0.009	10.82
(AC)	5	9	0.87	0.20	0.07	0.006	8.55
	7.5	9	0.92	0.26	0.07	0.005	7.88
%70 ham odun lifi	0	9	0.85	0.35	0.10	0.011	11.76
%30 atık MDF lifi	2.5	9	0.90	0.45	0.11	0.015	12.83
(HMTA)	5	9	0.92	0.45	0.13	0.021	15.19
	7.5	9	0.91	0.35	0.10	0.013	11.93
%100 atık MDF lifi (AC)	-	9	0.70	0.30	0.08	0.009	12.84
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	9	0.75	0.30	0.11	0.014	15.29

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Lignin kullanımının üretilen MDF levhaların yüzey sağlamlığı değerleri üzerine etkisini tespit etmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır.

Tablo 4.56. Lignin kullanım oranının MDF'nin yüzey sağlamlığı değeri üzerine etkisine ilişkin varyans analizi sonuçları

%90 ham odun lifi - %10 atık MDF lifi (AC)	Varyans kaynağı	Serbestlik derecesi	Tüm varyans	F Oranı %95	Önem seviyesi
	Gruplar arası	3	.080	.577	NS
	Gruplar içi	36	1.668		
	Toplam	39	1,749		
%70 ham odun lifi - %30 atık MDF lifi (AC)	Gruplar arası	3	.027	1.384	NS
	Gruplar içi	36	.232		
	Toplam	39	.259		

NS: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmamıştır.

S: %95 güven seviyesinde önemli farklılık çıkmıştır.

Tablo 4.56'daki varyans analizi incelendiğinde lignin kullanımı yüzey sağlamlığı değerini %95 güvenle etkilememektedir.

TS EN 311 'de MDF levhalar için yüzey sağlamlığı değeri ≥ 1 N/mm² olarak belirtilmiştir. Levhaların yüzey sağlamlığı değerleri incelendiğinde üretilen ortalama eğilme direnci 0.96 N/mm², en yüksek değer (1.3 N/mm²) %5 ligninle modifiye edilmiş %90 ham odun- %10 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda, en düşük değer (0.70 N/mm²) ligninle modifiye edilmemiş %70 ham odun- %30 atık MDF lifi karışımından üretilen levhalarda ölçülmüştür.

Tablo 4.57. Üretilen deneme levhalarının yüzey sağlamlığı değerleri

Levha grupları	Lignin oranı*	Ortalama (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)
%100 ham odun lifi (AC)	-	1.2	0.12
%100 ham odun lifi (HMTA)	-	1.2	0.10
%90 ham odun lifi	0	0.9	0.13
%10 atık MDF lifi	2.5	0.95	0.17
(AC)	5	1.1	0.14
	7.5	1.3	0.12
%90 ham odun lifi	0	0.95	0.13
%10 atık MDF lifi	2.5	0.98	0.17
(HMTA)	5	1.05	0.11
	7.5	1.05	0.11
%70 ham odun lifi	0	0.85	0.07
%30 atık MDF lifi	2.5	0.87	0.09
(AC)	5	0.87	0.07
	7.5	0.92	0.07
%70 ham odun lifi	0	0.85	0.10
%30 atık MDF lifi	2.5	0.90	0.11
(HMTA)	5	0.92	0.13
	7.5	0.91	0.10
%100 atık MDF lifi (AC)	-	0.70	0.08
%100 atık MDF lifi (HMTA)	-	0.75	0.11

*Tam kuru lif ağırlığının yüzdesi.

Tablo 4.58’de ham odun-atık MDF lif karışımı ve lignine göre yoğunluk varyans analizi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.58. Ham odun- Atık MDF lif karışımı ve lignine göre yüzey sağlamlığı varyans analizi

Faktör	Serbestlik Derecesi (DF)	F-Değeri	P-Değeri
Ham odun-Atık MDF lif karışımı A-B	2	22.299	.000*
Lignin	3	.888	.451
Ham odun-Atık MDF lif karışımı *Lignin	3	.535	.659
Hata	81		
Toplam	90		

*önemli bulunmuştur, A: 90-10, B:70-30

Tablo 4.58’de belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını temsil etmektedir. %95 güven düzeyinde odun lif karışımının yüzey sağlamlığını etkilediği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.59’da %95 güven düzeyinde yüzey sağlamlığı değerleri için duncan analiz sonucu verilmiştir.

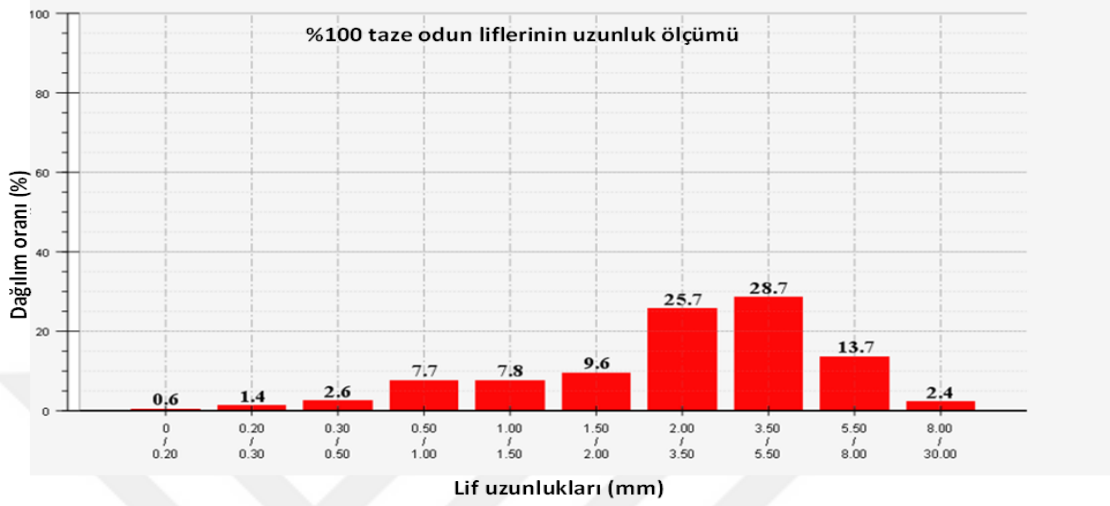
Tablo 4.59. %95 güven düzeyinde yüzey sağlamlığı değerleri için duncan analiz sonucu (Lignin ve ham odun-Atık MDF lif karışımı)

Lignin	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	GRUP3	H.G
0	20	1.03			
2,5	20	.9975			
7,5	20	1,0			
5	20	.9375			
Ham odun Atık MDF lif karışımı	Örnek sayısı	GRUP1	GRUP2	GRUP3	H.G
A	20		1.0625		BB
B	20	.8775			AA
C (Kontrol Grubu)	20			1.2	CC

Tablo 4.59’da belirtilen A grubu %90 ham odun lifi- %10 atık MDF lifi karışımını, B grubu %70 ham odun lifi- %30 atık MDF lifi karışımını ve C kontrol grubunu temsil etmektedir. Duncan analizi sonucunda grupların hepsinin farklı homojenlik gruplarında olduğu gözlemlenmiştir.

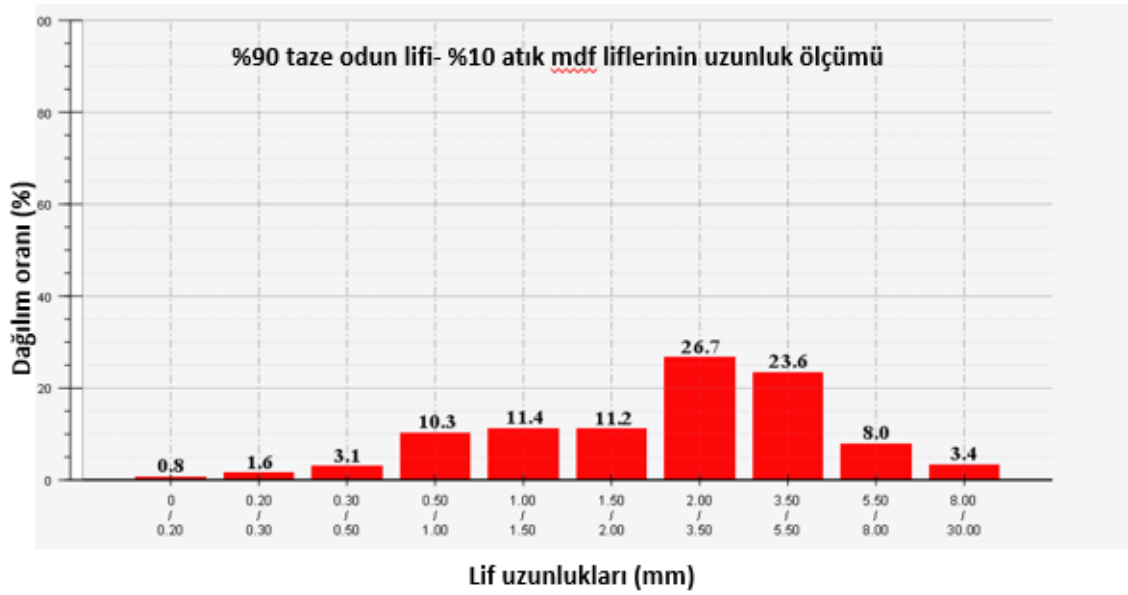
4.3. Lif Boyut Analizi

%100 ham odun liflerine yapılan lif boyut analizine göre ölçülen liflerin %25.1'i 0.50-2 mm arasında, %68.1'i 2-8 mm arasında ölçülmüştür. (Şekil 4.1.)



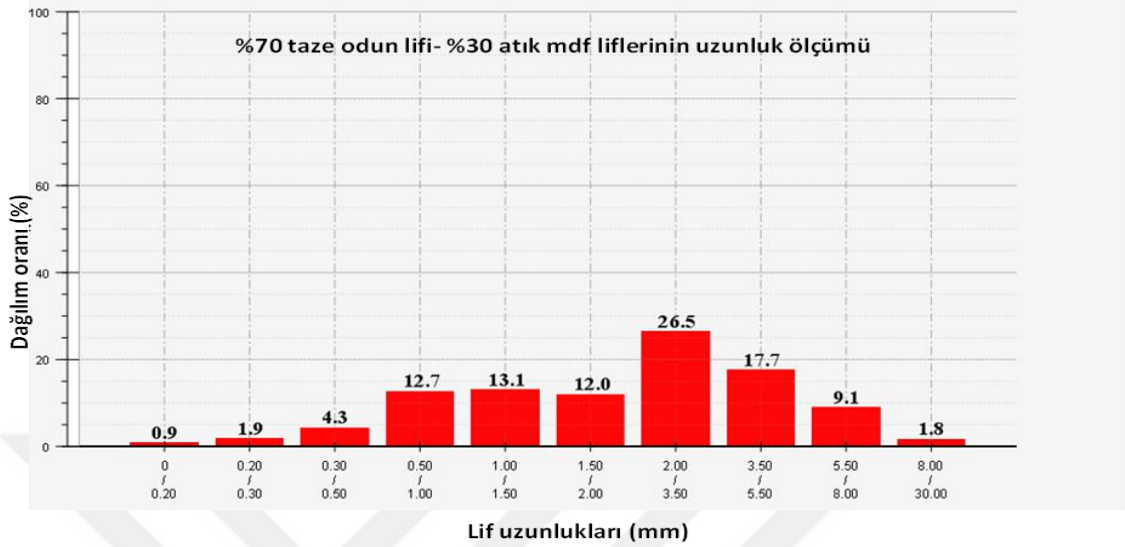
Şekil 4.1 %100 Ham Odundan Elde Edilen Liflerin Boyut Analizi

%90-10 ham odun atık MDF lif karışımına yapılan lif boyut analizine göre ölçülen liflerin %32.9'u 0.50-2 mm arasında, %58.3'ü 2-8 mm arasında ölçülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. % 90-10 Ham Odun Atık Mdf Lif Karışımından Elde Edilen Liflerin Boyut Analizi

%70-30 ham odun atık MDF lif karışımına yapılan lif boyut analizine göre ölçülen liflerin %37.8'i 0.50-2 mm arasında, %53.3'ü 2-8 mm arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



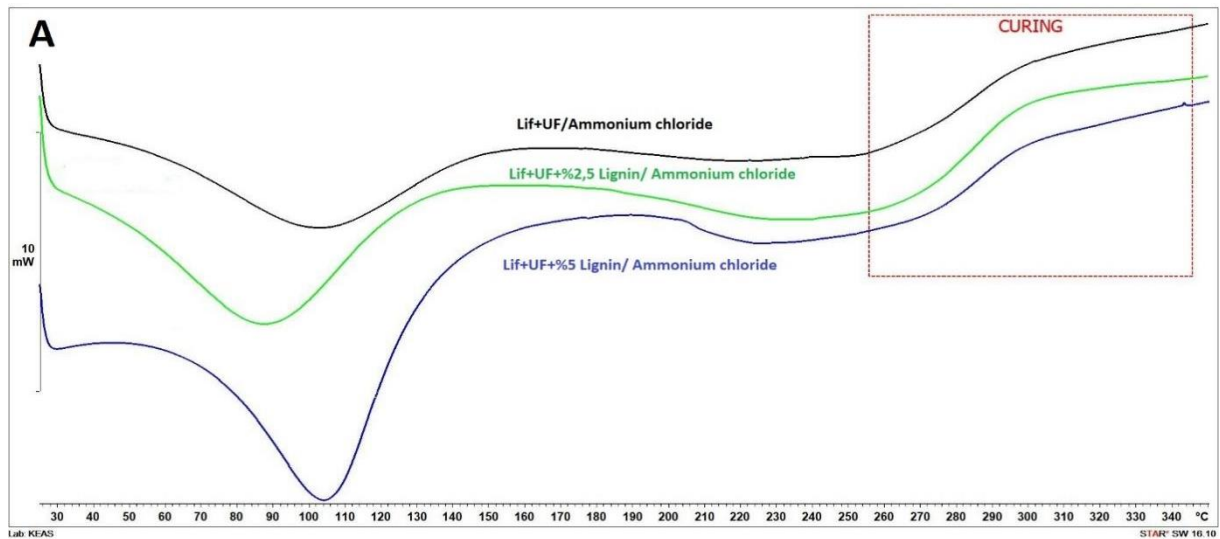
Şekil 4.3. % 70-30 Ham Odun Atık Mdf Lif Karışımından Elde Edilen Liflerin Boyut Analizi

4.4. Elementel Analiz

4.4.1 DSC Analizleri;

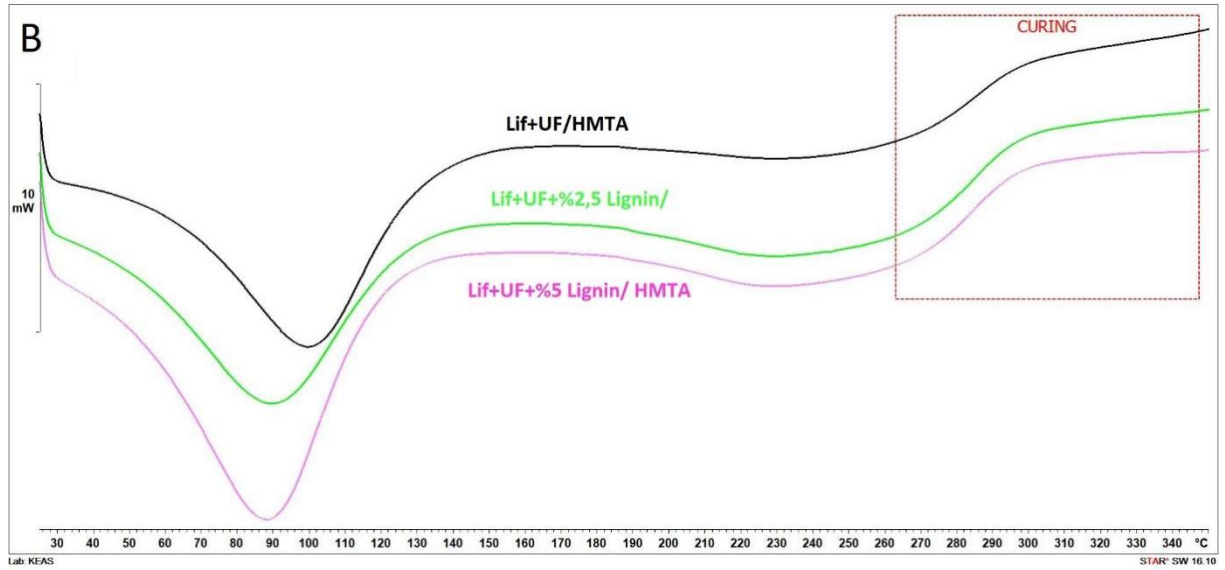
UF tutkalı kullanılarak %100 ham odun liflerinin farklı oranlarda ligninle ve farklı sertleştirici türleriyle (amonyum klorür ve HMTA) elde edilen levha taslaklarından alınan liflerin DSC termogram verileri verilmiştir.

Şekil 4.4 'de amonyum klorür kullanılarak elde edilen liflerin DSC termogramları verilmiştir.



Şekil 4.4. Amonyum Klorür Kullanılan Liflerin DSC Termogramı

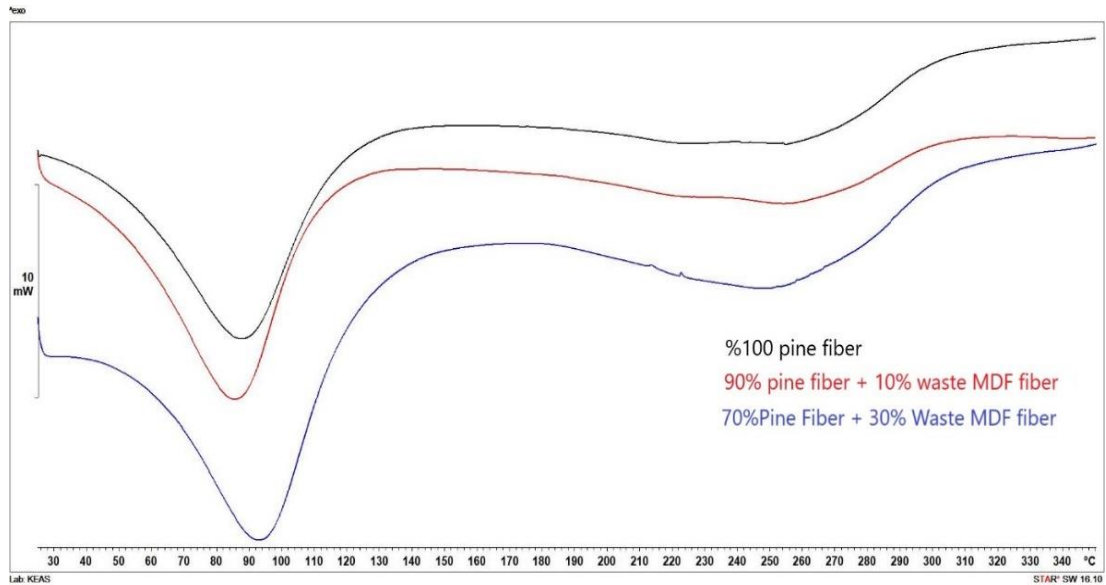
Şekil 4.5'te HMTA sertleştiricisi kullanılarak elde edilen DSC termogramları verilmiştir.



Şekil 4.5. HMTA Kullanılan Liflerin DSC Termogramı

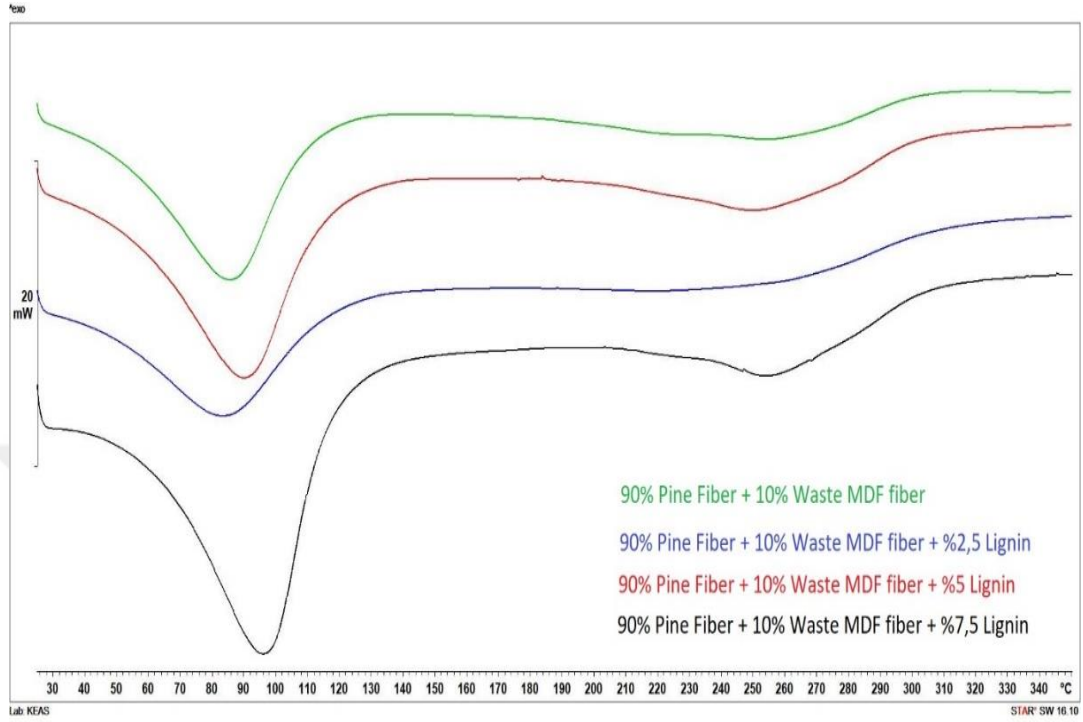
DSC analizinde UF reçinesi eklenmiş liflere amonyum klorür ve HMTA eklenerek sertleştirici etkileri incelenmiştir. Amonyum klorür sertleştirici olarak kullanıldığında Kurlenme Başlangıç sıcaklığı 261°C ölçülürken, HMTA kullanıldığında kurlenme başlangıç sıcaklığı 7°C yükselerek 268°C olarak ölçülmüştür.

Şekil 4.6'da, %100 ham odun lifleri ve ham oduna %10 ve %30 katılan atık MDF lif karışımlarının DSC termogramları verilmiştir.



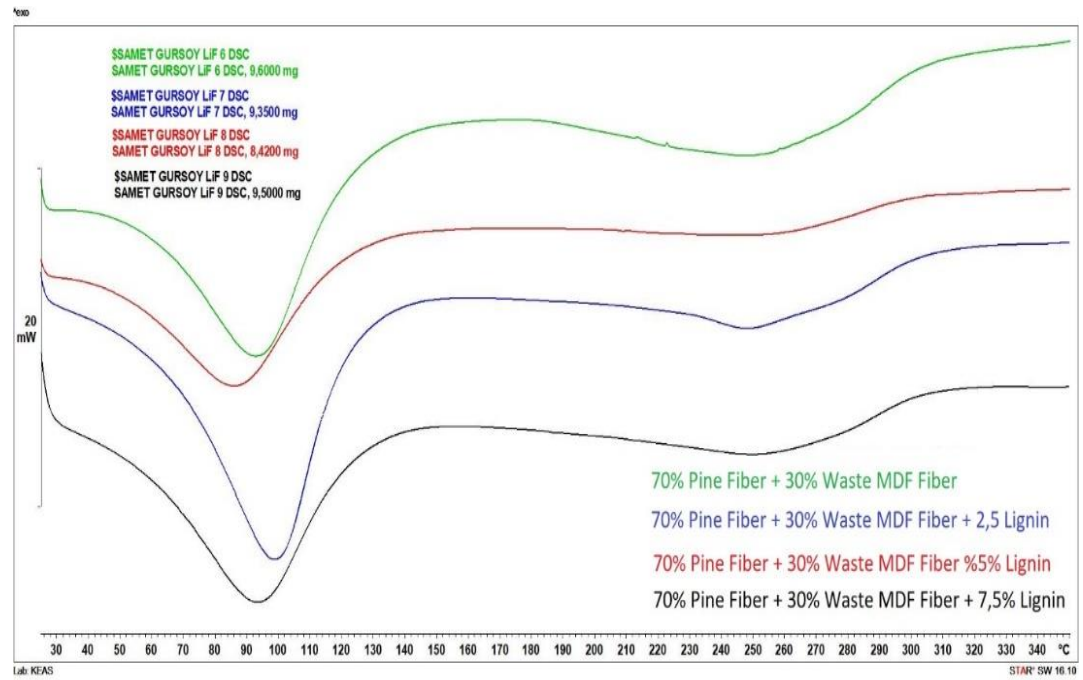
Şekil 4.6. %100 ham odun lifi ve atık MDF lifi katkı oranının DSC termogramı

Şekil 4.7’de, %90 ham odun %10 atık MDF lif karışımının %2.5-5-7.5 oranlarda ligninle modifiye edilmesiyle elde edilen liflerin DSC termogramları verilmiştir.



Şekil 4.7 %10 Atık MDF lifi+lignin içeren numunelerin DSC termogramı

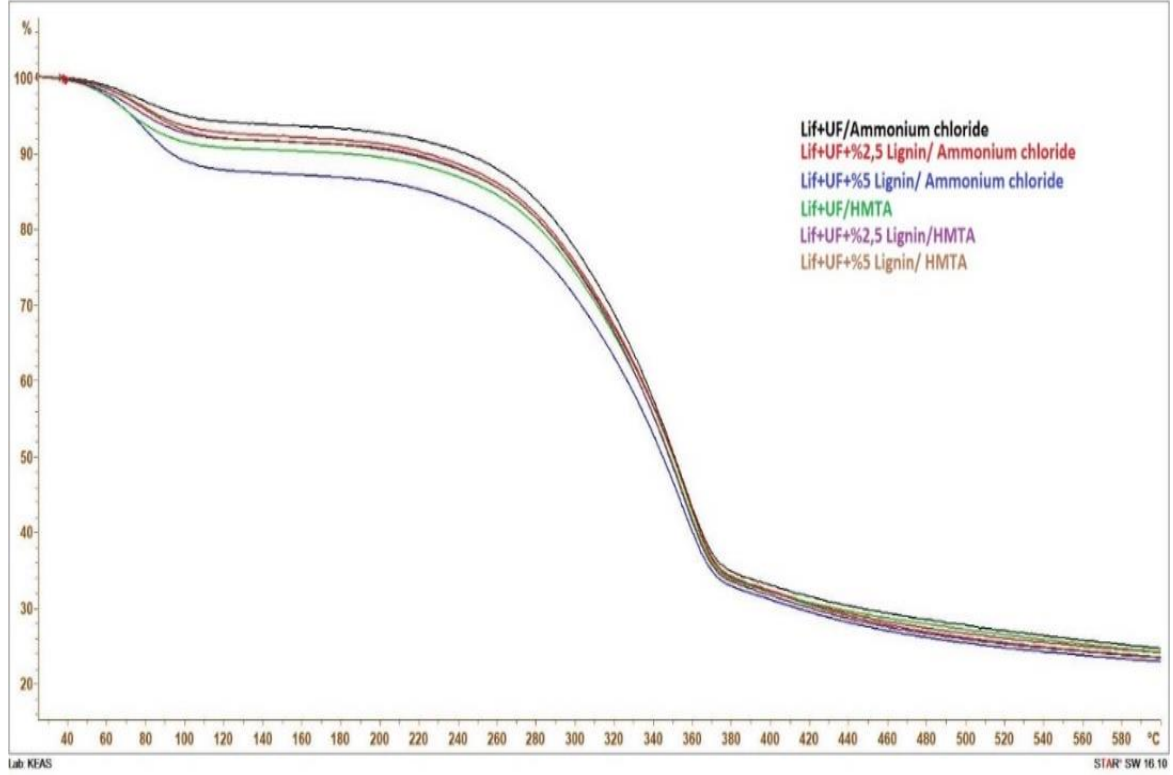
Şekil 4.8’de, %70 ham odun %30 atık MDF lif karışımının %2.5-5-7.5 oranlarda ligninle modifiye edilmesiyle elde edilen liflerin DSC termogramları verilmiştir.



Şekil 4.8 %30 Atık MDF lifi+lignin içeren numunelerin DSC termogramı

4.4.2 TGA Analizleri

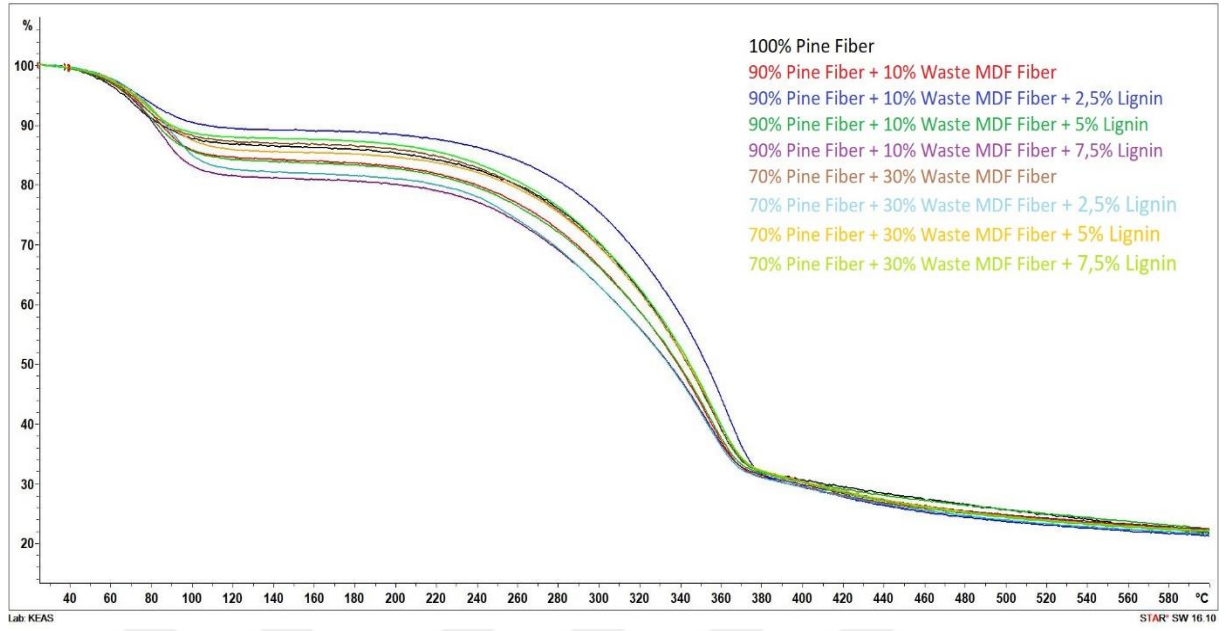
Şekil 4.9’da UF tutkalı kullanılarak %100 ham odun liflerinin farklı oranlarda ligninle ve farklı sertleştirici türleriyle (amonyum klorür ve HMTA) elde edilen levha taslaklarından alınan liflerin TGA termogram verileri verilmiştir.



Şekil 4.9 %100 ham odun lifi ve atık MDF lifi katkı oranının TGA termogramı (Amonyum Klorür+HMTA)

Şekil 4.9’da UF tutkalı kullanılarak %90 ham odun %10 atık MDF lif karışımının ve %70 ham odun %30 atık MDF lif karışımından elde edilen liflerinin farklı oranlarda ligninle ve farklı sertleştirici türleriyle (amonyum klorür ve HMTA) elde edilen levha taslaklarından alınan liflerin TGA termogram verileri verilmiştir.

TGA termogramından elde edilen Bozunma sıcaklıkları (Onset, Peak) ve Kütle Kaybı ise aşağıdaki tabloda verilmiştir. Lignin katkısı tüm numunelerde termal bozunma sıcaklığını arttırmıştır. Sertleştirici türünden bağımsız olarak Lignin katkısı kütle kaybı oranlarını düşürmüş ve termal kararlılığı arttırmıştır.



Şekil 4.10 % 90 -10 ve %70-30 + Ham odun lifi- Atık MDF lif TGA Termogramları (Amonyum Klorür)

5. TARTIŞMA

5.1. Fiziksel Özellikler

5.1.1. Birim Hacim Ağırlığı (Yoğunluk)

Liflevhanın fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri konusunda fikir veren en önemli değerlerden birisi yoğunluktur. TS EN 323, ahşap esaslı levhaların deney parçalarının, birim hacim ağırlığının tayin edilmesi standartına göre MDF'nin yoğunluk değerindeki sapma oranı $\pm\%7$ olarak belirtilmiştir. Üretilen levhaların yoğunluğu standardın ön gördüğü $\pm\%7$ sapma oranından daha düşük çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir.

MDF levhaların üretiminde kullanılan ligno-selülozik hammaddelerin türü, yoğunluğu, rutubeti, öz odunu genişliği, diri odun genişliği, lif yapısı, lif boyutları, yıllık halka genişliği, hücre tipleri ve miktarı levha yoğunluğuna etki etmektedir. MDF prosesinde serme ünitesinde oluşturulan levha taslağının rutubeti, yoğunluğu, lif dağılımı ve presleme özellikleri etkili olmaktadır. Levha yoğunluğundaki değişim levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir (Ayrılmış, 2000).

Levha yoğunluğu; levhanın fiziksel, mekanik, yüzey ve işlenme özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Bu bakımdan levha üretiminde diğer faktörlerle ilgili bir araştırma yapılırken, yoğunluğun sabit tutulması gerekmektedir. Çalışmada üretilen MDF levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri incelendiğinden levha yoğunluğunun sabit tutulması amaçlanmıştır.

5.1.2. Rutubet Miktarı

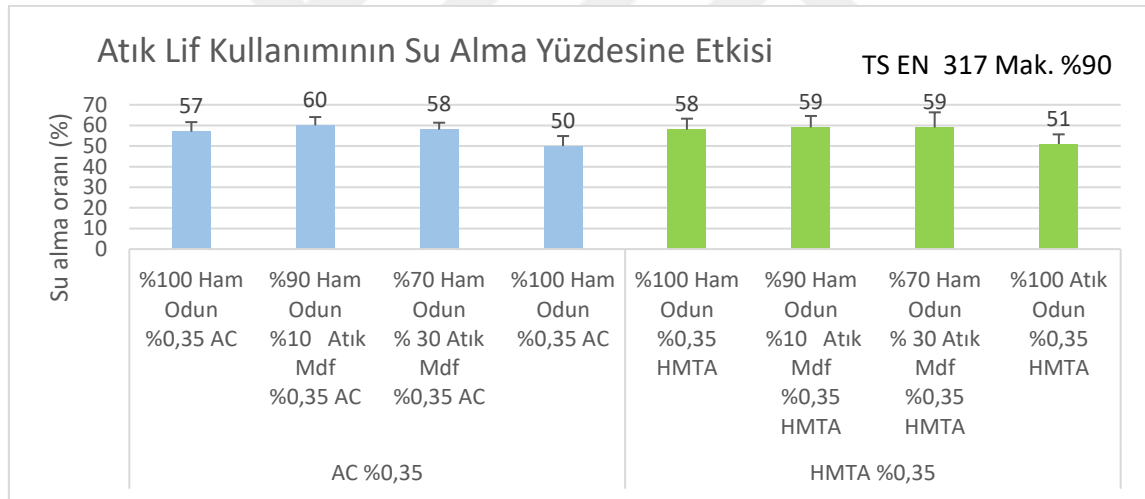
TS EN 322, ahşap esaslı levhaların deney parçasının, rutubet miktarının tayini standartına göre MDF'nin rutubeti $\%4-11$ aralığında belirtilmiştir. Değerler standardın ön gördüğü $\%4-11$ rutubet aralığında çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir.

Levha rutubeti; yoğunluk gibi levhanın fiziksel, mekanik, yüzey ve işlenme özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Bu bakımdan levha üretiminde diğer faktörlerle ilgili bir araştırma yapılırken, rutubetin sabit tutulması gerekmektedir. Bu çalışmada üretilen MDF levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri incelendiğinden levha rutubetinin sabit tutulması amaçlanmıştır.

5.1.3. Su Alma Miktarı

MDF'nin su alma oranı levhanın fiziksel özellikleri hakkında önemli ölçüde fikir edinilmesini sağlayan deneylerin başında gelmekte ve levhaların suya dirençli olması(su alma yüzdesi düşük) istenmektedir. MDF'nin 24 saat süreli suda bekletme sonucu su alma oranı TS EN 317'de 2.5-6 mm arası levha kalınlıkları için su alma oranı en fazla %90 olarak belirtilmiştir. Üretilen levhaların su alma değerleri standardın ön gördüğü maksimum %90 oranından daha düşük çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir.

Şekil 5.1'de görüleceği üzere amonyum klorür (AC) sertleştiricisi kullanılarak %100 Atık MDF liflerinden üretilen levharın su alma miktarı %100 ham odun ve % 90-10, %70-30 ham odun ve Atık MDF lifleri karışından edilen levhalara kıyasla düşük olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuç HMTA sertleştiricisi ile üretilen levhalarda da görülmüştür. En düşük su alma oranı amonyum klorür (AC) sertleştiricisi kullanılarak %100 Atık MDF lifleriyle üretilen levhalarda görülmüştür.



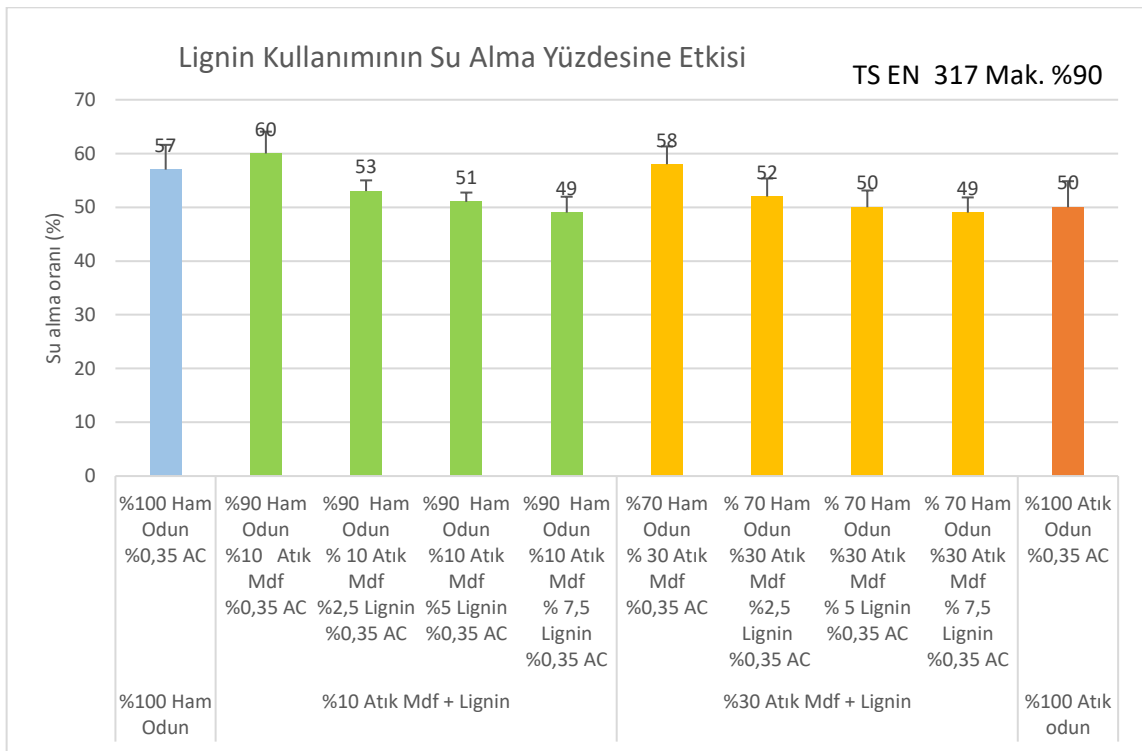
Şekil 5.1. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Su Alma Yüzdeleri

Hem amonyum klorür (AC) hemde Hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak % 90-10, %70-30 ham odun ve atık MDF lifleri karışından üretilen levharın su alma miktarı %100 ham odundan ve %100 atık MDF lifinden elde edilen levhalara kıyasla yüksek olarak tespit edilmiştir. Levhaların su direncinin, atık MDF lif içeriğinin ağırlıkça %10'dan %30'a çıkarılmasıyla düştüğü görüldü.

Önceki çalışmalarda tespitleri doğrulayan sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan bir çalışmada, MDF üretim sürecinde hidrotermal veya buhar bazlı defibrilasyon prosesleri

nedeniyle, lif kısalması, liflerin kimyasal bileşimindeki değişiklikler ve yüzeylerinde kürlenmiş reçine kalıntıları gibi bazı dezavantajların birleşik etkilerinden dolayı atık MDF liflerinden elde edilen levhaların mukavet ve suya karşı direnci Ham ağaç liflerinden elde edilen MDF levhaya göre düşüktür. (Hagel, S., Joy, J., Cicala, G., & Saake, B. 2021).

%100 atık MDF liflerinden elde edilen levhaların su direncinin diğer gruplara kıyasla daha yüksek olması, atık MDF levhalardan elde edilen liflerin, tekrar liflendirme prosesine tabi tutulmasına rağmen, liflerin yüzeyinin hâlâ önceden kürlenmiş UF reçinesi ihtiva etmesi ve levha üretimi sırasında tekrar UF reçinesi ile tutkalanmasıyla açıklanabilir.



Şekil 5.2. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Su Alma Yüzdeleri

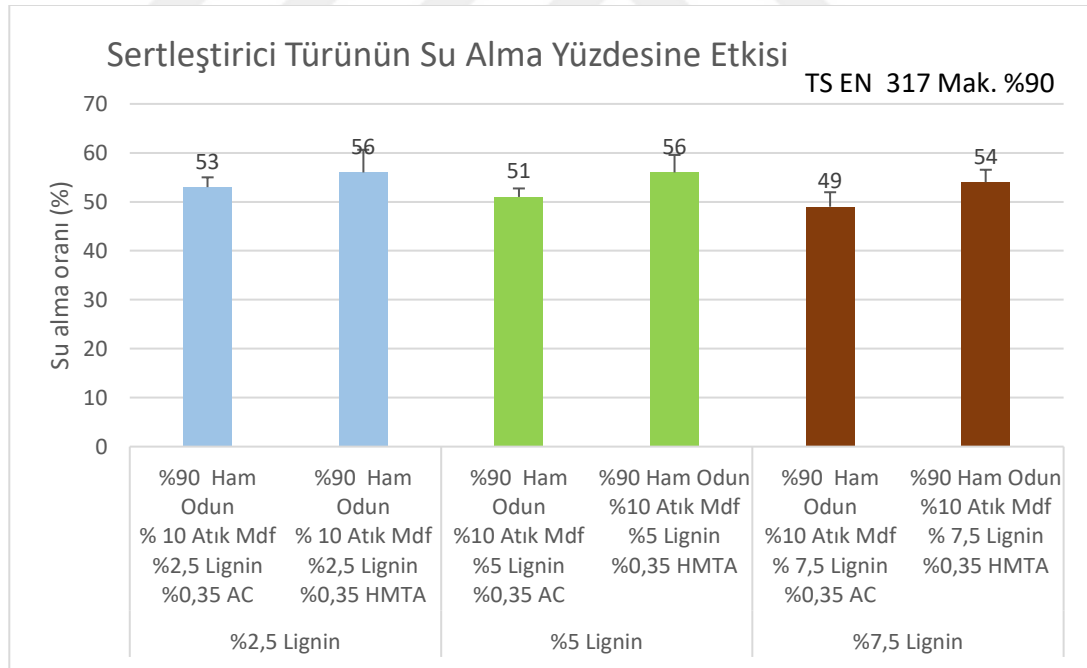
Hem amonyum klorür (AC) hemde Hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda kullanılan liflerin ligninle modifikasyonu ve lignin kullanım oranının artırılması levhaların su alma değerlerini önemli ölçüde düşürmüştür. Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların su direncinin, lignin oranının tam kuru lif ağırlığına oranla %2.5, %5 ve %7.5 kullanılmasıyla birlikte oransal arttığı görülmüştür.

Şekil 5.2’de görüleceği üzere amonyum klorür (AC) sertleştiricisi kullanılarak %100 ham odun liflerinden üretilen levhaların su alma miktarı %57 tespit edilmiştir. %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımından elde edilen levhaların su alma miktarı %60 iken, %90-10 ham

odun atık MDF lif karışımının tam kuru lif ağırlana oranla %2.5 ligninle modifiye edilmesiyle %53, % 5 ligninle modifiye edilmesiyle %51 ve %7,5 ligninle modifiye edilmesiyle %49 olarak tespit edilmiştir. HMTA kullanımında da benzer sonuçlar görülmüştür. Bu durum ligninin hidrofobik bir yapıya sahip olması ve aromatik yapısının su moleküllerine karşı direnci ile açıklanabilir. Yapılan literatür araştırmalarında sonuçları desteklemektedir.

Ligninin polifenolik yapısı nedeniyle ahşap yapıştırıcıların hazırlanmasında kullanıldığı görülmüştür. Odunun ana yapısal bileşenlerinden biri olan lignin, büyük ölçüde dallanmış üç boyutlu bir biyopolimerdir. Lignin Selüloz ve hemiselülozla karşılaştırıldığında hidrofobik bir karaktere sahip olduğu ve son zamanlarda ligninin ahşap esaslı kompozit levhalarda yapıştırıcı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. (Olgun, Ç., & Ateş, S. 2023)

Kraft ligninin ahşap esaslı kompozit levha üretiminde yaygın olarak kullanıldığı ve kraft yöntemiyle elde edilen ligninin diğer yöntemlerden elde edilenlere fazla miktarda fenolik hidroksil grubuna sahip olduğu tespit edilmiştir. (Karthäuser, J., Biziks, V., Mai, C., & Militz, H. 2021).



Şekil 5.3. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Su Alma Yüzdelere Etki Grafiği

Şekil 5.3'te görüleceği üzere ligninle modifiye edilmiş %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımında HMTA kullanılarak üretilen levhaların su alma miktarı AC kullanılarak

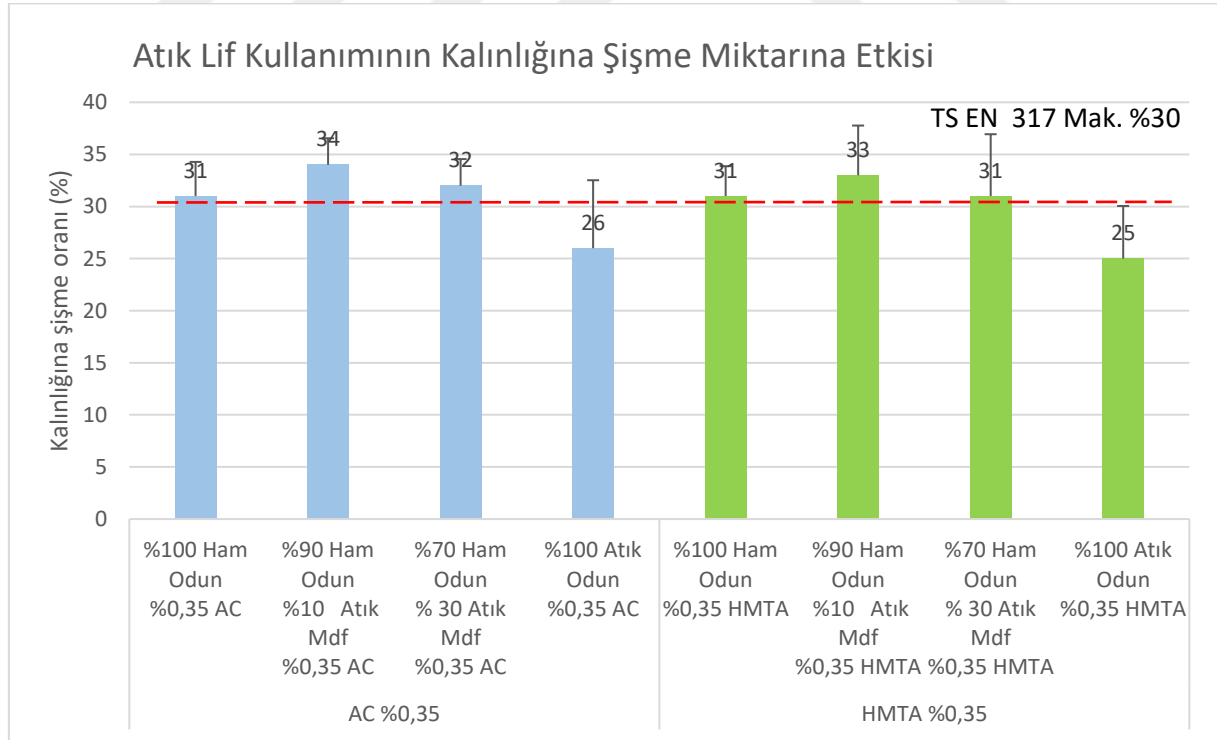
üretileen levhalara kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Benzer sonuç %70-30 ham odun atık MDF lifi karışımında da görülmüştür.

Bu sonucun HMTA kaynaklı formaldehitin lignin aromatik grupları ile reaksiyona girerek aromatik halkalar üzerinde metilol grupları oluşturmamasından kaynaklandığı ve HMTA varlığında liflere püskürtülen UF reçinesi lif yerine ligninle reaksiyona girerek lif ve tutkal arasındaki bağ sayısının azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

5.1.4. Kalınlığına Şişme Miktarı

MDF'nin kalınlığına şişme miktarda levhanın fiziksel özellikleri hakkında önemli ölçüde fikir edinilmesini sağlayan deneylerin başında gelmektedir. MDF'nin 24 saat süreli suda bekletme sonucu kalınlığına şişme miktarı TS EN 317'de 2.5-6 mm arası levha kalınlıkları için su alma oranı en fazla %30 olarak belirtilmiştir.

Şekil 5.4'te görüleceği üzere amonyum klorür (AC) sertleştiricisi kullanılarak %100 atık MDF liflerinden üretilen levharın su alma miktarı %100 Ham odun ve % 90-10, %70-30 ham odun ve atık MDF lifleri karışından edilen levhalara kıyasla düşük olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuç HMTA sertleştiricisi ile üretilen levhalarda da görülmüştür.

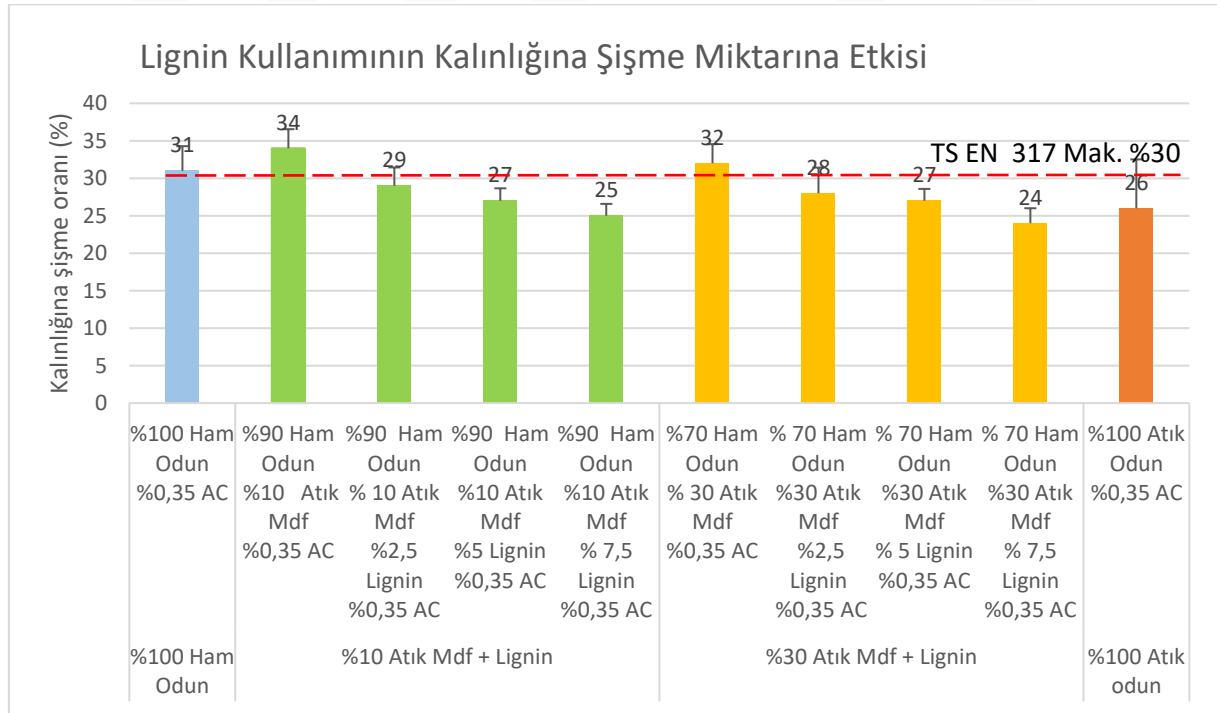


Şekil 5.4. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Kalınlığına Şişme Yüzdeleri

Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak % 90-10, %70-30 ham odun ve atık MDF lifleri karışından üretilen levhaların kalınlığına şişme miktarı %100 ham odundan ve %100 atık MDF lifinden elde edilen levhalara kıyasla yüksek olarak tespit edilmiştir. Levhaların su direncinin, atık MDF lif içeriğinin ağırlıkça %10'dan %30'a çıkarılmasıyla düştüğü görüldü. Sonuçlar üretilen levhaların su alma değerleri ile paralellik göstermiştir. Sonuçlar üretilen levhaların su alma değerleri ile paralellik göstermiştir.

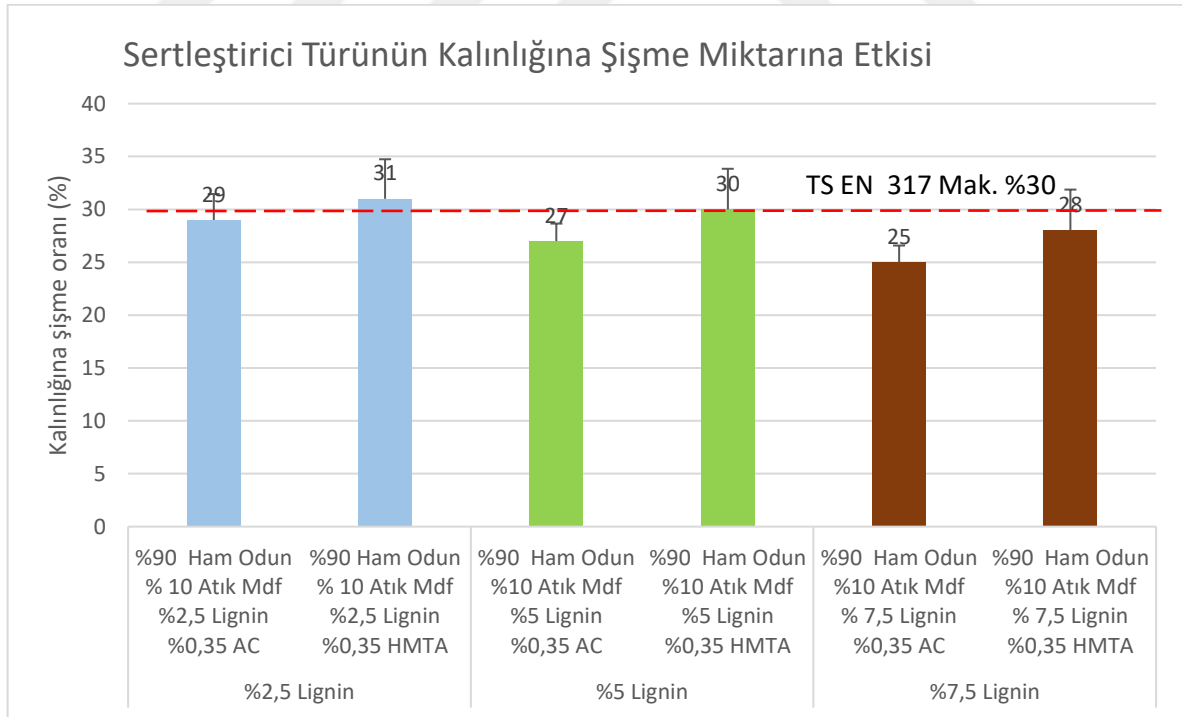
%100 atık MDF liflerinden elde edilen levhaların kalınlığına şişme miktarı diğer gruplara kıyasla daha yüksek olması, su alma değerlerinde de görüldüğü gibi atık MDF levhalardan elde edilen liflerin, tekrar liflendirme prosesine tabi tutulmasına rağmen, liflerin yüzeyinin hâlâ önceden kürlenmiş UF reçinesi ihtiva etmesi ve levha üretimi sırasında tekrar UF reçinesi ile tutkalanmasıyla açıklanabilir.

Zeng ve arkadaşları, atık liflerden MDF üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ham odun lifleriyle üretilmiş MDF ile özellikleri karşılaştırıldığında eğilme direnci ve iç yapışma direnci sırasıyla %10, %11 oranında düşüş göstermiştir. Fakat kalınlığına şişme değeri atık liflerle üretilmiş levhalarda %12 oranında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Zeng vd., 2018).



Şekil 5.5. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Kalınlığına Şişme Yüzdeleri Grafiği

Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda kullanılan liflerin ligninle modifikasyonu ve lignin kullanım oranının artırılması levhaların kalınlığına şişme değerlerini önemli ölçüde düşürmüştür. Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların su direncinin, lignin oranının tam kuru lif ağırlığına oranla %2.5, %5 ve %7.5 kullanılmasıyla birlikte oransal arttığı görülmüştür. Şekil 4.5'te görüleceği üzere amonyum klorür (AC) sertleştiricisi kullanılarak %100 ham odun liflerinden üretilen levhaların kalınlığına şişme değeri %31 tespit edilmiştir. %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımından elde edilen kalınlığına şişme değeri %34 iken, %90-10 ham odun atık MDF lif karışımının tam kuru lif ağırlığına oranla %2.5 ligninle modifiye edilmesiyle %29, % 5 ligninle modifiye edilmesiyle %27 ve %7.5 ligninle modifiye edilmesiyle %25 olarak tespit edilmiştir. Kalınlığına şişme değerlerindeki benzer düşüş HMTA kullanımında da görülmüştür. Lignin molekülleri polar olmayan hidrokarbon zincirleri ve aromatik halkalara sahip oldukları için su alımı değerlerini azaltmaktadır. Mancera ve arkadaşları çalışmalarında, MDF üretiminde lignin ilavesinin kalınlığına şişme değerlerini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir (Mancera vd., 2018). Bu durum ayrıca ligninin hidrofobik bir yapıya sahip olması ve aromatik yapısının su moleküllerine karşı direnci ile açıklanabilir.

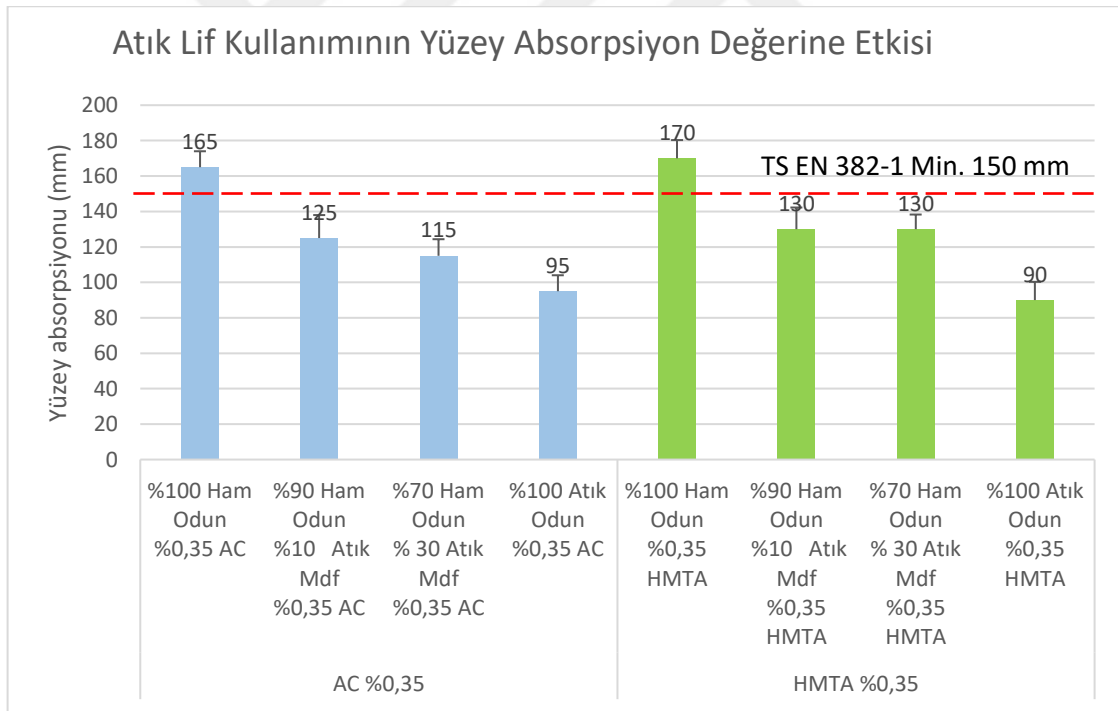


Şekil 5.6. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Kalınlığına Şişme Yüzdelere Etki Grafiği

Şekil 5.6’da görüleceği üzere ligninle modifiye edilmiş %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımında HMTA kullanılarak üretilen levhaların su alma miktarı AC kullanılarak üretilen levhalara kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Benzer sonuç %70-30 ham odun atık MDF lifi karışımında da görülmüştür. Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhalarda sertleştirici olarak amonyum klorür HMTAya göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

5.1.5. Levha Yüzey Emiciliği Testi (Yüzey Absorpsiyonu)

MDF’nin yüzey Absorpsiyon değeri TS EN 382-1’de 2.5-6 mm arası levha kalınlıkları için minimum 150 mm olarak belirtilmiştir. Üretilen levhaların yüzey absorpsiyon değerleri incelendiğinde üretilen levhaların ortalama yüzey absorpsiyon değeri 140 mm, en iyi değer % 175 mm , en düşük değer 90 mm olarak ölçülmüştür. %100 ham odun lifi ile ve %90-10 ham odun atık MDF liflerinin ligninle modifiye edilmesiyle üretilen levhalar standardın ön gördüğü minimum 150 mm değerinden yüksek çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir. Diğer grupların yüzey absorpsiyon değeri standartın ön gördüğü değerden düşük olarak ölçülmüştür.

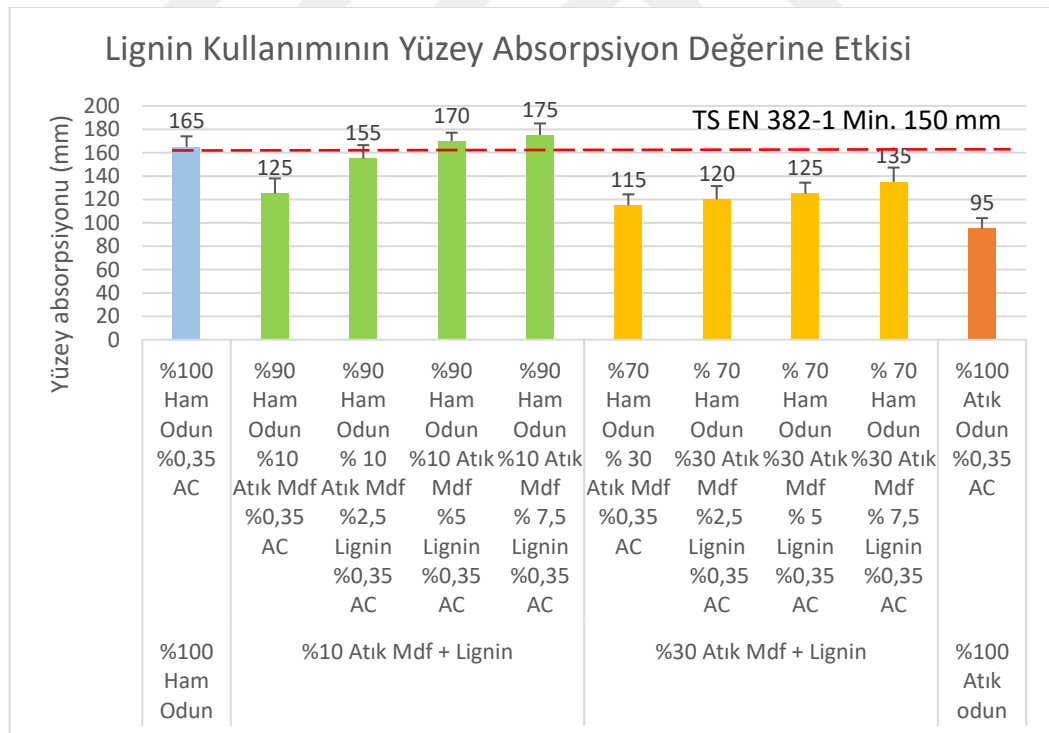


Şekil 5.7. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Yüzey Absorpsiyon Değerleri

Şekil 5.7’de görüleceği üzere hem amonyum klorür (AC) hemde HMTA sertleştiricisi kullanılarak %100 ham odun liflerinden üretilen levhaların yüzey absorpsiyon değeri, % 90-10, %70-30 ham odun ve atık MDF lifleri karışımından edilen levhalara kıyasla yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Atık MDF’den elde edilen lif kullanım miktarı arttıkça MDF numunelerinin yüzey emiciliğinin arttığı ve bununda absorpsiyon değerlerinin azalmasına neden olduğunu görülmüştür. Yapılan bir çalışmada, atık MDF’lerin yeniden yongalamada yapışma hatlarından gelişigüzel kırıldıklarından düzensiz boyut ve şekillerde yongalar oluştuğu ve liflendirmede lif boylarının kısaldığı görülmüştür (Uzer, E., 2018).

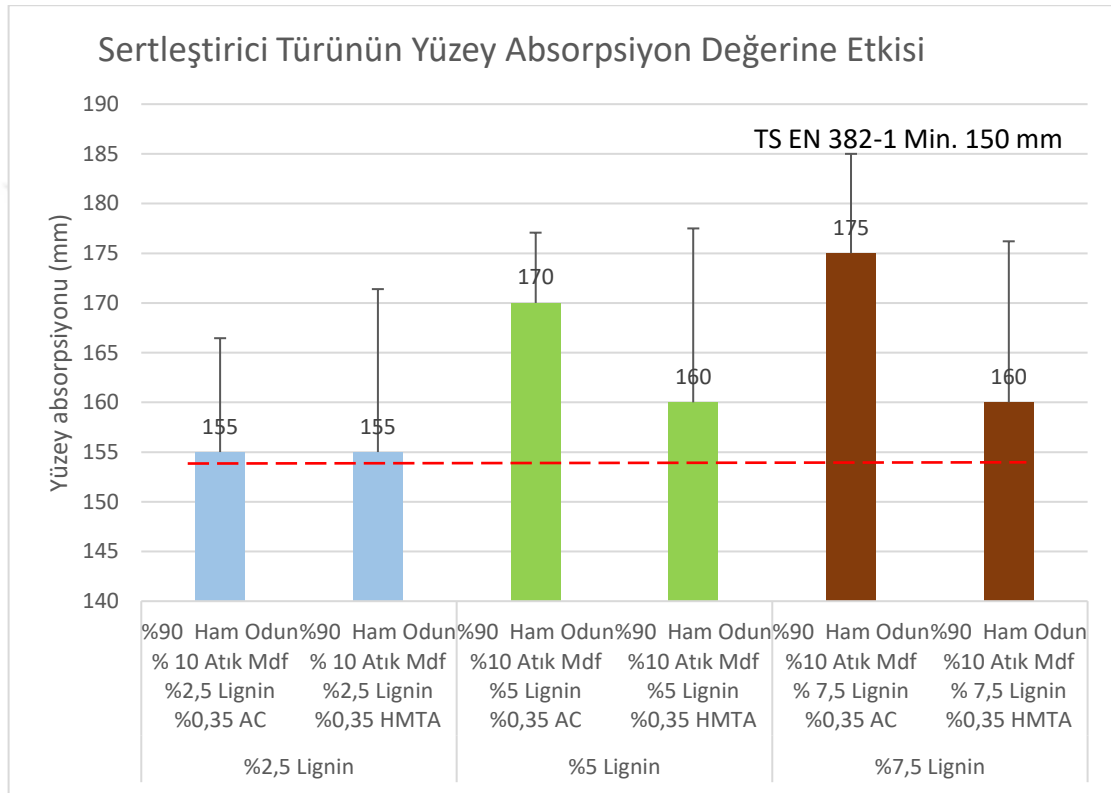
Liflerin keçeleşme oranı levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdendir. Atık lif kullanım oranı arttıķa yüzey emiciliğinin artması atık MDF'lerin lif boylarının kısalmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ham odun liflerine, %90-10 ham odun atık MDF lif karışına ve %70-30 ham odun atık MDF lif karışına yapılan lif uzunluğu analizinde de lif boylarının kısaldığı görülmüştür.



Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda kullanılan liflerin ligninle modifikasyonu ve lignin kullanım

oranının artırılması levhaların yüzey emiciliğini önemli ölçüde düşürmüştür. Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların yüzey emiciliğinin, lignin oranının tam kuru lif ağırlığına oranla %2.5, %5 ve %7.5 kullanılmasıyla birlikte oransal azaldığı görülmüştür (Şekil 5.8).

Bu durum ligninin hidrofobik bir yapıya sahip olması ve aromatik yapısının su moleküllerine karşı direnci ile açıklanabilir.



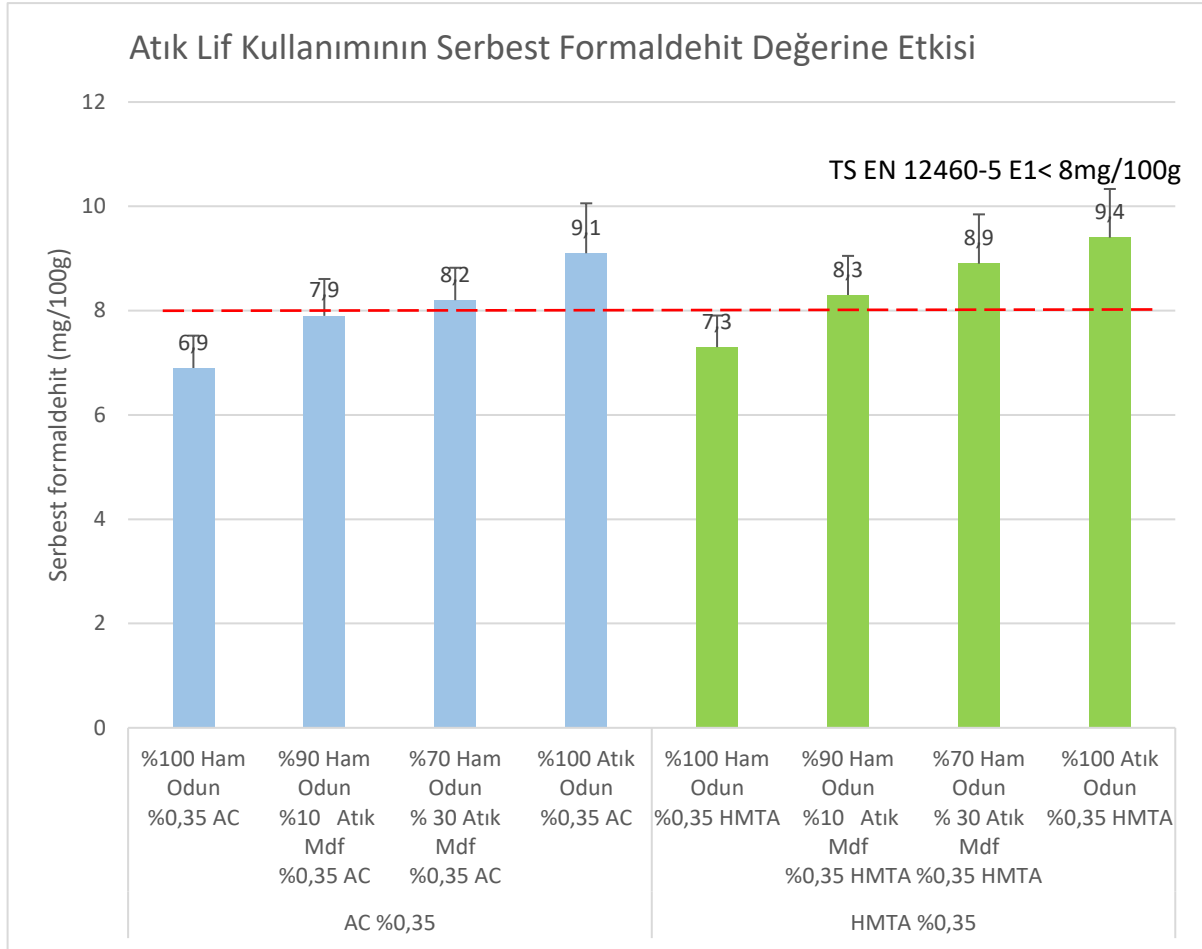
Şekil 5.9. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Yüzey Absorpsiyon Değerine Etki

Şekil 5.9’da görüleceği üzere ligninle modifiye edilmiş %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımında hem HMTA hemde AC sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhaların yüzey absorpsiyon değerlerinin benzer olduğu görülmüştür.

5.1.6. Serbest Formaldehit Test Değerleri

MDF’nin serbest formaldehit değeri TS EN 12460-5 standartında belirtilen perforatör test yöntemine göre, MDF levhaların serbest formaldehit değeri E0 sınıflandırmasında 1-2 mg/100gr, E1 sınıflandırmasında 2-8 mg/100 gr levhaya, E2 sınıflandırmasında ise 8-30 mg /100 gr arasında olması gerekmektedir.

TS EN 12460-5 standartına göre %100 ham odun lifleri ile üretilen levhalar ve AC sertleştiricisi kullanılarak % ligninle modifiye edilmiş 90-10, ham odun ve atık MDF lifleri karışımından elde edilen levhalar E1 formaldehit emisyon sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Diğer grupların E2 formaldehit emisyon sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Serbest Formaldehit Değerleri

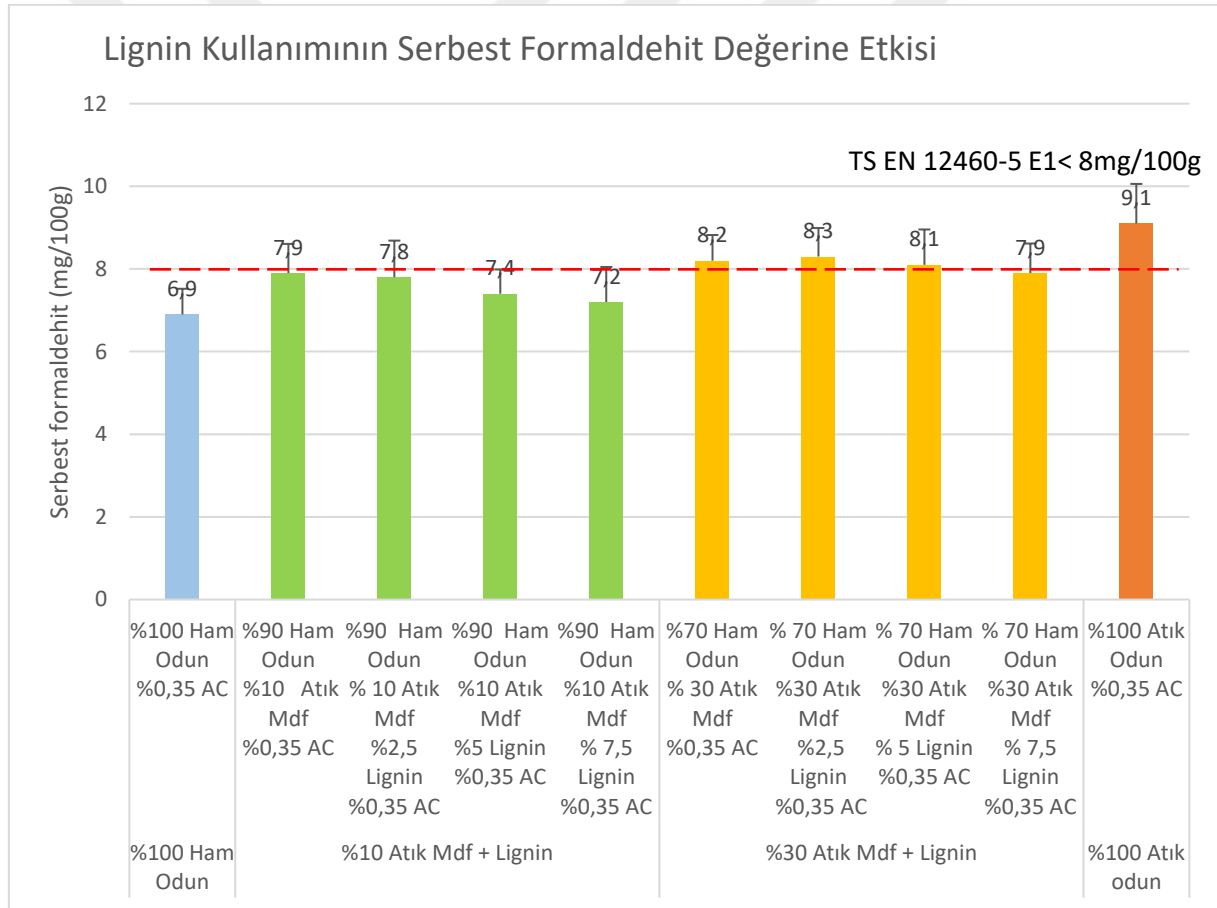
Şekil 5.10'da görüleceği üzere en düşük formaldehit emisyon değeri AC sertleştiricisi kullanılarak %100 ham odun liflerinden üretilen levhada en yüksek değer HMTA sertleştiricisi kullanılarak %100 atık MDF liflerinden üretilen levhada görülmüştür.

%100 ham odundan üretilen levhalara göre, hem amonyum klorür (AC) hemde heksametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda atık MDF lif kullanım oranı arttıkça formaldehit emisyon miktarının arttığı tespit edildi.

Literatür araştırmalarında da tespitleri doğrulayan sonuçlar elde edilmiştir. Atık MDF lifleri ile yapılan bir çalışmada, atık MDF'den geri dönüştürülmüş liflerinden üretilen MDF

panelleri üretiminde kullanılan UF reçinesi; üre, amonyak ve oligomerik bozunma ürünleri formaldehit ile reaksiyona girebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, atık MDF'den geri dönüştürülmüş liflerle üretilen MDF'nin formaldehit içeriğinin ve emisyonlarının, Ham odun liflerinden üretilen MDF panellerinden önemli ölçüde daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Bütün Buschalsky, F. Y., & Mai, C. (2021).

Ayrıca, %100 atık MDF liflerinden elde edilen levhaların formaldehit emisyonunun diğer gruplara kıyasla daha yüksek olması, atık MDF levhalardan elde edilen liflerin, tekrar liflendirme prosesine tabi tutulmasına rağmen, liflerin yüzeyinin hâlâ önceden kürlenmiş UF reçinesi ihtiva etmesi ve levha üretimi sırasında tekrar UF reçinesi ile tutkallanmasıyla açıklanabilir.



Şekil 5.11. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Serbest Formaldehit Değerleri Grafiği

Hem amonyum klorür (AC) hemde heksametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda kullanılan liflerin ligninle modifikasyonu ve lignin kullanım oranının artırılması levhaların formaldehit emisyon değerlerini önemli ölçüde düşürmüştür.

Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların serbest formaldehit değeri, lignin oranının tam kuru lif ağırlığına göre %2.5, %5 ve %7.5 kullanılmasıyla birlikte oransal düştüğü görülmüştür.

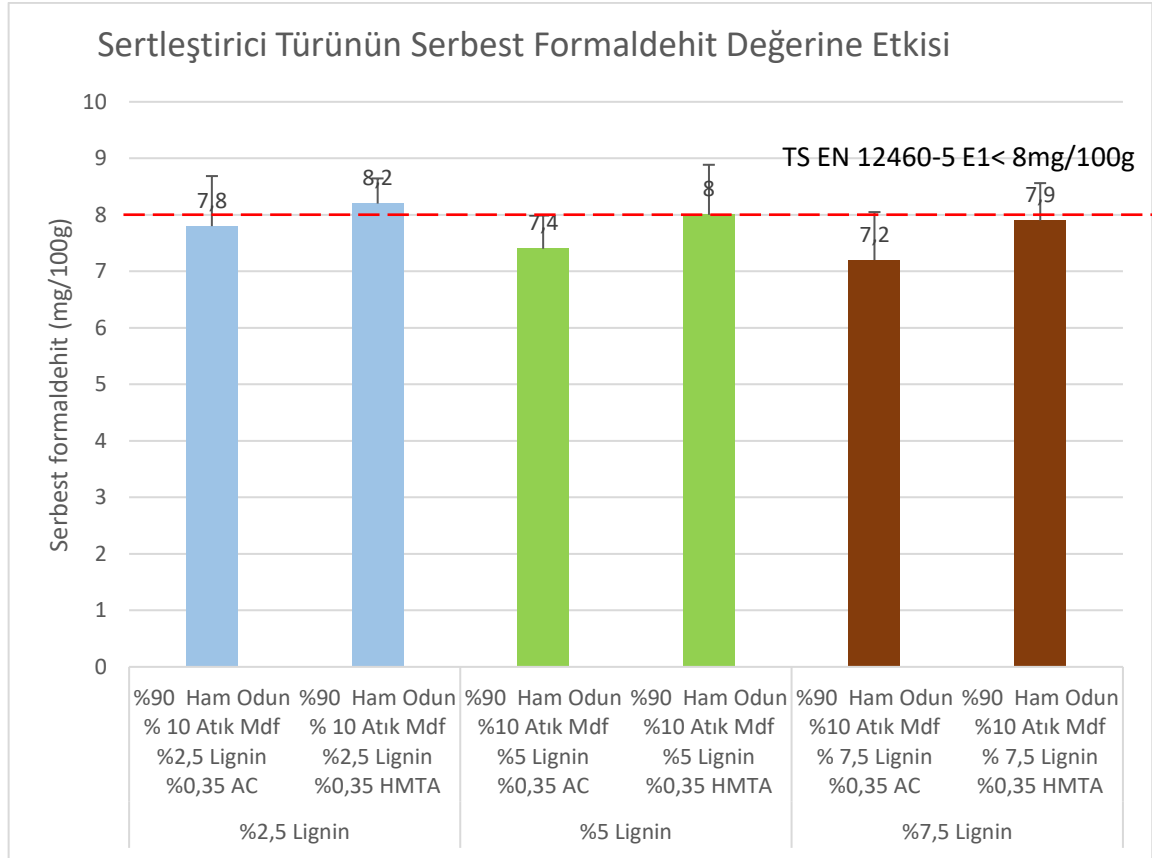
Şekil 5.11’de görüleceği üzere amonyum klorür (AC) sertleştiricisi kullanılarak %100 ham odun liflerinden üretilen levhaların serbest formaldehit değeri 6.9 mg/100g tespit edilmiştir. %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımından elde edilen levhaların serbest formaldehit değeri 7.9 mg/100g iken, %90-10 ham odun atık MDF lif karışımının tam kuru lif ağırlığına oranla %2,5 ligninle modifiye edilmesiyle 7.8 mg/100g, % 5 ligninle modifiye edilmesiyle 7.4 mg/100g ve %7,5 ligninle modifiye edilmesiyle 7.2 mg/100g olarak ölçülmüştür.

Literatür araştırmalarında da tespitleri doğrulayan sonuçlar elde edilmiştir. Lignin kullanılarak yapılan bir çalışmada, Lignin molekülünün, aromatik yapıya bağlı hidroksil, karbonil ve karboksilik asit gibi birçok oksijen türevi fonksiyonel grup içermesi ve bu fonksiyonel grupların reaksiyona girme yeteneğine sahip olduğundan, serbest formaldehit emisyonunu azaltmada etkili olduğu tespit edilmiştir. (Wang, Y. Y., Meng, X., Pu, Y., & J. Ragauskas, A. 2020).

Diğer bir çalışmada, Formaldehit emisyonuna etki eden faktörler arasında odun türü, üre/formaldehit mol oranı, sertleştiricinin türü, pres şartları, tutkal miktarı, levha yaşı, depolama süresi, levhaların bulunduğu ortamdaki sıcaklık, nem ve hava değişim oranı olarak sıralanmaktadır (Carvalho vd., 2012).

Kordkheili ve arkadaşları, formaldehit emisyon değerini düşürmek amacıyla fenollü Kraft lignini kullanmışlardır. %20 modifiye lignin katkısına kadar mekanik sonuçlarda olumsuz sonuç görülmeden formaldehit emisyon değerlerinde düşüş elde etmişlerdir (Kordkheili vd., 2016)

Şekil 5.12’de görüleceği üzere ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhalarda HMTA kullanılarak üretilen levhaların formaldehit emisyonu AC kullanılarak üretilen levhalara kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Benzer sonuç %70-30 ham odun atık MDF lifi karışımında da görülmüştür.



Şekil 5.12. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Serbest Formaldehit Değerine Etkisi

Bu durum HMTA'nın termal bozunmasıyla oluşan formaldehit ile açıklanabilir. HMTA kullanılarak üretilen levhaların presleme sırasında HMTA'nın termal bozunması ile oluşan formaldehitin bir kısmı çapraz oluşuma katkı sağlarken bir kısmı ise reaksiyona girmeden kısa vadede serbest formaldehit oluşturarak emüsyon artışına neden olabileceği ile açıklanabilir.

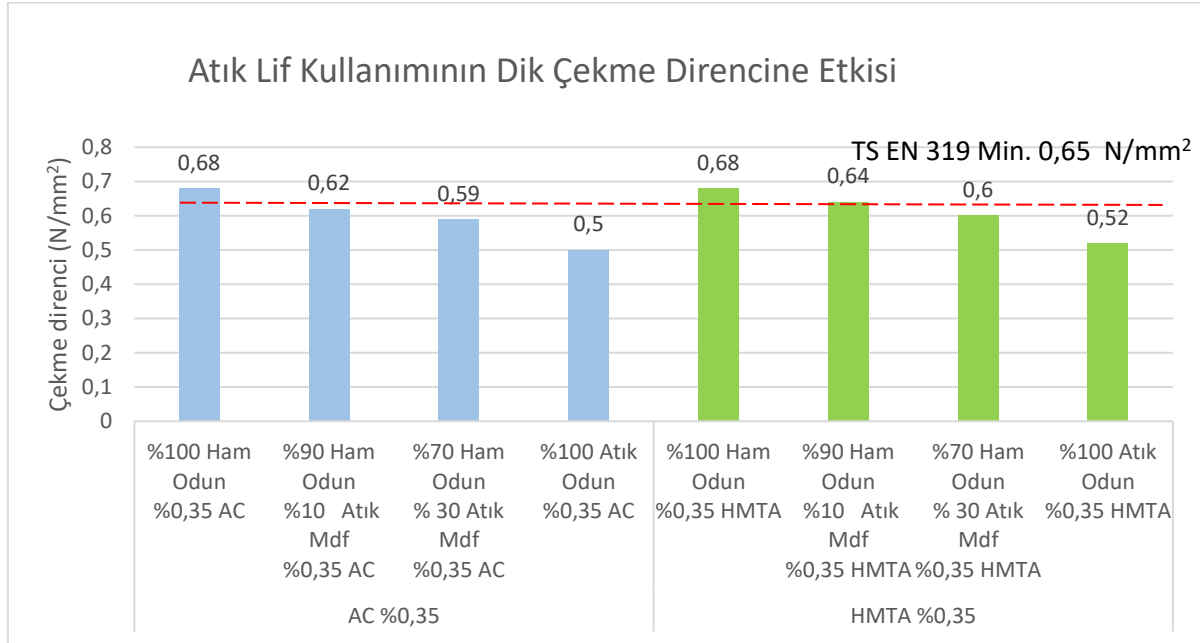
5.2 MEKANİK ÖZELLİKLER

5.2.1. Levha Yüzeyine Dik Yönde Çekme Direnci

MDF'nin yüzeye dik çekme direnci levhanın mekanik özellikleri hakkında önemli ölçüde fikir edinilmesini sağlayan deneylerin başında gelmektedir. TS EN 319'da 4-6 mm arası levha kalınlıkları için levha yüzeyine dik çekme direnci 0.65 N/mm² olarak belirtilmiştir.

Üretilen levhaların çekme direnci incelendiğinde üretilen levhaların ortalama çekme direnci 0.63 N/mm², en yüksek değer 0.74 N/mm², en düşük değer 0.50 N/mm² olarak ölçülmüştür. Sadece %100 ham odun lifleriyle üretilen ve AC sertleştiricisi kullanılarak %90-10 ham odun atık MDF liflerinin %2.5, %5 ve %7.5 oranda ligninle modifiye edilmesiyle elde

edilen levhaların çekme direnci standardın ön gördüğü minimum 0.65 N/mm^2 oranından daha yüksek çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir.



Şekil 5.13. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Çekme Direnci

Şekil 5.13'te görüleceği üzere hem amonyum klorür (AC) hemde HMTA sertleştiricisi kullanılarak %100 ham odun liflerinden üretilen levhaların çekme direnci 0.68 N/mm^2 ölçülmüştür.

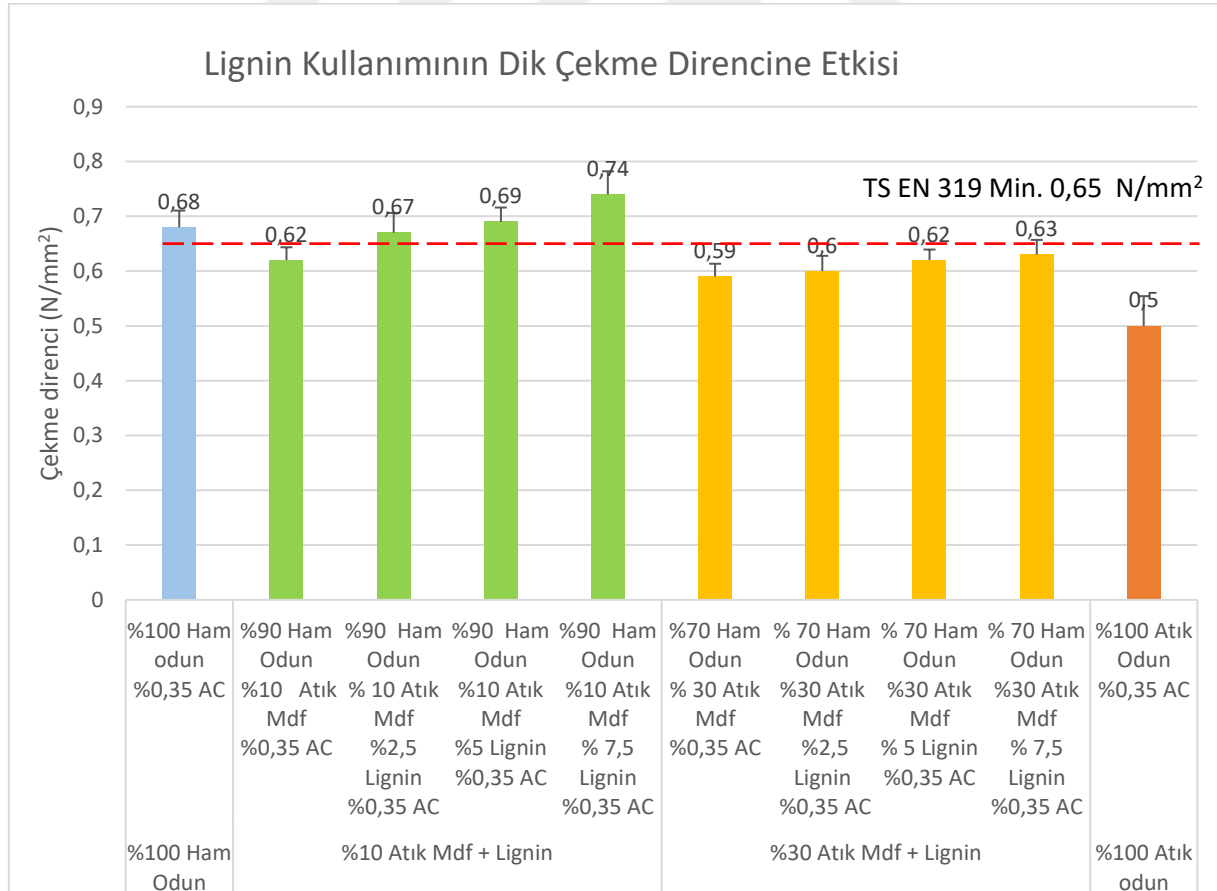
Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak % 90-10, %70-30 ham odun ve atık MDF lifleri karışından üretilen levhaların çekme direnci %100 ham odundan lifinden elde edilen levhalara kıyasla düşük olarak tespit edilmiştir.

Üretilen MDF levhalarda kullanılan atık MDF lif kullanım oranının artması ile levha yüzeyine dik çekme direncinde düşüş görülmüştür. Zeng ve arkadaşları (2018), atık liflerden MDF üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ham odun lifleriyle üretilmiş MDF ile özellikleri karşılaştırıldığında eğilme direnci ve iç yapışma direnci sırasıyla %10, %11 oranında düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Lif uzunluğu, MDF levhanın mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Geri dönüştürülmüş liflere yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş liflerin ham odundan elde edilen liflerden yaklaşık %12 daha kısa olduğu ve geri dönüştürülmüş liflerin uçlarında kırık oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir (Zeng ve diğ., 2018).

Atık liflerin boyutlarının kısa olmasının sebebi geri dönüşüm aşamasında değişik şekillerde kırılması ve tekrar liflendirme aşamasından geçirilmesinden kaynaklı olabilir (Uzer, E., 2018). Başka bir çalışmada; Mantanis ve arkadaşları, MDF üretiminde %25 oranında atık lif kullanımında çapraz bağ arttırıcı kimyasal ajanlar kullanarak kontrol örnekleri olan %100 ham odun lifinden üretilen levha özelliklerini karşılamıştır. 750 kg/m³ yoğunlukta, 16 mm kalınlıkta 0,98 N/mm² iç yapışma direnci 37,8 N/mm² eğilme direnci değerini elde etmişlerdir (Mantanis vd., 2004).

Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda kullanılan liflerin ligninle modifikasyonu ve lignin kullanım oranının arttırılması ile levhaların çekme direncinde önemli artış görülmüştür. Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların çekme direncinin, lignin oranının tam kuru lif ağırlığına oranla %2.5, %5 ve %7.5 kullanılmasıyla birlikte oransal arttığı görülmüştür. %5 ve %7.5 lignin kullanımında Ham odun liflerinden üretilen levhalara göre daha yüksek değer elde edilmiştir.



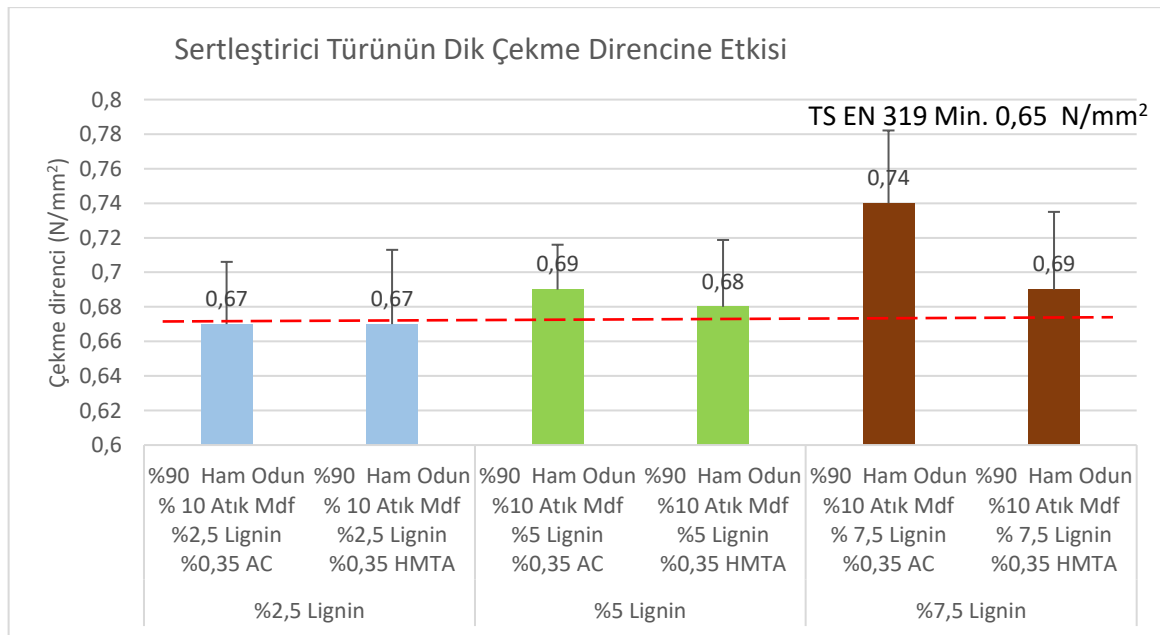
Şekil 5.14. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Çekme Direnci

Şekil 5.14'te görüleceği üzere amonyum klorür (AC) sertleştiricisi kullanılarak %100 ham odun liflerinden üretilen levhaların çekme direnci 0.68 N/mm² tespit edilmiştir.

%90-10 ham odun atık MDF lifi karışımından elde edilen levhaların çekme direnci 0.62 N/mm² iken, %90-10 ham odun atık MDF lif karışımının tam kuru lif ağırlama oranla %2.5 ligninle modifiye edilmesiyle 0.67 N/mm², % 5 ligninle modifiye edilmesiyle 0.69 N/mm² ve %7.5 ligninle modifiye edilmesiyle 0.74 N/mm² olarak tespit edilmiştir.

Bu durum, Kraft lignininin reaktivitesi ile karboksilik asit gruplarının artmasıyla ve Modifiye edilmiş liflerde lignin oranı arttıkça karboksilik asit gruplarının artmasıyla açıklanabilir. (Wang, Y. Y., Meng, X., Pu, Y., & J. Ragauskas, A. 2020).

Ayrıca kraft lignini artan miktarda karboksil grupları ve bifenil, kinin ve katekol yapıları gibi yoğunlaştırılmış yapılar içerir. Ligninin bağ performansını arttırmadaki rolü çeşitli faktörlerle açıklanabilir. Çapraz bağlama katalizörü olarak amonyum klorür, sıcak presleme süresini azaltmak için kullanılır. Ortamın pH'nı düşüren asidik bir katalizör, sıcak presleme sırasında ligninin yoğunlaşmasını teşvik edebilir, böylece ligninin kendi kendine çapraz bağlanmasında asidik kürlenme koşulunu daha kolay hale getirebilir ve böylece daha iyi yapışma performansı sağlayabilir (Yang, G., Gong, Z., Luo, X., Chen, L., & Shuai, L. 2023). Sonuçlara göre, lif yüzeylerindeki lignin içeriğindeki artışın, UF'ye ek olarak lifler arasındaki arayüzey bağını daha da iyileştirdiği görülmüştür.



Şekil 5.15. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Çekme Direncine Etkisi

Şekil 5.15'te görüleceği üzere ligninle modifiye edilmiş %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımında HMTA kullanılarak üretilen levhaların çekme direnci AC kullanılarak üretilen levhalara kıyasla daha düşük çıkmıştır. Benzer sonuç %70-30 ham odun atık MDF lifi karışımında da görülmüştür.

Sertleştirici olarak HMTA kullanılması formaldehit oluşturduğundan dolayı levhalarda çapraz bağ yoğunluğunu arttırmış buna bağlı olarak çekme direncinde artış görülmüştür. Ligninle modifiye edilen liflerle üretilen levhalarda sertleştirici olarak HMTA kullanıldığında, amonyum klorüre göre çekme direnç değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, HMTA kaynaklı formaldehitin lignin aromatik grupları ile reaksiyona girerek aromatik halkalar üzerinde metilol grupları oluşturmamasından veya HMTA'nın bazik özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. HMTA varlığında liflere püskürtülen UF reçinesi lif yerine ligninle reaksiyona girerek lif ve tutkal arasındaki bağ sayısının azalmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

Literatürde yapılan önceki çalışmalarda tespitleri doğrulayan sonuçlar elde edilmiştir. Mancera ve arkadaşları kraft lignin bazlı tutkalla üretilen levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerinin kullanılan lignin oranı arttıkça olumlu yönde etkilendiğini gözlemlemiştir. (Mancera vd., 2011). Yapılan çalışmaya ait mekanik ve fiziksel özellikler tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Liflevhaların fiziksel ve mekanik özellikleri (Mancera vd., 2011)

Lignin katkısı (%)	Eğilme dayanımı (MPa)	Eğilmede elastikiyet modülü (MPa)	Dik çekme direnci (MPa)	Su alma oranı (%)	Kalınlığına şişme oranı (%)
0	24	4331	0.14	12.6	8.8
0	25	3876	0.12	13.1	9.1
0	26	4198	0.15	11.8	9.0
5	40	5073	0.33	12.2	9.1
5	41	4940	0.24	12.3	9.3
5	43	5135	0.27	11.6	8.5
10	42	5671	0.53	9.0	7.1
10	43	5334	0.49	8.8	7.4
10	44	5436	0.53	9.5	6.8
15	48	6014	0.70	9.0	4.0
15	45	6481	0.67	9.5	4.2
15	46	6219	0.62	10.3	4.3
20	50	5665	1.09	3.9	2.1
20	52	5610	1.12	3.3	1.6
20	55	5592	1.06	4.2	1.7

Başka bir çalışmada Hwang ve arkadaşları (2005) MDF levhalarda %20-%40-%60 ve %100 olarak kullanılan geri dönüştürülmüş lif kullanım oranının artmasıyla mekanik özelliklerin önemli ölçüde olumsuz etkilendiğini tespit etmiştir. Çalışmanın mekanik özellikleri tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Lif levhaların mekanik özellikleri (Hwang vd., 2005)

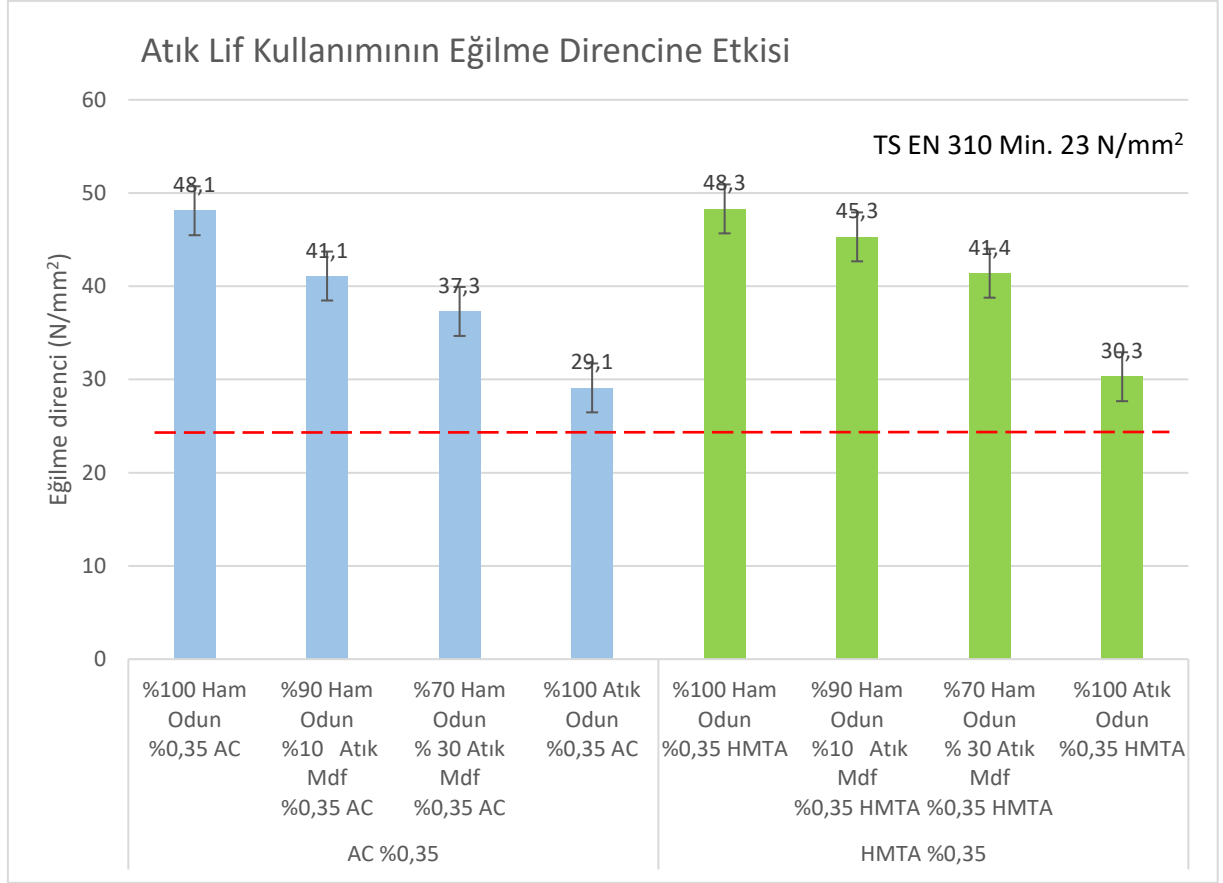
Test	A (%0)	B (%20)	C (%40)	D (%60)	E(%80)	F(%100)
Çekme dayanımı (psi)	130.7 (7.38)	83.59 (15.04)	71.3 (8.60)	44.0 (4.70)	35.4 (1.88)	21.8 (2.12)
Eğilme dayanımı (psi)	4.538 (1.612)	3.029 (547)	2.734 (301)	1.969 (349)	1.392 (386)	1.051 (127)
Eğilmede elastikiyet modülü (psi)	410 (131)	311 (53)	301 (40)	207 (57)	177 (38)	135 (19)

5.2.2. Eğilme Direnci Test Değerleri

TS EN 310 ’da 4-6 mm arası levha kalınlıkları için eğilme direnci 23 N/mm² olarak belirtilmiştir. Üretilen levhaların eğilme direnci incelendiğinde üretilen levhaların ortalama eğilme direnci 42.3 N/mm², en yüksek değer 50.4 N/mm², en düşük değer 29.1 N/mm²olarak ölçülmüştür.

Bütün levha grupları karşılaştırıldığında en yüksek eğilme direnci AC sertleştiricisi kullanılarak %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımının %7,5 ligninle modifiyesiyle üretilen levhalarda elde edilmiştir. Levha grupları standardın ön gördüğü minimum 23 N/mm² oranından daha yüksek çıkarak standarda uygunluk göstermişlerdir.

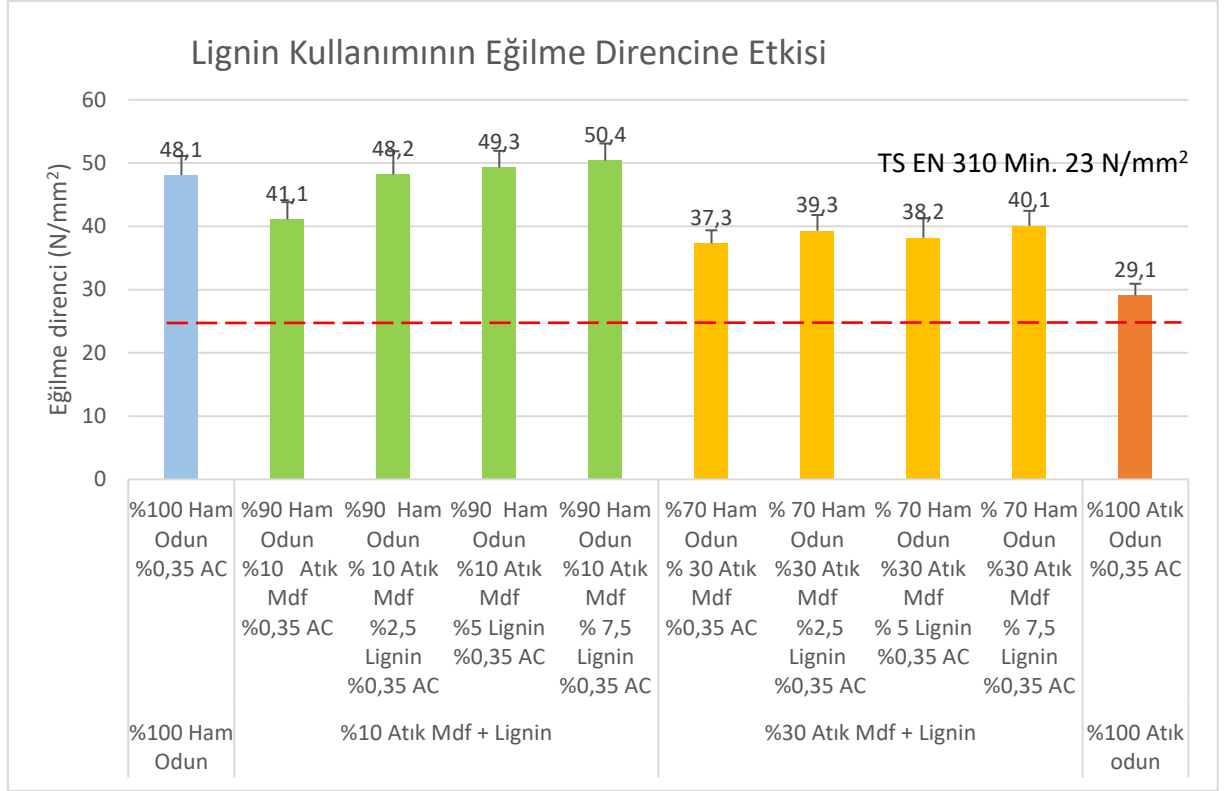
Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak % 90-10, %70-30 ham odun ve atık MDF lifleri karışından üretilen levharın eğilme direnci %100 ham odundan lifinden elde edilen levhalara kıyasla düşük olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 5.16. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Eğilme Direnci Değerleri

Üretilen MDF levhalarda kullanılan atık MDF lif kullanım oranının artması ile eğilme direncinde düşüş görülmüştür. Zeng ve arkadaşları, atık liflerden MDF üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ham odun lifleriyle üretilmiş MDF ile özellikleri karşılaştırıldığında eğilme direncinin %10 oranında düşük olduğu gözlemlenmiştir. (Zeng vd., 2018) Geri dönüştürülmüş elyaflardaki fonksiyonel grupların azalması, MDF panellerin mekanik özelliklerinin düşük olmasının nedenlerinden biridir. Geri dönüştürülmüş lif içeren MDF numunelerinin çekme direnci, eğilme ve elastikiyet modülü değerleri, Ham odun lifleri ile üretilen MDF numunelerine göre sırasıyla %11, %10 ve %5 daha düşük bulunmuştur (Hwang vd., 2005).

Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda kullanılan liflerin ligninle modifikasyonu ve lignin kullanım oranının artırılması ile levhaların eğilme direncinde önemli artış görülmüştür.



Şekil 5.17. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Eğilme Direnci Değerleri

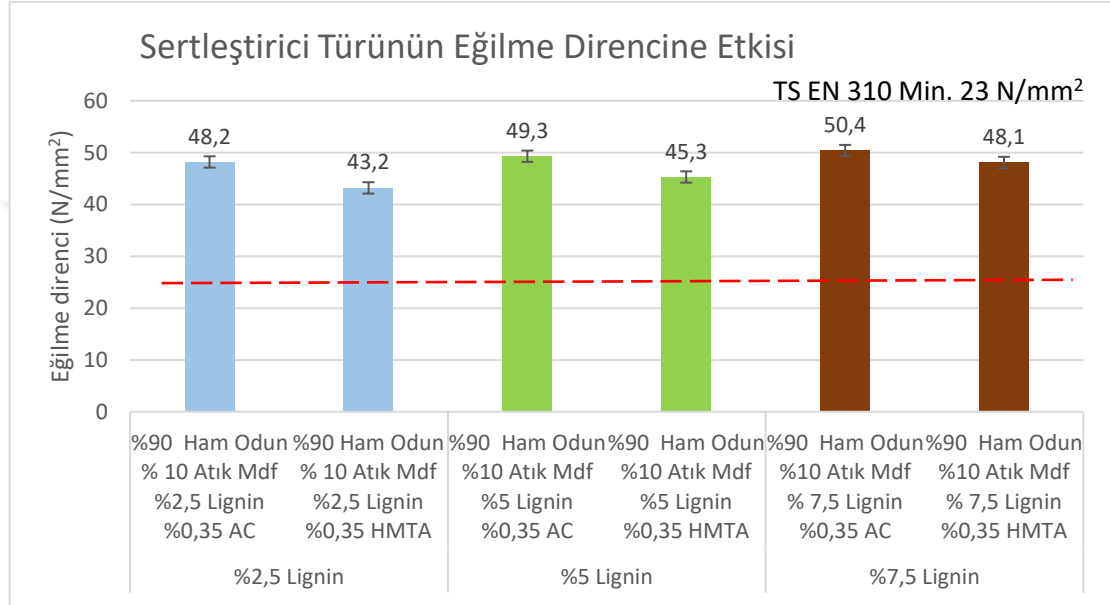
Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların çekme direncinin, lignin oranının tam kuru lif ağırlığına göre %2.5, %5 ve %7.5 kullanılmasıyla birlikte oransal arttığı görülmüştür. Grafik 5.17’de görüleceği üzere amonyum klorür (AC) sertleştiricisi kullanılarak %100 ham odun liflerinden üretilen levharın eğilme direnci 48.1 N/mm² tespit edilmiştir.

%90-10 ham odun atık MDF lifi karışımından elde edilen levhaların eğilme direnci 41.1 N/mm² iken, %90-10 ham odun atık MDF lif karışımının tam kuru lif ağırlana oranla %2.5 ligninle modifiye edilmesiyle 48.2 N/mm², %5 ligninle modifiye edilmesiyle 49.3 N/mm² ve %7.5 ligninle modifiye edilmesiyle 50.4 N/mm² olarak tespit edilmiştir.

Lignin ile modifiye edilmiş MDF numunelerinin eğilme direnci değerleri, lignin içermeyen numunelere göre oldukça yüksek bulunmuştur. Lignin modifikasyonunun eğilme özellikleri üzerinde daha etkili olduğu söylenebilir. Ligninin kendi kendine çapraz bağlanmasının oluşumu, sıcak preslenmiş ligninde C-C bağlantılarının artan varlığı ile doğrulanabilir. Mekanik özelliklerdeki iyileşme, damarların (gözeneklerin) yumuşatılmış lignin ve ara yüzey ile doldurulmasıyla da açıklanabilir (Yang, G., Gong, Z., Luo, X., Chen, L., & Shuai, L. 2023).

Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların eğilme direncindeki yükselme kraft lignininin reaktivitesi ile karboksilik asit gruplarının artmasıyla ve modifiye edilmiş liflerde lignin oranı arttıkça karboksilik asit gruplarının artmasıyla açıklanabilir. (Wang, Y. Y., Meng, X., Pu, Y., & J. Ragauskas, A. 2020).

Sonuçlara göre, lif yüzeylerindeki lignin içeriğindeki artışının, UF'ye ek olarak lifler arasındaki arayüzey bağına daha da iyileştirdiği görülmüştür.



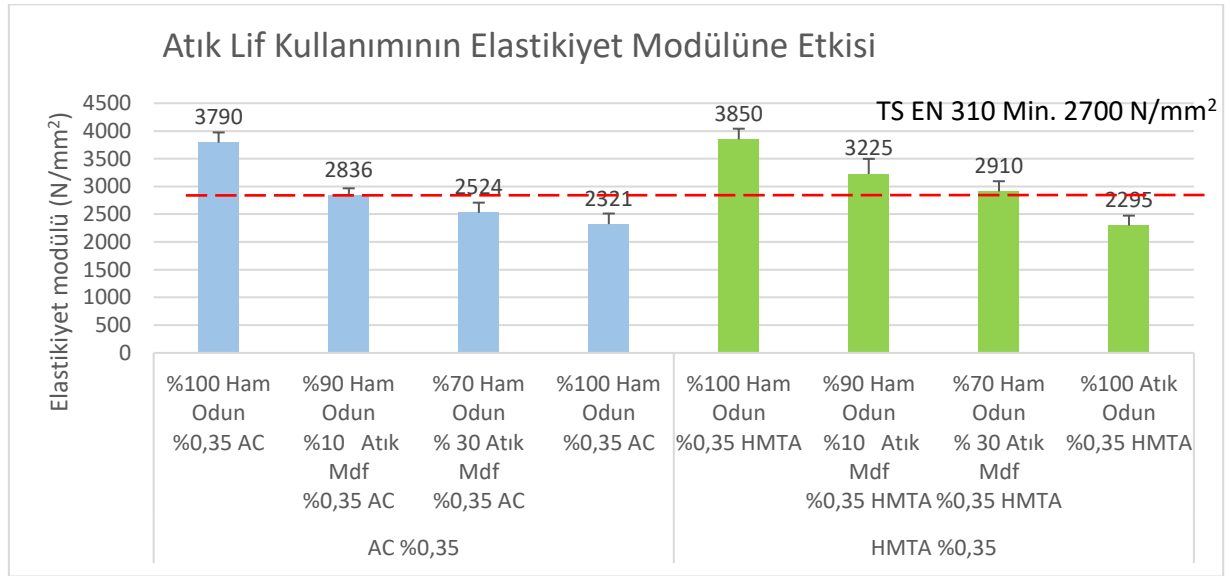
Şekil 5.18. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Eğilme Direncine Etkisi

Şekil 5.18’de görüleceği üzere ligninle modifiye edilmiş %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımında HMTA kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci AC kullanılarak üretilen levhalara kıyasla daha düşük çıkmıştır. Benzer sonuç %70-30 ham odun atık MDF lifi karışımında da görülmüştür.

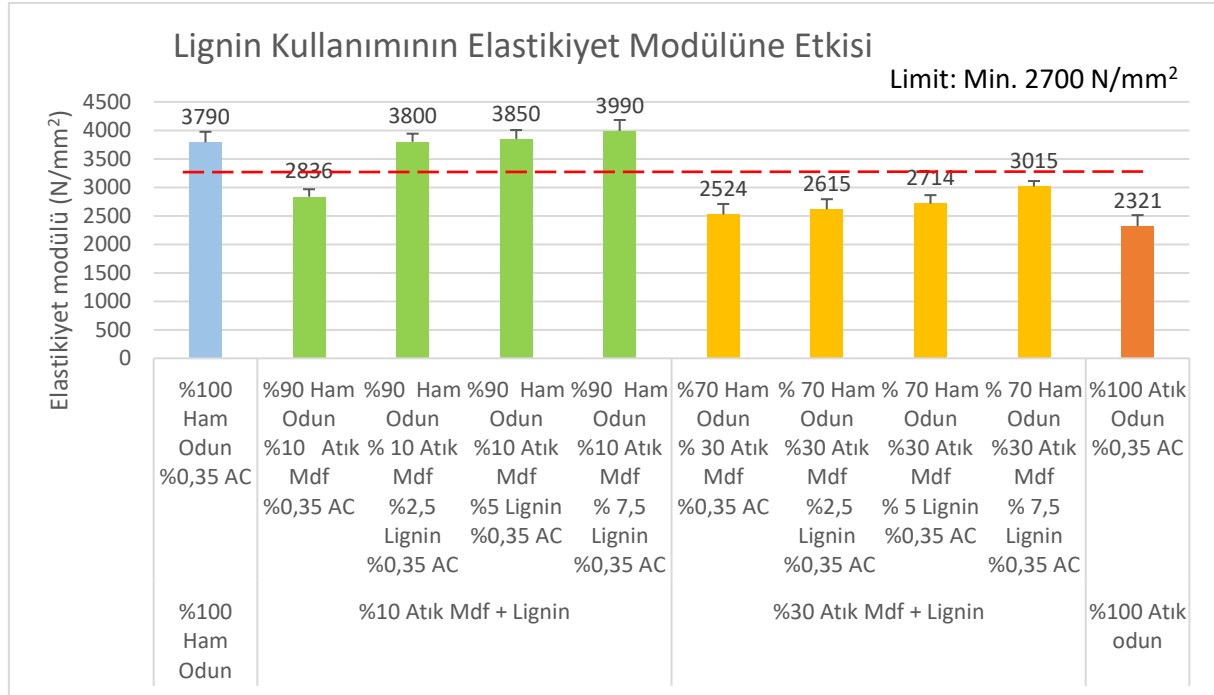
5.2.3. Elastikiyet Modülü Test Değerleri

TS EN 310 ’da 4-6 mm arası levha kalınlıkları için eğilmede elastikiyet modülü 2700 N/mm² olarak belirtilmiştir. Tablo 4.41’de belirtilen istatistik parametlerden levhaların elastikiyet modülü incelendiğinde üretilen levhaların ortalama eğilme direnci 3165 N/mm², en yüksek değer 3990 N/mm², en düşük değer 2295 N/mm² olarak ölçülmüştür. Bütün levha grupları karşılaştırıldığında en yüksek elastikiyet modülü AC sertleştiricisi kullanılarak %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımının %7.5 ligninle modifiyesiyle üretilen levhalarda elde edilmiştir.

Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak % 90-10, %70-30 ham odun ve atık MDF lifleri karışından üretilen levhaların elastikiyet modülü %100 ham odundan lifinden elde edilen levhalara kıyasla düşük olarak tespit edilmiştir. Üretilen MDF levhalarda kullanılan atık MDF lif kullanım oranının artması ile elastikiyet modülü değeri düşüş görülmüştür (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Elastikiyet Modülü Grafiği

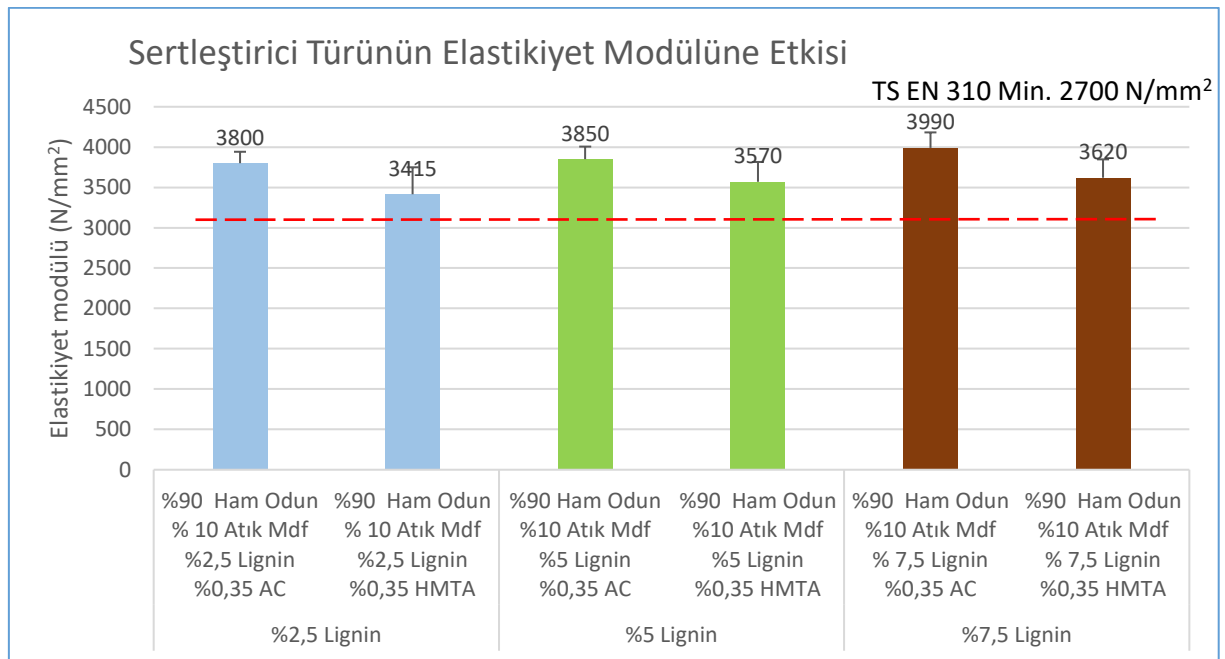


Şekil 5.20. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Elastikiyet Modülü Grafiği

%90-10 ham odun atık MDF lifi karışımından elde edilen levhaların elastikiyet modülü 2836 N/mm² iken, %70-30 ham odun atık MDF lifi karışımından elde edilen levhaların 2524 N/mm², %100 Atık MDF liflerinden üretilen levhaların 2371 N/mm² olarak ölçülmüştür (Şekil 5.20). Geri dönüştürülmüş elyaflardaki fonksiyonel grupların azalması, MDF panellerin mekanik özelliklerinin düşük olmasının nedenlerinden biridir. Geri dönüştürülmüş lif içeren MDF numunelerinin elastikiyet modülü değerleri, ham odun lifleri ile üretilen MDF numunelerine göre %5 daha düşük bulunmuştur (Hwang vd., 2005).

Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda kullanılan liflerin ligninle modifikasyonu ve lignin kullanım oranının artırılması ile levhaların elastikiyet modülü değerinde önemli artış görülmüştür. Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların elastikiyet modülü, lignin oranının tam kuru lif ağırlığına göre %2.5, %5 ve %7.5 kullanılmasıyla birlikte oransal arttığı görülmüştür.

%90-10 ham odun atık MDF lifi karışımından elde edilen levhaların elastikiyet modülü 2836 N/mm² iken, %90-10 ham odun atık MDF lif karışımının tam kuru lif ağırlana oranla %2.5 ligninle modifiye edilmesiyle 3800 N/mm², % 5 ligninle modifiye edilmesiyle 3850 N/mm² ve %7.5 ligninle modifiye edilmesiyle 3990 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Lignin ile modifiye edilmiş MDF numunelerinin elastikiyet modülü değerleri, lignin içermeyen numunelere göre oldukça yüksek bulunmuştur.

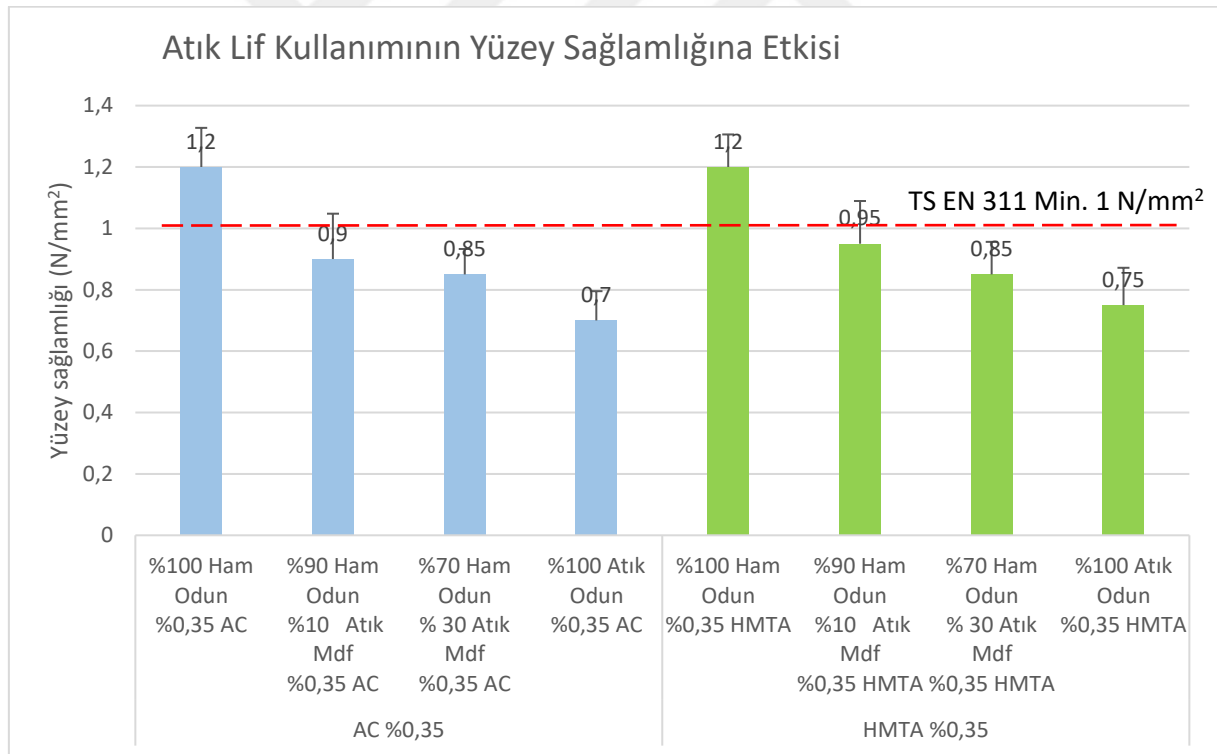


Şekil 5.21. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Elastikiyet Modülüne Etki Grafiği

Şekil 5.21’de görüleceği üzere ligninle modifiye edilmiş %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımında HMTA kullanılarak üretilen levhaların elastikiyet modülü AC kullanılarak üretilen levhalara kıyasla daha düşük çıkmıştır. Benzer sonuç %70-30 Ham odun atık MDF lifi karışımında da görülmüştür. Ligninle modifiye liflerle üretilen levhaların hem eğilme direncinde hem de elastikiyet modülü değerinde AC sertleştiricisi kullanıldığında HMTA’ya göre daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

5.2.4 Yüzey Sağlamlığı

TS EN 311 ’de MDF levhalar için yüzey sağlamlığı değeri $\geq 1 \text{ N/mm}^2$ olarak belirtilmiştir. Üretilen levhaların yüzey sağlamlığı değerleri incelendiğinde üretilen levhaların ortalama eğilme direnci 0.96 N/mm^2 , en yüksek değer 1.3 N/mm^2 , en düşük değer 0.70 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. Bütün levha grupları karşılaştırıldığında en yüksek yüzey sağlamlığı değeri AC sertleştiricisi kullanılarak %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımının %7.5 ligninle modifiyesiyle üretilen levhalarda elde edilmiştir.

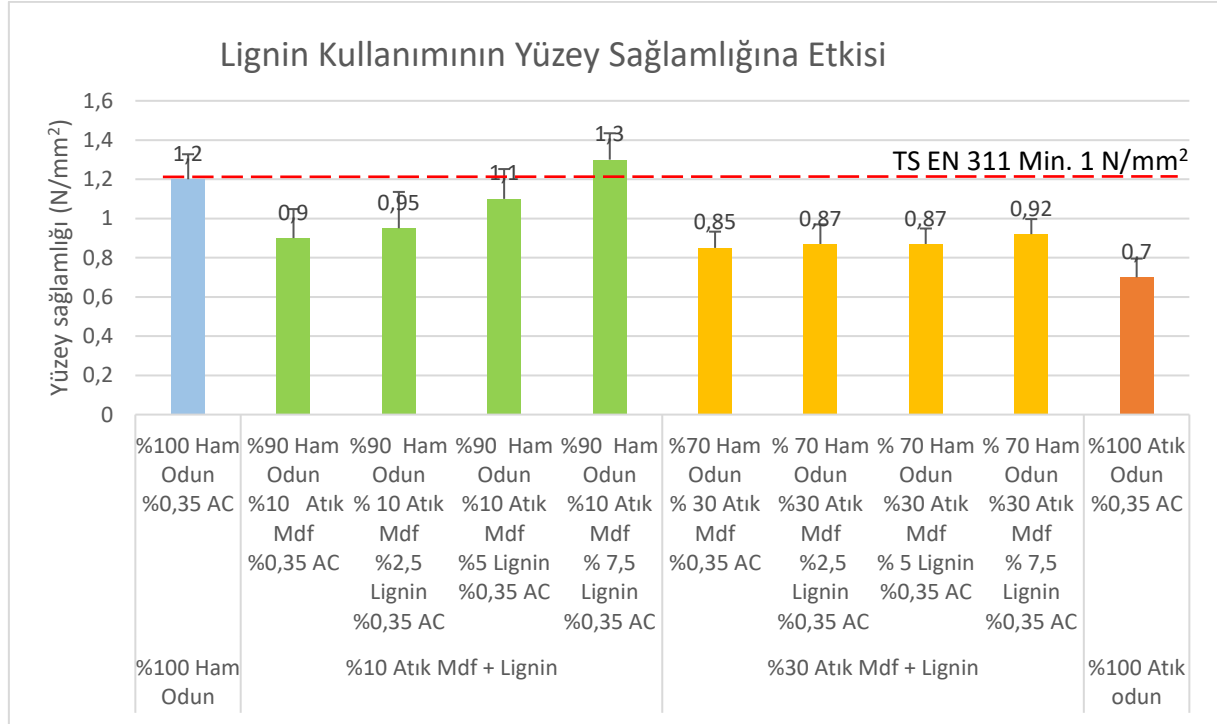


Şekil 5.22. Atık MDF Lifi Kullanılarak Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Yüzey Sağlamlığı Grafiği

Hem amonyum klorür (AC) hemde heksametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak % 90-10, %70-30 ham odun ve Atık MDF lifleri karışından üretilen levhaların yüzey sağlamlığı %100 ham odundan lifinden elde edilen levhalara kıyasla düşük olarak tespit

edilmiştir. Üretilen MDF levhalarda kullanılan atık MDF lif kullanım oranının artması ile yüzey sağlamlığı değerinde düşüş görülmüştür (Şekil 5.22).

Lif uzunluğu, MDF levhanın mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Geri dönüştürülmüş liflere yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş liflerin ham odundan elde edilen liflerden yaklaşık %12 daha kısa olduğu ve geri dönüştürülmüş liflerin uçlarında kırık oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir (Zeng, Q., Lu, Q., Zhou, Y., Chen, N., Rao, J., & Fan, M. 2018).

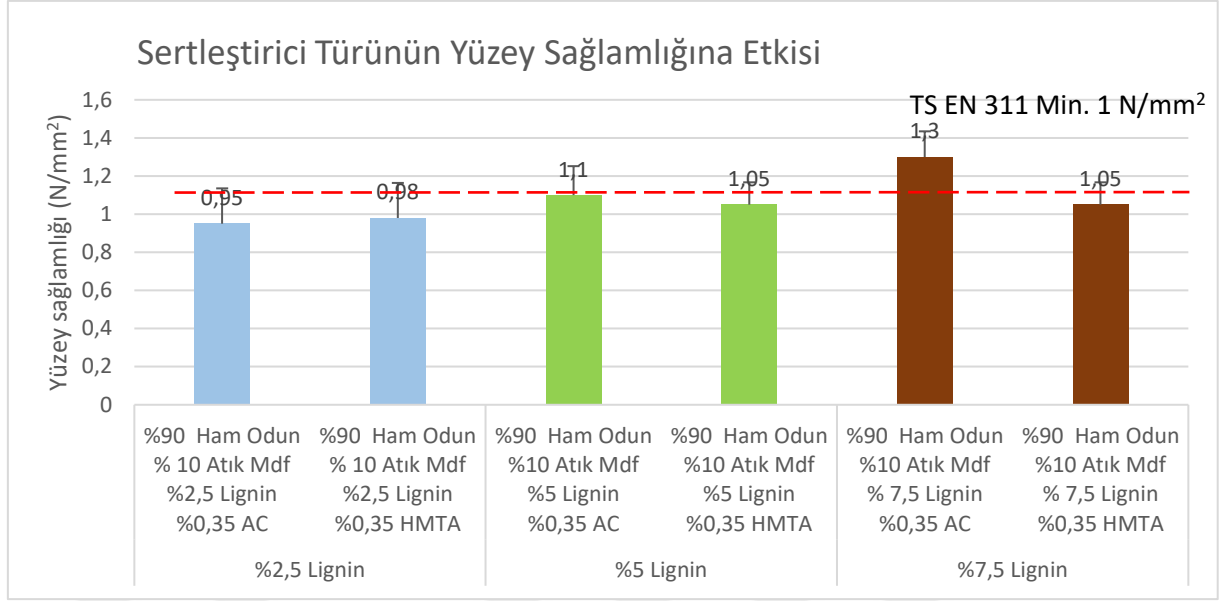


Şekil 5.23. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhaların AC ve HMTA Uygulmasına Göre Yüzey Sağlamlığı Grafiği

Hem amonyum klorür (AC) hemde hekzametilentetramin (HMTA) sertleştiricisi kullanılarak üretilen levhalarda kullanılan liflerin ligninle modifikasyonu ve lignin kullanım oranının arttırılması ile levhaların yüzey sağlamlığı değerinde artış görülmüştür.

Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların yüzey sağlamlığı, lignin oranının tam kuru lif ağırlığına oranla %2.5, %5 ve %7.5 kullanılmasıyla birlikte oransal arttığı görülmüştür (Şekil 5.23).

Ligninle modifiye edilmiş liflerle üretilen levhaların yüzey sağlamlığı değerindeki yükselme kraft lignininin reaktivitesi ile karboksilik asit gruplarının artmasıyla ve Modifiye edilmiş liflerde lignin oranı arttıkça karboksilik asit gruplarının artmasıyla açıklanabilir. (Wang, Y. Y., Meng, X., Pu, Y., & J. Ragauskas, A. 2020).



Şekil 5.24. Ligninle Modifiye Edilmiş Liflerle Üretilen Levhalarda Sertleştirici Türünün Yüzey Sağlamlığına Etki Grafiği

Şekil 5.24'te görüleceği üzere ligninle modifiye edilmiş %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımında HMTA kullanılarak üretilen levhaların yüzey sağlamlığı AC kullanılanlar üretilen levhalara kıyasla daha düşük çıkmıştır. Benzer sonuç %70-30 ham odun atık MDF lifi karışımında da görülmüştür.

Yüzey sağlamlığı değerlerinde görüldüğü gibi ligninle modifiye edilmiş liflerde sertleştirici olarak AC kullanılması daha yüksek sonuçlar vermiştir.

5.3. Lif Boyut Analizi

Lif karışımı içerisindeki atık MDF lif oranı arttıkça lif boylarının kısaldığı görülmüştür. Lif boylarının kısılması çekme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü gibi mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir.

Lubis ve arkadaşları atık liflerin MDF levhada kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada, geri dönüştürülmüş liflerin Ham odun liflerin den daha kısa ve ince lif yapısına sahip olduğunu gözlemlemiştir. Atık liflerin %5-10-20-30-50-100 oranında kullandığı çalışmada en yüksek çekme direnci değeri %10 geri dönüştürülmüş lif katkı miktarında elde edilmiştir. %10 oranın üzerinde çekme direncinde düşme görülmüştür. Bununla birlikte, atık liflerinin oranının artmasıyla levhaların kalınlığına şişmesi, su alımı ve formaldehit emisyonu değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. MDF üretiminde %10 oranında geri dönüştürülmüş lif kullanılabileceği tespit edilmiştir (Lubis vd., 2018).

5.4. Elementel Analiz

5.4.1 DSC Analizleri;

Tablo 5.3'te UF tutkalı kullanılarak %100 ham odun liflerinin farklı oranlarda ligninle ve farklı sertleştirici türleriyle (amonyum klorür ve HMTA) elde edilen levha taslaklarından alınan liflerin DSC termogram verileri verilmiştir.

Tablo 5.3. %100 Ham odun liflerinin DSC Termogramlarından elde edilen veriler

Sample	Onset (°C)	Peak (°C)	Endset (°C)	t _{curing} (°C/min.)
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +Amonyum Klorür	261	302	349	8.8
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +%2,5 Lignin/ Amonyum Klorür	265	301	348	8.3
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı + %5 Lignin/ Amonyum Klorür	278	301	346	6.8
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +HMTA	268	301	348	8.0
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +%2,5 Lignin/ HMTA	264	300	345	8.1
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı + %5 Lignin/ HMTA	263	300	348	8.5

DSC analizinde UF reçinesi eklenmiş liflere amonyum klorür ve HMTA eklenerek sertleştirici etkileri incelenmiştir. Amonyum klorür sertleştirici olarak kullanıldığında Kürlenme Başlangıç sıcaklığı 261°C ölçülürken, HMTA kullanıldığında kürlenme başlangıç sıcaklığı 7°C yükselerek 268°C olarak ölçülmüştür. Bu durumda HMTA kullanımlarında kürlenmenin başlatılması için daha yüksek sıcaklıklar gerekli olduğu söylenebilir. HMTA eklenmesiyle onset değerlerinin artmasının temel nedeni HMTA bozunup formaldehit oluşması için enerjinin bir miktarını harcaması olabilir. Kürlenme süreleri değerlendirildiğinde ise HMTA kullanımıyla kürlenme için gerekli olan süre kısalmıştır. Amonyum klorür kullanımında lignin ilavesi ise Onset değerlerinde yükselmeye neden olmuştur. Ayrıca lignin oranının artması ile kürlenme başlangıç sıcaklıklarında da artışlar gözlemlenmiştir. Amonyum klorür

kullanımında lignin katkısı ve lignin katkısının arttırılması kürlenme sürelerini önemli bir derecede azaltmıştır. Bu durumda amonyum klorür ile lignin katkısının kürlenme sürelerini düşürdüğü ve buna bağlı olarak da presleme süresinin azaltılabileceği söylenebilir. HMTA kullanımlarında amonyum klorürün göre ters bir trend gözlemlenmiştir. Lignin katkısı ile birlikte kürlenme daha düşük sıcaklıklarda başlamış fakat kürlenme sürelerinde artışlar gözlemlenmiştir. Kürlenme süresinin artışı HMTA'nın oluşturduğu formaldehitin çapraz bağ oranı arttırmasına veya HMTA'nın bazik özellikte olmasına bağlanabilir.

Tablo 5.4'te UF tutkalı kullanılarak %90-10 ve %70-30 ham odun lifi- atık MDF lifi karışımının farklı oranlarda ligninle ve sadece amonyum klorür kullanılarak elde edilen levha taslaklarından alınan liflerin DSC termogram verileri verilmiştir.

Tablo 5.4. % 90 -10 ve %70-30 + Ham odun lifi- Atık MDF lif DSC Termogramlarından elde edilen veriler

Sample	Onset (°C)	Peak (°C)	Endset (°C)
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +Amonyum Klorür	266.51	303.60	348.24
%90 Ham odun Lifi +%10 MDF Atık lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	276.64	303.43	344.18
%90 Ham odun Lifi +%10 MDF Atık+%2,5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	272.37	308.03	348.10
%90 Ham odun Lifi +%10 MDF Atık+%5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	270.52	304.51	349.58
%90 Ham odun Lifi +%10 MDF Atık+%7,5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	267.08	305.85	344.54
%70 Ham odun Lifi +%30 MDF Atık lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	272.46	307.97	350.39
%70 Ham odun Lifi +%30 MDF Atık+%2,5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	260.60	305.43	349.49
%70 Ham odun Lifi +%30 MDF Atık+%5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	271.48	304.47	328.92
%70 Ham odun Lifi +%30 MDF Atık+%7,5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	276.99	305.88	349.29

Standart çam lifine atık MDF lifi eklendiğinde kürlenme başlangıç sıcaklıkları (onset) yaklaşık 10 derece bir artış gözlemlenmiştir. %10 luk atık lif eklendiğinde kürlenme sıcaklığı

değişmezken, atık lif oranının artması ile kürlenme sıcaklığında 4 °C bir artış gözlemlenmiştir. Bu artışların temel nedeni atık MDF de bulunan hâlihazırda kürlenmiş tutkalların kürlenmeyi negatif etkilemesi veya termal bozunumu olabilir.

%10 Atık MDF içeren MDF numunelerine farklı oranlarda lignin eklenmesi ile kürlenme başlangıç ve kürlenme sıcaklıklarında azalma gözlemlenmiştir. Bu azalmanın temel nedeni ligninin kürlenmeye pozitif katkısı olabilir. Lignin miktarının artması ile kürlenme başlangıç sıcaklıklarının düşmesi, lignin içeriğinin kürlenmeyi daha düşük sıcaklıklarda tetiklediğinin göstergesidir. Bu durumda düşük sıcaklıklarda başlayan kürlenme pres hızlarını da artırabilir. %30 atık MDF içeren MDF numunelerinde ise ligninin %10 göre ters bir trendde izlediği gözlemlenmiştir. Atık lif oranının artması ligninin etkinliğini düşürmekte ve kürlenme sıcaklıklarını daha yüksek sıcaklıklara kaydırmaktadır.

5.4.2 TGA Analizleri

Tablo 5.5'te UF tıtkalı kullanılarak %100 ham odun liflerinin farklı oranlarda ligninle ve farklı sertleştirici türleriyle (amonyum klorür ve HMTA) elde edilen levha taslaklarından alınan liflerin TGA termogram verileri verilmiştir.

Tablo 5.5. %100 Ham odun liflerinin TGA Termogramlarından elde edilen veriler

SAMPLE	RUTUBET (%)	ONSET(°C)	PEAK(°C)	KÜTLE KAYBI (%)	KALAN KÜTLE(%)
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +Amonyum Klorür	6.7	277	354	63.4	29.9
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +%2,5 Lignin/ Amonyum Klorür	8.3	285	356	62.2	29.5
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı + %5 Lignin/ Amonyum Klorür	13.2	273	354	60.5	26.3
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +HMTA	10.0	280	355	61.6	28.4
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +%2,5 Lignin/ HMTA	8.9	276	353	60.2	30.9
%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı + %5 Lignin/ HMTA	8.7	290	357	59.6	31.7

TGA termogramından elde edilen Bozunma sıcaklıkları (Onset, Peak) ve Kütle Kaybı ise aşağıdaki tabloda verilmiştir. Lignin katkısı tüm numunelerde termal bozunma sıcaklığını

arttırmıştır. Sertleştirici türünden bağımsız olarak Lignin katkısı kütle kaybı oranlarını düşürmüş ve termal kararlılığı arttırmıştır. Bu durum ligninin aromatik yapısı ile olabilir. HMTA kullanımında kütle kaybı oranları amonyum klorüre oranla azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum HMTA kullanımlarında çapraz bağ oranının artmasından kaynaklanıyor olabilir.

Tablo 5.6’da UF tutkalı kullanılarak %90-10 ve %70-30 ham odun lifi- atık MDF lifi karışımının farklı oranlarda ligninle ve sadece amonyum klorür kullanılarak elde edilen levha taslaklarından alınan liflerin TGA termogram verileri verilmiştir.

Tablo 5.6. % 90 -10 ve %70-30 + Ham odun lifi- Atık MDF lif TGA Termogramlarından elde edilen veriler

%100 Ham odun Lifi +UF tutkalı +Amonyum Klorür	13	274.84	351.00	56	31
%90 Ham odun Lifi +%10 MDF Atık lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	16	269.29	349.67	54	30
%90 Ham odun Lifi +%10 MDF Atık+%2,5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	11	296.11	359.00	60	29
%90 Ham odun Lifi +%10 MDF Atık+%5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	16	275.57	350.33	56	28
%90 Ham odun Lifi +%10 MDF Atık+%7,5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	19	266.28	349.50	51	30
%70 Ham odun Lifi +%30 MDF Atık lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	13	278.50	350.67	56	31
%70 Ham odun Lifi +%30 MDF Atık+%2,5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	18	270.27	349.17	53	29
%70 Ham odun Lifi +%30 MDF Atık+%5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	15	265.37	352.00	55	30
%70 Ham odun Lifi +%30 MDF Atık+%7,5 Lignin lifi+ UF tutkalı +Amonyum Klorür	12	275.01	352.17	58	30

Numunelerin TGA termogramlarında atık MDF lifi eklenmesi ile termal bozunma sıcaklıklarında kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Atık lif oranının artması da termal stabiliteyi etkilememektedir. Kayıp ve kalan kütle oranlarında da önemli bir değişim yoktur. Lignin eklenmesinde ise katkı oranı ile termal bozunma arasında herhangi bir trend

gözlemlenmemiştir. Farklı olarak %10 atık lif ve %2.5 lignin içeren numunelerde termal dayanım yaklaşık 10 derece artmıştır. Fakat kütle kaybı da diğer numunelere oranla kısmen yüksektir. Lignin ve atık lif katkısının numunelerin termal özelliklerine katkısı olmadığı termal dayanımlarını değiştirmediği görüldü.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

MDF levhalar, masif malzemeler ve diğer ahşap esaslı kompozit levhalarla karşılaştırıldıklarında oldukça iyi özelliklere sahip oldukları görülmektedir. Lif levha üretiminde yüksek oranda odun lifi kullanılmasından dolayı ağaç malzemede olduğu gibi yüksek değerlerde mekanik ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı lif levhlara talep gün geçtikçe artmaktadır.

Küresel mobilya endüstrisi, özellikle liflevha olmak üzere büyük miktarda ahşap esaslı kompozit levha üretmektedir. Dünyada MDF levhaların kullanım sonrasında imha edilmesi konusunda artan endişeler bulunmaktadır. MDF levhada organik bileşimin varlığı nedeniyle MDF'nin yeniden kullanımı oldukça sınırlıdır ve bertarafı çevre sorunlarına neden olmaktadır. Genellikle bu levha atıklarının çoğu çöp depolama alanlarına atılmakta veya kullanım ömrü sonunda yakılmaktadır. Atık MDF'nin açık havada yakılması birçok ülkede yasaklanmıştır.

Günümüzde doğal lifler biyokompozitlerde yaygın olarak kullanılmasına rağmen, Mobilya endüstrisinden gelen atık MDF levhalardan elde edilen lifler ve MDF üretim prosesinde sıcak presleme sonrası kusurlu olan MDF levhalardan elde edilen liflerin kullanımı %2-%3 ile sınırlıdır.

Bu çalışmada, atık MDF den ve Ham odundan elde edilen lif karışımının lignin ile modifikasyonu ile MDF üretiminde yeniden kullanımı araştırılmıştır. Orta yoğunluklu lif levha (MDF) üretiminde levha kalite özelliklerini değiştirmeden MDF prosesinde ortaya çıkan atık iç patlak, uç kesim levhası, ıskarta levha vb. atık durumdaki levhaların MDF üretiminde kullanım oranının artırılması amaçlanmıştır.

Bu amaçla atık MDF'den elde edilen lifler ve ham odun lifleri, MDF üretimi öncesinde üre-formaldehit (UF) reçinesi kullanılarak kraft lignini ile modifiye edilmiştir. MDF levhalar, Atık MDF'den elde edilen liflerin (ağırlıkça %10 ve %30) ve ham ağaç liflerinin farklı oranlarda eklenmesiyle üretildi. Üretilen MDF'nin suya direnci, mukavemet özellikleri, formaldehit emisyonu ve termal özellikleri üzerindeki genel etkisi incelendi. Sonuçlara göre MDF üretiminde %10 oranda Atık MDF liflerinin ham odun lifleriyle karışımının ağırlıkça %5 ve ağırlıkça %7.5 lignin modifikasyonu ile Ham odundan üretilen levhalara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

En iyi sonuçlar amonyum klorür sertleştiricisi kullanılarak %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımının tam kuru lif ağırlığına göre %7.5 oranda ligninle modifiye edilerek üretilen levhalarda görülmüştür. TS EN 12460-5 standartına göre %100 ham odun lifleri ile üretilen levhalar ve AC sertleştiricisi kullanılarak ligninle modifiye edilmiş 90-10, ham odun ve Atık MDF lifleri karışımından elde edilen levhalar E1 formaldehit emisyon sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Diğer grupların E2 formaldehit emisyon sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Ham odun liflerine ağırlıkça %10 ve %30 atık MDF lifi katılarak üretilen levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri olumsuz etkilenmiştir. Atık lif kullanımı arttıkça levhaların çekme direnci, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yüzey sağlamlığında düşüş, serbest formaldehit değerlerinde artma tespit edildi. Yapılan DSC analizinde standart çam lifine atık MDF lifi eklendiğinde kurlenme başlangıç sıcaklığında yaklaşık 10° bir artış gözlemlenmiştir.

Atık MDF lifleri ve ham odun lif karışımının ligninle modifiye edilmeden üretilen levhalarda aynı oranlarda sertleştirici olarak HMTA kullanılmasında serbest formaldehit yükselmesi dışında mekanik ve fiziksel özellikler amonyum klorür kullanımına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Ancak kullanılan sertleştirici sabit olduğunda hem HMTA hem de amonyum klorür ile üretilen levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri %100 ham odun liflerinden üretilen levhalara göre düşük çıkmıştır.

DSC analizinde amonyum klorür sertleştirici olarak kullanıldığında tutkal kurlenme başlangıç sıcaklığı 261°C ölçülürken, HMTA kullanıldığında kurlenme başlangıç sıcaklığı 7°C yükselerek 268°C olarak ölçülmüştür.

Atık MDF lifi kullanılmadan %100 ham odun lifleriyle üretilen levhalarda hem HMTA hemde amonyum klorür kullanarak üretilen levhaların değerleri benzer çıkmıştır. Ancak ligninle modifiye edilen atık MDF lifleri ve ham odundan elde edilen lif karışımında sertleştirici olarak HMTA kullanılan levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri amonyum klorür ile üretilen levhalara göre düşük gelmiştir.

Amonyum klorür kullanımda lignin katkısı ve lignin katkısının arttırılması kurlenme sürelerini önemli bir derecede azaltmıştır. HMTA kullanımlarında amonyum klorürün göre ters bir trend gözlemlenmiştir. Lignin katkısı ile birlikte kurlenme daha düşük sıcaklıklarda başlamış fakat kurlenme sürelerinde artışlar gözlemlenmiştir. HMTA sertleştiricisinin ligninle uyumlu

olmadığı görülmüştür. MDF prosesinde Ligninle modifiye edilen liflerle yapılan üretimde sertleştirici olarak amonyum klorür kullanılması önerilir.

Üretilen MDF levhalarda liflerin modifikasyonunda kullanılan lignin oranı arttıkça eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülünde ve çekme direncinde önemli artış görülmüştür. MDF üretiminde liflerin ligninle modifikasyonu ile proseste çıkan uç kesim levhası, patlak levha, kısa levha vb. atık MDF'lerin proseste yeniden kullanılabilceği görülmüştür.

Lif yüzeylerindeki lignin içeriğindeki artışının, UF'ye ek olarak lifler arasındaki arayüzey bağını daha da iyileştirdiğini gösterdi. Çalışma sonucunda, atık levhalarda geri dönüşüm uygulamaları ile elde edilen liflerin levha sektöründe tekrar kullanılabilir olduğu gözlemlenmiştir. Atık MDF liflerinin direk levha üretiminde kullanılabilirliğinin artırılması amaçlı uygulanan yöntemlerde değişikliğe gidilmesi düşünülebilir.

MDF üretim prosesinde çıkan atıkların dışında, ülkemizde her yıl tonlarca evlerde ömrünü tamamlayan mobilyalarda kullanılan MDF atığı ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar belediyelerce toplanmaktadır. Belediyelerdeki alt yapı ve teknoloji yetersizlerinden dolayı bu mobilya atıklarında yeterli ayrıştırma yapılamadığından atık MDF levhalar yakacak olarak kullanılmakta ya da bertaraf sorunları ortaya çıkmaktadır.

Atık MDF lifleri kullanılması MDF levhaların mekanik ve fiziksel özelliklerini azaltmasına rağmen liflerin ligninle modifikasyonu ile daha iyi mekanik ve fiziksel değerler sağlanmıştır. Ayrıca, ligninle modifiye edilmiş atık MDF liflerinin kullanılması atık MDF'lerin neden olduğu çevre kirliliğinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Atık potansiyeli yüksek olan ülkemizde atıkların değerlendirilmesi konusundaki araştırma ve uygulamaya yönelik çalışmalar teşvik edilmeli, atıkları kullanmanın gerekliliği konusunda kamuoyu oluşturulmalı ve bilinçlendirme politikaları uygulanmalıdır.

Bütün levha grupları %100 ham odun lifleri ile üretilen MDF lerle karşılaştırıldığında en iyi sonuçlar %90-10 ham odun atık MDF lifi karışımının %7.5 oranda ligninle modifiye edilmesiyle üretilen levhalarda görülmüştür. %90-10 ham odun atık MDF lif karışımının %7.5 oranda ligninle modifiye edilmesiyle üretilen levhaların çekme direnci 0.74 N/mm^2 iken ham odun lifleriyle üretilen levhaların çekme direnci 0.68 N/mm^2 ölçüldüğünden MDF üretim prosesinde kullanılan UF tutkal miktarını düşme potansiyeli bulunmaktadır. %90-10 ham odun atık MDF lif karışımının %7.5 oranda ligninle modifiye edilmesiyle MDF üretim maliyetinde

yaklaşık %4-5 oranda artış olmasına karşın, üretimde lignin kullanımından kaynaklı tutkal düşme çalışmaları ile maliyet optimizasyonu önerilir.

Atık MDF liflerinin liflevha gibi ahşap esaslı kompozit levhaların üretim prosesinde kullanılan odun ve lignoselülozik hammaddelere alternatif olabileceği tespit edilmiştir. Atık MDF'lerle birlikte yonga levha üretim prosesinde çıkan atık levhaların da kullanılması ve benzer lignin modifikasyon uygulamasının yonga levha üretiminde de uygulanması düşünülebilir.

Bu çalışmanın sonuçları, atık MDF liflerinin lignin modifikasyonu sonrasında MDF üretiminde ham odun lifleri ile başarılı bir şekilde karıştırılabileceğini ve %10'a kadar kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca MDF üreticilerinin yaşadığı hammadde tedarik problemlerine ve yurtdışından ithal edilen odun hammaddesinin azalmasına katkı sağlayarak ahşap esaslı kompozit levha sektörünün önemli bir problemine çözüm olabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akbulut, T. (1999). Dünya’ da ve Türkiye’de MDF endüstrisinin genel durumu. *LAMİNART, Mobilya & Dekorasyon & Sanat & Tasarım Dergisi*, Sayı 3.
- Akbulut, T. 2001. Lif Levha Endüstrisi Ders Notu, İ.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Alma, M. H. (1999). Ligninin materyallerde değerlendirilmesi. *Çev-Kor*, 8(32), 28-29
- Antov, P., Mantanis, G. I., & Savov, V. (2020). Development of wood composites from recycled fibres bonded with magnesium lignosulfonate. *Forests*, 11(6), 613.
- Ayrılmış, N., MDF’nin teknolojik özellikleri üzerine ağaç türünün etkisi, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2000)
- Bostancı, Ş. Kağıt hamuru üretimi ve ağartma teknolojisi, Ders Kitabı, (1987)
- Bozkurt, A.Y., (1992). Odun anatomisi, İ.Ü. Basımevi, Yayın No:3652, İstanbul Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, ISBN 975-404-230 -6,
- Bozkurt, Y. ve Göker, Y. (1990). Yongalevha Endüstrisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No:413, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Bozkurt, Y., & Erdin, N. (2000). Odun Anatomisi Ders Kitabı. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını, Yayın no: 4263/466
- Burdurlu, E. (1994). Ahşap kökenli kaplama ve levha üretim kullanım teknolojisi. Bizim Büro Basımevi, 201-322.
- Bütün Buschalsky, F. Y., & Mai, C. (2021). Repeated thermo-hydrolytic disintegration of medium density fibreboards (MDF) for the production of new MDF. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79(6), 1451-1459.
- Çamlıbel, O., (2012). Orta Yoğunlukta Lif levha (MDF) Üretiminde İnorganik Dolgu Maddelerinden Kaya Tuzu Kalsit, Boraks Pentahidrat ve Talk Minerallerinin Kullanılabilir Olanaklarının Araştırılması. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, Doktora Tezi. Düzce
- Çetin, N. S., & Özmen, N. (2002a). Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: I. Organosolv lignin modified resins. *International Journal of adhesion and adhesives*, 22(6), 477-480.

Çolakoğlu, G. (2004). Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

Dafinov, A., Font, J., & Garcia-Valls, R. (2005). Processing of black liquors by UF/NF ceramic membranes. *Desalination*, 173(1), 83-90.

Demirkır C, Çolak S. 2011. Odun Kökenli Atıkların Levha Endüstrisinde Yeniden Kullanım İmkanları, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 7(1): 41-50.

Dimmel, D., & Gellerstedt, G. (2009). Chemistry of Alkaline Pulping. C. Heitner, D. Dimmel, J. Schmidt. Lignin and Lignans: Advances in Chemistry (pp.349- 392). CRC Press, Boca Raton, FL.

Duran, A. (2004). Çimento kullanılarak üretilen levhaların fiziksel özellikleri. ktü orman endüstri mühendisliği. Lisans tezi, KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği, 1-38.

Eroğlu, H. (1998). Lif Levha Endüstrisi Ders Notu, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Eroğlu, H. ve Usta, M. (2000). Liflevha Üretim Teknolojisi, K.T.Ü Basımevi, Trabzon, Türkiye.

Fasching, M., Schröder, P., Wollboldt, R. P., Weber, H. K., & Sixta, H. (2008). A new and facile method for isolation of lignin from wood based on complete wood dissolution. *Holzforschung*, 62(1), 15-23.

Fengel, D., & Wegener, G. (1989). Wood- Chemistry, Ultrastructure, Reactions, Walter de Gruyter, Berlin, Germany

Fengel, D., and Wegener, G., (1989). Ultrastructure, Reactions. In: Wood Chemistry, Walter de Gruyter & Co, Berlin,

Fernandez-Costas, C., Gouveia, S., , Sanroman, M. A. & Moldes D. (2014). Kraft lignins from spent cooking liquors: structural and biotechnological application, F. Lu, (Eds.), Lignin (pp.161-191) Nova Science Publishers, ISBN: 978-1-63117-452-0

Ganapathy, P.M. (1997). Sources of non wood fibre for paper, board and panels production: status, trends and prospects for India, Working Paper No: APFSOS/WP/10, Asia Pacific Forestry Sector Outlook Study, Bangalore.

- Ghatak, H. R. (2012). Isolation of lignin from alkaline pulping liquors environmental technology, R. J. Paterson (Eds.), Lignin, (pp. 257-277). Nova Science Publishers
- Gomes, F. J., Santos, F. A., Colodette, J. L., Demuner, I. F., & Batalha, L. A. (2014). Literature review on biorefinery processes integrated to the pulp industry. Nat. Resour, 5, 419-432.
- Güler, B. (2001). Odun kompozitleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 135-160.
- Hafizoğlu ve Deniz, (2011). Odun Kimyası Ders Notları.
- Hafizoğlu, H., & Deniz, İ. (2011). Odun kimyası ders notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon
- Hagel, S., Joy, J., Cicala, G., & Saake, B. (2021). Recycling of waste MDF by steam refining: Evaluation of fiber and paper strength properties. Waste and Biomass Valorization, 1-13.
- Han, J.S. 1998. Properties of Nonwood Fibers, In: Proceedings of The Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting, Korea, pp. 3–12.
- Hatakeyama, H., & Hatakeyama, T. (2010). Thermal properties of isolated and in situ lignin. C. Heitner, D. Dimmel & J. Schmidt (Eds.), Lignin and Lignans: Advances in Chemistry (pp. 301-320). CRC Press, Boca Raton, FL.
- Holladay, J.E., White, J.F., Bozell, J.J. & Johnson, D. (2007). Top value-added 224 chemicals from biomass, Vol. II—results of screening for potential candidates from biorefinery lignin. U.S. Department of Energy, Washington DC.
- Hon, D. N. S., & Shiraishi, N. (2000). Wood and cellulosic chemistry, second edition revised, and expanded. CRC press.
- <https://tr.investing.com/news/markets/amsanordu-MDF-uretiminde-avrupada-1-srada-dunyada-ise-2-sradayz-2082557>
- <https://www.fao.org/state-of-food-agriculture/2020/en/>
- Hwang, C. Y., Hse, C. Y., & Shupe, T. F. (2005). Effects of recycled fiber on the properties of fiberboard panels. Forest Products Journal, 55(11), 61.
- Hwang, C. Y., Hse, C. Y., & Shupe, T. F. (2005). Effects of recycled fiber on the properties of fiberboard panels. Forest Products Journal, 55(11), 61.

Kalaycıoğlu H. ve Özen R., Yongalevha Endüstrisi Ders Notları, KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 2009.

Karakuş B. (2007). Çeşitli bitkisel sera atıklarının yonga levha üretiminde değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi FenBilimleri Enstitüsü, 16-45.

Karthäuser, J., Biziks, V., Mai, C., & Militz, H. (2021). Lignin and lignin-derived compounds for wood applications—A review. *Molecules*, 26(9), 2533.

Kaur, N., & Kishore, D. (2013). An insight into hexamethylenetetramine: a versatile reagent in organic synthesis. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 10, 1193-1228.

Kırcı, H. (2000). Kağıt Hamuru Endüstrisi Ders Notları, K.T.Ü. Orm. Fak. Yayın 63, 274

Korucu, T. ve Mengeloğlu, F. (2007). Türkiye Tarımsal Artık Potansiyeli ve Alternatif Kullanım Olanakları. Tarımsal mekanizasyon 24. Ulusal kongresi 5-6 Eylül. s.297-307

Lee, Min, Lynn Prewitt, and Sung Phil Mun. "Formaldehyde release from medium density fiberboard in simulated landfills for recycling." *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42.5 (2014): 597-604.

López, M., Huerta-Pujol, O., Martínez-Farré, F. X., & Soliva, M. (2010). Approaching compost stability from Klason lignin modified method: Chemical stability degree for OM and N quality assessment. *Resources, Conservation and*

Lubis, M. A. R., Byung-Dae Park, Young Do Woo, 2016. Characterization of Recycled Fibers from Medium Density Fiberboard for Its Recycling, *Proceedings of the Korean Society of Wood Science and Technology Annual Meeting*, April 15-16, 2016.

Lubis, M.A.R., Hong, MK., Park, BD. et al. Effects of recycled fiber content on the properties of medium density fiberboard. *Eur. J. Wood Prod.* 76, 1515–1526 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1326-8>

Mancera, C., El Mansouri, N. E., Vilaseca, F., Ferrando, F., & Salvado, J. (2011). The effect of lignin as a natural adhesive on the physico-mechanical properties of *Vitis vinifera* fiberboards. *BioResources*, 6(3), 2851-2860.

Mantanis, G., Athanassiadou, E., Nakos, P., & Coutinho, A. (2004, April). A new recycling process for waste panels. In *processing of European Countries Conference about Management of recovered wood* (pp. 22-24).

- Melro, E., Alves, L., Antunes, F. E., & Medronho, B. (2018). A brief overview on lignin dissolution. *Journal of Molecular Liquids*, 265, 578-584.
- Moezzi pour, B., Ahmadi, M., Abdolkhani, A., & Doosthoseini, K. (2017). Chemical changes of wood fibers after hydrothermal recycling of MDF wastes. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 14, 133-138.
- Mulenga, T. K., Ude, A. U., & Vivekanandhan, C. (2021). Techniques for modelling and optimizing the mechanical properties of natural fiber composites: A review. *Fibers*, 9(1), 6.
- Mwaikambo, LY ve Ansell, MP (2001). Alkali katalizli kaju fıstığı kabuğu sıvı-formaldehit reçinesinin kürleme özellikleri. *Malzeme bilimi dergisi* , 36 , 3693-3698.
- Olgun, Ç., & Ateş, S. (2023). Characterization and Comparison of Some Kraft Lignins Isolated from Different Sources. *Forests*, 14(5), 882.
- Papadopoulos, A.N. ve Gkaraveli, A., Dimensional Stabilisation and Strength of Particleboard by Chemical Modification with Propionic Anhydride, *Holz als Rohund Werkstoff*, 61, 2 (2003) 142-144.
- Pizzi, A. (1994). *Advanced wood adhesives technology*. CRC Press.
- Pizzi, A. (2016). Wood products and green chemistry. *Annals of forest science*, 73(1), 185-203.
- Pizzi, A., & Mittal, K. L. (2003). Urea-formaldehyde adhesives. *Handbook of adhesive technology*, 2.
- Roffael, E., Behn, C., Schneider, T., & Krug, D. (2016). Bonding of recycled fibres with urea-formaldehyde resins. *International Wood Products Journal*, 7(1), 36-45.
- Ross, R. J. (2010). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v., 190
- Smook, G. A., & Kocurek, M. J. (1982). *Handbook for pulp & paper technologists*. Canadian Pulp and Paper Association. Bajpai, 2017).
- Suchsland, O. ve Woodson, E.G. (1986). *Fiberboard Manufacturing Practices in the United States*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service No:640, Louisiana, USA
- Suchsland, O., Woodson, G.E., (1986) *Fiberboard manufacturing practices in the United States*, Agric. Handb. 640, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, USA,

- Şahin, H. 2014. Geri Kazanılmış Sekonder Liflerin Yeniden Kullanılması Üzerine Bir İnceleme. Turkish Journal of Forestry, 15(2), 183-188
- Şahin, H., & Cengiz, M. (2003). Kendinden katalizatörlü delignifikasyon sistemleri üzerine bir inceleme. Türkiye Ormancılık Dergisi, 4(1), 119-137.
- Tank, T. (1998). 'Tutkallar ve Yapıştırma Tekniği', Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Thirugnanam, S., Srinivasan, R., Anand, K., Bhardwaj, A., Puthilibai, G., Madhu, P., & Karthick, A. (2022). Utilisation possibilities of waste medium-density fiberboard: a material recycling process. Materials Today: Proceedings, 59, 1362-1366.
- Tran, H., & Vakkilainen, E. K. (2008). The kraft chemical recovery process. Tappi Kraft Pulping Short Course, 1-8.
- TS EN 310, (1999). Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 311, (2005). Ahşap esaslı levhalar-Yüzey Sağlamlığı- Deney Metodu, TSE, Ankara.
- TS EN 317, (1999). Yonga levhalar ve Liflevhalar-Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 319, Yonga levhalar ve lif levhalar levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini, TSE, Ankara, (2008)
- TS EN 322 1999. Ahşap Esaslı Levhalar- Rutubet Miktarının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 323, Ahşap esaslı levhalar yoğunluk tayini, TSE, Ankara, (2008)
- TS EN 382-1, Lif levhalar yüzey absorpsiyonu tayini, bölüm 1 kuru metotla üretilen lif levhalarda deney metodu, TSE, Ankara, (1999).
- TS 3635 EN 316, Odun liflevhalar tarifler, sınıflandırma ve semboller, TSE, Ankara, (1993).
- Ulay G., Güler C. (2010). Köpüklü (poliüretan) ve petekli (honeycomb) kompozit lamine malzemelerin bazı teknolojik özelliklerinin incelenmesi. MYO-ÖS 2010 - Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu 21-22 Ekim 2010, Düzce.
- Unchi, S., Acetylation of Acacia Magnum Wood Fibers and Its Application in the MDF Manufacturing, Ph.D.Thesis, Faculty of Forestry University Pertanian, Malaysia, 1996

- Uysal, B. ve Kurt, Ş. (2005). Dimensional stability of laminated veneer lumbers manufactured from using different adhesives after the steam test. *GU J Sci* 18: 681-691.
- Uzer, E., (2018). Atık MDF'lerin MDF Üretiminde Yeniden Değerlendirilmesi. Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu
- Voet D, Voet JG, (2008) . Pratt CW. Fundamentals of biochemistry (3rd edition), Ch.8, pp 228-230.
- Wan, H., Wang, X. M., & Shen, J. 2014. Recycling Wood Composite Panels: Characterizing Recycled Materials. *BioResources*, 9(4), 7554-7565.
- Wang, Y. Y., Meng, X., Pu, Y., & J. Ragauskas, A. (2020). Recent advances in the application of functionalized lignin in value-added polymeric materials. *Polymers*, 12(10), 2277.
- Warnken, M. (2001). Utilisation Options for Wood Waste: A Review of European Technologies and Practices, Goldstein Report.
- Wood Handbook–Wood as an engineering material, general technical report FPL– GTR–113, United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA, (1999), 463 sayfa.
- Yang, G., Gong, Z., Luo, X., Chen, L., & Shuai, L. (2023). Bonding wood with uncondensed lignins as adhesives. *Nature*, 621(7979), 511-515.
- Yapıcı, F. (2008). Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Odununun OSB Üretiminde Kullanılmasında Bazı Üretim Faktörlerinin Levha Özellikleri Üzerine Etkisi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 143s, Bartın.
- Yeniocak, M. (2008). Bağ Budama Artıklarının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi. Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
- Yonga Levha Sanayicileri Derneği, 2012. Türkiye'deki Yonga Levha ve MDF Fabrikalarının Kapasite Durumları ve Kuruluş Yerleri, Genel Sekreterlik, İstanbul.
- Younesi-Kordkheili, H., Pizzi, A., & Niyatzade, G. (2016). Reduction of formaldehyde emission from particleboard by phenolated kraft lignin. *The Journal of Adhesion*, 92(6), 485-497.

Yusuf, S., Properties Enhancement of Wood by Crosslinking Formation and Its Application to The Recons Tituted Wood Products, Ph.D.Thesis Kyoto University, Kyoto, Japan, 1996

Zeng, Q., Lu, Q., Zhou, Y., Chen, N., Rao, J., & Fan, M. (2018). Circular development of recycled natural fibers from medium density fiberboard wastes. *Journal of Cleaner Production*, 202, 456-464.

Zeng, Q., Lu, Q., Zhou, Y., Chen, N., Rao, J., & Fan, M. (2018). Circular development of recycled natural fibers from medium density fiberboard wastes. *Journal of Cleaner Production*, 202, 456-464.

Zhang, M. (2016). Carbon fibers derived from dry-spinning of modified lignin precursors. Doctoral dissertation, Chemical Engineering, Graduate School of Clemson University, ABD

Zimmer, A., & Bachmann, S. A. L. (2023). Challenges for recycling medium-density fiberboard (MDF). *Results in Engineering*, 19, 101277.

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- ☐ Kurum izni gerekmektedir.
- ☒ Kurum izni gerekmemektedir.

Samet GÜRSOY

