

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİF VE KAĞIT TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI**

**ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHANIN (MDF) PERFORMANSINI ARTTIRMAK**  
**AMACI İLE FARKLI KİMYASAL KULLANIMI**

**DOKTORA TEZİ**

**Meryem ONDARAL**

**HAZİRAN 2019**  
**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LİF VE KAĞIT TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI**

**ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHANIN (MDF) PERFORMANSINI ARTTIRMAK  
AMACI İLE FARKLI KİMYASAL KULLANIMI**

**Meryem ONDARAL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“DOKTOR (LİF VE KAĞIT TEKNOLOJİSİ)”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.05.2019  
Tezin Savunma Tarihi : 17.06.2019**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa USTA**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalında**

**Meryem ONDARAL Tarafından Hazırlanan**

**ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHANIN (MDF) PERFORMANSINI ARTTIRMAK  
AMACI İLE FARKLI KİMYASAL KULLANIMI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 /05/2019 gün ve 1806 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
DOKTORA TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof.Dr. Mustafa USTA**

**Üye : Prof.Dr. Hüseyin KIRCI**

**Üye : Prof. Dr. Nurettin YAYLI**

**Üye : Prof. Dr. Abdullah İSTEK**

**Üye : Doç. Dr. Emrah PEŞMAN**

*MUSTAFA USTA*  
*HÜSEYİN KIRCI*  
*NURETTİN YAYLI*  
*ABDULLAH İSTEK*  
*EMRAH PEŞMAN*

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Orta Yoğunlukta Lif Levhanın (MDF) Performansını Arttırmak Amacı İle Farklı Kimyasal Kullanımı” adlı çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Doktora danışmanlığımı üstlenen, çalışma konumu belirleyen, tez çalışmalarım süresince yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa USTA’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Sedat ONDARAL’a teşekkürlerimi sunarım. Hocalarım Sayın Prof. Dr. Hüseyin KIRCI’ya, Sayın Prof. Dr. Nurettin YAYLI’ya. ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Derya USTAÖMER’e verdikleri desteklerden ötürü teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarımda levha üretimlerine yardım eden Orman End. Müh. Şükrü BEYAZLI ve Orman End. Müh. Umut Emre BAŞER’e teşekkür ederim.

Çalışmamda kullandığım hammaddenin teminini sağlayan ve tez çalışmalarım sırasında levha analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Çamsan Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.’ye, Orman End. Müh. Kalite Kontrol Şefi Bülent DEMİRAY’a ve Orman End. Müh. Melih ŞAHİN’e teşekkür ederim. Çalışmamda kullandığım hammadde temininde ve analizinde destek veren Setaş Kimya Sanayi AŞ.’ye, Arge Merkezi Koordinatörü İsmail YAKIN’a teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam süresince yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen değerli eşim Prof.Dr. Sedat ONDARAL’a, kızlarım Damla ONDARAL ve Defne ONDARAL’a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Meryem ONDARAL  
Trabzon 2019



## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Doktora Tezi olarak sunduğum “Orta Yoğunlukta Lif Levhanın (MDF) Performansını Arttırmak Amacı İle Farklı Kimyasal Kullanımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Mustafa USTA'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/06/2019

Meryem ONDARAL

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	X
SUMMARY .....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XII
TABLolar (ÇİZELGELER) DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XVIII
1 GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Dünyada ve Ülkemizde MDF Üretimi .....	3
1.3. Lif Levhanın Tanımı, Sınıflandırması ve Özellikleri .....	7
1.4. MDF Üretiminde Tutkal Kullanımı.....	9
1.4.1. Melamin Formaldehit Tutkalları.....	11
1.4.1.1. Melamin Formaldehit Tutkalının Kondenzasyon Reaksiyonu .....	11
1.4.2. Üre Formaldehit Tutkalı .....	13
1.4.2.1. Üre Formaldehit Tutkalının Kondenzasyon Reaksiyonu .....	14
1.5. Lif Levhada Higroskopik Olayı ve Boyutsal Kararlılık .....	17
1.6. MDF Üretiminde Su İtici Kimyasal Maddeler .....	19
1.6.1. MDF Üretiminde Silikonların Kullanılması.....	19
1.6.1.1. Silikonların Üretimi ve Tarihçesi .....	19
1.6.1.2. Silikonların Kullanım Alanları- Özellikleri ve Çevreye Etkileri.....	24
1.6.2. MDF Üretiminde Parafin-Vaks Kullanımı .....	27
1.7. Formaldehit Emisyonunun Oluşumu .....	28
1.7.1. Lif Levha Üretiminde Formaldehit Tutucu Kullanımı .....	29
1.7.2. Formaldehit Emisyonunun İnsan Sağlığına Etkisi ve Formaldehit Emisyonu Standartları .....	30
1.8. Çapraz Bağlayıcı Reçineler .....	33
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	35
2.1. Materyal .....	35
2.1.1. Hammadde .....	35
2.1.2. Tutkal.....	35
2.1.3. Kimyasal Maddeler.....	36

2.1.3.1.	Formaldehit Tutucu .....	36
2.1.3.2.	Dow Corning 87 .....	36
2.1.3.3.	Xıameter PMX-200 .....	37
2.1.3.4.	Dimetiloldihidroksietilenüre.....	38
2.1.3.5.	Sertleştirici.....	40
2.2.	Metotlar.....	40
2.2.1.	Deneme Levhalarının Üretim Şablonunun Belirlenmesi.....	40
2.2.2.	Deneme Levhalarının Üretiminden Önce Yapılması Gereken İşlemler.....	41
2.2.2.1.	Liflerin Kurutulması ve Rutubetlerinin Belirlenmesi.....	41
2.2.2.2.	Levha Taslağının Oluşturulması ve Preslenmesi.....	42
2.3.	Deneme Levhalarının Özelliklerinin Belirlenmesi .....	44
2.3.1.	Rutubet Miktarının Belirlenmesi .....	44
2.3.2.	Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi.....	45
2.3.3.	Kalınlık Artışının Belirlenmesi.....	45
2.3.4.	Su Alma Oranlarının Belirlenmesi .....	46
2.3.5.	Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi .....	46
2.3.6.	Eğilme Direncinin Belirlenmesi .....	47
2.3.7.	Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi .....	47
2.3.8.	Serbest Formaldehit Emisyonunun Belirlenmesi .....	48
2.3.9.	Boyutsal Değişiminin Belirlenmesi .....	49
3.	BULGULAR.....	53
3.1.	DimetilolDihidroksiEtilenÜre'nin MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı .....	53
3.1.1.	Levhaların Higroskopik Özelliklerinin DDEÜ İlavesi ile Değişimi .....	53
3.1.1.1.	Su Alma Test Sonuçları .....	53
3.1.1.2.	Levhaların Şişme Yüzdelerindeki Değişim .....	54
3.1.2.	Boyutsal Stabilitate Özellikleri.....	55
3.1.3.	Mekanik Özelliklerin Yoğunluk ile Değişimi .....	56
3.1.4.	DMDHEU İlave Miktarının Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	58
3.1.5.	Farklı Oranlarda Tutkal İlavesinin DMDHEU Performansına Etkisi .....	60
3.1.5.1.	Farklı Oranlarda Tutkal ile Birlikte DMDHEU Kullanımının Levhaların Higroskopik Özelliklerine Etkisi .....	60
3.1.5.2.	Farklı Oranlarda MÜF Tutkalı ile Birlikte DMDHEU Kullanımının Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	61
3.2.	Silikon Esaslı Kimyasalların MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı.....	63

3.2.1.	Levhaların Higroskopik Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi .....	63
3.2.1.1.	Kalınlığına Şişme Test Sonuçları .....	63
3.2.1.2.	Levhaların Su Alma Sonuçları .....	64
3.2.2.	Levhaların Boyutsal Stabilite Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi .....	64
3.2.2.1.	Levhaların Kalınlık ve Uzunluk Değişimi Sonuçları .....	64
3.2.3.	Levhaların Mekanik Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi.....	65
3.3.	Formaldehit Tutucunun MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı.....	68
3.3.1.	Laboratuvarda Üretilen Levhaların Test Sonuçları .....	68
3.3.1.1.	Levhaların Serbest Formaldehit Test Sonuçları .....	68
3.3.1.2.	Levhaların Higroskopik Test Sonuçları.....	69
3.3.1.2.1.	Levhaların Şişme (%) Test Sonuçları.....	69
3.3.1.2.2.	Levhaların Su Alma (%) Test Sonuçları.....	69
3.3.1.3.	Boyutsal Stabilite Test Sonuçları .....	70
3.3.1.3.1.	Levhaların Kalınlık ve Uzunluk Değişimi Sonuçları .....	70
3.3.1.4.	Levhaların Mekanik Test Sonuçları.....	71
4.	TARTIŞMA.....	73
4.1.	Dimetiloldihidroksietilenüre'nin MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı.....	73
4.1.1.	Levhaların Higroskopik Özelliklerinin DMDHEU İlavesi ile Değişimi.....	73
4.1.1.1.	Su Alma Özelliğine Etkisi .....	73
4.1.1.2.	Levhaların Şişme Yüzdelerine Etkisi .....	75
4.1.2.	Boyutsal Stabilite Özelliklerine Etkisi.....	78
4.1.3.	Mekanik Özelliklerin Yoğunluk ile Değişimi .....	84
4.1.4.	DMDHEU İlave Miktarının Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	86
4.1.5.	Farklı Oranlarda Tutkal İlavesinin DMDHEU Performansına Etkisi .....	89
4.1.5.1.	Farklı Oranlarda Tutkal ile Birlikte DMDHEU Kullanımının Levhaların Higroskopik Özelliklerine Etkisi .....	89
4.1.5.2.	Farklı Oranlarda Müf Tutkalı ile Birlikte DMDHEU Kullanımının Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	91
4.2.	Silikon Esaslı Kimyasalların MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı.....	95
4.2.1.	Levhaların Higroskopik Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi .....	95
4.2.1.1.	Kalınlığına Şişme ve Su Alma Özelliklerine Etkisi .....	95
4.2.2.	Levhaların Boyutsal Stabilite Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi .....	98

4.2.2.1.	Levhaların Kalınlık Değişimine Etkisi .....	98
4.2.2.2.	Levhaların Uzunluk Değişimine Etkisi .....	104
4.2.3.	Levhaların Mekanik Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi.....	112
4.3.	MÜF Tutkalı İle Formaldehit Tutucunun Birlikte Kullanımı .....	116
4.3.1.	Laboratuvarda Üretilen Levhaların Test Sonuçlarının Tartışılması .....	116
4.3.1.1.	Levhaların Serbest Formaldehit Değerlerine Etkisi .....	116
4.3.1.2.	Levhaların Higroskopik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	117
4.3.1.2.1.	Levhaların Şişme (%) Özelliğine Etkisi .....	117
4.3.1.2.2.	Levhaların Su Alma (%) Değerlerine Etkisi.....	118
4.3.1.3.	Boyutsal Stabilite Test Sonuçlarının Tartışılması .....	119
4.3.1.3.1.	Levhaların Kalınlık Değişimine Etkisi .....	119
4.3.1.3.2.	Levhaların Uzunluk Değişimine Etkisi .....	121
4.3.1.4.	Levhaların Mekanik Test Özelliklerine Etkisi.....	123
4.3.2.	KTÜ ve Çamsan A.Ş’de Farklı MÜF Tutkalı ve FT İlavesi ile Üretilen Levhaların Test Sonuçlarının Tartışılması.....	126
4.3.2.1.	Levhaların Serbest Formaldehit Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	126
4.3.2.2.	Levhalarının Higroskopik Test Sonuçlarının Tartışılması .....	128
4.3.2.2.1.	Levhaların Su Alma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	128
4.3.2.2.2.	Levhaların Şişme Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	129
4.3.2.3.	Levhalarının Mekanik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	130
4.3.3.	Farklı Yoğunluk Değerlerine Sahip KTÜ ve Çamsan AŞ. Levhalarının Test Sonuçlarının Tartışılması .....	134
4.3.3.1.	Levhaların Serbest Formaldehit Sonuçlarının Tartışılması .....	134
4.3.3.2.	Levha Yoğunluğunun Levha Higroskopik Test Sonuçlarına Etkisinin Tartışılması .....	136
4.3.3.2.1.	Levhaların Su Alma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	136
4.3.3.2.2.	Levhaların Şişme Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	137
4.3.3.3.	Levhaların Mekanik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	138
5.	SONUÇLAR.....	141
5.1.	Higroskopik Özellikler .....	141
5.1.1.	24 Saatte Su Alma Sonuçları .....	141
5.1.2.	24 Saatte Şişme Sonuçları .....	142
5.2.	Boyutsal Stabilite Özellikleri.....	143
5.2.1.	Kalınlık Deformasyonu (Şişme .....	143
5.2.2.	Kalınlık Deformasyonu (İncelme).....	143

5.2.3.	Boy Deformasyonu (Uzama).....	144
5.2.4.	Boy Deformasyonu (Kısalma).....	144
5.3.	Serbest Formaldehit Değerleri.....	145
5.4.	Mekanik Özellikler .....	145
5.4.1.	Çekme Direnci Sonuçları.....	145
5.4.2.	Eğilme Direnci Sonuçları .....	146
5.4.3.	Elastikiyet Modülü Sonuçları .....	147
6.	ÖNERİLER.....	149
7.	KAYNAKLAR .....	150

ÖZGEÇMİŞ



Doktora Tezi

ÖZET

ORTA YOĞUNLUKTA LİF LEVHANIN (MDF) PERFORMANSINI ARTTIRMAK  
AMACI İLE FARKLI KİMYASAL KULLANIMI

Meryem ONDARAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lif ve Kâğıt Teknolojisi Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Mustafa USTA  
2019, 157 Sayfa

Orta yoğunluklu lif levhaların performansını artırmanın amaçlandığı çalışmada, farklı mol oranlarına sahip Melamin üre formaldehit (MÜF) tutkalları ve değişik kimyasal madde kullanımı ile levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş olan levhalarda kimyasal madde türü ve kimyasal kullanım oranının etkisini, kimyasal madde ilave şeklinin, levha yoğunluklarının levha özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Üretilmiş olan levhaların boyutsal stabilite, serbest formaldehit değerleri ile higroskopik ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Çalışmada, su itici kimyasal olarak iki farklı silikon esaslı kimyasal madde, çapraz bağlayıcı kimyasal madde ve serbest formaldehit emisyonunu düşürmek amacı ile formaldehit tutucu kimyasalı kullanılmıştır. Silikon esaslı kimyasallar ile üretilen levhalarda, boyutsal stabilite değerlerinde iyileşmelerin yanında deformasyonlar olduğu görülmüş, çapraz bağlayıcı maddenin boyutsal stabilite değerlerinde çok etkili olmadığı görülmüştür. Bu tür kimyasalların levhanın higroskopi ve mekanik özelliklerinde olumlu etkisi olduğu bulunmuştur. Formaldehit tutucu kullanımıyla levhaların serbest formaldehit değerleri azalmış, kullanılan formaldehit tutucu oranının artışı ile su alma ve şişme değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada, formaldehit tutucu kullanımı ile üretilen levhaların test sonuçları Çamsan Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Sakarya)'de formaldehit tutucu kullanımı ile üretilen levhaların test sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırmada laboratuvarda üretilen levhaların serbest formaldehit değerlerinin daha düşük olduğu bulunmuştur. Ortaya çıkan bu farklılıklar laboratuvar üretimindeki presleme, tutkallama, liflerin serilmesi gibi parametre farklılığından kaynaklanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Formaldehit tutucu, Silikon esaslı kimyasal, Boyutsal stabilite, MDF, Serbest formaldehit

PhD. Thesis

SUMMARY

DIFFERENT CHEMICAL USE TO INCREASE THE PERFORMANCE OF MEDIUM  
DENSITY FIBERBOARD (MDF)

Meryem ONDARAL

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Fiber and Paper Technology Department  
Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa USTA  
2019, 157 Pages,

The scope of this work is enhance the performance of MDFs with using MUF having different U/F mol rates and several functional additives. The type of additive, addition amount, mixing sequence of all ingredients, and density of product were studied. Additionally, dimensional stability, free formaldehyde values, hygroscopic and mechanical properties were investigated.

Silicon based chemicals as a water repellent, cross linker monomer and formaldehyde scavenger to decrease free formaldehyde emission were used in this study. It was found that silicon based chemical enhanced hygroscopic and mechanical properties addition to positive and negative changes in dimensional stability. The crosslinker addition decreased water intake and swelling as well as enhanced mechanical properties of MDF panels. However, It was found that It didn't affected significantly dimension stability. The formaldehyde scavenger decreased the free formaldehyde emission while increasing water intake and swelling ratio with increasing addition level. The results obtained with formaldehyed scavanger were compared with the properties of boards produced with the same chemical in Çamsan Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Sakarya) in reel production paramaters. It was found that free formaldehyde value was found lower for boards produced in the laboratory because of the difference in pressing parameter, resin addition, formation of fiber mat etc.

**Key Words:** Formaldehyde scavenger, Silicon based chemical, Dimensional stability, MDF, Free formaldehyde



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Ülkemizde gerçekleşen ithalat ihracat rakamları .....	5
Şekil 2. Melamin-formaldehit reçinesini oluşturmak için metilasyon ve sonraki polimerleşme reaksiyonları .....	12
Şekil 3. Formaldehite üre ilavesi ile mono, di, tri metilol üre ve üre formaldehit oluşumu .....	16
Şekil 4. Polidimetilsiloksan temel yapısı .....	21
Şekil 5. Silikon reçinesinde bulunan birimler .....	21
Şekil 6. Üç farklı silikon tipinin kimyasal yapısı .....	22
Şekil 7. Organofonksiyonel silanların yapısı .....	22
Şekil 8. Siloksan ve polidimetilsiloksanın yapısı .....	23
Şekil 9. Silikonun temel yapısı .....	37
Şekil 10. Polidimetil siloksan yapısı .....	38
Şekil 11. DMDHEU'nin kimyasal sentez basamakları .....	39
Şekil 12. DMDHEU kimyasalının asit katalizör varlığında selüloz ile bağ yapması .....	39
Şekil 13. Lif topaklarını açmak için kullanılan tutkallama makinası .....	42
Şekil 14. Liflerin kurutulduğu kurutma fırını .....	42
Şekil 15. Deneme levhalarının üretiminde kullanılan pres .....	44
Şekil 16. Perforatör test yönteminden bir görüntü .....	49
Şekil 17. 300 mm uzunluğunda boyutsal değişim test örneği .....	50
Şekil 18. Farklı DMDHEU uygulamalarında levha yoğunluğunun levha su alma özelliğine etkisi .....	73
Şekil 19. Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha su alma özelliğine etkisi .....	75
Şekil 20. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının levha şişme yüzdelerine etkisi .....	76
Şekil 21. Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha şişme özelliğine etkisi .....	77
Şekil 22. DMDHEU kimyasalının levhanın kalınlık değişimi üzerine (şişme) etkisi .....	78
Şekil 23. Levha yoğunluğunun levha kalınlık (şişme) değişimi üzerine etkisi .....	79
Şekil 24. DMDHEU kimyasalının levhanın kalınlık (incelme) değişimi üzerine etkisi .....	80
Şekil 25. Levha yoğunluğunun levha kalınlık (incelme) üzerine etkisi .....	80

Şekil 26.	DMDHEU kimyasalının levhanın uzunluk (uzama) değişimi üzerine etkisi.....	81
Şekil 27.	Levha yoğunluğunun levha uzunluk deformasyonuna (uzama) etkisi .....	81
Şekil 28.	DMDHEU kimyasalının levhanın uzunluk (kısalma) değişimi üzerine etkisi.....	82
Şekil 29.	Levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonuna (kısalma) etkisi.....	82
Şekil 30.	Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının elastikiyet modülü özelliğine etkisi.....	84
Şekil 31.	Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının eğilme direnci özelliğine etkisi.....	85
Şekil 32.	Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının çekme direnci özelliğine etkisi.....	85
Şekil 33.	Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha çekme direnci özelliğine etkisi.....	86
Şekil 34.	Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha eğilme direnci özelliğine etkisi.....	87
Şekil 35.	Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi.....	88
Şekil 36.	Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha şişme (24 saat) özelliğine etkisi .....	90
Şekil 37.	Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha su alma (24 saat) özelliğine etkisi .....	90
Şekil 38.	Farklı tutkal oranlarında MÜF tutkalı ve DMDHEU uygulamasının levha çekme direnci özelliğine etkisi.....	92
Şekil 39.	Farklı tutkal oranlarında MÜF tutkalı ve DMDHEU uygulamasının levha eğilme direnci özelliğine etkisi .....	92
Şekil 40.	Farklı tutkal oranlarında MÜF tutkalı ve DMDHEU uygulamasının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi.....	93
Şekil 41.	Silikon esaslı kimyasalların ilave miktarının levhanın şişme (24 saat) özelliği üzerine etkisi.....	95
Şekil 42.	Silikon esaslı kimyasalların ilave miktarının levhanın su alma (24 saat) özelliği üzerine etkisi.....	96
Şekil 43.	XM kimyasal ile üretilen levhanın kalınlık değişimi (şişme) üzerine etkisi.....	98
Şekil 44.	XM kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun kalınlık deformasyonu (şişme) üzerine etkisi .....	99
Şekil 45.	XM kimyasalının levhanın kalınlık değişimi (incelme) üzerine etkisi.....	99
Şekil 46.	XM kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun kalınlık deformasyonu (incelme) üzerine etkisi.....	100
Şekil 47.	DC kimyasalının levha kalınlık değişimi (şişme) üzerine etkisi .....	101

Şekil 48.	DC kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun kalınlık deformasyonu (şişme) üzerine etkisi .....	102
Şekil 49.	DC kimyasalının levha kalınlık değişimi (incelme) üzerine etkisi.....	103
Şekil 50.	DC kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun kalınlık deformasyonu (incelme) üzerine etkisi.....	104
Şekil 51.	XM kimyasalının levhanın uzunluk değişimi (uzama) üzerine etkisi .....	105
Şekil 52.	XM kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonu (uzama) üzerine etkisi.....	106
Şekil 53.	XM kimyasalının levhanın uzunluk değişimi (kısalma) üzerine etkisi .....	107
Şekil 54.	XM kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonu (kısalma) üzerine etkisi.....	108
Şekil 55.	DC kimyasalının levhanın uzunluk değişimi (uzama) üzerine etkisi .....	109
Şekil 56.	DC kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonu (uzama) üzerine etkisi.....	109
Şekil 57.	DC kimyasalının levhanın uzunluk değişimi (kısalma) üzerine etkisi .....	110
Şekil 58.	DC kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonu (kısalma) üzerine etkisi.....	110
Şekil 59.	Silikon esaslı kimyasalların levhanın çekme direnci üzerine etkisi .....	112
Şekil 60.	Silikon esaslı kimyasalların levhanın eğilme direnci üzerine etkisi.....	114
Şekil 61.	Silikon esaslı kimyasalların levhanın elastikiyet modülü üzerine etkisi .....	115
Şekil 62.	Formaldehit Tutucu ilavesinin levha serbest formaldehit değeri üzerine etkisi.....	116
Şekil 63.	Formaldehit Tutucu ilavesinin levha şişme özelliğine etkisi.....	117
Şekil 64.	FT ilavesinin levha su alma özelliğine etkisi.....	119
Şekil 65.	FT ilavesi ve levha yoğunluğunun levha kalınlık (şişme) değişimi üzerine etkisi.....	120
Şekil 66.	FT ilavesi ve levha yoğunluğunun levha kalınlık (incelme) değişimi üzerine etkisi.....	120
Şekil 67.	FT ilavesi ve levha yoğunluğunun levha uzunluk (uzama) değişimi üzerine etkisi.....	121
Şekil 68.	FT ilavesi ve levha yoğunluğunun levha uzunluk (kısalma) değişimi üzerine etkisi.....	122
Şekil 69.	FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha çekme direnci özelliğine etkisi.....	123
Şekil 70.	FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha eğilme direnci özelliğine etkisi.....	124
Şekil 71.	FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi.....	125

Şekil 72.	(A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının serbest formaldehit değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ'de üretilen levhaların serbest formaldehit değişim değerleri .....	126
Şekil 73.	(A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının su alma (24 saat) yüzde değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ'de üretilen levhaların su alma (24 saat) değişim değerleri .....	128
Şekil 74.	(A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının şişme (24 saat) yüzde değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ'de üretilen levhaların şişme (24 saat) değişim değerleri .....	129
Şekil 75.	(A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının çekme direnci değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ'de üretilen levhaların çekme direnci değişim değerleri.....	130
Şekil 76.	(A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının eğilme direnci değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ'de üretilen levhaların eğilme direnci değişim değerleri .....	132
Şekil 77.	(A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının elastikiyet modülü değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ'de üretilen levhaların elastikiyet modülü değişim değerleri .....	133
Şekil 78.	MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha serbest formaldehit değerine etkisi .....	135
Şekil 79.	MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha su alma (24 saat) değerine etkisi .....	136
Şekil 80.	MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha şişme (24 saat) değerine etkisi .....	137
Şekil 81.	MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha çekme direnci üzerine etkisi.....	138
Şekil 82.	MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha eğilme direnci üzerine etkisi.....	139
Şekil 83.	MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha elastikiyet modülü üzerine etkisi .....	139

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1.	Türkiye'nin Dünya MDF ve parke üretiminde yeri (2017 kurulu kapasite değerleri).....	4
Tablo 2.	Türkiye'de faaliyet gösteren lif levha üreticileri .....	4
Tablo 3.	Avrupa'da MDF üretim kapasitesine göre sıralanmış ülkeler .....	6
Tablo 4.	Silikon polimer sentezinin temel adımları .....	20
Tablo 5.	Avrupa formaldehit emisyonu limit değerler .....	32
Tablo 6.	Türkiye'de Yonga Levha ne MDF için formaldehit emisyon standart değerleri .....	32
Tablo 7.	Çalışmada kullanılan tutkallara ait özellikler .....	35
Tablo 8.	Formaldehit tutucuya ait özellikler .....	36
Tablo 9.	DC kimyasalının XRF element analizi sonuçları .....	36
Tablo 10.	XM kimyasalının XRF element analizi sonuçları .....	38
Tablo 11.	Prese ait teknik özellikler.....	43
Tablo 12.	İki takım deney levha parçası için şartlandırma aşamaları .....	50
Tablo 13.	DMDHEU ilave miktarının levha su alma özelliğine etkisi.....	54
Tablo 14.	Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının levha su alma özelliğine etkisi.....	54
Tablo 15.	DMDHEU ilave miktarının levha şişme özelliğine etkisi .....	55
Tablo 16.	Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının levha şişme değerlerine etkisi.....	55
Tablo 17.	DMDHEU kullanım oranının levha boyutsal özelliklere etkisine ait değerler .....	56
Tablo 18.	Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının elastikiyet modülü özelliğine etkisi.....	56
Tablo 19.	Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının eğilme direnci test sonuçları .....	57
Tablo 20.	Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının levha çekme üzerine etkisine ait sonuçlar.....	58
Tablo 21.	DMDHEU ilave miktarının levha çekme direnci test sonuçları.....	59
Tablo 22.	DMDHEU ilave miktarının levha eğilme direnci test sonuçları .....	59
Tablo 23.	DMDHEU ilave miktarının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi.....	59
Tablo 24.	Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha şişme (24 saat) özelliğine etkisi .....	60

Tablo 25.	Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha su alma (24 saat) özelliğine etkisi .....	61
Tablo 26.	Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha çekme direnci özelliğine etkisi .....	61
Tablo 27.	Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha eğilme direnci özelliğine etkisi .....	62
Tablo 28.	Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisinin sonuçları .....	62
Tablo 29.	Silikon esaslı kimyasalların ilave miktarının levhanın şişme (24 saat) özelliği üzerine etkisi .....	63
Tablo 30.	Silikon esaslı kimyasalların ilave miktarının levhanın su alma (24 saat) özelliği üzerine etkisi .....	64
Tablo 31.	XM kimyasalının levhanın boyutsal değişimi (kalınlık ve uzunluk)üzerine etkisi .....	65
Tablo 32.	DC kimyasalının levhanın boyutsal değişimi (kalınlık ve uzunluk) üzerine etkisi .....	65
Tablo 33.	Silikon esaslı kimyasalların levhanın çekme direnci üzerine etkisi .....	66
Tablo 34.	Silikon esaslı kimyasalların levhanın eğilme direnci üzerine etkisi .....	66
Tablo 35.	Silikon esaslı kimyasalların levhanın elastikiyet modülü üzerine etkisi .....	67
Tablo 36.	Formaldehit Tutucu ilavesinin levha serbest formaldehit değeri üzerine etkisi .....	68
Tablo 37.	FT ilavesinin levha şişme özelliğine etkisi .....	69
Tablo 38.	FT ilavesinin levha su alma özelliğine etkisi .....	70
Tablo 39.	FT ilavesinin levha kalınlık ve uzunluk deformasyonuna etkisi .....	70
Tablo 40.	FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha çekme direnci özelliğine etkisi .....	71
Tablo 41.	FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha eğilme direnci özelliğine etkisi .....	71
Tablo 42.	FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi .....	72

## SEMBOLLER DİZİNİ

MDF	Orta Yoğunlukta Liflevha
LDF	Yumuşak Liflevha
HDF	Sert Liflevha
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
EN	Avrupa Standartları
EPA	Amerika Çevre Koruma Ajansı
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
ÜF	Üre Formaldehit
MF	Melamin Formaldehit
MÜF	Melamin Üre Formaldehit
PMDS	Polidimetilsiloksan
F/Ü	Formaldehit/Üre
DC	Dow Corning-87
XM	Xıameter PMX-200 1000cs
DMDHEU	Dimetiloldihidroksietilenüre
FT	Formaldehit Tutucu
TÖ	Tutkal öncesi
TS	Tutkal sonrası
TB	Tutkal ile birlikte
IARC	Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
ECHA	Avrupa Kimyasallar Ajansı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Endüstriyel gelişmenin hızlanması ve nüfusun artışı ile birlikte odun esaslı malzemeye olan ihtiyaç artmış ve buna bağlı olarak da hammadde sorunu yaşanmaya başlanmıştır. Endüstriyel ihtiyaçların karşılanması ve üretimin devamlılığı için masif ağaç malzemeye alternatif ürün araştırılması yoluna gidilmiş ve yapılan çalışmalar sonucunda odun esaslı levha üretimleri geliştirilmiştir (Eroğlu ve Usta, 2000).

Odun esaslı levhalar grubunda yonga levha, lif levha, yönlendirilmiş yonga levha, kontrplak ve kaplama levhaları yer almaktadır. Odun esaslı levhalar mobilya, inşaat ve otomotiv sektörlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Mobilya sektöründe masif ağaç malzemeye oranla odun esaslı levhalar daha çok kullanılmaktadır. Bu malzemelerin tercih edilme sebepleri arasında kolay işlenebilmeleri, homojen yapıda olmaları, makine ile kesim işlemlerinin kolay yapılabilmesi ve kullanım yerine göre istenen özelliklerde üretilebilmesidir (Yörür, ve Birinci, 2018).

Lif levhalar, odun veya yıllık bitki sapları gibi lignoselülozik malzemelerin liflendirilmesi sonucunda elde edilen liflerin yapıştırıcı ve katkı madde ilavesi ile istenilen şekilde kalıplandırılması ve preslenmesi ile elde edilmektedir (Güller, 2001). Odun esaslı levhalar içerisinde lif levhalar önemli bir yer almakla birlikte, orta yoğunlukta üretilen lif levhaların (MDF) üretimi birinci sırada yer almaktadır. Bu durumun sebepleri arasında endüstride fazla kullanım alanının olması, fiziksel ve mekanik direnç özelliklerinin yüksek olması ve değeri düşük odun hammaddesi kullanılarak üretilebilmesi olarak sıralanmaktadır. Bu olumlu özelliklerinin yanı sıra lif levhaların bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Bu olumsuz özelliklerinden ilki, lif levhaların higroskopik özellikte olan liflerden üretilmiş bir malzeme olması ile rutubet ve nem alarak boyutsal stabilite ve mekanik direnç özelliklerinin değişmesidir (Carll and Wiedenhoeft, 2009). Bu durum kullanım alanına göre lif levha üretiminin önemini ortaya koymaktadır. Lif levhaların su ve neme karşı dirençli hale getirmek için su itici kimyasal madde ilavesi ile üretilmesini önemli hale getirmiştir (Torkaman, 2008). Lif levhaları su ve neme karşı dirençli üretilmesi ile levhaların kullanım yerinde güvenilir olmasını ve aynı zamanda uzun yıllar kullanılarak ekonomik olmasını sağlamaktadır.



Lif levhaların olumsuz özelliklerinden ikincisi, formaldehit salınımı yapmasıdır. Formaldehit, lif levha üretiminde bağlayıcı madde olarak melamin üre formaldehit (MÜF), üre formaldehit (ÜF) gibi sentetik tutkalların üretiminde kullanılan zehirli, renksiz ve güçlü bir kokuya sahip kimyasal bir maddedir. Serbest formaldehit, levha taslağının sıcak preste preslenmesi sırasında üre ile reaksiyona girmeyen formaldehitin buhar ile ortama salınması ve levha üretildikten sonra kullanım yerinde sıcaklık ve rutubet etkisi ile metil-eter bağlarının bozulması şeklinde ortaya çıkmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000). 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).

Kullanım yerinde formaldehit konsantrasyonunun fazla olması insanlarda çeşitli kanser ve solunum yolu hastalıklarına sebep olmaktadır. Günümüzde formaldehit emisyonuna sebep olan formaldehit esaslı tutkallar ile üretilen lif levhalarda kullanım yerinde formaldehit salınımı devam etmesinden dolayı serbest formaldehit miktarının belirli standartlar içerisinde olması için sınırlama getirilmiştir (Subaşı vd., 2017). Avrupa EN 13986 nolu standardın EN 120 perforatör test yöntemine göre E0 sınıflandırmasında 1-2 mg/100 gr levha, E1 sınıflandırmasında lif levhaların serbest formaldehit miktarı 2-8 mg/100 gr levhaya, E2 sınıflandırmasında ise 8-30 mg /100 gr levha arasında olması gerekmektedir (EN 13986).

Lif levha endüstrisinde formaldehit emisyonunu azaltmak için çeşitli yöntemler denenmiştir. Avrupa odun esaslı levha standardından önce tutkal üretiminde üre/formaldehit (Ü/F) oranı 1:2 olarak kullanılmaktaydı, E1 standardının getirilmesi ile Ü/F: 1:1,1 olarak kullanılmaya başlandı, hatta daha düşük formaldehit kullanımlı tutkal üretimleri denemeleri yapılmıştır (Pizzi, 1994). F/U molar oranındaki azalma, formaldehit emisyonunu azaltmak için 1980'li yıllardan sonra benimsenen bir strateji olmuştur (Myers 1984). Bununla birlikte, bu azalma, UF reçinelerinin reaktivitesini azaltır. Halen, endüstriyel UF yapıştırıcılarının reaktivitesi endüstriyel panel üretimi için kabul edilen minimum sınırın yanındadır (Costa vd., 2013, Dongbin vd., 2006). Lif levhalarda E1 standardını sağlamak ve TSE-EN standartlarına göre direnç özelliklerini elde edebilmek için üretim aşamasında formaldehit tutucuların kullanımının daha etkili olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, levhalara su itici özelliği veren Dow Corning-87, Xıameter PMX-200 1000cs ve Dimetiloldihidroksietilenüre kimyasalları MÜF tutkalı ile birlikte liflere verilerek deneme ve kontrol levhalarının üretimi yapılmıştır. Ayrıca levhaların serbest formaldehit

değerlerini düşürmek amacı ile formaldehit üre karışımından oluşan formaldehit tutucu kimyasalını MÜF tutkalı ile birlikte liflere verilmesi suretiyle levhaların üretimi yapılmıştır. Üretilen levhaların kullanılan kimyasal madde etkinliğini görebilmek için su alma ve şişme (24 saat), boyutsal stabilite, serbest formaldehit ve mekanik direnç özelliklerini veren testler ile belirlenmiştir.

## 1.2. Dünyada ve Ülkemizde MDF Üretimi

Dünyada ilk MDF fabrikası 1966 yılında New York'ta Allied Chemical Corporation tarafından kurulmuştur (Serin ve Serin, 2004). Türkiye'de ilk lif levha fabrikası 1958 yılında İzmir'de Selolit A.Ş. firması tarafından yaş yöntemle 18.000 m<sup>3</sup>/yıl üretim kapasitesi ile kurulmuş ve bugün Manisa sanayi bölgesinde faaliyetlerine devam etmektedir. Türkiye'de ilk MDF fabrikası Çamsan A.Ş. tarafından 1985 yılında Ordu'da kurulmuştur (Akgül vd., 2013). Dünyada hızlı nüfus artışı ve teknolojinin ilerlemesi ile odun esaslı levha ürünlerine ihtiyaç artmış ve dolayısı ile levha üretimi yapan fabrika sayısı ve üretim kapasiteleri de her geçen yıl artmıştır. Dünyada 1950 yılında 2 milyon m<sup>3</sup> olan lif levha üretimi 1960 yılında 4.250 milyon m<sup>3</sup>'e çıkmış, 2013 yılında 200 milyon m<sup>3</sup>'e ulaşmıştır. 2013 yılında üretilen lif levha içerisinde MDF üretim miktarı 85 milyon m<sup>3</sup> ile ilk sırayı almaktadır (Url-1, 2014). MDF üretimi dünyada sürekli olarak bir artış göstermektedir. Bunun nedenleri arasında; yonga levhaya göre hammadde kullanımının daha çeşitli olması, masif ağaç malzeme gibi rahat işlenebilmesi özelliği sayesinde mobilya endüstrisi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilmesi, mekanik ve direnç özelliklerinin iyi olması olarak sıralanabilir (Akgül vd., 2013).

Türkiye son yıllarda gerçekleştirdiği teknolojik yatırımlarla lif levha endüstrisine liderlik eden ülkeler arasında yer almaktadır. Tablo 1'de görüldüğü üzere Türkiye MDF üretiminde Çin Halk Cumhuriyeti'nin arkasında ikinci sırada iken, parke üretiminde Almanya ve Çin Halk Cumhuriyetinden sonra üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 1. Türkiye'nin Dünya MDF ve parke üretiminde yeri (2017 kurulu kapasite değerleri) (URL-2, 2017)

MDF üretimi Ülke – üretim (milyon m <sup>3</sup> /yıl)	Parke üretimi Ülke – üretim (milyon m <sup>3</sup> /yıl)
1. Çin Halk Cumhuriyeti-40,6	1. Almanya-272
2. Türkiye-6,80	2. Çin Halk Cumhuriyeti-222
3. Almanya-3,79	3. Türkiye-110
4. ABD-3,66	4. Rusya-75

Dünyada ABD, Almanya, Çin ve Türkiye MDF üretiminde ilk sırada yer alan ülkelerdir.

Dünyanın en büyük levha üreticisi Çin Halk Cumhuriyeti'dir. Çin Halk Cumhuriyeti, dünya levha üretiminin %55'ini karşılamaktadır. 2013 yılında 62,6 milyon m<sup>3</sup> levha üreten Çin Halk Cumhuriyeti'ni sırasıyla ABD, Almanya, Brezilya ve Türkiye takip etmektedir. Türkiye, 2009 yılında 4. sırada yer alırken, 2013 yılında 5. sıraya gerilemiştir. Bu düşüşe rağmen Türkiye, dünyanın en büyük 5. levha üreticisi olarak sektör için önemli bir ülke olduğunu ortaya koymuştur (OAİB, 2015).

Bu başarının sağlanmasında rolü olan şirketlerin üretim kapasiteleri ve sıralamaları aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir.

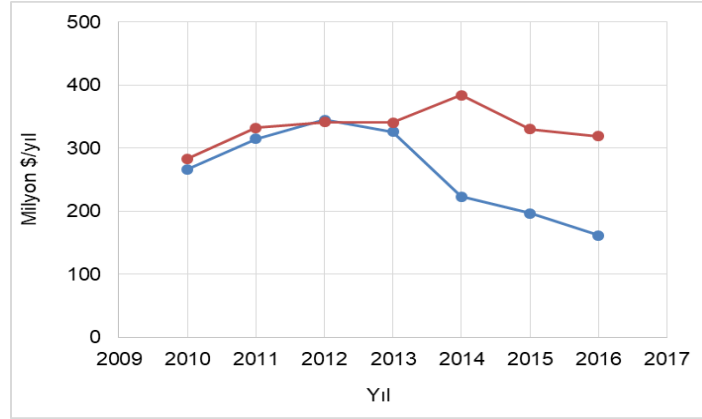
Tablo 2. Türkiye'de faaliyet gösteren lif levha üreticileri (URL-2, 2017)

Türkiye'deki lif levha üreticileri	Kapasite(m <sup>3</sup> /gün)
Yıldız Entegre Ağaç Sanayi ve Tic. A.Ş.	5100
Kastamonu Ağaç Sanayi ve Tic. A.Ş.	3875
Çamsan Entegre (Bodurlar) Ağaç Sanayi ve Tic. A.Ş.	2000
Starwood Orman Ürünleri A.Ş.	1925
Yıldız Sunta MDF A.Ş.	1800
AGT Ağaç Sanayi ve Tic. A.Ş.	1325
Teverpan Ağaç Sanayi A.Ş.	1325
Divapan Entegre Ağaç Panel Sanayi Tic. AŞ	1070

Tablo 2'nin devamı

Çamsan Poyraz A.Ş.	820
Vezirağaç Vezirköprü Orman Ürün. Ve Gıd. Tic. A.Ş.	600
SFC (Kronospan) Entegre Orman Ürün. San. Ve Tic. A.Ş.	475
Beypen A.Ş.	300
SBS A.Ş.	300
Balkanlar MDF A.Ş.	200
Selolit A.Ş.	60
TOPLAM	21185

Türkiye'nin MDF/ Sert lif levha (HDF) üretimi 2010 yılında 3 milyon 265 bin metreküpten 2016 yılında 5 milyonu aşarak 5 milyon 69 bin metreküpe ulaşmıştır. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) tarafından açıklanan 2010-2016 yılları arasında MDF ve diğer lif levha ürünlerinde gerçekleşen ithalat ihracat rakamları aşağıdaki grafikte verilmiştir (URL-2, 2017). Grafikten görüldüğü üzere ithal edilen lif levha ürünlerinde ciddi bir azalma söz konusu olmuştur. İhracat rakamları incelendiğinde ise 2014 yılına kadar artış gözlenirken 2015 ve 2016 yıllarında ise bir azalma yaşanmıştır.



Şekil 1. Ülkemizde gerçekleşen ithalat ihracat rakamları (URL-2, 2017)

Türkiye 2012 yılı verilerine göre MDF üretiminde Avrupa'da birinci dünyada ikinci sırada yer almaktadır. Aşağıdaki Tablo 3'te Avrupa'da yıllara göre ülkelerin MDF üretim kapasiteleri sıralaması verilmiştir.

Tablo 3. Avrupa’da MDF üretim kapasitesine göre sıralanmış ülkeler (Akgül vd., 2013)

Avrupada MDF Üretim Kapasiteleri (m <sup>3</sup> /yıl)						
Sıra No	Ülkeler	2008	2009	2011	2012	Son Kapasiteler
1	Türkiye	3.388.800	3.688.800	3.688.800	870.000	4.558.800
2	Rusya	1.422.000	2.286.000	3.777.000	550.000	4.327.000
3	Almanya	4.410.000	4.370.000	4.070.000	0	4.070.000
4	Polonya	1.408.000	1.608.000	1.918.000	0	1.918.000
5	İspanya	1.757.000	1.757.000	1.637.000	0	1.637.000
6	İtalya	1.310.000	1.310.000	1.310.000	0	1.310.000
7	Fransa	1.110.000	1.110.000	1.110.000	0	1.110.000
8	İngiltere	870.000	870.000	870.000	0	870.000
9	Romanya	368.000	368.000	788.000	0	788.000
10	Avusturya	700.000	700.000	700.000	0	700.000
	Toplam	16.743.800	18.067.800	19.868.800	1.420.000	21.288.800

İstek vd. (2017) gerçekleştirdiği analizlerde ülkemiz levha sektörünün güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditleri aşağıdaki gibi özetlemiştir.

Güçlü yönleri:

- İşletmelerin teknolojiyi yakından takip etmeleri,
- Entegre tesislerin bulunması ve ürün çeşitliliğinin olması,
- İşçilik maliyetlerinin AB ülkelerine kıyasla daha düşük olması,
- Levha tesislerinin pazara ve hammadde kaynağına yakın yerlerde kurulması,
- Orman genel müdürlüğünün odun hammaddesinin artırıcı çalışmalar yapması,
- Levha sektöründe çalışabilecek kalifiye mühendislerin bulunması.

Zayıf yönleri:

- Gerekli olan hammadde ihtiyacının %30-35 oranında ithalat ile sağlanması,
- Hammadde fiyatının dünya fiyat ortalamasına göre yüksek olması,
- Kış kesimlerine ağırlık verilmemesi ve buna bağlı olarak stok maliyetlerinin artması,
- Üniversite sanayi işbirliğinin yeterli seviyede olmaması,
- Kalifiye ara eleman ihtiyacının karşılanamaması,
- Ürünlerin ulaştırılmasında nakliye sorunları,
- Girdi maliyetlerinin yüksek olması.

#### Fırsatları:

- Avrupa birliği ülkelerinde işçilik maliyetlerinin yüksek olması
- Endüstriyel plantasyonlar konusunda Orman Genel Müdürlüğü ve özel sektör kuruluşlarının çalışmaları,
- Orman genel Müdürlüğünün hammadde ihtiyacını karşılamaya yönelik çalışmaları,
- Rusya, Türki Devletler ve İran gibi ülkelere yapılacak ağaç mamulleri ve orman ürünleri ihracatını kolaylaştıracak serbest ticari anlaşmaların hayata geçirilme çalışmaları,
- Orta doğu, Türki Cumhuriyetler ve Kuzey Afrika ülkelerinin pazarına yakın olunması,
- Fuar organizasyonlarının olması ve katılımların artması.

#### Tehditleri:

- Dövizde meydana gelen dalgalanmalar ile maliyetlerin değişmesi,
- Hammadde üretiminde çalışacak orman işçisi sayısının azalması,
- Yenilenebilir Enerji Kanunu kapsamında biokütleden enerji üretilmesinin teşvik edilmesi, dolayısı ile odun fiyatlarının yükselme eğilimi,
- Eski teknolojiye sahip levha işletmelerinin rekabet edememeleri,
- Çevremizde bulunan ülkelerin siyasi ve ekonomik istikrarsızlığı.

### 1.3. Lif Levhanın Tanımı, Sınıflandırması ve Özellikleri

Lif levha; odun, ağaç malzeme artıkları ve yıllık bitkilerin yonga haline getirilmesi ve çeşitli yöntemlerle lif ve lif demetlerine ayrılması ile hücre çeperindeki doğal yapıştırıcı maddelerden faydalanma ya da yapıştırıcı maddelerin ilavesiyle, şekillendirilerek kurutulan veya sıcak preste preslenerek oluşturulan endüstriyel ürünlerdir (Eroğlu ve Usta, 2000).

Lif levhalar odun hammaddesi kullanımının yanı sıra odun endüstrisi artıkları, aralama kesimi hasılatı, dal odunu, soyma kaplama artık silindiri, odun işleyen fabrika artıkları gibi hammaddeler yanında yıllık bitki saplarından şeker kamışı, pamuk sapları gibi hammaddelerden de üretilebilmektedirler. Lif levha üretiminde lif uzunluğunun levha özelliklerini etkileyen önemli bir özellik olması nedeni ile uzun lifli (iğne yapraklı) odunlar kısa lifli (yapraklı ağaç) odunlardan daha fazla tercih edilmektedirler. Bunun sebebi, yaş

yöntemle levha üretiminde iğne yapraklı ağaçların liflerinin keçeleşme özelliğinin iyi olması, kolay sıkıştırılabilmeleri ve hafif olmalarından dolayı tercih edilmektedirler. Yapraklı ağaçlarda lif uzunlukları 0,8-2 mm arasında, iğne yapraklı ağaçlarda lif uzunlukları 3-7 mm arasında olmaktadır. Kuru yöntemle lif levha üretiminde termoset tutkal kullanılmasından dolayı yapraklı ağaç lifleri iğne yapraklı ağaç lifleri ile birlikte üretimde kullanılabilir.

Lif levhalar lif keçesinin oluştuğu ortamın özelliklerine göre üç farklı şekilde üretilmektedir. Bunlar: Yaş yöntem, yarı kuru yöntem ve kuru yöntemdir (Eroğlu ve Usta, 2000). Bu üç yöntemi birbirinden ayıran özelliği levha üretiminde kullanılan liflerin rutubet değerleridir. Yaş yöntemde kullanılan lifin rutubeti %100, yarı kuru yöntemde %12-45 ve kuru yöntemde %5-10 arasındadır. Yaş yöntem ile lif levha üretiminde yapıştırıcı madde ilave edilmez, liflerin doğal yapışma özelliğinden yararlanır, yarı kuru ve kuru yöntemde lif levha üretiminde yapıştırıcı madde ilave edilir. MDF hem kuru hem yaş yöntemle üretilir.

Üretilen lif levhalar Kollmann vd. (1975)'ne göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmışlardır.

- a. Hammaddeye ve lif üretim yöntemlerine göre (yapraklı, iğne yapraklı ve yıllık bitki sapları, defibratör yöntemi, masonit yöntemi)
- b. Lif keçesi oluşturma yöntemine göre (sonsuz elek, yuvarlak elek vs.)
- c. Özgül ağırlıklarına göre (yumuşak, orta sert ve sert)
- d. Kullanım yerlerine göre (izolasyon lif levhaları, iç ve dış ortamda kullanılan levhalar vs.)

Uluslararası standartlara göre lif levha sınıflandırmasında özgül ağırlık kriteri kullanılmakta ve levhaların özgül ağırlıkları 0,02- 1,45 gr/cm<sup>3</sup> olarak alınmaktadır.

TSE (Türk standartları enstitüsü) tarafından hazırlanan lif levha standardında levhaların özgül ağırlıklarına göre sınıflandırılması yapılmıştır (TS EN 316, 2011). Bunlar:

- a. Yumuşak lif levhalar (LDF): Özgül ağırlıkları en az 400-560 kg/m<sup>3</sup>
- b. Orta sert lif levhalar (MDF): Özgül ağırlıkları 560- 900 kg/m<sup>3</sup>
- c. Sert lif levhalar (HDF): Özgül ağırlıkları 900 kg/m<sup>3</sup> den fazla

Lif levhaların özelliklerini etkileyen parametreleri üç kategoride sınıflandırdığımızda ilk olarak, odun ile ilgili özellikler, ikinci olarak tutkal ile ilgili özellikler ve son olarak üretim prosesi ile ilgili parametreler gelmektedir. Odun ile ilgili özelliklerde odun türü, odunun yoğunluğu, lif uzunluğu, lif nem içeriği, lifin direnci ve yüzey enerjisi yer almaktadır. Tutkal ile ilgili özelliklerde tutkalın tipi, reaktifliği, tutkalın kimyasal yapısı,

kondenzasyon derecesi, molar kütle dağılımı, viskozitesi, formaldehit /üre mol oranı ve tutkalın yayılma derecesi olarak sıralanmaktadır. Üretim prosesi ile ilgili parametrelerde; pres sıcaklığı, pres basıncı, pres zamanı, taslağın nem içeriği ve levhanın oluşma zamanıdır (Hong vd.,2017).

Lif levhalar %80 oranında bitkisel lif içerdiklerinden masif ağaç malzemede görülen mekanik ve teknolojik özelliklere sahiptirler. Masif ağaç malzemeye göre üstün oldukları durumlarda mevcuttur. Lif levhaların direnç özellikleri homojen olarak dağılmaktadır. Masif levhada görülen budak, çürüklük, lif kıvrıklığı gibi olumsuz özellikler lif levhada bulunmamakla birlikte masif levhada görülen farklı yönde çalışma ile çarpılma ve çatlama gibi sorunlar lif levhalarda görülmemektedir. Bu üstün özelliklere sahip olmaları ile çok çeşitli alanlarda kullanılabilen ve üretimleri her yıl artmaktadır. Lif levhaların kullanım alanları dekorasyon işlerinde tavan kaplaması, parke lambri, pano, ara bölme olarak, otomotiv sektöründe ise kapı içlerinde, otobüs gibi araçların tavan ve yan kaplamalarında ve mobilya yapımı olarak sıralanmaktadır.

MDF orta yoğunlukta lif levha olup, termo mekanik olarak odun veya diğer lignoselülozik hammaddelerden elde edilen liflerin belirli bir rutubet derecesine kadar kurutulup, termoset bir tutkal ile tutkallayarak sıcak preste preslenmesi ile elde edilen levhalardır. MDF'lerin yüzey yoğunluğu yüksek ve pürüzlülüğü düşük olmakta, bu özelliği ile her çeşit lake, boya, vernik gibi üst yüzey işlemleri uygulanabilmektedir. MDF levhalarının yüzeyleri reçine emdirilmiş kâğıt ve ahşap kaplama ile kaplanabilmektedir. MDF levhalarının yonga levhaya göre üstün özelliklerine bakıldığında eğilme direnci, elastikiyet modülü, vida ve çivi tutma gücü daha yüksektir.

#### **1.4. MDF Üretiminde Tutkal Kullanımı**

Odun esaslı levha endüstrisinde çeşitli yapıştırıcılar ve reçineler kullanılmaktadır. Levha üretiminde kullanılan tutkalın özelliğinin levha özelliğine etkisi önemli olduğu için kullanım yeri özelliklerine göre levhaların üretiminde yapıştırıcı ve tutkalların önemli bir yeri vardır. Kullanılan yapıştırıcılar içerisinde en fazla yoğunluk formaldehit esaslı kondenzasyon reçinelerinde görülmektedir. Bu reçineler üre, melamin, fenol, resorsinol ya da bunların kombinasyonları ile formaldehitin reaksiyonu ile hazırlanabilmektedirler. Bu tutkallar çoğunlukla sıvı haldedirler ve sulu çözelti içindeki lineer ya da dallanmış oligomerler, polimerler veya bunların dağılımlarından meydana gelmektedirler. Sertleşme



ve jelleşme boyunca üç boyutlu çapraz bağlar oluştururlar ve bu bağlar çözünmez ve erimez bağ yapısındadırlar (Dunky, 2004).

Formaldehit esaslı tutkal grubunda: Üre formaldehit tutkalı (ÜF),

Melamin formaldehit tutkalı (MF),

Melamin üre formaldehit tutkalı (MÜF),

Melamin katkılı üre formaldehit tutkalı (MÜF),

MF ve ÜF tutkalı karışımı (MF+ÜF),

Melamin üre fenol formaldehit reçinesi (MÜPF, PMÜF),

Fenol formaldehit reçinesi (PF),

Fenol üre formaldehit reçinesi (PUF) yer almaktadır. Bu tutkallar içerisinde ÜF reçineleri en fazla kullanılan reçinelerdir.

Dünya genelinde yaklaşık olarak, yıllık on beş milyon ton sıvı formaldehit esaslı tutkal kullanılmaktadır. Avrupa'da tahmini olarak altı milyon ton ÜF reçinesi sıvı olarak satılmaktadır (Dunky, 2004). ÜF reçinesinin levha endüstrisinde en çok kullanılan tutkal olması, pres süresi kısa ve kolay uygulanabilir olmasından kaynaklanmaktadır. Üretilen levhaların su ve neme karşı dirençli olmaları istenmesi halinde melamin reçineleri tercih edilmektedir.

Odun esaslı levhaların performansını, özelliklerini ve bağ kalitesini etkileyen üç önemli parametre bulunmaktadır. Bunlar:

- I. Lif özellikleri, odun, odun yüzeyi, odun yüzeyi arasındaki etkileşim,
- II. Kullanılan yapıştırıcı,
- III. Çalışma şartları ve süreç parametreleridir.

Odun esaslı levhaların uygun özelliklere ve iyi bağ kalitelerine sahip olmaları yukarıda verilen üç parametreden her birinin gerekli bağlanma derecesini sağlamış ve üretim prosesini tamamlamış olması ile elde edilebilmektedir (Dunky, 2003).

MDF üretiminde, ucuz ve kolay uygulanabilmesinden dolayı en fazla kullanılan tutkal ÜF tutkalı olması ile birlikte MF, MÜF ve PF reçineleri de kullanılmaktadır. MDF levhalarının üretiminde kullanılan tutkal levhaların mekanik özelliklerini etkileyen en önemli etkenlerden birisidir. MDF levhaları liflerin reçine ile bağlanıp kuruması ile oluşmuş, yapısal bütünlüğe sahip levhalardır. MDF levhalarının üretiminde toplam maliyetin %30'unu tutkal oluşturmaktadır. Bu sebeple, lif tutkal karışımını en etkili biçimde yaparak reçine tüketimini de minimumda tutmak levhanın toplam maliyetini de önemli ölçüde azaltabilmektedir (Ayrılmış, 2013).

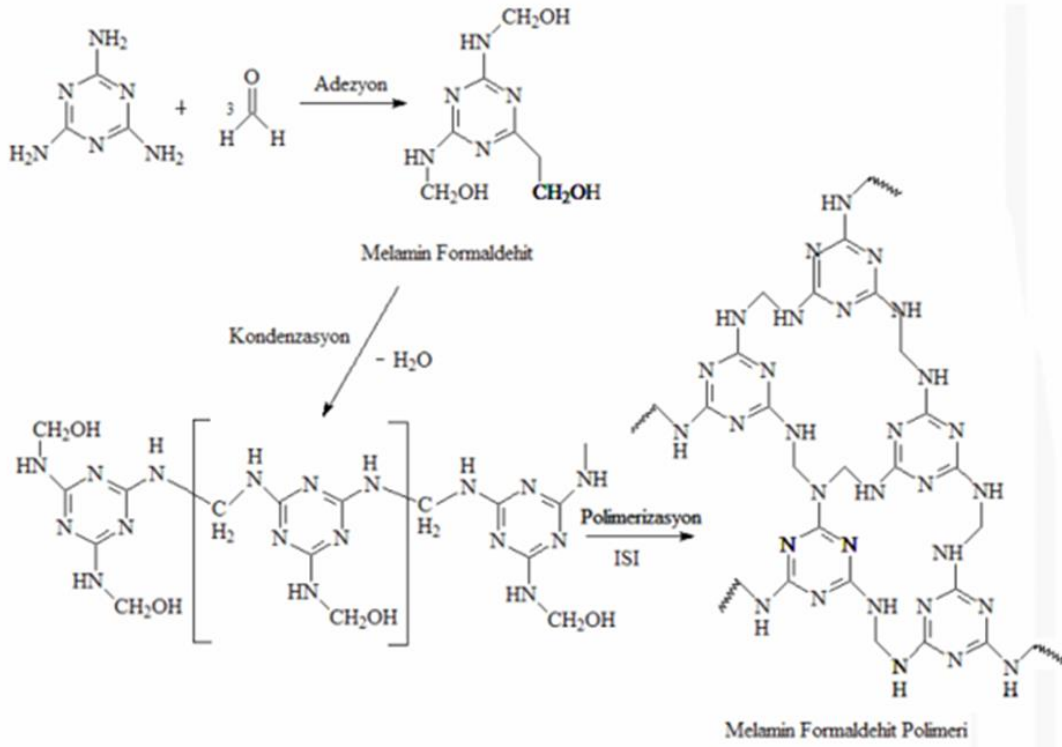
### **1.4.1. Melamin Formaldehit Tutkalları**

Melamin formaldehit tutkalları amino reçineler grubunda yer alan, melamin ve formaldehitin kondenzasyonu ile meydana gelen tutkallardır. Melamin ile formaldehitin kondenzasyon reaksiyonu, üre ile formaldehitin kondenzasyon mekanizmasına benzerdir, sadece melaminin reaksiyon oranı daha hızlı olması ile farklılık göstermektedir (Pizzi, 2015). MF tutkalları yonga levha, lif levha, kontrplak gibi levhaların yüzeylerinin kaplanmasında kullanılan kâğıtların emprenyesinde ve film tutkallarının üretiminde de kullanılmaktadır. MF reçinelerinin ısı stabilitesi ÜF tutkallarından daha yüksektir. MF tutkalları düşük sıcaklıklarda sertleştirici katılmadan sertleşebilmekte, bu durum melamin formaldehit tutkallarına bir avantaj sağlamaktadır (Ayrılmış, 2000). MF reçinelerini ÜF reçinesinden ayıran en büyük özellik suya karşı dayanıklı olmalarıdır.

MF reçineleri ÜF reçinelerine kıyasla daha pahalıdır. Melaminin yüksek maliyetinden dolayı saf MF reçineleri MDF üretiminde yapıştırıcı olarak kullanılamamaktadır. Bu durum MF reçinelerinin kullanım alanını sınırlandırmıştır. Melamin formaldehit reçinesine üre ilavesi ile daha ucuz tutkal üretilenmekte ve melamin formaldehit reçinesi gibi suya ve neme dayanıklı tutkal elde edilebilmektedir. MÜF tutkalları Melamin Formaldehit ve Üre Formaldehit reçinelerinin karışımı ile ya da kuru halde üre ve melaminin karışımı ile üretilenmektedir. Melamin üre formaldehit tutkalları dış ve yarı dış ortamlarda su ve neme dayanıklı levhaların üretiminde kullanılmaktadırlar. MÜF tutkalı ile üretilen levhaların su ve neme dayanıklı olmasının yanında levhaların serbest formaldehit emisyonu değerlerinin azaldığı yapılan çalışmalarda belirtilmiştir.

#### **1.4.1.1. Melamin Formaldehit Tutkalının Kondenzasyon Reaksiyonu**

Melaminin formaldehit ile kondenzasyon reaksiyonu, üre ile formaldehidin reaksiyonuna benzerdir fakat reaksiyon oranı ve reaksiyon mekanizmasında farklılıklar vardır. Formaldehit öncelikle melaminin amino grupları ile bağ yaparak metilol bileşiklerini oluşturur. Melamin'e formaldehit ilavesi üre ilavesinden daha kolaydır. Melamin içindeki amino grubu, ikiden fazla formaldehit molekülünü kabul eder. Böylece melaminin tam metilasyonu mümkün olmaktadır.



Şekil 2. Melamin-formaldehit reçinesini oluşturmak için metilasyon ve sonraki polimerleşme reaksiyonları (Gerengi vd., 2012)

Bir melamin molekülüne formaldehitin en fazla altı molekülü eklenebilir. Metilasyon aşaması, iki ila altı metilol grublu olan bir dizi metilol bileşiğine yol açar. Melamin suda üre'den daha az çözünür olduğu için, MF reçine oluşumunda hidrofilik aşama daha hızlı ilerler. Bu nedenle, MF yoğunlaşmasının hidrofobik ara ürünleri reaksiyonda erken ortaya çıkar. Diğer önemli bir fark ise reçine elde etmek için MF yoğunlaşması ve bunların kurummasının, sadece asit koşulları altında değil, aynı zamanda nötr veya hatta hafif alkali koşullar altında da meydana gelebilmesidir. Hidrofobik ara ürünleri oluşturmak için metilol melaminlerin daha sonraki reaksiyonunun mekanizması, su ve formaldehitin parçalanmasıyla UF reçineleri ile aynıdır. Metilen ve eter köprüler oluşur ve reçinenin moleküler boyutu hızla artar. Bu ara yoğunlaşma ürünleri, ticari MF reçinelerinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Son sertleştirme prosesi, ara ürünleri reaksiyona devam edebilen amino ve metilol gruplarının reaksiyonu yoluyla istenen MF reçinesini çözünmez ve erimez biçime dönüştürür. MF reçinelerinin 100°C'ye yakın sıcaklıkta sertleşmesi durumunda büyük miktarda serbest formaldehit açığa çıkmazken 150°C'ye yakın sıcaklıkta sertleşme boyunca az miktarda serbest formaldehit açığa çıkmaktadır. Bununla birlikte, aynı şartlar

altında sertleşen ÜF reçinelerinde büyük miktarda serbest formaldehit açığa çıktığı görülmüştür ((Pizzi, 2003).

Melaminle formaldehitin maksimum metilasyonu pH 8,5-9,0 aralığında oluşmaktadır. Bu aralıkta metilasyon ve ilave kondenzasyon reaksiyonu 80 °C sıcaklıkta yüksek molekül ağırlığına sahip tutkallar vermektedir. MF tutkalı üretiminde pH 7'den düşük seçilmemelidir.

#### **1.4.2. Üre Formaldehit Tutkalı**

ÜF reçineleri amino reçine sınıfının en çok kullanılan ve en önemli reçinelerindedir. ÜF tutkalı fenol ve melamin formaldehit reçinelerine göre daha ekonomik, kullanımı kolay ve düşük presleme sıcaklığı ile odun esaslı levha üretiminde en çok tercih edilen tutkaldır. Dünya genelinde odun esaslı levha üretiminin %90'ı ÜF tutkalı kullanılarak üretilmektedir (Pizzi ve Mittal, 2003). Üre formaldehit reçinesinin özelliklerini reaksiyon süresi, pH değeri, sıcaklık ve F/Ü molar oranı etkilemektedir. F/Ü mol oranının düşürülmesi sertleşme sonrası ortaya çıkan serbest formaldehit değerini düşürmekte fakat tutkalın sertleşme süresini uzatmaktadır. ÜF tutkalı ısı ile birlikte asit bir sertleştirici kullanılması ile daha hızlı sertleşmektedir. Kullanılan odun türünün pH'ı sertleştirmede kullanılan sertleştirici miktarına karar vermede etkili olmaktadır (Ayrılmış, 2000).

Üre ve Formaldehitin reaksiyonu temel olarak bir alkali metilasyon aşaması ve bir asit kondenzasyon basamağından oluşan iki aşamalı bir işlemdir. Üre, formaldehit ile reaksiyona girer ve metilol bileşikleri meydana gelir. Reaksiyonun devam etmesi ve suyun eliminasyonu ile çözünür halde olan düşük molekül ağırlıklı kondensatlar oluşur (Pizzi, 1994). ÜF reçineleri ısı ile sertleşen, doğrusal veya dallanmış oligomerler ve polimerlerden oluşmaktadır. ÜF reçineleri reaktifliklerinin yüksek olması sebebi ile en hızlı sertleşen tutkallardır. Serbest formaldehitin varlığı hem pozitif hem de negatif etkilere sahiptir. Sertleşme reaksiyonunda serbest formaldehit gerekli olurken, sıcak preste reçinenin sertleşmesi sırasında belli bir miktar serbest formaldehit emisyonuna neden olmaktadır. Sertleşmiş halde olan tutkalın içerisinde bulunan düşük miktarda formaldehit, kullanım sırasında yayılma ve kokuya sebep olmaktadır. Bu durum ÜF tutkallarının bileşimini ve F/Ü mol oranlarını önemli ölçüde değiştirmiştir (Dunky, 2003).

ÜF tutkalı üretiminde F/Ü mol oranı 1,1:1 ile 2,0:1 arasında değişmektedir. ÜF tutkalında F/Ü mol oranı ne kadar yüksek olursa reçine içindeki serbest formaldehit içeriği

de o kadar yüksek olmaktadır. F/Ü mol oranı reçinenin formaldehit emisyon seviyesini belirleyen önemli bir ölçüt olmaktadır. Yüksek mol oranlı tutkal üretimi sırasında formaldehit tutucu kullanılarak daha iyi sonuçlar alınmıştır. F/Ü mol oranını azaltmak serbest formaldehit emisyonunu azaltacak fakat reçinenin sertleşmesi durumunda çapraz bağlanma derecesine bağlı olarak reaktivitesi değişecektir. ÜF reçinelerinin serbest formaldehit emisyonlarını azaltmak reçinenin performansında değişiklik olmadan elde etmek zor bir olaydır. Çünkü formaldehit kondenzasyon reaksiyonu sırasında ve sertleşme sırasında üre ile bağ yapmaktadır. Molar oranının azalması ile reçinenin sertleşen ağında dallanma ve çapraz bağlanma derecesi düşmektedir. Bu durum, yapışma mukavemetinde azalmalara yol açmaktadır. Çapraz bağlanma derecesi iki bileşenin molar oranı ile doğrudan ilişkilidir (Dunky, 2003).

UF reçinelerinin sadece iki ana bileşenden (üre ve formaldehit) oluşmasına rağmen, çok çeşitli olası reaksiyonlar ve yapılar sunarlar. UF reçinelerinin temel özellikleri, moleküler düzeyde şu şekilde açıklanabilir:

- Reaktiviteleri yüksektir
- Suda çözünebilirler
- Ağaç işleri endüstrisinde kullanım için idealdir
- Su, nem ve özellikle yüksek sıcaklığın etkisi ile ÜF tutkallarının direnci düşüktür. Bu durum aminometilen zincirinin tersinirliği ile açıklanmaktadır. Amino reçinelerinin en büyük dezavantajı, su ve nemin sebep olduğu bağ bozunmasıdır. Bunun nedeni aminometilenik bağların hidrolizidir (Pizzi, 1994). Bununla birlikte, bu durum ÜF reçinesinin kuruması ve kullanım sırasında formaldehit emisyonunun nedenlerinden biridir (Dunky, 1998). Aminometilen zinciri hidrolize duyarlıdır ve bundan dolayı yüksek nispi nemde stabil değildir. Yüksek sıcaklıklardaki nem ÜF tutkalının degradasyonuna sebep olurken, sıcaklığın artması daha fazla yıkıcı etki yapmaktadır (Dunky, 1998). Bu sebeple, saf ÜF reçineleri sadece iç mekân uygulamalarında kullanılan levha üretiminde kullanılmaktadır.

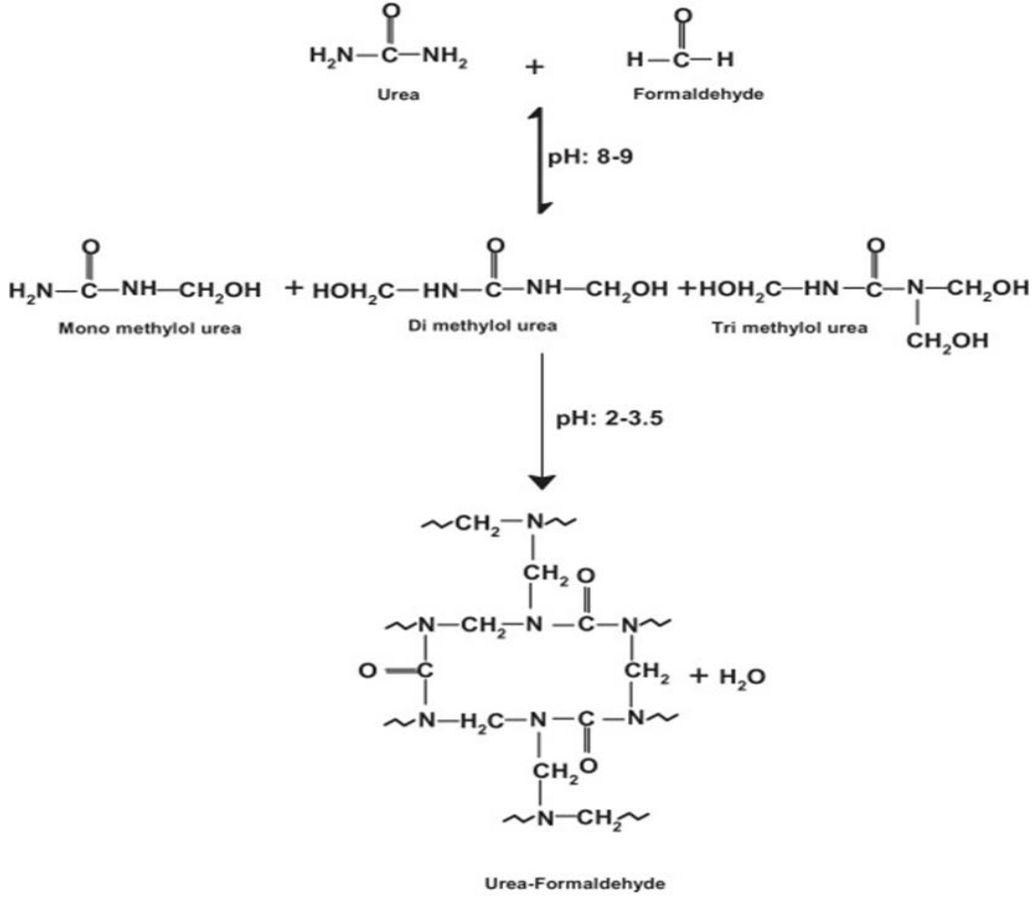
#### **1.4.2.1. Üre Formaldehit Tutkalının Kondenzasyon Reaksiyonu**

Üre ve formaldehitin reaksiyonu temel olarak iki adımlı bir prosesdir. Bunlardan ilki alkali metilasyon ve ikincisi asit kondenzasyon aşamasıdır. Metilasyon, bifonksiyonel formaldehitin üç kadar molekülüne (teoride 4) bir molekül ürenin ilave olmasını ifade

etmektedir ve oluşan bileşiklere metilol üreler denilmektedir. Bu tersinir reaksiyon ÜF reçinelerinin en önemli özelliklerinden birisidir ve hem su veya nem saldırısının neden olduğu hidrolize karşı düşük direnç, hem de bunu takip eden formaldehit emisyonundan sorumludur (Dunky, 1998).

Reaksiyon ürünlerinin özelliklerini belirlemede en önemli faktörler üre ve formaldehitin nispi molar oranları, reaksiyon sıcaklığı ve kondenzasyon oluşumunda pH değerleridir. Bu faktörler tutkalın moleküler ağırlığının artışı oranında etkilidir. Bununla birlikte, tutkalın sertleşme oranı, su tutma, viskozite ve özellikle çözünürlüğü düşük ve yüksek kondenzasyon şartları ile kıyaslandığında reaksiyon ürünlerinin karakteristikleri çok farklıdır. Bütün bunlar moleküler ağırlıkları üzerinde etkilidir (Pizzi, 2003).

Üre ve formaldehit arasındaki reaksiyon iki aşamaya bölünmüştür. Birinci kısım olan alkali pH'ta, oda sıcaklığında formaldehit ve ürenin reaksiyonu metilolürelerin oluşmasına sebep olur. Alkali kondenzasyonda mono, di ve trimetilolüreler oluşur. İkinci aşama metilol ürelerin asit kondenzasyonudur, bu aşamada metilol üreler ilk olarak çözülebilir daha sonra çözünmez çapraz bağlı reçineye dönüşmektedir. Mono ve dimetilol ürelerden oluşan üre ve formaldehitin alkali ürünleri aşağıdaki şekilde gibidir (Pizzi, 2003).



Şekil 3. Formaldehite üre ilavesi ile mono, di, tri metilol üre ve üre formaldehit oluşumu (Siva ve Sathiyarayanan, 2015)

Monometilen üreler asit katalizör tarafından kopolimer ve polimer ürün oluştururlar ve daha sonra yüksek şekilde dallanmış ve sertleşmiş ağlar meydana getirirler. Reaksiyon oranı pH 5-8 aralığında Ü/F molar oranı 1:1 de ve pH 6,5'da Ü/F molar oranı 1:2 için minimum reaksiyon oranı pH değerine göre değişmektedir. Ü/F molar oranı 1:2 için reaksiyon hızı Ü/F molar oranı 1:1 olan reaksiyondan üç kez daha yavaş olduğu kanıtlanmıştır (Pizzi, 2003).

Metilenbisürenin (ÜF dimerleri) oluşması için monometilenüre ile ürenin kondenzasyon hızı pH'a bağlıdır. Bu durum pH ikiden üçe, nötral pH değerine doğru katlanarak azalmaktadır. Alkalin pH değerlerinde kondenzasyon reaksiyonu oluşmaz. Metilenbisüre ve daha yüksek oligomerler, üre gibi davranan formaldehit ve monometilolüre ile daha fazla kondenzasyona maruz kalırlar. Metilenbisürenin zayıf asit çözeltilerinde üre ve metilolürenin hidrolize olma kabiliyeti, amidometilen bağlantısının ve zayıf asitte (nemliliği) kararsızlığının tersine çevrilebilirliğini göstermektedir. Bu durumda, ÜF

tutkalları ile üretilen yonga levha, lif levha ve diğer odun ürünlerinin uzun süre yavaş formaldehit salınımını yapmasını açıklamaktadır (Pizzi, 2003).

### 1.5. Lif Levhada Higroskopik Olayı ve Boyutsal Kararlılık

Odun esaslı levhalar, buldukları çevrenin sıcaklığı ve nemine bağlı olarak su alıp verebilen, higroskopik malzemelerdir. Orta yoğunluktaki lif levhanın su veya neme maruz kalması durumunda oluşan boyuna uzama özelliği masif oduna benzemekte ve lifin hücre duvarlarında şişme olarak açıklanmaktadır (Ganev vd., 2005). Nem, odunda serbest su (hücre lümeni ve boşluklarında su buharı ya da sıvı su) ya da bağlı su (hücre duvarları içerisinde intermoleküler çekim ile tutulan) şeklinde bulunmaktadır. Hücre duvarlarında bulunan su lif doygunluk noktasını ifade etmekte, havanın nispi nemi ve sıcaklığına bağlı olarak bağlı su ve serbest su arasında geçişler olabilmektedir. Odunda lif doygunluk noktasından daha fazla nem içermesi durumunda boyutsal olarak kararlı olmaktadır. Odun hammaddesinin su alması, içerisinde bulunan hücre duvarındaki polimerlerin hidroksil gruplarının bağ yapma özelliğinden ileri gelmektedir. Bu hidroksil grupların higroskopik gruplara dönüştürülmesi gerekmekte ve bunun için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır (Cai vd., 2010). Lif levhada masif odundaki gibi var olan hidroksil gruplarını çeşitli yöntemlerle bağ yapması sağlanarak levhanın su alması engellenmiş ve boyutsal kararsızlığı giderilmeye çalışılmıştır.

% 70 nispi neme eş değer denge rutubetine kadar preslenmiş odun kompozit malzemelerde kalınlık yönünde şişme daha yoğun olmakla birlikte masif odun türlerinin teğet yönde şişmesine benzerlik göstermektedir. Oluşan bu şişme telafi edilebilir seviyededir. %80 nispi neme eş denge rutubetinden fazlası durumunda şişme artmakta ve şişmenin telafisi mümkün olmamaktadır. Şişme oranı ıslanma koşullarının artması ile artmakta ve dönüşü mümkün olmamaktadır. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda kalınlığına şişmenin %20'yi aşması durumunda levhanın kurtarılamayacağını belirtmişlerdir (Carll ve Wiedenhoeft, 2009).

MDF levhalarının boy uzama, kısılma değerleri, kalınlığına şişme ve daralma değerleri boyutsal kararsızlığının değerlendirilmesinde önemli özelliklerdir. Odun esaslı levhaların nem içeriği ve yoğunlukları, levhaların boyutsal kararlılığında etkili olmaktadır. Nem içeriğinin dağılımı levha kalınlığı boyunca eşit olmamasından dolayı levhada kalınlık şişmesi ve boy uzaması farklı oranlarda olabilmektedir. Levhanın boy



uzaması değeri kalınlık şişmesi değerinden daha az olmaktadır. Odun esaslı levhalarda boyca uzamanın kontrol faktörü olarak kullanılması öngörülmektedir. Endüstriyel kullanım için stoklanan lif levhaların, bu stoklanma süresince levhanın boyca uzaması önemli bir konudur. Stoklama sırasında levhaların nem alarak boy ölçülerinin değişmesi ve levha içerisindeki bağ yapısının zarar görmesi sonucunda bu levhalardan üretilen ürünlerin kullanım yerinde sorunlar meydana gelmektedir (Ayrılmış vd., 2007).

Panelin nem içeriğinin azalması ya da artması sonucunda levhada oluşan boy uzaması ya da kısılması toplam olarak sınırlanması durumunda veya panelin ölçülerinin geniş olması durumunda daha önemli olmaktadır (Ayrılmış, 2008). Orta yoğunluktaki lif levhanın su ile temasında kontrplak ile kıyaslandığında daha fazla şişme özelliği gösterdiği ve levhanın kuruması sonucunda geri dönüşü olmayan sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Bu durum iki nedene bağlıdır: birincisi; odun lifinin doğasında olan su alma yeteneği ve ikincisi ise sıcak pres boyunca lif pastasının içinde kalan gerilimdir (baskıdır). Bu sebepten dolayıdır ki, MDF su ile temas etmesi durumunda su alır ve içerisinde bulunan gerilimin bir kısmını bırakır ve bunun sonucunda levhanın kalınlığında artış ile kalan gerilimi de bırakarak levhanın şişmesi gerçekleşir (Ayrılmış vd., 2009). Odunun kendi özelliğinden kaynaklı şişmenin kurtarılabılır olduğu düşünülmektedir. Ancak basınç geriliminin salınmasından kaynaklanan şişmenin geri kazanılamayan şişme olarak değerlendirilmektedir. Bu durumda, levhada oluşan şekil bozukluğu geri yaylanma olarak da adlandırılmaktadır (Wang ve Winistorfer, 2003).

Lif levhanın nem içeriğinin artması veya azalması levha içerisinde bulunan lif ve tutkal karışımı ile oluşan bağlara etki eder. Nemin yükselmesi iç gerilime sebep olmaktadır. Bu gerilimler üretim sonrasında panelde bombeli görünüm, panelin ayrılması ve liflerin dışarı çıkması şeklinde etkili olabilecek büyüklükte olabilmektedirler. Gerçekleştirilen literatür araştırmasında odun esaslı levhalarda oluşan boyutsal kararsızlık durumunun üretim sürecindeki değişkenler ile etkilendiği ve başlıca değişkenlerin levhanın bağ yapısı, lif yapısı ve levha yoğunluğu şeklinde olduğu görülmüştür. Odun esaslı levhalardaki boyutsal kararsızlığı azaltmak adına yapılan çalışmalarda üç farklı üretim metodu gerçekleştirilmiştir. Kelly (1977) tarafından yapılan çalışmada bu metotlar; ön işlem, son işlem ve üretim teknolojisi olarak sıralanmıştır. Ön işlem metodunda; lifleri ön buhar ve kimyasal ile muamele etmek ya da ısı ile muamele etmek yer almaktadır. İkinci metotta; sağlam panel üretme imkânı veren ve en çok kullanılan termal işlem yer almaktadır. Üçüncü metotta ise liflerin su itici kimyasal ile muamele edilmesi ve reçine içeriğinin geliştirilmesini içeren

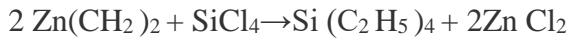
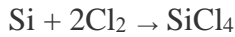
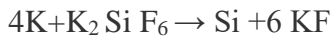
teknolojik yöntemler yer almaktadır. Vakslar, silaxane ve akrilik elastomer sistemleri ve silikonlar su itici kimyasallar olarak levha üretiminde kullanılmaktadır (Mantanis ve Papadopoulos, 2010).

## 1.6. MDF Üretiminde Su İtici Kimyasal Maddeler

### 1.6.1. MDF Üretiminde Silikonların Kullanılması

#### 1.6.1.1. Silikonların Üretimi ve Tarihçesi

Silikon terimi; “doğrudan silikonla birleştirilmiş hidrokarbon grupları olan, bir silikon ve bir oksijen omurgaya dayanan polimerik malzemeyi ifade etmektedir” (Ghosh, 2009). Silikonlar Berzelius tarafından 1824 yılında potasyumun potasyum fluorosilikata dönüşümü ile keşfedilmiştir. Silisyumun klorin ile reaksiyona sokulması ile tetraklorosilan olarak tanımlanan uçucu bir bileşik elde edilmiştir. Sonrasında 1863 yılında Friedel ve Craft tarafından ilk organik silikon bileşiklerinin sentezi yapılmış ve aşağıda bu kimyasal işlemler sırası ile verilmiştir.



1871 yılında Ladenburg dietildiethoksisilanın  $(C_2H_5)_2Si(OC_2H_5)_2$  seyreltik asit varlığında yalnızca çok yüksek sıcaklıkta bozulduğunda yağ elde edildiğini keşfetti. Bütün bu buluşların yanı sıra Kipping Grignard reaksiyonları ve büyük moleküllerin eldesi için klorosilanların hidroliz edilmesi ile çeşitli silanların keşfedilmesini sağlayan organosilikon kimyasının temelini attı. Silikon adı ketonlara benzemesi ile 1901 yılında Kipping tarafından verildi. 1940 yılına gelindiğinde Dow Corning'in Hyde silikon reçinelerinin yüksek elektriksel direnç göstermesi ile bu silikonları ticari olarak kullanılan malzemeler haline getirmiştir. General Elektrik Rochow Si ve MeCl (Me=CH<sub>3</sub>) den silikon hazırlanması için bir yöntem bulmuştur (Silicon Chemistry, 1997).

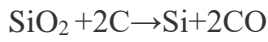
Silikonlar üç adımda sentezlenerek elde edilmektedirler:

- 1- Klorosilan sentezi
- 2- Klorosilan hidrolizi
- 3- Polimerizasyon ve polikondenzasyon

Tablo 4. Silikon polimer sentezinin temel adımları (Ghosh, 2009)

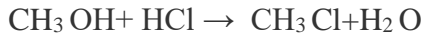
1. Silikanın silikona indirgenmesi	$\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$
2. Klorosilan sentezi	$\text{Si} + 2\text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2 + \text{CH}_3\text{SiCl}_3 + (\text{CH}_3)_3\text{SiCl} + \text{CH}_3\text{HSiCl}_2 + \dots$
3. Klorosilan hidrolizi	$\text{Cl}-\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si}-\text{Cl} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}-\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si}-\text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_x - \text{H} + \left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si}-\text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_{3,4,5} + \text{HCl}$ <p style="text-align: center;">Doğrusal                      Siklik</p>
4. Polimerizasyon ve polikondenzasyon	$\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si}-\text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right] \rightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si}-\text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_y$ <p style="text-align: center;">Siklik                      Polimer</p> $\text{OH}-\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si}-\text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_x - \text{H} \rightarrow \text{OH}-\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{Si}-\text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_z - \text{H} + z\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">Doğrusal                      Polimer</p>

Bugün ticari olarak üretilen silikonlar yüksek sıcaklıkta kumun ayrışması ile elde edilen Si metalinin kullanımı ve Rochow prosesi ya da doğrudan proses ile hazırlanan klorosilanlardan elde edilmektedir.



Metilklorid, hidroklorik asitin metanol ile kondenzasyonu sonucunda elde edilmektedir.

Kat.



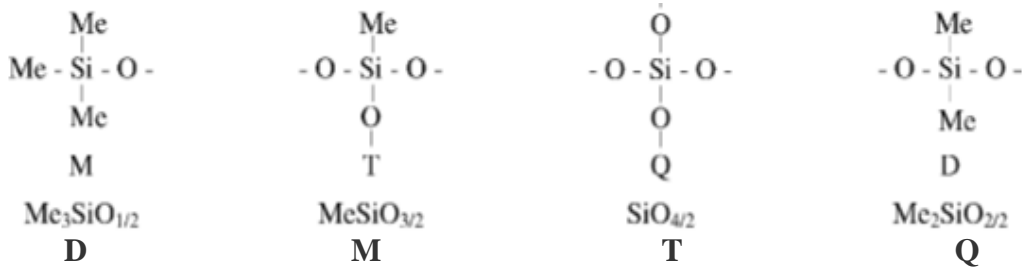
Reaksiyon genellikle 1-5 bar basınçta 250-350°C sıcaklıkta metal tozun metilkloridin akışkan olmasına varan koşullarda silikonun akışkanlaşmış yatağında oluşmaktadır. Farklı silanların karışımı ile çoğunlukla dimetildiklorosilan elde edilmektedir.

En yaygın olan silikonlar aşağıdaki şekilde verilen polidimetilsiloksandır.



Şekil 4. Polidimetilsiloksan temel yapısı (Buyl, 2001)

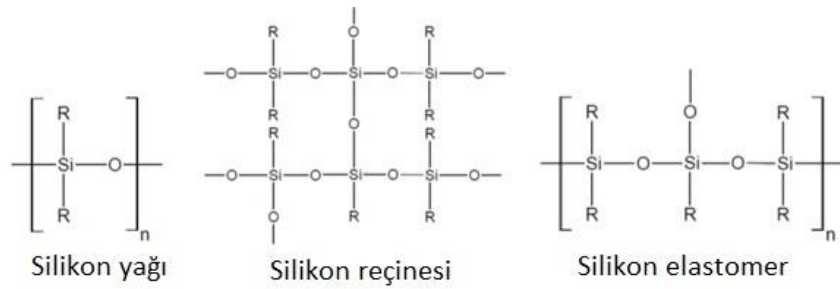
Bu polimerler n değerinin büyük olması halinde bile doğrusal polimerler olup sıvı haldedir. Ana zincir birimi (SiMe<sub>2</sub>O) dur ve kısaca D harfi ile gösterilir. Silikon atomu iki hidrojen atomu ile bağlıdır ve bu birimler polimer içinde iki yönde genişleyebilirler, M-T-Q birimleri şeklinde kısaca gösterilirler (Silicon Chemistry, 1997).



Şekil 5. Silikon reçinesinde bulunan birimler (Buyl, 2001)

Bu grupların karışımı ile farklı kullanım alanlarında ve farklı özelliklerde silikonlar üretmek mümkündür. Ticari organosilikon polimerlerin yaklaşık % 80'i stabilitelelerinin, ısı, kimyasallar ve UV radyasyonunun varlığında inertliği ile bilinen polidimetilsiloksanlardır. En yaygın silikon tipi lineer polidimetilsiloksan veya PDMS'dir. Esas olarak D birimleri içeren bu silikon yağı (Şekil 4), farklı M uç grupları ile yani metoksi grupları ile sonlandırılabilir. Doğrusal metilsiloksanlar, daha düşük erime noktalarına, çok daha geniş bir sıvı aralığına ve siklik formlardan daha düşük yoğunluklara sahiptir. Aynı zamanda, daha düşük bir viskoziteye sahiptirler ve değişen sıcaklıkta viskozitelerini daha yavaş değiştirirler. Bu da onları yağlayıcılar veya hidrolik sıvılar, izolatörler gibi kullanım alanlarında uygun hale getirmektedir. Silikon malzemelerin ikinci en büyük grubu silikon reçinelerine dayanmaktadır (Şekil 4). Bunlar dallı ve kafes benzeri oligosiloksanlar tarafından oluşturulmuşlardır. En bol bulunan silikon reçineler D ve T birimleri veya M ve Q birimlerinden oluşur. Bununla birlikte, birçok başka kombinasyon da mümkündür. Bu yüksek derecede yoğunlaşmış moleküller, basınca duyarlı yapııştırıcılar, silikon kauçuklar, kaplamalar, katkı maddeleri, duvar su iticiler gibi geniş bir ürün yelpazesini temsil

etmektedir (Mayer 1998). Silikon malzemelerin üçüncü bir grubu elastomerlerdir (Şekil 4). Çoğunlukla son derece yüksek molekül ağırlıklı metil silikondan oluşan D birimleridir ve birbirlerinden büyük ölçüde bağımsız kalırlar. Bununla birlikte, esnek elastik malzemenin yerinde kalması için uygun bir zamanda birkaç seçilmiş noktada çapraz bağlanabilirler. Esas olarak kauçuk, fırın contaları veya elektrik yalıtımı için kullanılırlar (Rochow 1987, Colas 2005, Vetter, 2009).



Şekil 6. Üç farklı silikon tipinin kimyasal yapısı (Vetter, 2009)

Organofonksiyonel silanlar çift işlevli bileşikler olup, merkez silikon atomuna bağlanmış organofonksiyonel grup ve silikon fonksiyonel grup içermektedirler. Bundan dolayı, pek çok alanda kullanılabilirler (Özluoğlu 2018). Organofonksiyonel silanlar, cam, mineraller, metaller ve organik polimerler (termo setleri, termoplastikler, elastomerler) gibi inorganik materyaller arasında yapışma arttırıcı olarak kullanılır. Bunlar, ayrıca inorganik ve organik materyallerin yüzey değiştiricileri olarak kullanılır. İşlenmiş malzemenin hidrofobasyonu nedeniyle silanlar, iyileştirilmiş bir ıslatma veya koruyucu bir kaplama uygulama alanlarıdır. Organofonksiyonel silanlar, polimerlerin nem çapraz bağlanması için çapraz bağlama maddeleri olarak hareket edebilirler.



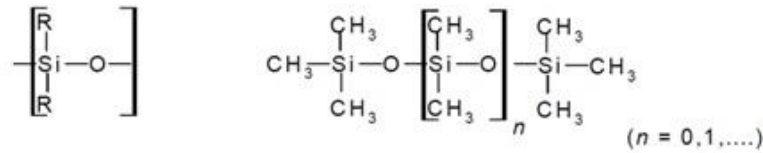
Şekil 7. Organofonksiyonel silanların yapısı

Bir silanın merkezi birimi olarak silikon iki farklı fonksiyonel grupla birleştirilir. Organofonksiyonel grup (Y), kararlı tepkimeye girmeyen bir karbon zinciri yoluyla silisyuma güçlü bir şekilde bağlıdır. Bir polimere yapışma bu gruptan gerçekleşir.

Organofonksiyonel gruplar için örnekler şunlardır: Amino, epoksi, vinil, metakrilik ve merkaptto gruplarıdır. Çoğunlukla bir alkoksi grubu olan ve doğrudan silisyuma bağlı olan silikon fonksiyonel grubu X, inorganik bir substratın aktif merkezleriyle hidrolizinden veya diğer silikon bileşikler ile yoğunlaşmasından sonra reaksiyona girebilir. Böylece kararlı bağlar oluşturulabilir. Çoğunlukla iki silikon fonksiyonel grup ile organofonksiyonel silanlar kullanılır (Kloeser ve Kharazipour, 2007).F

Odunun silikon bileşikleri ile birlikte modifikasyon çalışmaları literatürde yer almaktadır. Odunun siloksan bileşikleri ile modifikasyonu sonucunda oduna su iticilik özelliği kazandırıldığı yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir (Ghosh, 2009). Silanlar ile doğal lifler lif yüzey işleme ve hücre duvarı modifikasyonu olarak iki şekilde işlem yapılmaktadır. Hidrolize silan çözeltileri ve doğal lifin karıştırılması sonucunda reaktif olan silanol grupları Si-O-Si bağlarını oluşturur. Doğal liflerde bulunan hidroksil grupları silanoller arasında oluşan hidrojen bağları hidrolize duyarlı olmasına rağmen sıcaklık ile birlikte hidrojen bağları daha kararlı kovalent bağlara dönüşmektedir. Silanoller lif yüzeyinde sıcaklığa bağlı olarak yoğunlaşma reaksiyonu sonucunda tek tabaka halinde polisiloksan tabakaları oluşturur. Yoğunlaşma sonucunda oluşan Si-O-Si bağı Si-O-C bağına göre hidrolize karşı daha karardır. Oluşan bu polisiloksan tabakaları hücre duvarında herhangi bir difüzyon olayını engelleyebilmektedirler. Bu reaksiyon ile lif hücre duvarında bulunan hidroksil bölgelere reaktif silanollerin mevcudiyeti sağlanmış olmaktadır. Polisiloksan yapı hücre duvarındaki nano boyuttaki gözeneklerin boyutunu azaltarak su girişini engellemektedir (Xie vd., 2010).

Aşağıda siloksan ve polidimetilsiloksanın yapısı görülmektedir.



Siloksan

Polidimetilsiloksan

Şekil 8. Siloksan ve polidimetilsiloksanın yapısı (Ghosh 2009)

### 1.6.1.2. Silikonların Kullanım Alanları- Özellikleri ve Çevreye Etkileri

Ticari olarak en çok kullanılan PDMS polimerleri 10-100.000 cP viskozitede üretilmekte ve çok düşük miktarda akut zararlı etkiye sahiptirler. Ağız yolu ile alındığı takdirde vücut tarafından absorbe olmazlar. Tekrarlanan durumlarda ağızdan, deri yolu ile ve solunması sonrasında olumsuz etkiler görülmemiştir. Hayvanlar üzerinde yapılan testlerde, uzun süre kimyasala maruz kalınması durumunda, testlerde toksik etki gören organ veya organlar belirtilmemiştir. İnsan sağlığına olumsuz etkilerinin olmaması PDMS polimerlerinin insan yaşamında geniş bir şekilde kullanabilmesine olanak sağlamıştır (Mai ve Militz, 2004).

Siloksanların pekçoğunun çok düşük zararlı etkiye sahip olmaları, kozmetik ürünlerinde kullanılmasını ve biyomedikal uygulamalarda materyal olarak kullanılmasına izin vermiştir. Literatürde polidimetilsiklosiloksanlar gibi uçucu silikon oligomerler ve düşük molekül ağırlıklı kısa zincirli doğrusal oligomerler atmosferde ozon tabakasına zarar vermediği ve bu uçucu silikon oligomerler USA'da EPA tarafından düzenlenen uçucu organik bileşiklerden muaf tutulmuştur. Atmosferin üst tabakasında uçucu silikon oligomerler çabucak fotokimyasal olarak bozunmakta ve ozon tabakasına zarar vermemekle, birlikte küresel ısınmaya da önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Buyl, 200; URL-4, 2013).

Polisiloksanların özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

1. Konformasyon ve uzaysal konfigrasyonlar oluşturmaları,
2. Polimer zincirlerinin esnek olması,
3. Denge ve dinamik esnekliğine sahip olmaları,
4. Kararlı, güvenilir ve çevreye olumsuz etkilerinin olmaması,
5. Isıya ve soğuya dayanıklı olmaları ve termal kararlılık göstermeleri,
6. Hava şartlarına ve ozona dayanıklı olmaları,
7. Sıcaklık ile fiziksel sabitlerinin çok az değişmesi,
8. İyi bir dielektrik özellik göstermeleri,
9. Film oluşturma yeteneklerinin olması,
10. Hidrofobik özellik vermeleri
11. Odun koruma ve levha üretiminde kullanım olanakları

Silikonların kullanım alanları; inşaat sektörü, seramik sanayi, metal işleciliği, korozyon korunması, boya ve vernik sanayi, tekstil sanayi, deterjan, kâğıt ve ambalaj sanayi,

yapıştırıcı üretimi, deri ve mobilya sanayi, elektronik ve elektroteknik sanayi, dış cephe kaplamacılığı, kozmetik ve ilaç sanayi, medikal malzeme üretimi, hava ve uzay taşımacılığı, kompozit üretimi şeklinde sıralanmaktadır.

Silikonların kullanım alanlarında oluşturdukları etkiler sıralandığında aşağıdaki gibidir:

-Fiberglas ve kompozitlerde: kompozitlerin mekanik özelliklerini, elektrik özelliklerini, yüzeyde nem saldırısına karşı korumayı, lif teli bütünlüğünü koruma ve işlemeyi geliştirir.

-Tutkallar ve bağlayıcılarda: İlk yapışma özelliğini, uzun süre kullanımda yapışkan bağ özelliğini, ısı direncini ve kimyasal direnci geliştirir.

-Su itici ve yüzey korumada: Su iticilik özelliği, uzun süre dayanıklılık (kararlılık), UV stabilitesini, penetrasyon derinliğini, su buharı geçirgenliği, seyreltme kapasitesini ve stabilitesini, görünümünü geliştirir.

-Boya mürekkep ve kaplamada: Aşınma direnci, yapışma, akış ve termal stabilizeyi geliştirmek için çapraz bağı ve dayanıklılığı, pigment ve dolgu dağılımını, UV direncini, su ve kimyasal direnci iyileştirir (Silane Chemistry, 1997).

- Bağlantı maddeleri: Kompozit bir malzemenin hem güçlendirilmesi hem de reçine matrisi ile reaksiyona girebilen kimyasal maddeler olarak iş görürler. Ayrıca, ara yüzeyde daha güçlü bir bağ oluşturmak veya iletirmek için inorganik dolgu maddeleri veya lifleri organik reçinelere bağlayabilir. Ajan, ikisi arasında kimyasal bir köprü oluşturmak için reçine ve cam lifi (veya mineral dolgu maddesi) arasında ara yüz görevi görür. Bir birleştirme maddesi olarak kullanıldığında, silanlar organik polimerleri mineral veya silisli dolgu maddelerine bağlar ve aşağıdakileri sağlar:

-Geliştirilmiş karıştırma,

-Pigment veya dolgu maddelerinin reçinelere daha iyi bağlanması,

-Artırılmış matris gücü,

-Daha düşük su alımı,

-Daha az aşınma (Goyal, 2006).

Bunlara ilaveten, doğru silan birleştirme maddesinin kullanılmasıyla kompozitlerde, bükülme mukavemetinde önemli bir artışın sağlanması mümkündür. Silan birleştirme ajanları ayrıca kaplamaların ve yapıştırıcıların bağlanma mukavemetini neme ve diğer olumsuz çevresel koşullara karşı dirençlerini artırır (Silane Solutions, 2009).

Silikonların çevredeki durumu ve çevre üzerindeki etkilerini yaşam döngüleri boyunca değerlendirmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır. PDMS imalat sürecinden çevreye



bırakılmaları sürece kadar kesinlikle kontrol edilir ve düzenleyici otoriteler tarafından belirlenen emisyon sınırlarına uymak zorunludur. Daha sonra, silikonların çevresel kaderi büyük ölçüde uygulamanın doğasına, malzemenin fiziksel şekline ve imha yöntemine bağlıdır. “Katı” silikonlar çevreye evsel veya endüstriyel atıkların bir bileşeni olarak girer veya toprakla doldurulur ya da yakılır. İkinci durumda, tekrar inorganik bileşenlere, amorf silika, karbon dioksit ve su buharına dönüştürülür.

"Sıvı"şampuanlar, saç kremleri veya deterjanlardaki silikon köpük önleyiciler gibi durulama ürünlerinde kullanılan hem yüksek hem de düşük molekül ağırlıklı silikonlar, belediye atık suyunun bir parçası haline gelir. Yüksek molekül ağırlıklı silikonlar, suda neredeyse hiç çözünmez, bu nedenle organik madde için yüksek bağlanma potansiyellerinin bir sonucu olarak, atık su arıtması sırasında belediye atık sularından çamurun üzerine etkili bir şekilde ayrılırlar. Kapsamlı çalışmalar, silikonların% 95'inden fazlasının bu şekilde atık sularından çıkarıldığını ve tahliye edilen atık sulardaki konsantrasyonun tespit seviyesini sınırladığını göstermektedir. Bunu izleyen silikonların kaderi çamurun kaderine bağlıdır. Yakıldığında, silikonlar yukarıda belirtildiği gibi bozulur. Çamur için diğer ana çıkış toprak düzenleyici veya değişiklik olarak kullanılmaktadır. Küçük ölçekli saha çalışmalarında, lağım çamurlarına bağlı PDMS'nin toprağa uygulanmasında, ürün büyümesinde veya toprak organizmalarında herhangi bir olumsuz etki gözlemlenmemiştir. Yüksek moleküler ağırlıklı PDMS'nin, bitkilerin veya hayvanların biyolojik zarlarından geçemeyecek kadar büyük olduğunu gösteren hayvan çalışmalarıyla tutarlı olarak, bitkilere çok az miktarda veya hiç alım gözlenmemiştir. Küçük ölçekli laboratuvar testlerinden saha çalışmalarına kadar uzanan kapsamlı çalışmalar, lağım çamuruna bağlı PDMS'nin topraklarda bozulduğunu göstermektedir. Kil mineralleriyle teması sonucunda kil, siloksan omurgasını depolimerize etmek için bir katalizör görevi görür. PDMS molekül ağırlığı ne olursa olsun, birincil bozunma ürünü dimetilsilandiol,  $\text{Me}_2\text{Si}(\text{OH})_2$ 'dür. Toprak türüne bağlı olarak, ya biyolojik ayrışma yoluyla toprakta daha fazla bozulmaya uğrar ya da hidroksil radikalleri ile reaksiyona girerek oksidatif olarak bozulduğu atmosfere buharlaşır. Bozulma toprakta veya havada gerçekleşse de, inorganik bileşenlere, amorf silika, karbondioksit ve suya dönüşüm vardır (Stevens, 2007).

### **1.6.2. MDF Üretiminde Parafin-Vaks Kullanımı**

Parafin-vaks petrolden ince madeni yağ üretiminde petrolün değişik fraksiyonlarının üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilir. Bu maddeler 1800'lü yıllarda ortaya çıkmıştır.

Petrol üretiminin fazla olması nedeni ile parafin-vaks üretimi de paralel olarak fazladır. Kokusuz, tatsız, renksiz ve sert bir organik maddedir. Parafin-vaks ortalama zincir uzunluğu 20-30 karbon atomlu hidrokarbonların karışımıdır. Bileşiminde %80-90 oranında düz zincirli hidrokarbonlar bulunur. Kalan kısmında dallanmış ve halkalı yapıda parafinler bulunmaktadır. En önemli özellikleri arasında reaksiyon hızlarının düşük olması ve suya karşı dirençli olmaları gelmektedir. Genel özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Tepkime vermezler,
- Zehirli etki taşımazlar,
- Su geçirgenliği bulunmamaktadır,
- Renksizdir,
- Yakıt olarak kullanılabilir.

Vakslar %10-14 madeni yağ bulduran ve erime noktası 48-52 °C olan organik bir maddedir. Son ürünün yağ oranı binde beş ve erime noktası 56-58 °C dir. Son aşamada renk ve koku veren maddelerden arındırılarak ambalajlanır. Üretiminde katkı maddesi kullanılmamaktadır. Beyazlatma ve koku alımında kullanılan toprak süzülerek alınır. Parafin-vakslar endüstrinin çeşitli kollarında kullanılmaktadırlar. Mum, kâğıt kaplama, odun esaslı levha, kibrit, kozmetik, kâğıt bardak, boya kalemi, çeşitli emülsiyonların, kablo, sakız mayası, mürekkep üretimleri gibi (URL-8, 2018; URL-9, 2019).

Parafinler hidrofobik maddeler olup lif ve yonga levha üretiminde levhaların su ve nem ile temasında levha yapısının bozulmaması yani levhanın çalışmaması için kullanılmaktadır. Parafin-vaksların polar olmamaları kimyasal yönden aktif olmasını engellemektedir. Hidrofobik olarak etkisi liflerin kılcal boşluklarına girerek su ve nemin bu kısımlara girmesini engelleme biçimindedir. Parafinler emülsiyon şeklinde hazırlanarak kullanılırlar. Parafinlerin tam kuru lif ağırlığına oranla %1-2 oranından fazla kullanılması tutkal performansına olumsuz etki yapacaktır. Hidrofobik malzemelerin levha içerisindeki bağ yapısını azaltarak levhaların direnç özelliklerinin kötüleşmesine neden olduğu bilinmektedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

### **1.7. Formaldehit Emisyonunun Oluşumu**

Aldehit grubu kimyasal olan formaldehit renksiz, keskin ve kötü kokulu bir kimyasal maddedir. Kapalı ortam kirleticilerinden olan aldehitlerin sağlığa olumsuz etkisi ve iç ortamda havayı ciddi derecede kirletmesi olumsuzluklar yaratmaktadır. Formaldehitlerin

reaksiyona girme özelliği yüksek olup dezenfektan özelliğinden dolayı koruyucu ve sterilize madde olarak tıpta, eczacılıkta, kimya ve deterjan sanayiinde ana veya ara madde olarak kullanılmaktadır. Formaldehit orman ürünleri sanayiinde levha üretiminde kullanılan yapıştırıcıların hammaddesi olarak, boya imalatında, halı ve perde yapımında şekil verici olan zank ve yapıştırıcıların yapımında kullanılmaktadır. Formaldehit içeren tutkal ile üretilen mobilyaların iç ortamlarda kullanılması sonucunda insan sağlığına olumsuz etkileri görülmektedir. Formaldehit emisyonu en çok görülen levhalar MDF levhaları olarak bilinmekte olup yonga levhalardan da salınım gerçekleşmektedir (Aksakal vd., 2005- Şahin vd., 2011).

Odun esaslı levha üretiminde levha taslağının oluşturulması sürecindeki sıcak presleme sırasında tutkal içerisinde tamamlanmayan kondenzasyon reaksiyonu sonucunda metilol üre yapıları meydana gelmektedir. Gerek metilol üre yapıları arasında gerekse de polimerleşen tutkal ve lif yüzeylerinde bulunan karbohidratlardaki altı nolu karbonun OH grubu, halka oksijeni ve köprü oksijeni arasındaki bağların bulunması sebebi ile sadece su veya su ile formaldehitin açığa çıkması söz konusudur. Kondenzasyon reaksiyonu sonucunda oluşan metilol üre yapıları  $-CH_2-$  şeklinde oluşmaktadır. Bu yapılar ortam pH'ına, pres basıncına ve pres sıcaklığına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Üretilen tutkalın mol oranı ve uygulama şekline göre tutkal içerisinde formaldehit kalabilmektedir. Serbest formaldehit, sıcak pres sırasında üre ile reaksiyona girmeyen ve levha üretimin hemen sonrasında ortalama serbest formaldehit olarak ve son kullanım yerinde sıcaklık ve rutubet etkisi ile metil-eter bağlarının bozulması olarak iki şekilde ortaya çıkmaktadır (Özlüsoylu ve İstek, 2015).

Serbest formaldehit oranını azaltmak için çeşitli yöntemler denenmiş ve çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında tutkal üretimi sırasında F/Ü oranının 1 veya 1'e yakın olması, tutkal üretimine melamin ilave edilmesi, reçine üretiminde üre ilavesini birkaç adımda yapmak, levha üretiminde kullanılan sertleştiricilerin uygun olması ve formaldehit tutucuların levha üretim sırasında tutkal ile birlikte kullanılması üretim sırasında serbest formaldehiti azaltma yöntemleri arasında bulunmaktadır. Ayrıca üretim sonrasında serbest formaldehiti azaltma yöntemleri arasında üretilen levhaların iyi bir şekilde havalandırılması, levhanın kullanım yerine göre üretilmiş olması, mobilya yapımında kullanılan levhaların kenarlarından daha fazla bozulma ve serbest formaldehit çıkmasını engellemek için bu kenar yüzeyler kenar bantlarının çekilmesi, üretilen tutkalın üretim standardının bilinmesi gibi bu tür önlemler kullanım sırasındaki serbest formaldehit oranını azaltmada etkili olmaktadır. İç

mekânlardaki serbest formaldehit oranının 0,1 ppm'in altında olmasına dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur.

Formaldehit emisyonuna etki eden başlıca faktörler; odun türü, üre/formaldehit mol oranı, sertleştiricilerin türü, pres koşulları, tutkal miktarı ve depolama süresi olarak sıralanabilir.

### 1.7.1. Lif Levha Üretiminde Formaldehit Tutucu Kullanımı

Odun esaslı levhalardan formaldehit emisyonunu azaltmak için doğal ya da bio esaslı tutucular veya formaldehiti tutmada iyi eğilimi olan diğer bileşikler yaygın olarak kullanılmaktadır (Costa vd., 2013). Formaldehit tutucular, odun esaslı levhaların formaldehit içerikli tutkal ile üretilmeleri sonucunda levha içerisinde bulunan serbest formaldehitin üretim sırasında ve kullanım yerinde salınım oranını düşürerek formaldehidin sağlığa zararını azaltmaktadır. Bu kimyasal maddeler tutkal ile birlikte liflere püskürtülerek veya tutkallama sonrasında levhaya püskürtülerek ya da kaplama yüzeylerine püskürtülmek suretiyle uygulanabilmektedirler (Myers, 1985).

Levha üretiminde serbest formaldehit sorunu 1970'li yılların ortasında bina içi kullanımlarda şikâyetlerin artması ile ortaya çıkmıştır. Bu şikâyetlerin incelenmesi sonucunda formaldehit emisyonunun araştırılması ve salınım oranının azaltılması yönünde bugüne kadar pek çok araştırma yapılmıştır. Tutkal üretiminde reaksiyonların hidrolizi nedeniyle tersinir olmasının nedeni formaldehit salınımına yol açmaktadır. Bu reaksiyonların hepsi ya da birkaçı için bağ sertleşmesi asit tarafından katalize edilmesinin gerekliliği, asit katalizörün sonrasında hidrolize neden olması ve böylece formaldehit salınımını arttırdığı bulunmuştur. Üre formaldehit reçineleri ile bağlanmış ürünlerin formaldehit emisyon seviyelerinde azalma, birkaç teknolojik yöntemden biri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Genel olarak bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Üre formaldehit reçinesinin formülasyonunun değiştirilmesi (F/U oranının düşürülmesi)
- Formaldehit tutucuların doğrudan üre formaldehit reçinesine eklenmesi
- Ahşap cilalama işleminde cilaya formaldehit tutucu eklemek
- Panel üretiminden sonra laminat ya da kaplamaların formaldehit tutucu ile işlenmesi

- Tamamen formaldehitsiz ya da formaldehiti az farklı bir reçine sistemine geçilmesi (Conner, 1996).

Tutkal üretimi sırasında tutkaldaki formaldehit emisyonu azaltma yollarından diğeri ise ÜF tutkalı hazırlanmasında melamin ilavesi veya üre ilavesinin ikinci veya üçüncü ilave şeklinde tutkala verilmesidir. Bilindiği üzere, melamin suda kolay çözünmeyen suya dayanıklı bir kimyasal maddedir. Tutkala melamin ilavesinde metilenin serbest formaldehit ile bağ yapması ile hidrolizin kolayca ortaya çıkması engellenecektir. Bu etkili bir yöntem olmakla birlikte, maliyetli bir yöntemdir. F/U mol oranının azaltılması ve ikinci, üçüncü hatta dördüncü üre ilavesi ile serbest formaldehit oranı düşük tutkallar üretmek mümkündür. İlave üre sayısının artması ile iyi direnç verebilen tutkallar üretilebilir. Üre maliyetinin düşük olması nedeniyle ikinci, üçüncü üre ilavesinin çok fazla tercih edilen bir yöntem haline gelmesine neden olmuştur. Aynı zamanda, ilave üre sayısının artması üretilen tutkalın viskozitesinin artışında etkili olur. Bu şekilde hazırlanan tutkala formaldehit tutucu ilave edilmesi formaldehit salınımını düşürerek  $E_1$  hatta  $E_1$  'in altında değerler elde etmeye olanak sağlamaktadır.

### **1.7.2. Formaldehit Emisyonunun İnsan Sağlığına Etkisi ve Formaldehit Emisyonu Standartları**

Formaldehit salınımı, değişken sıcaklık ve bağıl nem şartlarında levha üretimi aşamasında ve üretim sonunda kullanım yerinde uzun süre devam edebilmektedir. Bu nedenle, içeriğinde formaldehit bulunan yapıştırıcılarla levha üretiminde levhadan salınan formaldehit emisyonunu belli sınırlar içerisinde tutulmaya çalışılmış ve yasal yaptırımlarla güvence altına alınmıştır. Mobilya yapımında kullanılan levhaların belirlenen standartların altında formaldehit salınımı vermesi dikkat edilmesi gereken bir konu olmaktadır (Kaptı ve Ayrılmış, 2016).

Organik kimyada genel bir kural olarak aldehitlerin zehirlilik derecesi artan zincir uzunluğu ile azaldığı, doymamış bir yapının doymuş aldehitlere göre bu özelliğini artırdığı bilinmektedir (Kurtoğlu ve Uçar, 1985). Aldehitin belli konsantrasyonlarda merkezi sinir sistemi üzerine uyuşturucu ve solunum sistemini tahriş edici etkisi bulunmaktadır. Uzun zincirli aldehitlerde uyuşturucu etkisi ağırlıkta olmasına rağmen, kısa zincirlielerde tahriş edici etki görülmektedir. Formaldehitin tahriş etkisi üst solunum yollarında görülmektedir (Kurtoğlu ve Uçar, 1985).

Ayrıca, baş ağrısı, bulantı ve baş dönmesi gibi özgül olmayan belirtilerin yanında boğazda iritasyon, alerjik reaksiyonlar, gözlerde kızarıklık, sulanma, burun akıntısı gibi belirtilere neden olmaktadır. Özellikle kronik etkilenim varlığında kronik konjunktivit, farenjit, bronşit ve öksürüğe neden olmaktadır. Bunların yanı sıra, kontakt dermatit, polen ve diğer alerjenlere bağlı alerjik rahatsızlıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Formaldehitin sebep olduğu belirtiler kişinin bağışıklık sistemi ile de ilişkili olmaktadır (Aksakal vd., 2005).

Formaldehit, insan vücudunda formik aside okside olmakta ve idrar yolu ile atılmaktadır. Fazla formaldehit emisyonuna maruz kalınması durumunda idrar yolu ile atılım insanı korumada etkili olmamaktadır. Formaldehitin belli orandan fazla (>1 ppm) insan vücuduna girmesi sonucunda merkezi sinir sistemi ve solunum yollarında sorunlar oluşmasına sebep olmaktadır. Formaldehit konsantrasyonunun ortamda 5 ppm den fazla olması durumunda kokusunun hissedildiği, 10-20 ppm seviyelerinde olması durumunda solunum yollarında önemli tahribatlar yaptığı tespit edilmiştir (Şahin vd., 2011).

Literatürde gözler için tahriş sınırının 0,01- 5,0 ppm sınırında olmakta, koku başlangıcı 0,05 - 1,6 ppm arasında verilmiştir (1 ppm= 1,2 mg/m<sup>3</sup>. 1 m<sup>3</sup> havada 1,2 mg formaldehit 1 ppm'e eşit olmaktadır). Formaldehit gaz zehirlenmeleri nadiren olmakta fakat %35 lik formaldehit çözeltilisinden ağız yolu ile 10-15 ml alınması insanı öldürmeye yeterli olmaktadır (Kutoğlu ve Uçar, 1985).

Laboratuvarda denekler üzerinde yapılan çalışmalarda deneklerin formaldehite maruz kaldıklarında kanser hastalığına yakalanmış, bunun üzerine Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından formaldehit kanser yapma riski olan madde sınıfına dâhil edilmiştir. Formaldehit emisyonu odun esaslı levhalarda ve tekstil ürünlerinde, ürünün kullanım süresinin artması ile azalma göstermektedir (Aksakal vd., 2005).

2004 yılında Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) bağlı Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından bilimsel çalışmalar esas alınarak formaldehiti "insanlar için olasılıkla kanserojen" (Grup 2A) sınıflandırmasından "insanlar için kanserojen" (Grup 1) sınıflandırmasına çıkarmayı önermiştir. 2006 yılında ise IARC Grup 1 sınıfına formaldehiti dâhil etmiştir. Avrupa Kimyasallar Ajansı (ECHA) formaldehiti "insanlar için kanserojen kabul edilen (cat 1) sınıfına dâhil etmiştir ve bu kanun 2015 yılında yürürlüğe girmiştir. Avrupa'da 2004 yılından itibaren E1 ve E2 sınıfları EN 13986 Avrupa standardına yerleşmiş, tutkallar için E1 ve E2 sınıflandırılması ürün prosesinin bir parçası haline gelmiştir. 2006 yılında E1 emisyon sınıfı Avrupa Panel Federasyonu üyeleri için zorunlu

hale getirilmiştir (Kaptı ve Ayrılmış, 2016). Tablo 4'te Avrupa'da kullanılan ahşap esaslı levhalarda formaldehit emisyonu test metotları, standartları ve limit değerleri verilmektedir.

Tablo 5. Avrupa formaldehit emisyonu limit değerleri (Kaptı ve Ayrılmış, 2016)

Levha tipi	Test metodu	Standartlar	Limit değerler
Yonga Levha (PB), MDF	EN 120: 1992 Perforatör Metot Ekstraksiyon	EN 13986: 2002 BS 8509- 2008+ A1:2011 FIRA/FRQG C001:2008	$\leq 8\text{mg}/100\text{ g E1}$ $>8\text{mg}/100\text{ g E2}$ $\leq 30\text{ mg}/100\text{ g E2}$
Tüm Ahşap Paneller	EN 717-1: 2004 Chamber Test Metodu	EN13986:2002 FIRA/FRQG C001:2008	$\leq 0,124\text{ mg}/\text{m}^3\text{ E1}$ $>0,124\text{ mg}/\text{m}^3\text{ E2}$
Tüm Ahşap Paneller	EN 717-2: 1994 Chamber Test Metodu	EN 13986:2002	$\leq 3,5\text{ mg}/\text{m}^2\text{ .h}$

Türkiye'de Türk Standartları Enstitüsü tarafından kabul edilen E1 ve E2 sınıflandırması için test metotları ve formaldehit limit değerleri Tablo 6'da verilmiştir

Tablo 6. Türkiye'de Yonga Levha ve MDF için formaldehit emisyon standart değerleri

Sınıf	Test Metodu	Limit Değerler
E1 Sınıfı	Perforatör (EN 120)	Muhteva $\leq 8\text{ mg}/100\text{ gr}$ fırın kurusu levha kütlesi
	Ahşap esaslı levhalar - Formaldehit salınımının tayini - Bölüm 1: Oda metodu ile formaldehit yayılması (EN 717- 1)	Salınım $\leq 0,124\text{ mg}/\text{m}^3$ hava
E2 Sınıfı	Perforatör (EN 120)	Muhteva $>8\text{ mg}/100\text{ gram}$ fırın kurusu levha kütlesi ve Muhteva $\leq 20\text{ mg}/100\text{ gram}$ fırın kurusu levha kütlesi

Tablo 6'nın devamı

Ahşap esaslı levhalar - Formaldehit salınımının tayini - Bölüm 1: Oda metodu ile formaldehit yayılması (EN 717- 1)	Salınım $>0,124$ mg/m <sup>3</sup> hava ve $\leq 0,3$ mg/m <sup>3</sup> hava
--	--

Türkiye'de Türk Standartları Enstitüsü Ürün Belgelendirme Merkez Başkanlığı Yapı Malzemeleri Sektörü Belgelendirme Müdürlüğü ahşap ürünlerde sağlık yönünden risk oluşturan formaldehit emisyonu seviyesinin belirlenmesi ve kontrolü işlemi TSE Gebze Yapı Malzemeleri Laboratuvarında yapılmaktadır. İşletmeler TSE'nin onayı ile levhalarda E0 ve E1 belgesi alabilmektedir. Belge geçerlilik süresi bir yıldır. Türkiye'de Yonga levha ve MDF için formaldehit ölçümleri EN 120'ye göre ve EN 717-1'e göre yapılırken kontrplak için EN 717-1 ve EN717-2'e göre yapılmaktadır. Türkiye'de henüz ahşap esaslı paneller için uygulanan bir VOC ölçümü standardı ya da düzenlemesi bulunmamaktadır. Bu konuda Avrupa Birliğinde kullanılan VOC düzenlemeleri esas alınmaktadır. (Kaptı ve Ayrılmış, 2016; Subaşı vd., 2017).

### 1.8. Çapraz Bağlayıcı Reçineler

Selülozik liflerde buruşmanın oluşmasının nedeni selülozda bulunan serbest hidroksil gruplarından kaynaklanmaktadır. Bu hidroksil grupları uygulanan kuvvet karşısında yeni polimer zincirleri oluşumu ile yeni hidrojen bağları oluşturmakta ve kumaşın buruşmasına neden olmaktadır. Buruşmada uygulanan kuvvet veya gerilim kaldırılrsa bile geri dönüşümü olamamaktadır. Bu durumda buruşmayı önleyecek kimyasal madde kullanılması gerekecektir (Arık, 2015).

Doğal liflerin yıkanması sonrasında (su ile temasında) kırışmasını önlemek amacıyla reçine bazlı kimyasallar kullanılmıştır. Bu reçineler selüloz moleküllerinin arasına girip molekülleri birbirine bağlayan zayıf hidrojen bağlarına ayrıca kovalent bağ oluşumunun eklenmesi ile çapraz bağ kurarlar. Oluşan bu bağlar moleküllerin hareket etmesini ve kaymasını önlemektedir. Bu maddelere çapraz bağlayıcı reçineler denilmektedir. Kırışmayı önleyen kimyasallar selüloz moleküllerinin hareket etmesini önlemekte ve liflerin ölçülerinin değişmemesinde etkili olmaktadır (İlter, 2017).



Dimetiloldihidroksietilenüre (DMDHEU) reçinelerinin reaktivitelerinin düşük olmasına karşın uzun depolama özelliklerine sahip olmaları ve düşük seviyede formaldehit açığa çıkarması nedenlerinden dolayı buruşmazlık maddesi olarak son zamanlarda en çok tercih edilen bir kimyasal maddedir. DMDHEU lignin ve hemiselülozun hidroksil grupları ile reaksiyon verebilmekte fakat kendi arasında da çapraz bağ oluşturabilmektedir. DMDHEU selüloz molekülleri ile bağlanabileceği dört noktası ile çapraz bağ yapabilmektedir. Bu gruplar metilol grupları ve hidroksil gruplarıdır. Lewis asit katalizörlüğünde, kondenzasyon oluşumunda ilk önce metilol daha sonra hidroksil grupları selüloz molekülünün hidroksil grupları ile ester bağları kurar. Oluşan bu yeni yapılar selülozun içerisindeki hidrojen bağların yerine geçer ve güçlü kovalent bağ oluştururlar (Zinetbaş, 2015; Homan ve Jorissen, 2004).

DMDHEU buruşmazlık kimyasalı tekstil endüstrisinde kullanılmakla birlikte odun koruma alanında yapılan çalışmalarda mevcuttur. Pfeffer ve arkadaşlarının (2012) yapmış oldukları çalışmada ince kaplama şeritlerinin DMDHEU ile işlemi sonucunda bu kimyasalın ahşabın içerisinde bulunan lignin ve selülozun bozulmasını kısmen azalttığını ve yapay hava koşullarında ahşap hücre duvarlarını stabilize ettiğini belirtmişlerdir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Hammadde

Tez çalışmasında Çamsan AŞ'den (Sakarya) temin edilen %50 çam, %40 kayın, %10 meşe odun karışımlarından üretilmiş olan lif karışımı kullanılmıştır. Fabrikada üretilen lifler defibratör çıkışında liflere tutkal püskürtülmeden önce alınmış ve KTÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı, laboratuvarlarında lif levha üretiminde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

#### 2.1.2. Tutkal

Çalışmada %5 melamin katkılı farklı mol oranlarına (F:Ü= 1,07, 1,04 ve 1,16 mol) sahip melamin üre formaldehit (MÜF) tutkalları kullanılmış olup bu tutkallar Çamsan AŞ'den temin edilmiştir. Levhaların üretiminde tutkal miktarı tam kuru lif ağırlığına göre %20 oranında kullanılmıştır. Kullanılan melamin üre formaldehit tutkallarının özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Çalışmada kullanılan tutkallara ait özellikler

Tutkal Türü	Katı madde (%)	pH	Viskozite (20 <sup>0</sup> C) (akma süresi) (sn)	Jel zamanı (sn)	Yoğunluk (20 <sup>0</sup> C) (gr/cm <sup>3</sup> )
1,07 mol MÜF	65	8,34	76	53	1285
1,04 mol MÜF	65	9,08	38	65	1280
1,16 mol MÜF	60	9,11	43	48	1258

### 2.1.3. Kimyasal Maddeler

#### 2.1.3.1. Formaldehit Tutucu

Çamsan AŞ. tarafından üretilen formaldehit tutucu levhaların serbest formaldehit değerlerini düşürmek amacı ile kullanılmıştır. Levhaların üretiminde kullanılan formaldehit tutucu oranları %0, %15, %25 ve %35 olarak belirlenmiştir. Kullanılan formaldehit tutucu miktarı tam kuru tutkal oranına göre hesaplanmıştır. Tablo 8’de formaldehit tutucunun özellikleri verilmiştir.

Tablo 8. Formaldehit tutucuya ait özellikler

pH	9,59
Viskozite(20°C)	11 sn (akma süresi)
Katı Madde (%)	54,4
Yoğunluk	1191gr/cm <sup>3</sup>

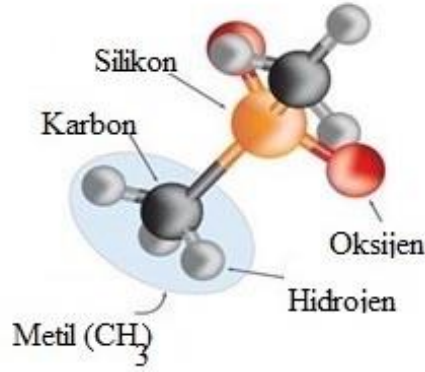
#### 2.1.3.2. Dow Corning 87

Levha ürünlerinin su ve neme karşı dayanımının düşük olması ve kolayca tahribata uğraması bu alandaki çalışmaları arttırmıştır. Silikon esaslı kimyasalların hidrofobik özelliklere sahip olmalarından dolayı çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır (Vetter vd.,2010). Silikon esaslı kimyasallar mobilya, boya, tekstil, medikal, kozmetik ve odun koruma gibi çeşitli endüstri kollarında tercih edilen bir malzemedir. Dow Corning 87 (DC) kimyasalı Dow Corning firmasının üretmiş olduğu silikon esaslı kimyasaldır. DC % 40 aktif silan esaslı bir silikon reçine emülsiyonudur ve bileşenleri XRF cihazı ile belirlenmiş olup Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. DC kimyasalının XRF element analizi sonuçları

Bileşen	Katı Madde miktarı (%)
Si	%0,432
S	%0,056
Cu	%0,003
Plastik	%99,508

Uçucu olmayan madde miktarı %38-44 olup pH: 4,0- 5,5 arasında olan, süt beyazı renğinde bir sıvıdır. Silikon esaslı kimyasallar içerisinde bulunan silan/ siloxane grupları ile bağ yapan bu kimyasallar malzemeye dayanıklılık ve su iticilik özelliği kazandırmaktadırlar. DC kimyasalını deneme levhalarımızın şişme, su alma ve boyutsal stabilite özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlı kullanılmıştır. DC kimyasalı tutkal ve sertleştirici ile birlikte karıştırılarak ve life püskürtülerek uygulanmıştır. Deneme levhalarının üretiminde DC kimyasalı tam kuru lif ağırlığına oranla %0,5- %1,5 ve %3 oranında kullanılmıştır. Aşağıda temel silikon yapısı görülmektedir.

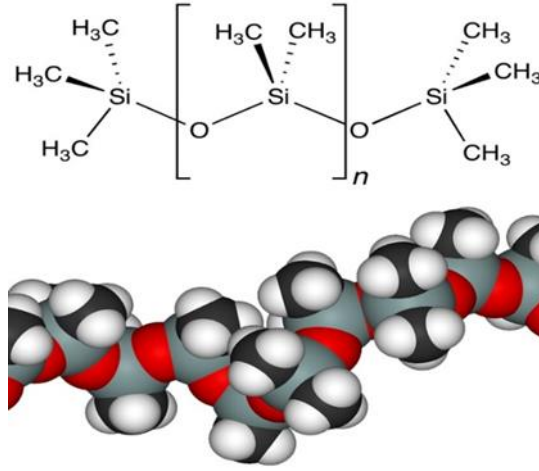


Şekil 9. Silikonun temel yapısı (Url-5, 2019)

### 2.1.3.3. Xiameter PMX-200 1000cs

Dow Corning firmasından temin edilen silikon esaslı Xiameter PMX-200 1000cs (XM) kimyasalı silikon esaslı bir kimyasal malzemedir. XM kimyasalı hava koşullarına dayanıklı, yüksek su iticilik özelliğine, düşük çevresel tehlikeye, iyi ısı stabilitesine, kokusuz ve toksik olmayan özelliklere sahip bir malzemedir. XM lineer yapıda bir

polidimetilsiloksandır ve  $(\text{CH}_3)_3\text{SiO}(\text{SiO}(\text{CH}_3)_2)_n\text{Si}(\text{CH}_3)_3$  kimyasal formülü ile bilinir (Url-7, 2009).



Şekil 10. Polidimetil siloksan yapısı (Url-6, 2014)

Otomotiv, mobilya, kozmetik gibi endüstrinin çeşitli dallarında kullanılan bir malzemedir (Url-3, 2019). Bu kimyasal ile levhaların şişme, su alma ve boyutsal stabilite özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Deneme levhalarımızın üretiminde XM, tutkal ve sertleştirici madde birlikte karıştırılarak liflere püskürtülmek suretiyle kullanılmıştır. Deneme levhalarının üretiminde XM tam kuru lif ağırlığına oranla % 0,5- % 1 ve % 3 olarak kullanılmıştır. Şekil 10'da polidimetilsiloksan yapısı görülmektedir ve bileşenleri XRF cihazı ile belirlenmiş olup Tablo 10'da verilmiştir.

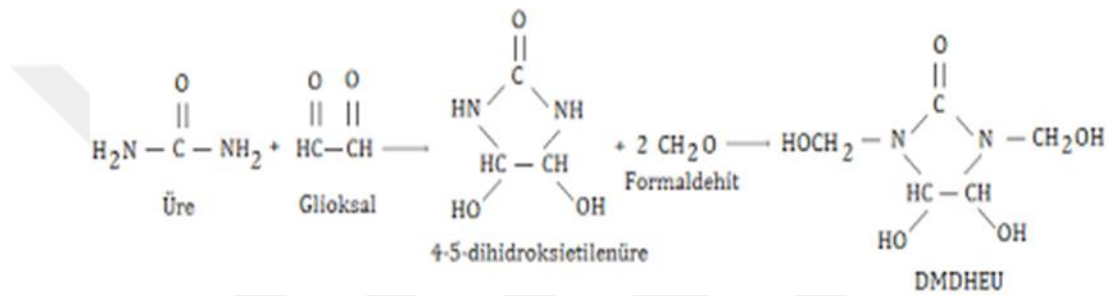
Tablo 10. XM kimyasalının XRF element analizi sonuçları

Bileşen	Katı Madde miktarı (%)
Si	%25,665
S	%0,052
Cu	%0,008
K	%0,052
Fe	0,004
Plastik	%74,220

#### 2.1.3.4. Dimetiloldihidroksietilenüre

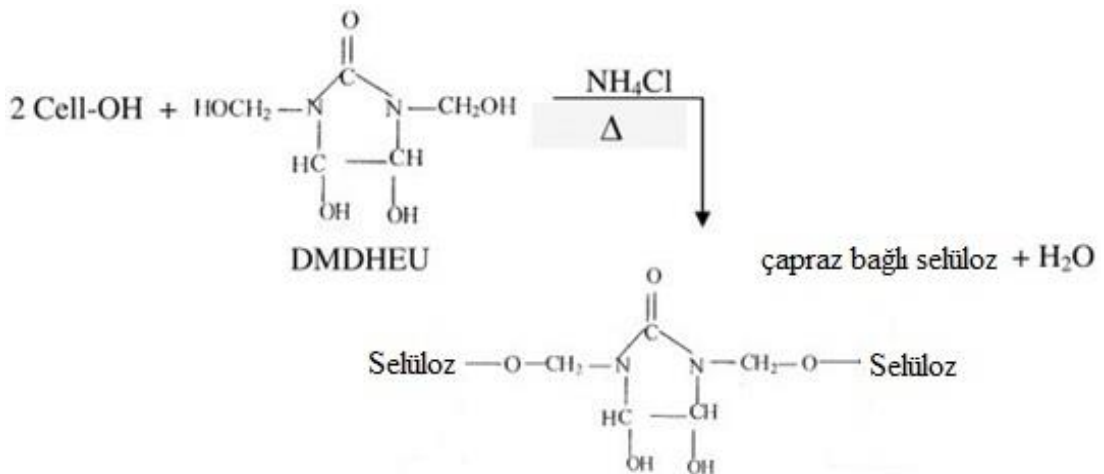
Çalışmada kullanılan DMDHEU kimyasalı Setaş Kimya AŞ.'den temin edilmiştir. Bu kimyasal üre, glioksal ve formaldehitin heterosiklik reaksiyon ürünü olup çapraz bağlayıcı

ajan olarak görev yapmaktadır. Molekül formülü  $C_5H_{10}N_2O_5$  olan DMDHEU su iticilik özelliği olan kimyasallar grubuna girmektedir. DMDHEU kimyasalı farklı özelliklerde ve farklı kullanım alanlarına yönelik farklı tiplerde üretilmektedir. Ayrıca, kimyasalı tekstil ve odun koruma gibi endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşağıdaki şekilde DMDHEU kimyasal yapısı görülmektedir. Çalışmamızda kullanılan DMDHEU deneme levhalarına su itici ve boyutsal stabilite özelliklerini artırmak amacı ile kullanılmıştır. Deneme levhalarının üretiminde DMDHEU kullanım miktarı tam kuru lif ağırlığına oranla % 1, % 2,2 ve % 4 olarak belirlenmiştir.



Şekil 11. DMDHEU'nin kimyasal sentez basamakları (Arık, 2015)

Asit katalizörler ile birlikte kullanılan DMDHEU kimyasalı selüloz ile bağ yapması aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 12. DMDHEU kimyasalının asit katalizör varlığında selüloz ile bağ yapması (El Sheikh, 2016)

### 2.1.3.5. Sertleştirici

Sertleştirici olarak kullanılan amonyum klorür Çamsan AŞ. 'den temin edilmiştir. Amonyum klorür kullanılmadan önce %20'lik çözelti haline getirilmiştir. Sertleştirici madde miktarı tam kuru tutkal ağırlığına göre %2 oranında kullanılmıştır.

## 2.2. Metotlar

### 2.2.1. Deneme Levhalarının Üretim Şablonunun Belirlenmesi

Deneme levhalarının üretim koşullarını belirlemek için kullanılan kimyasal madde oranı, pres şartları gibi parametreler dikkate alınarak ön denemeler yapılmış, bu denemeler sonucunda deney planı oluşturulmuştur. Deneme levhalarının üretimi iki farklı grupta gerçekleştirilmiştir. Birinci grupta; deneme levhalarına su iticilik özelliği kazandıran ve boyutsal stabilite özelliklerini geliştiren DMDHEU kimyasalının ve silikon esaslı DC ve XM kimyasallarının ilavesi ile üretilen deneme levhaları yer almaktadır. İkinci grupta ise levhaların serbest formaldehit değerlerini düşürmek için kullanılan formaldehit tutucu ilavesi ile üretilen deneme levhaları yer almaktadır.

DMDHEU kimyasalı ilavesi ile üretilen levhalarda ilave oranı tam kuru lif ağırlığına oranla %1, % 2,2 ve % 4 olarak belirlenmiştir. DMDHEU kimyasalının life verilmiş sırası farklı şekilde yapılmış ve bu uygulama ile DMDHEU kimyasalının etkisini daha iyi görebilmek amaçlanmıştır. DMDHEU kimyasalının tutkaldan önce, tutkal ile birlikte ve tutkal sonrası liflere püskürtülerek üç farklı şekilde levha üretilmiştir. Bu üretimlerde % 5 melamin katkılı 1,16 (F:Ü) MÜF tutkalı kullanılmış olup tam kuru lif ağırlığına oranla %20 oranında tutkal kullanılmıştır.

DMDHEU kimyasalı ilavesi ile üç farklı grupta deneme levhaları üretimi yapılmıştır. Birinci grupta tam kuru lif ağırlığına oranla % 2,2 DMDHEU %20 oranında tutkal kullanılarak farklı yoğunlukta deneme levhaları üretilerek levha yoğunluğunun levha direnç, higroskopik ve boyutsal stabilite özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

İkinci grupta DMDHEU kimyasalının etkisini görebilmek amacı ile farklı oranlarda life ilave edilerek levha üretimleri yapılmıştır. Bu levhaların üretiminde tam kuru lif ağırlığına oranla %20 oranında 1,16 MÜF tutkalı ve %1, % 2,2 ve % 4 DMDHEU kimyasalı

ilave edilerek çalışma yapılmıştır. Böylece DMDHEU ilavesinin levhaların direnç, higroskopik ve boyutsal stabilite özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

Üçüncü grupta DMDHEU'nin sağladığı çapraz bağlanmanın tutkal oranı ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle tutkal miktarı tam kuru lif ağırlığına oranla %16, %18 ve % 20 olarak belirlenmiş ve DMDHEU miktarı % 2,2 oranında sabit tutulmuştur.

Silikon esaslı kimyasallar ile üretilen deneme levhalarında %5 melamin katkılı %65 katı maddeli 1,07 (F:Ü) MÜF tutkalı kullanılmıştır. Levha üretiminde kullanılan DC kimyasalının miktarı tam kuru life ağırlığına oranla % 0,5 ,% 1,5 ve % 3 olarak belirlenmiştir. Tutkal miktarı ise tam kuru lif ağırlığına oranla %20 oranında sabit tutulmuştur. Levhaların üretiminde tutkal ve kimyasal madde birlikte karıştırılmış ve liflere püskürtülmüştür. XM kimyasalı tam kuru lif ağırlığına oranla % 0,5, % 1, % 1,5 ve % 3 oranında kullanılmıştır. Kullanılan tutkal miktarı tam kuru lif ağırlığına göre %20 olup, tutkal ve kimyasal madde birlikte karıştırılmış ve life verilerek deneme levhaları üretilmiştir.

Formaldehit tutucu kullanılarak üretilen deneme levhalarında formaldehit tutucu oranı tam kuru life göre %0, %15, %25 ve %35 olarak alınmıştır. Formaldehit tutucu (FT) kullanılarak üretilen deneme levhalarında %5 melamin katkılı 1,07 MÜF tutkalı ve %5 melamin katkılı 1,04 MÜF tutkalları kullanılmış olup, tutkal miktarı tam kuru lif ağırlığına oranla %20 olarak kullanılmıştır.

Çalışmada levhalar 300\*300\*10 mm ebatlarında üretilmiştir.

## **2.2.2. Deneme Levhalarının Üretiminden Önce Yapılması Gereken İşlemler**

### **2.2.2.1. Liflerin Kurutulması ve Rutubetlerinin Belirlenmesi**

ÇAMSAN A.Ş.'den ıslak olarak gelen lifler ilk önce laboratuvarında serilerek kurutulmuş daha sonra topaklanan lifleri açmak için laboratuvarında bulunan tutkallama makinesi kullanılarak lif açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Lif açma işleminden sonra lifler poşetlere konulmuştur. Lifler kullanmadan önce etüvde kurutularak rutubetleri %3-4 aralığına çekilmiştir. Aşağıda tutkallama makinesinin ve kurutma fırınının resmi verilmiştir.





Şekil 13. Lif topaklarını açmak için kullanılan tutkallama makinası



Şekil 14. Liflerin kurutulduğu kurutma fırını

#### 2.2.2.2. Levha Taslağının Oluşturulması ve Preslenmesi

Levha üretim işlemleri, KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneme levhalarının üretiminde kullanılması gereken miktarda lif tartıldıktan sonra kurutma fırınında bir miktar kurutulmuştur. Kap içerisine alınan lifler, hazırlanan tutkal ve kimyasal karışımı ile homojen olarak tutkallanmıştır. Tutkallama

işleminde sonra lif serme işlemine geçilmiştir. Presleme işleminde kullanılan pres sacı üzerine 30\*30 cm ebatlarında ahşap çerçeve konmuş içerisine tutkallanmış lifler eşit ve düzenli bir şekilde serilmiştir. Ahşap bir tabla yardımı ile liflere üstten baskı uygulanarak ön pres işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ahşap kasnak çıkartılmış diğer pres sacı lif keki üzerine konmuş ve iki sac arasına 1 cm kalınlığında kalınlık takozları yerleştirilmiştir. Önceden ısıtılan pres içerisine konarak daha önce verilen pres parametreleri ile levhalar üretilmiştir.

Presleme işlemi, Cemil USTA Ağaç Makineleri Sanayi ve Ticaret AŞ'den satın alınan kademeli basınç sistemli (5 kademeli) tek katlı hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Pres parametreleri olarak alt üst levha sıcaklığı 180°C ve basınç olarak 45/30 kg/cm<sup>2</sup> alınmıştır. Üretilen deneme levhaları gerekli testler yapılmak üzere standartlara uygun boyutlarda kesilerek hazırlanmıştır. Aşağıda presleme işleminin yapıldığı presin resmi ve prese ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 11. Prese ait teknik özellikler

Pres tablaları	550*550 mm	Pres açıklığı	200 mm
Faydalı alan	500*500 mm	Strok	200 mm
Çalışma şekli	Alttan itmeli otomatik açma	Toplam basınç	210 ton
Zaman ayarı	5sn ile 12 saat ayarlanabilir	Max. Basınç	70 kg/cm <sup>2</sup>
Piston sayısı	1*280mm+1*50mm	Max. Çalışma sıcaklığı	250°C



Şekil 15. Deneme levhalarının üretiminde kullanılan pres

### 2.3. Deneme Levhalarının Özelliklerinin Belirlenmesi

Üretilen deneme levhalarının, su alma ve kalınlığına şişme testleri üniversite laboratuvarında, serbest formaldehit testi, mekanik özellikleri ve boyutsal stabilite testleri Çamsan A.Ş. Kalite Kontrol Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen levhaların mekanik ve higroskopik özellikleri, serbest formaldehit değerleri ve boyutsal stabilite testleri aşağıda verilen standartlara göre yapılmıştır.

#### 2.3.1. Rutubet Miktarının Belirlenmesi

Levhalarının rutubet miktarlarının belirlenmesi için 50x50xlevha kalınlığı (mm) ebatlarında örnekler hazırlanmış ve örneklerin ağırlıkları  $\pm 0.01$  gr duyarlıklı analitik terazide belirlenmiştir. Daha sonra bu örnekler kurutma dolabında  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklıkta değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Örneklerin tartımı yapılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir (EN 322, 1999). Rutubet miktarları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$r = \frac{mr - m_0}{m_0} * 100 \quad (1)$$

Eşitlikte; r: Rutubet miktarı(%)

mr: Örneğin klimatize edilmiş haldeki ağırlığı(gr)

m<sub>0</sub>: Örneğin tam kuru haldeki ağırlığı(gr)

### 2.3.2. Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi

Klimatize edilen levhadan 50x50xlevha kalınlığında (mm) hazırlanan deney örneklerinin ağırlığı, kalınlığı ve iki kenar genişliği ölçüldükten sonra aşağıdaki formüle göre yoğunluğu belirlenmiştir (EN 323, 1999).

$$\delta = \frac{m}{a_1 * a_2 * t} * 10^3 \left( \frac{gr}{cm^3} \right) \quad (2)$$

Eşitlikte;  $\delta$  : Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)

M: Hava kuru ağırlık (gr)

a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>: Örnek genişliği (mm)

t: Örnek kalınlığı (mm)

### 2.3.3. Kalınlık Artışının Belirlenmesi

Örneklerin kalınlığına şişme miktarlarının belirlenmesi için EN 317 (1999)'de belirtilen temellere uygun olarak 50x50 mm ebatlarında örnekler hazırlanmıştır. Örnekler kalınlıklarının belirlenmesinde örneğin tam orta noktasından 0,01 mm duyarlıklı mikrometreyle ölçüm yapılmış ve su yüzeyinden 25 mm aşağıda tutulmak suretiyle, 19–21 °C sıcaklıkta temiz suda bekletilmişlerdir. 24 saat sürenin sonunda sudan çıkartılan örneklerin fazla suları silinerek ve kalınlıkları ilk ölçülen noktadan tekrar ölçülerek kalınlık artışları (KA); aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir.

$$KA = \frac{e_y - e_k}{e_k} * 100 \quad (3)$$

Eşitlikte; KA= Kalınlık artışı oranı

$e_y$ = Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

$e_k$ = Klimatize edilmiş ilk örnek kalınlığı (mm)

#### 2.3.4. Su Alma Oranlarının Belirlenmesi

Örneklerin su alma oranlarının belirlenmesi EN 317 (1999) standardına göre; 50x50 mm ölçülerinde kesilerek hazırlanan örnekler tartılmış ve  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ' deki su banyosunda 24 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda su banyosundan alınan örneklerin üzerinde kalan fazla su temiz bir bez yardımıyla hafifçe silindikten sonra örnekler tekrar tartılmış ve su alma miktarları hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{m - m_0}{m_0} * 100 \quad (4)$$

Eşitlikte; SA: Su alma oranı (%)

$m_0$ : Örneğin ilk ağırlığı (gr)

$m$ : Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (gr)

#### 2.3.5. Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Eğilmede elastikiyet modülü değerinin belirlenmesi için deney örnekleri EN 310 (1999) standardına göre 250x50 mm boyutlarında hazırlanmıştır. İki dayanak üzerine serbest olarak yerleştirilen bir deney parçasına orta yerden bir kuvvet (dik olarak) uygulanarak elastikiyet modülü tayin edilmiştir. Elastikiyet modülü değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$E = \frac{F \times l^3}{4 \times b \times d^3 \times \Delta} \quad (5)$$

Burada; F= Deformasyonu sağlayan kuvvet (N) (N/mm<sup>2</sup>)

I= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

b= Örnek genişliği (mm)

Δ=Eğilme miktarı (sehim) (mm)

### 2.3.6. Eğilme Direncinin Belirlenmesi

Deney örnekleri EN 310 (1999) standardına göre 250x50 mm boyutlarında hazırlanmıştır. İki dayanak üzerine serbest olarak yerleştirilen bir deney parçasına orta yerden bir kuvvet (dik olarak) uygulanarak eğilme dayanımı tayin edilmiştir. Eğilme direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$f_m = \frac{3 \times F_{\max} \times l_1}{2 \times b \times t^2} \quad (6)$$

Eşitlikte; f<sub>m</sub>: Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>)

F<sub>max</sub>: Kırılma anındaki kuvvet (N)

l<sub>1</sub>: Örnek kalınlığının 20 katı (mm)

b: Örnek genişliği (mm)

t: Örnek kalınlığı (mm)

### 2.3.7. Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi

Örneklerin yüzeye dik yöndeki çekme direnci EN 319'da (1999) belirlenen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 50x50 mm boyutlarında hazırlanan örneklerin uzunlukları ve genişlikleri ölçülmüştür. Hazırlanan deney parçaları yapıştırıcı kullanılarak yükleme bloklarına yapıştırılmıştır. Yapıştırıcı tutkal kuruyana kadar beklenmiş ve tutkal kuruma

işleminde sonra deney parçaları makinenin kavrama çeneleri arasına yerleştirilmiştir. Daha sonra çekme kuvveti uygulanmış ve yüzeyden lif ayrılma (kopma) şeklinde test gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda yüzeye dik çekme dirençleri aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$f_t = \frac{F_{\max}}{a \times b} \quad (7)$$

Eşitlikte;  $f_t$ : Yüzeye dik çekme direnci (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{\max}$ . : Kopma anındaki kuvvet (N)

a ve b: Örneğin uzunluk ve genişliği (mm)

### 2.3.8. Serbest Formaldehit Emisyonunun Belirlenmesi

Üretilen deneme levhalarının serbest formaldehit emisyonlarını belirlemek için perforatör test yöntemi kullanılmıştır. Perforatör yöntemi; toluen kimyasalı içerisinde kaynatılan levha örneklerinin, levhadan ayrılan formaldehitin destile suya geçmesi ilkesine dayanmaktadır (EN120, 1999- TS 4894).

Perforatör test yönteminde tam kuru 100 gr levha örneği kullanılmış ve UV Spectroquant Pharo 300 cihazında 540 nm dalga boyunda numunelerin serbest formaldehit ölçüm işlemleri yapılmıştır. Levha örnekleri 103±2°C sıcaklıktaki etüvde levhanın rutubetini belirlemek için 15 saat bekletilmiştir. Levha örneklerinin rutubeti belirlendikten sonra tam kuru 100 gr levha örneği 1 lt' lik cam balona konulmuştur. Üzerine 600 ml susuz saf tolüen eklenmiş ve sistemin sızdırmazlığını sağlamak için teflon ve vazelin kullanılarak cam kapların bağlantı yerlerinde sızdırmazlık sağlanmıştır. Soğutucu kısmına 250 ml'lik saf su konulup kaçan gazın burada toplanması sağlanmıştır. Isıtıcı vasıtası ile tolüen içerisinde levha örnekleri kaynatılmış ve kaynama başladıktan iki saat sonra kaynamaya son verilmiştir. Daha sonra kaynama işlemi bitirilerek tolüen dinlendirilerek soğutulmuş ve baca kısmından saf su geçirilerek erlene konulmuştur. Bütün parçalar saf sudan geçirilerek toluensiz olan erlene alınmış ve son olarak bu karışım 2lt'ye tamamlanmıştır. Bu örnekten 250 ml'lik alınarak 2 lt'ye tamamlanarak işlem bitirilmiştir. Serbest formaldehit tayini için

UV cihazı kullanılmış ve bir tanesi kör deneme, diğeri hazırlanan numuneden alınan örnek için iki tane kit kullanılmıştır. Referans kite (kör numune) 10 ml saf su, diğeri kite elde edilen çözeltilerden 10 ml numune konulmuştur. Kör numune ve levhadan elde edilen numunenin her ikisine sırayla 10 ml asetilaseton ve 10 ml amonyum asetat (%20 lik) konulmuş olup bu tüpler 60<sup>0</sup>C sıcaklıktaki su banyosunda 10 dk bekletilmiştir. Bu işlem reaksiyonun daha hızlı yürümesi için yapılmıştır. Daha sonra karanlık bir dolapta kitler 1 saat bekletilmiştir. Son olarak kitler kuvars küvetlere yerleştirilerek ilk olarak kör numune daha sonra örnek numunesinin ölçümü yapılmış ve serbest formaldehit değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda serbest formaldehit değerlerinin elde edilmesinde kullanılan deney düzeneğinin şekli verilmiştir.



Şekil 16. Perforatör test yönteminden bir görüntü

### 2.3.9. Boyutsal Değişiminin Belirlenmesi

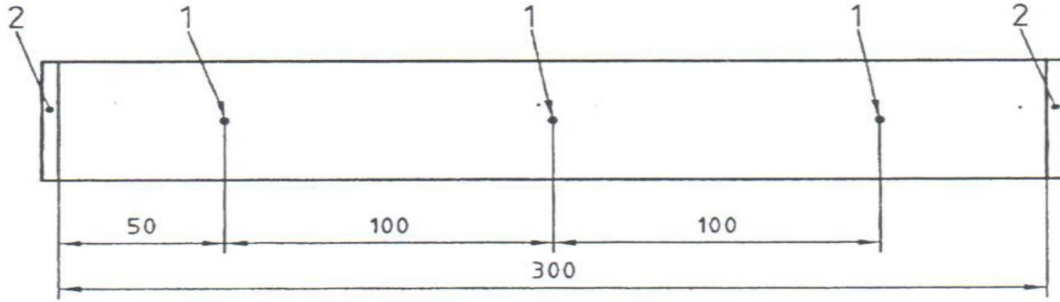
Üretilen deneme levhalarının nispi nem değişikliklerine bağlı olarak boyutlarında oluşan değişikliği belirlemek için “Ahşap Esaslı Levhaların Nispi Nem Değişikliğine Bağlı olarak Boyutlarında Meydana Gelen Değişikliğin Tayini” (TS EN 318-2005) testi uygulanmıştır. Levhaların farklı nispi nem değerlerinde değişmez ağırlığa ulaşana kadar iklimlendirme odasında bekletip aradaki farkı hesaplama temeline dayanan bir yöntemdir.



Deney parçalarının boyutları  $300\pm 2$  mm\*  $50\pm 2$  mm\* 10mm (levha kalınlığı) olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Toplamda 16 deney parçası olacak şekilde levhanın her iki yönünden dörder deney parçası kesilerek alındı. Levhaların uç kısımlarına 1mm kalınlığında cam plakalar yapıştırılmıştır. Kullanılan yapıştırıcının su bazlı veya higroskopik özellikte olmamasına dikkat edilmiştir. Levha parçası üzerinde ölçüm yapılacak yerler uç kısımdaki bir mm kısım haricinde merkezi olarak 50 mm olacak şekilde mürekkepli kalem ile işaretlemesi yapılmıştır. Levha parçalarına iki takım olacak şekilde, her biri ayrı olarak üç aşamadan oluşan şartlandırma işlemi yapıldı. Şartlandırma işlemi her bir levha parçasında sabit kütleye ulaşma şeklinde yapıldı. 2. ve 3. şartlandırmadan sonra uzunluk, kalınlık ve kütle ölçülmüştür. Aşağıda şartlandırma tablosu bulunmaktadır.

Tablo 12. İki takım deney levha parçası için şartlandırma aşamaları

Aşama No	Takım 1	Takım 2
1	20 °C sıcaklık ve %30 nispi nem	20 °C sıcaklık ve %85 nispi nem
2	20 °C sıcaklık ve %65 nispi nem	20 °C sıcaklık ve %65 nispi nem
3	20 °C sıcaklık ve %85 nispi nem	20 °C sıcaklık ve %30 nispi nem



Şekil 17. 300 mm uzunluğunda boyutsal değişim test örneği (1: Mürekkepli işaret, 2:Cam plaka)

Tartımlar 24 saat ara ile yapılmış iki tartım arasındaki fark deney parçasının kütlelerinin % 0,1'inden fazla olmadığına, değişmez kütle olarak kabul edilmiştir. Ölçüm sırasındaki hava sıcaklığı kayıt altına alınmış ve ölçümler, ölçümler arasında bir saatten az olmayacak şekilde yapılmıştır. 2. ve 3. şartlandırmanın sonucunda deney örnekleri üzerinde ayarlama çubuğu kullanılarak, levha üzerindeki işaretli noktalardan ölçümler alınmıştır. Bütün

ölçümler levhanın iklimlendirme odasından alındıktan sonraki beş dakika içerisinde gerçekleştirildi. Deneyin sonunda levha parçaları kurutma kabinde kurutulmuş testin sonucu olarak levhanın her iki yönünde, ortalama değer, rutubet aralığı, uzunluk ve kalınlık değişimleri hesaplanmıştır. Aşağıda levhanın uzunluğuna ve kalınlığına değişimin hesaplanmasını gösteren formüller ve açıklamaları bulunmaktadır.

- Levha parçasının uzunluğunda değişim;

$$\delta I_{65,85} = \frac{I_{85} - I_{65}}{I_{65}} * 1000 \text{ (Takım 1 sonuçları kullanılarak)} \quad (8)$$

$$\delta I_{65,30} = \frac{I_{30} - I_{65}}{I_{65}} * 1000 \text{ (Takım 2 sonuçları kullanılarak)} \quad (9)$$

$I_{85}$ : 20 °C sıcaklık ve %85 nispi nemde ölçme noktaları arasındaki ve kullanılan işaretlemenin etkisi için doğrulanmış uzunluk (mm).

$I_{65}$ : 20 °C sıcaklık ve %65 nispi nemde ölçme noktaları arasındaki ve kullanılan işaretlemenin etkisi için doğrulanmış uzunluk (mm).

$I_{30}$ : 20 °C sıcaklık ve %30 nispi nemde ölçme noktaları arasındaki ve kullanılan işaretlemenin etkisi için doğrulanmış uzunluk (mm).

$\delta I_{65,85}$ : Nispi nemin %65 'ten % 85'e kadar olan değişimi için uzunluktaki nispi değişim (mm/m).

$\delta I_{65,30}$ : Nispi nemin %30 'dan % 65'e kadar olan değişimi için uzunluktaki nispi değişim (mm/m).

- Levha parçasının kalınlığında değişim;

$$\delta t_{65,85} = \frac{t_{85} - t_{65}}{t_{65}} * 100 \text{ (Takım 1 sonuçları kullanılarak)} \quad (10)$$

$$\delta t_{65,30} = \frac{t_{30} - t_{65}}{t_{65}} * 100 \text{ (Takım 2 sonuçları kullanılarak)} \quad (11)$$

$t_{85}$ : 20 °C sıcaklık ve %85 nispi nemde ölçme noktaları arasındaki ve kullanılan işaretlemenin etkisi için doğrulanmış kalınlık (mm).

$t_{65}$ : 20 °C sıcaklık ve %65 nispi nemde ölçme noktaları arasındaki ve kullanılan işaretlemenin etkisi için doğrulanmış kalınlık (mm).

$t_{30}$ : 20 °C sıcaklık ve %30 nispi nemde ölçme noktaları arasındaki ve kullanılan işaretlemenin etkisi için doğrulanmış kalınlık (mm).

$\delta t_{65,85}$ : Nispi nemin %65 'ten % 85'e kadar olan değişimi için kalınlıktaki nispi değişim (%).

$\delta t_{65,30}$ : Nispi nemin %30 'dan % 65'e kadar olan değişimi için kalınlıktaki nispi değişim (%).



### **3. BULGULAR**

Farklı MÜF tutkalları ve farklı kimyasallar kullanılarak üretilen levhaların mekanik, higroskopik, boyutsal stabilite ve serbest formaldehit değerleri belirlenmiş olup aşağıdaki bölümlerde elde edilen bulgular ilgili başlıklar altında verilmiştir.

#### **3.1. Dimetiloldihidroksietilenüre'nin MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı**

Melamin katkılı MÜF (F/Ü: 1,16 mol) tutkalı DMDHEU kimyasalı ile birlikte kullanılarak deneme levhaları üretilmiştir. Tam kuru life oranla %20 tutkal (%65'lik) ve %2,2 DMDHEU, sertleştirici kimyasal madde ile birlikte liflere uygulanarak farklı yoğunluklarda deneme levhaları üretilmiştir. Böylece, DMDHEU'nin levha özelliklerinde ortaya çıkardığı etkinin yoğunlukla değişimi gözlenmiştir. DMDHEU kimyasalının levha özelliklerine etkisini görebilmek amacı ile lifin tutkallama işlemi farklı şekillerde denenmiştir. DMDHEU life tutkaldan önce püskürtülmesi (TÖ), tutkal ile birlikte karıştırılarak life püskürtülmesi (TB) ve tutkaldan sonra life püskürtülmesi (TS) şeklinde üç farklı tutkallama yapılmıştır. Bununla birlikte, TS uygulaması ile %1, %2,2 ve %4 oranlarında DMDHEU kullanılarak levhalar üretilmiştir. Çalışmalarda levhaların higroskopik, boyutsal stabilite ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan testler sonucunda elde edilen bulgular tablolar halinde verilmiştir.

##### **3.1.1. Levhaların Higroskopik Özelliklerinin DMDHEÜ İlavesi ile Değişimi**

###### **3.1.1.1. Su Alma Test Sonuçları**

Farklı oranlarda (%0, % 1, % 2,2 ve % 4 ) DMDHEU'nin tutkal sonrası kullanımı ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının su alma değerlerine ait bulgular aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere kimyasal miktarının artması ile levhaların su almaları azalmıştır.

Tablo 13. DMDHEU ilave miktarının levha su alma özelliğine etkisi

Levha Türü	Kimyasal oranı (%)	Su alma 24 saat (%)
Kontrol	0	40,94
TS	1	34,24
	2,2	31,61
	4	30,00

Tablo 14’de TÖ, TS ve TB şeklinde üç farklı (%2,2) DMDHEU ilavesi ile üretilen levhaların farklı yoğunluk değerlerine sahip deneme levhalarının ve kontrol grubu levhalarının su alma değerleri verilmiştir.

Tablo 14. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının levha su alma özelliğine etkisi

Levha Türü	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Su alma (%)
Kontrol	789	61,56
	899	44,74
	942	41,02
	952	35,84
TÖ	824	58,97
	866	40,72
	950	26,32
	974	24,80
TS	820	58,90
	952	31,65
	956	31,44
	962	26,27
TB	816	60,35
	843	56,76
	945	32,80
	963	28,85

### 3.1.1.2. Levhaların Şişme Yüzdelerindeki Değişim

Tutkallama sonrası uygulama ile farklı oranlarda (%0, % 1, % 2,2 ve % 4 ) DMDHEU kullanımı ile üretilen levhalarının 24 saat suda bekletildikten sonra gerçekleşen şişme yüzde

değerleri Tablo 15’de görülmektedir. Tablodan görüldüğü üzere DMDHEU miktarının artması ile levhaların şişmesi azalmıştır.

Tablo 15. DMDHEU ilave miktarının levha şişme özelliğine etkisi

Levha Türü	Kimyasal oranı (%)	Şişme 24 saat (%)
Kontrol	0	17,00
TS	1	11,20
	2,2	10,30
	4	9,61

Farklı yoğunluk değerlerine sahip deneme levhalarında DMDHEU kullanımının üç farklı şekilde life verilmesi ile gerçekleşen şişme yüzdeleri Tablo 16’da verilmiştir..

Tablo 16. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının levha şişme değerlerine etkisi

Levha Türü	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Şişme (%)
Kontrol	789	20,18
	899	18,13
	942	18,59
	952	16,75
TÖ	824	16,46
	866	13,37
	950	15,11
	974	14,25
TS	820	16,59
	852	13,91
	952	15,15
	956	13,34
TB	843	16,96
	846	18,40
	945	16,00

### 3.1.2. Boyutsal Stabilite Özellikleri

Tablo 17’de 1,16 MÜF tutkalı ile farklı oranlarda DMDHEU ilavesiyle üretilen lif levhaların boyutlarındaki kalınlık değişimi (şişme ve incelme) ve uzunluk değişimi (uzama

ve kısalma) değerleri verilmiştir. Levha üretiminde DMDHEU kimyasalı tutkal ile birlikte liflere verilmesi şeklinde kullanılmıştır.

Tablo 17. DMDHEU kullanım oranının levha boyutsal özelliklere etkisine ait değerler

Levha Türü	Kimyasal oranı (%)	$\delta H$ (65,85)	$\delta H$ (65,30)	$\delta l$ (65,85)	$\delta l$ (65,30)
TB	0	3,43	-1,79	2,69	-2,39
	2,2	3,26	-1,67	3,05	-2,65
	4	4,27	-1,89	2,99	-2,69

### 3.1.3. Mekanik Özelliklerin Yoğunluk ile Değişimi

DMDHEU kimyasal maddenin life verilme şeklinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Tablo 18’de elastikiyet modülünün değişimi verilmiştir.

Tablo 18. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının elastikiyet modülü özelliğine etkisi

Levha Türü	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	833	2962
	839	3003
	853	3278
	923	3604
	925	3459
TÖ	798	2726
	890	3363
	918	3537
	954	3825
TS	802	2471
	816	2975
	852	3112
	873	3215
	881	3099
	921	3571
TB	804	2618
	846	2623

Tablo 18'in devamı

TB	892	3142
	930	3302
	943	3507

Deneme levhalarının üretiminde %2,2 oranında DMDHEU kullanılmıştır. Yoğunluk değerlerinin artması elastikiyet modülü değerlerinde artmaya neden olduğu tabloda görülmektedir.

Tablo 19'da farklı yoğunluk değerlerine sahip levhaların eğilme direnci değerlerindeki değişim yoğunluğun bir fonksiyonu olarak görülmektedir. Tabloda levha yoğunluklarının artışı ile eğilme direnci değerlerinin arttığı görülmektedir.

Tablo 19. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının eğilme direnci test sonuçları

Levha Türü	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	833	41,08
	839	42,26
	853	47,08
	923	47,56
	925	47,35
TÖ	798	34,94
	890	43,15
	918	45,53
	954	48,98
TS	802	38,68
	816	40,47
	852	42,12
	873	43,78
	881	41,15
	921	49,71
TB	804	40,49
	846	35,48
	892	46,27
	930	46,95
	943	42,90



Tablo 20’de farklı yoğunluk değerlerinde %2,2 DMDHEU ilavesinde üretilen levhaların çekme direnci değerlerindeki değişim görülmektedir. Levhaların yoğunluk değerlerinin artmasına bağlı olarak çekme direnci değerlerinde artış görülmüştür.

Tablo 20. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının levha çekme direnci etkisine ait sonuçlar

Levha Türü	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Çekme direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	792	1,01
	797	1,03
	797	1,01
	870	1,38
	954	1,58
	958	1,53
TÖ	820	1,18
	837	1,36
	885	1,63
	890	1,39
	950	1,70
TS	802	1,04
	816	1,31
	873	1,56
	910	1,58
	940	1,74
	967	1,78
TB	760	1,09
	848	1,32
	892	1,29
	961	1,47

### 3.1.4. DMDHEU İlave Miktarının Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi

Tablo 21’de farklı oranlarda (%0, %1, %2,2 ve %4 ) DMDHEU kimyasalının kullanımı ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının çekme direncindeki değişim görülmektedir. Kontrol levhasına göre DMDHEU kimyasalının kullanım oranına bağlı olarak levhaların çekme direnci değerleri artmıştır.

Tablo 21. DMDHEU ilave miktarının levha çekme direnci test sonuçları

Levha Türü	Kimyasal madde oranı (%)	Çekme direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	0	1,58
TS	1	1,75
	2,2	1,74
	4	1,82

Tablo 22’de farklı oranlarda DMDHEU kimyasalının kullanımı ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının eğilme direnci değerleri görülmektedir. Eğilme direnci değerlerinde kullanılan DMDHEU oranına göre azalma elde edilmiştir.

Tablo 22. Farklı DMDHEU ilave miktarları ile üretilen levhaların eğilme direnci test sonuçları

Levha Türü	Kimyasal madde oranı (%)	Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	0	47,35
TS	1	51,80
	2,2	49,71
	4	45,08

Tablo 23’te DMDHEU miktarının üretilen levhaların elastikiyet modülü üzerine etkisi görülmektedir. DMDHEU farklı oranlarda kullanımında levhaların elastikiyet modülü değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 23. DMDHEU ilave miktarının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi

Levha Türü	Kimyasal madde oranı (%)	Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	0	3459
TS	1	3261
	2,2	3200
	4	3041

### 3.1.5. Farklı Oranlarda Tutkal İlavésinin DMDHEU Performansına Etkisi

Farklı oranlarda, melamin katkılı MÜF (F/Ü: 1,16 mol) tutkalı ile birlikte %2,2 DMDHEU kimyasalı kullanılarak üretilen levhaların mekanik ve higroskopik özellikleri incelenmiştir. DMDHEU'nin tutkal sonrası (TS) life verilmesi sonucunda üretilen deneme levhalarının test sonuçları tabolalar halinde verilmiştir.

#### 3.1.5.1. Farklı Oranlarda Tutkal ile Birlikte DMDHEU Kullanımının Levhaların Higroskopik Özelliklerine Etkisi

Tablo 24'de farklı oranlarda MÜF (%16, %18 ve %20) tutkalı ve %2,2 oranında DMDHEU kullanımı ile üretilen deneme ve kontrol levhalarının şişme (24 saat) değerleri görülmektedir. Tabloda tutkal kullanım oranının artması ile levhaların şişme değerlerinde azalma oluşu görülmektedir.

Tablo 24. Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha şişme (24 saat) özelliğine etkisi

Levha Türü	Kimyasal madde oranı (%)	Tutkal oranı (%)	Şişme 24 saat (%)
Kontrol	0	20	17,00
TS	2,2	16	25,44
	2,2	18	16,00
	2,2	20	10,30

Tablo 25'de farklı oranlarda tutkal ve %2,2 DMDHEU kullanımı ile üretilen deneme ve kontrol levhalarının su alma (24 saat) değerleri görülmektedir. Tablo incelendiğinde beklendiği gibi tutkal kullanım oranının artması ile birlikte su alma değerlerinde azalma görülmektedir.

Tablo 25. Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha su alma (24 saat) özelliğine etkisi

Levha Türü	Kimyasal madde oranı (%)	Tutkal oranı (%)	Su alma 24 saat (%)
Kontrol	0	20	40,94
TS	2,2	16	54,71
	2,2	18	45,23
	2,2	20	31,61

### 3.1.5.2. Farklı Oranlarda MÜF Tutkalı ile Birlikte DMDHEU Kullanımının Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi

Tablo 26’da farklı oranlarda (%0, %16, %18 ve %20) MÜF tutkalı ile birlikte %2,2 oranında DMDHEU kullanılarak üretilen deneme ve kontrol levhalarının çekme direnci değerleri görülmektedir.

Tablo26. Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha çekme direnci özelliğine etkisi

Levha Türü	Kimyasal madde oranı (%)	Tutkal oranı (%)	Çekme direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	0	20	1,58
TS	2,2	16	0,78
	2,2	18	1,00
	2,2	20	1,74

Farklı oranlarda (%0, %16, %18 ve %20) MÜF tutkalı ile birlikte %2,2 oranında DMDHEU kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci değerlerindeki değişim Tablo 27’de verilmiştir. Eğilme direnci tutkal kullanım oranının artması ile artmıştır.

Tablo 27. Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha eğilme direnci özelliğine etkisi

Levha Türü	Kimyasal madde oranı (%)	Tutkal oranı (%)	Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	0	20	47,35
TS	2,2	16	43,93
	2,2	18	41,29
	2,2	20	49,71

Tablo 28’de farklı oranlarda tutkal ve %2,2 oranında DMDHEU kullanımı ile birlikte üretilen deneme levhalarının ve DMDHEU içermeyen kontrol levhalarının elastikiyet modülü değerleri görülmektedir. Tablo incelendiğinde tutkal kullanımının artması ile elastikiyet modülü değerlerinde artış görülmektedir.

Tablo 28. Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisinin sonuçları

Levha Türü	Kimyasal madde oranı (%)	Tutkal oranı (%)	Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )
TS	2,2	16	2750
	2,2	18	2855
	2,2	20	3200
Kontrol	0	20	3459

### 3.2. Silikon Esaslı Kimyasalların MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı

Su itici özelliğe sahip silikon esaslı kimyasallardan DC ve XM'in melamin katkılı MÜF tutkalı (F/Ü:1,07 mol) ile birlikte kullanılmasıyla levhalar üretilmiştir. Levhaların üretiminde tam kuru life oranla %20 tutkal ve farklı oranlarda DC ve XM kimyasalı sertleştirici kimyasal ile birlikte liflere uygulanarak kullanılmıştır. Çalışmada, silikon esaslı kimyasalların kullanılması ile levha özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üretilen levhaların higroskopik, boyutsal stabilite ve mekanik özelliklerini belirleyen testler yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda tablolar halinde verilmiştir.

#### 3.2.1. Levhaların Higroskopik Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi

##### 3.2.1.1. Kalınlığına Şişme Test Sonuçları

Farklı oranlarda silikon esaslı kimyasalların MÜF tutkalı ile birlikte kullanılarak üretilen levhaların 24 saat suda bekletilmesi neticesinde şişme yüzde değerleri Tablo 29' da verilmiştir. Tablo incelendiğinde kullanılan kimyasalların levhaların şişme değerlerine olumlu etkisi olduğu görülmektedir.

Tablo 29. Silikon esaslı kimyasalların ilave miktarının levhanın şişme (24 saat) özelliği üzerine etkisi

	Kimyasal miktarı (%)	Şişme 24 saat (%)
Kontrol	0	16,50
DC	0,5	10,56
	1,5	10,15
	3	9,87
XM	0,5	15,35
	1	14,12
	3	14,59

DC ve XM kimyasallarının levhaların şişme değerlerine etkisi kimyasal orana göre değişmekle birlikte, bütün oranlarda levhaların şişme yüzde değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

### 3.2.1.2. Levhaların Su Alma Sonuçları

Farklı oranlarda DC ve XM kimyasallarının MÜF tutkalı ile karıştırılarak üretilen deneme ve kontrol levhalarının su alma yüzde değerleri 24 saat sonunda ölçülmüş ve ölçüm sonuçları Tablo 30' da verilmiştir. DC ve XM kimyasallarının levhanın su alma yüzdesi değerini düşürmesi yönünde etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 30. Silikon esaslı kimyasalların ilave miktarının levhanın su alma (24 saat) özelliği üzerine etkisi

Levha türü	Kimyasal miktarı (%)	Su alma 24 saat (%)
Kontrol	0	75,75
DC	0,5	63,52
	1,5	53,67
	3	49,78
XM	0,5	64,19
	1	62,57
	3	71,36

### 3.2.2. Levhaların Boyutsal Stabilité Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi

#### 3.2.2.1. Levhaların Kalınlık ve Uzunluk Değişimi Sonuçları

MÜF tutkalı ve farklı oranlarda DC ve XM kimyasallarının kullanılması ile üretilen, farklı yoğunluk değerlerine sahip levhaların kalınlık ve uzunluk değişim sonuçları elde edilmiştir. Tablo 31 ve 32'de farklı oranlarda XM ve DC kimyasalının kullanılması ile ilave edilen kimyasal oranına göre levhaların ortalama kalınlık değişimi (şişme ve incelme) ve uzunluk değişimi (uzama ve kısalma) sonuçları tablo halinde verilmiştir.

Tablo 31. XM kimyasalının levhanın boyutsal değişimi (kalınlık ve uzunluk)üzerine etkisi

	Kimyasal oranı (%)	$\delta t$ (65,85)	$\delta t$ (65,30)	$\delta l$ (65,85)	$\delta l$ (65,30)
Kontrol	0	5,14	-2,45	1,79	-2,92
XM	0,5	4,58	-2,13	2,41	-2,72
	1	4,45	-1,94	2,52	-2,59
	1,5	4,86	-2,06	2,19	-2,69
	3	4,70	-1,93	2,26	-1,93

Tablo 32. DC kimyasalının levhanın boyutsal değişimi (kalınlık ve uzunluk) üzerine etkisi

	Kimyasal oranı (%)	$\delta t$ (65,85)	$\delta t$ (65,30)	$\delta l$ (65,85)	$\delta l$ (65,30)
Kontrol	0	5,14	-2,45	1,79	-2,92
DC	0,5	5,16	-1,85	2,43	-2,69
	1,5	4,34	-1,67	2,39	-2,56
	3	4,89	-2,32	2,42	-2,55

### 3.2.3. Levhaların Mekanik Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi

Farklı oranlarda kullanılan DC ve XM kimyasallarının MÜF tutkalı ile birlikte üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının çekme direnci değerlerine ait sonuçlar Tablo33'te verilmiştir. Her iki kimyasalın kullanım oranına göre çekme direnci değerleri kontrol levhasına göre artış göstermiştir.



Tablo 33. Silikon esaslı kimyasalların levhanın çekme direnci üzerine etkisi

	Kimyasal miktarı (%)	Çekme direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	0	1,10
DC	0,5	1,20
	1,5	1,45
	3	1,39
XM	0,5	1,53
	1	1,40
	3	1,43

Tablo 34' te DC ve XM kimyasallarının MÜF tutkalı ile birlikte üretilen levhaların eğilme direnç değerleri verilmiştir. DC kimyasalının farklı oranlarda kullanımı ile kontrol levhasına göre eğilme direncinde artış elde edilmiştir. XM kimyasalında %0,5 ve %1 oranında kullanımında kontrol levhasına göre eğilme direncinde artış elde edilmiş %3 oranında kullanımında azalma elde edilmiştir.

Tablo 34. Silikon esaslı kimyasalların levhanın eğilme direnci üzerine etkisi

Levha türü	Kimyasal miktarı (%)	Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	0	39,39
DC	0,5	44,84
	1,5	43,99
	3	42,43
XM	0,5	41,25
	1	45,87
	3	36,43

DC ve XM kimyasallarının levhanın elastikiyet modülü özelliği üzerine etkisi Tablo 35'te verilmiştir. DC kimyasalının kullanımı ile üretilen deneme levhalarının elastikiyet modülü değerleri kontrol grubu levhaya göre çok fazla değişmediği tespit edilmiştir.

Tablo 35. Silikon esaslı kimyasalların levhanın elastikiyet modülü üzerine etkisi

Levha türü	Kimyasal miktarı (%)	Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )
Kontrol	0	4214
DC	0,5	4308
	1,5	4136
	3	4313
XM	0,5	4151
	1	4825
	3	3492

En düşük elastikiyet modülü değeri 3492 N/mm<sup>2</sup> olarak %3 oranında XM kimyasalının kullanıldığı levhadan elde edilmiştir. XM kimyasalının %1 oranında kullanımında en yüksek elastikiyet modülü elde edilmiştir. Kontrol grubu levhanın elastikiyet modülü değeri 4214 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. DC kimyasalının kullanım oranlarının levhaların elastikiyet modülü değerlerine etkisi çok büyük farklılıklar ortaya çıkarmamıştır.

### 3.3. Formaldehit Tutucunun MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı

Melamin katkılı ve farklı mol oranlarına sahip (F/Ü: 1,07 ve F/Ü: 1,04) MÜF tutkallarının, farklı oranlarda formaldehit tutucu kullanılması ile lif levhalar üretilmiştir. Tam kuru life oranla %20 tutkal, tam kuru tutkala oranla %0, %15, %25 ve %35 FT ve %2 sertleştirici liflere uygulanarak üretim gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada; FT'nun levhaların serbest formaldehit içeriğine etkisinin yanı sıra diğer mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Üretilen levhaların mekanik, higroskopik, boyutsal stabilite (kararlılık) ve serbest formaldehit testleri yapılmış olup elde edilen bulgular tablolar şeklinde verilmiştir.

#### 3.3.1. Laboratuvarında Üretilen Levhaların Test Sonuçları

##### 3.3.1.1. Levhaların Serbest Formaldehit Test Sonuçları

MÜF tutkalları ile farklı oranlarda FT kullanımının levhaların serbest formaldehit değerleri üzerindeki etkisi Tablo 36'da görülmektedir. Beklenildiği gibi formaldehit tutucu kullanımı ile levhaların serbest formaldehit değerleri düşmüştür.

Tablo 36. Formaldehit Tutucu ilavesinin levha serbest formaldehit değeri üzerine etkisi

Tutkal türü	Kimyasal miktarı (%)	Serbest formaldehit değeri (mg/100 gr levha)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
MÜF 1,07	0	5,04	849
	15	4,64	881
	25	3,05	790
	35	2,96	784
MÜF 1,04	0	3,37	817
	15	2,00	800
	25	1,68	812
	35	2,20	809

### 3.3.1.2. Levhaların Higroskopik Test Sonuçları

#### 3.3.1.2.1. Levhaların Şişme (%) Test Sonuçları

Tablo 37’de FT ilavesinin levhanın şişme özelliğine etkisi görülmektedir. Formaldehit tutucu kullanılmamış olan levhaya göre kıyaslandığında, FT ilavesinin levhaların şişme yüzdesini azalttığı görülmektedir. Şişme yüzdesinin 1,07 MÜF tutkalı ile üretilen levhalarda nispeten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 37. FT ilavesinin levha şişme özelliğine etkisi

Tutkal türü	Kimyasal miktarı (%)	Şişme 24 saat (%)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
MÜF 1,07	0	16,50	849
	15	16,76	881
	25	17,85	790
	35	16,70	784
MÜF 1,04	0	15,85	817
	15	21,40	800
	25	16,43	812
	35	15,97	809

#### 3.3.1.2.2. Levhaların Su Alma (%) Test Sonuçları

FT ilavesi ile üretilen levhalarının 24 saat su içerisinde bekletilmesi ile elde edilen su alma yüzdelerindeki değişim Tablo 38’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde 1,04 MÜF tutkalının FT ilavesi ile birlikte levhaların su alma yüzdelerinin azaldığı görülmektedir. Her iki MÜF tutkalının %15 FT kullanımı ile levha su alma yüzdesi düşmüş fakat artan FT kullanım oranlarında şişme oranının arttığı gözlenmiştir.

Tablo 38. FT ilavesinin levha su alma özelliğine etkisi

Tutkal türü	Kimyasal miktarı (%)	Su alma 24 saat (%)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
MÜF 1,07	0	60,33	849
	15	51,26	881
	25	65,96	790
	35	66,04	784
MÜF 1,04	0	56,41	817
	15	73,70	800
	25	74,00	812
	35	67,05	809

### 3.3.1.3. Boyutsal Stabilite Test Sonuçları

MÜF 1,07 tutkalı, farklı oranlarda (%15,%25 ve %35) FT ve sertleştirici kullanılarak farklı yoğunluklarda deneme ve kontrol levhaları üretilmiştir. Bu levhaların bağıl nem artışı ve azalışı sırasında boyutsal değişimler incelenmiştir.

#### 3.3.1.3.1. Levhaların Kalınlık ve Uzunluk Değişimi Sonuçları

Tablo 39’da MÜF 1,07 tutkalının farklı oranlarda FT kullanımı ile üretilmiş olan levhaların kalınlık (şişme ve incelme) ve uzunluk (uzama ve kısalma) deformasyon değerleri ortalamaları alınarak verilmiştir.

Tablo 39. FT ilavesinin levha kalınlık ve uzunluk deformasyonuna etkisi

Tutkal Türü	Kimyasal miktarı (%)	$\delta t(65,85)$ (%)	$\delta t(65,30)$ (%)	$\delta l(65,85)$ (mm/m)	$\delta l(65,30)$ (mm/m)
MÜF 1,07	0	5,25	-2,39	1,87	-2,89
	15	5,32	-1,97	2,26	-2,8
	25	5,43	-2,22	2,39	-2,92
	35	5,41	-2,12	2,02	-2,97

### 3.3.1.4. Levhaların Mekanik Test Sonuçları

MÜF tutkallarının ve FT ilavesi ile üretilen levhaların çekme direnci verileri Tablo 40'da verilmiştir. MÜF 1,07 tutkalı kullanımında artan FT oranı ile birlikte çekme direnci değerleri azalmakta, MÜF 1,04 tutkalında ise FT ilavesi ile artma ve azalmalar görülmektedir.

Tablo 40. FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha çekme direnci özelliğine etkisi

Tutkal türü	Kimyasal miktarı (%)	Çekme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
MÜF 1,07	0	1,44	849
	15	1,46	881
	25	1,22	790
	35	0,93	784
MÜF 1,04	0	1,12	817
	15	1,26	800
	25	1,06	812
	35	0,85	809

Tablo 41'de 1,07 ve 1,04 MÜF tutkalları ile üretilen levhaların eğilme direnci değerleri verilmiştir. Her iki tutkala FT ilavesi ile levhaların eğilme direnci değerlerinde kontrol levhasına göre azalmalar bulunmuştur.

Tablo 41. FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha eğilme direnci özelliğine etkisi

Tutkal Türü	Kimyasal miktarı (%)	Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
MÜF 1,07	0	47,85	849
	15	46,82	881
	25	45,08	790
	35	35,81	784
MÜF 1,04	0	41,32	817
	15	44,52	800
	25	46,14	812
	35	39,96	809

Tablo 42’de 1,07 ve 1,04 MÜF tutkalları kullanımında FT ilave miktarının levhaların elastikiyet modülü üzerine etkisi görülmektedir. MÜF 1,07 tutkalına farklı oranlarda FT ilave edilmesi ile elastikiyet modülü değerlerinde önce artış sonra azalma elde edilmiştir. MÜF 1,04 tutkalına farklı oranlarda FT ilave edilmesinde elastikiyet modülünde kontrol levhasına göre artış elde edilmiştir.

Tablo 42. FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi

Tutkal türü	Kimyasal miktarı (%)	Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
MÜF 1,07	0	4539	849
	15	5139	881
	25	4920	790
	35	4416	784
MÜF 1,04	0	4413	817
	15	4549	800
	25	4600	812
	35	4595	809

## 4. TARTIŞMA

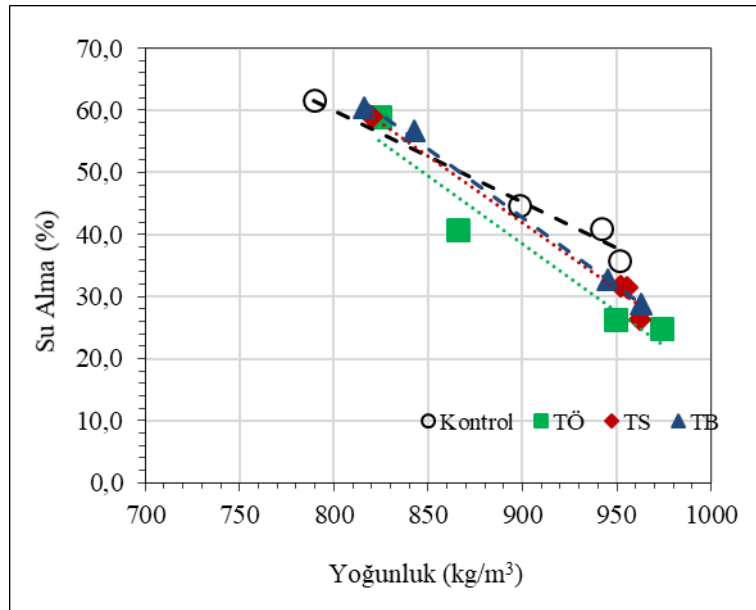
### 4.1. Dimetiloldihidroksietilenürenin MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı

#### 4.1.1. Levhaların Higroskopik Özelliklerinin DMDHEU İlavesi ile Değişimi

##### 4.1.1.1. Su Alma Özelliğine Etkisi

Şekil 18’de farklı yoğunluk değerlerine sahip deneme ve kontrol grubu levhaların su alma değerlerindeki değişim grafiği görülmektedir. Grafiğe göre, %2,2 DMDHEU ilavesinde yoğunluk artışı ile birlikte su alma oranlarında azalma olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, levha üretiminde kimyasalın liflere uygulanma sırasın da farklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Levha yoğunluğunun  $940-960 \text{ kg/m}^3$  olduğu alan incelendiğinde, en düşük su alma oranı değerinin TÖ uygulamasıyla üretilen levhadan elde edilmiş olduğu görülmektedir. TB ve TS uygulamalarında benzer sonuçlar gözlenmiş olup bu değerler TÖ uygulamasının üzerindedir. Bu yoğunluk aralığında kontrol grubu levhaların daha fazla şiştiği ve ölçülen değerlerin %38 civarında olduğu tespit edilmiştir.



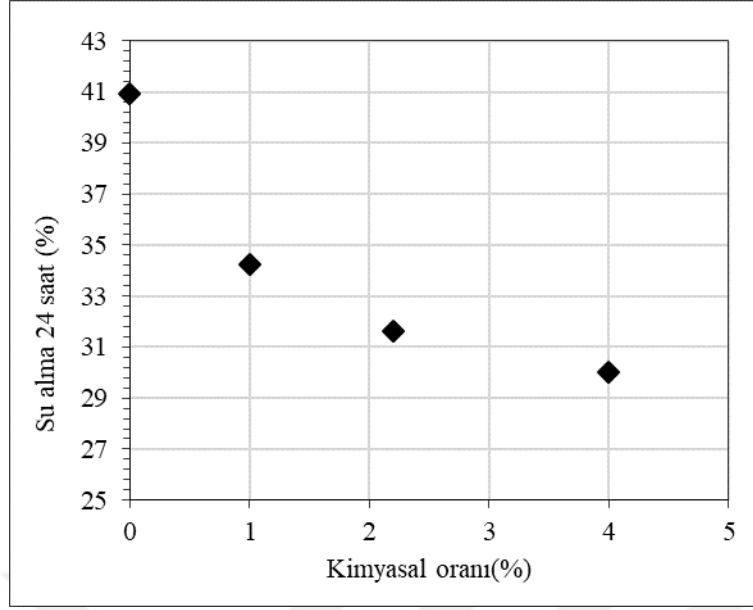
Şekil 18. Farklı DMDHEU uygulamalarında levha yoğunluğunun levha su alma özelliğine etkisi



DMDHEU ısı uygulaması ile çapraz bağ kurabilen ve sertleşen, sertleştiği yüzeyi kapatma özelliğine sahip bir kimyasal maddedir (Yasuda vd., 1994). Aynı zamanda, çalışmada kullanılan melamin katkılı tutkal ile de lifler arasında çapraz bağ kurma imkânı elde edilmektedir. DMDHEU düşük sıcaklıkta hızlı sertleşme verebilen bir kimyasaldır (US 4442257, 1984). TÖ ilavede kimyasalın liflerin hidroksil gruplarıyla verdiği reaksiyonun su almayı engellediği düşünülmektedir. TB ve TS ilavelerde ise reaksiyonun bir kısmı tutkalla gerçekleşmektedir.

Ayrıca, levhalardaki su alma oranlarının azalması DMDHEU kimyasalının, lifler ile kurduğu çapraz bağ yapısının artışı ve bununla birlikte, suyun lifler arasına girme ve liflerin arasındaki hidrojen bağ yapısını bozma özelliğini azalttığı sonucu çıkarılmıştır. Yoğunluk artışı ile levhalarda daha fazla miktarda lif bulunmaktadır. Lif miktarının artması daha fazla çapraz bağ sayısı elde edildiği anlamına gelmektedir. Bu lif-kimyasal bağ sayısının artışı ile levhaların su alma değerlerinin azaldığı sonucu elde edilmiştir. Bununla birlikte, levha içerisindeki suyun penetre olabileceği boşluklarda azalmıştır.

Farklı oranlarda (%0, % 1, % 2,2 ve % 4 ) DMDHEU kullanımı ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının su alma değişim grafiği aşağıdaki Şekil 19'da verilmiştir. Bu çalışmalarda, DMDHEU tutkaldan sonra liflere püskürtülmesinin sonuçları verilmiştir. Grafik incelendiğinde DMDHEU kullanımının artması ile birlikte su alma değerlerinde azalma görülmektedir. Kontrol grubu levhada su alma değeri % 40,9 iken. %1 DMDHEU kullanımı ile üretilen levhadan su alma değeri %34,2, %2,2 DMDHEU kullanımı ile üretilen levhadan %31,6 ve %4 DMDHEU kullanımı ile üretilen levhadan ise % 30 olarak bulunmuştur.



Şekil 19. Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha su alma özelliğine etkisi

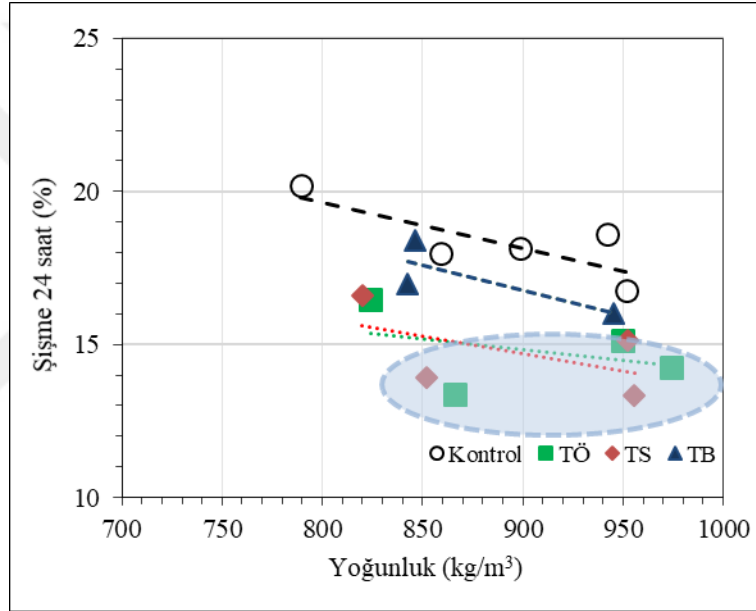
Kullanılan DMDHEU oranının artışı ile birlikte levhada bulunan liflerin serbest –OH gruplarının daha fazla DMDHEU'nin hidroksimetil grupları ile bağ yapma imkânı bulunmaktadır. Oluşan bu çapraz bağlar sayesinde lifler üzerinde bağ yapabilecek –OH gruplarının sayısı azalmış olmakta ve liflerin yüzeyinin kimyasal madde ile kaplanması sağlanmış olacaktır. Su girişi bu yapıların varlığı ile engellenmiş olmakta ve levhaların su alma değerlerinin bu şekilde azaldığı düşünülmektedir (Maminski vd., 2018; Baishya ve Maji, 2014).

#### 4.1.1.2. Levhaların Şişme Yüzdelerine Etkisi

Farklı yoğunluk değerlerine sahip deneme levhalarında DMDHEU kullanımı ile gerçekleşen şişme yüzdeleri Şekil 20'de verilmiştir. Grafığe göre yoğunluk artışı ve DMDHEU'nin life verilmiş sırasına göre şişme oranlarında farklılık olduğu görülmektedir. Kontrol grubunda  $789 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip levhada en yüksek şişme değeri %20 olarak bulunmuş olup,  $951 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğu olan levhanın şişme değerinin %17'ye gerilediği tespit edilmiştir. Grafik incelendiğinde yoğunluğa bağlı olarak elde edilen şişme yüzdelerinde TS ve TÖ uygulamalarda daha düşük değerler elde edilmiştir. Doğrusal eğilim çizgisi dikkate alındığında, levha yoğunluğunun yaklaşık  $850 \text{ kg/m}^3$  olduğu uygulamalarda kontrol grubunun

%18; TB uygulamasının %18; TÖ'de %13,4 ve TS'da ise %13,9 şişme yüzdesi olduğu görülmüştür.

Su liflerin yüzeyinde bulunan hidroksil grupları ile bağ yapmakta ve levhanın şişmesine neden olmaktadır. Su, selülozun amorf kısımlarında bulunan bütün hidroksil grupları ile bağ yapmakta, kristalen bölgede ise lif yüzeyindeki -OH grupları ile bağ yapabilmektedir. Lifi kristalen yapısındaki -OH grupları daha düzenli ve birbirlerine daha yakın olarak bulduklarından bu kısma su girişi daha az olmaktadır. Şişme amorf bölgede olmakta ve amorf bölgenin fazla olması şişmenin daha fazla olmasını ifade etmektedir (Kaya, 2013).

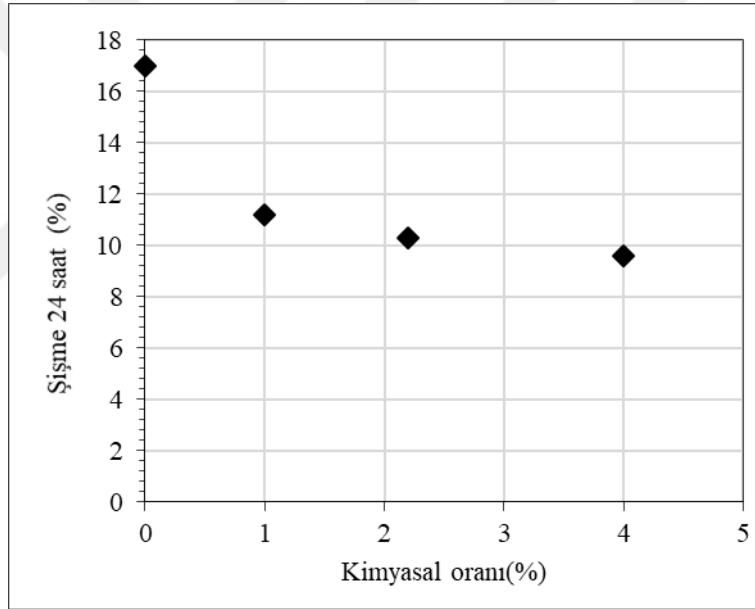


Şekil 20. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının levha şişme yüzdelere etkisi

Yoğunluk artışı (lif de bağ kurulabilen -OH grup sayısının artması) ve kimyasalın tutkal sonrası ilavesi ile selülozun amorf kısımlarında bulunan -OH grupları ile kimyasalın çapraz bağ kurduğu ve kurulan bu bağ yapısından su girişinin olmadığı, sonuç olarak ta levhanın şişmesinin engellendiği düşünülmektedir. Tutkal sonrası kimyasalın ilave edilmesi ile elde edilen şişmenin daha düşük olması, MÜF tutkalının ilk olarak liflere verilmesi ile liflerin serbest -OH grupları ile tutkal bağ yapmakta, diğer bağ kuramamış -OH grupları ile DMDHEU kimyasalının çapraz bağ kurarak levhanın suya maruz kalması durumunda bu çapraz bağlar sayesinde levhanın şişme yüzde değerinin azaldığı düşünülmektedir (Wascher

vd., 2017). Tutkal sonrası DMDHEU ilave edilmesi ile DMDHEU ve MÜF tutkalının olumsuz etkileşimide önlenmiş olmaktadır.

Tutkallama sonrası uygulama ile farklı oranlarda (% 1, % 2,2 ve % 4 ) DMDHEU kullanımı ile üretilen levhalarının 24 saat suda bekletildikten sonra gerçekleşen şişme yüzdesi grafiği Şekil 21’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde; farklı oranda DMDHEU kullanımı ile birlikte şişme değerlerinde azalma görülmektedir. Kontrol grubu levhada şişme değeri % 17 olarak tespit edilmiştir. %1 DMDHEU kullanımı ile üretilen levhada şişme değeri % 11,2 olarak bulunmuştur. Daha sonraki ilavelerde şişme yüzdesindeki azalma daha küçük miktarlarda gerçekleşmiştir. DMDHEU’nin %2,2 kullanımı ile üretilen levhada şişme değeri % 10,3 iken %4 ilave oranında üretilen levhada ise şişme değeri ise % 9,6 olarak bulunmuştur.



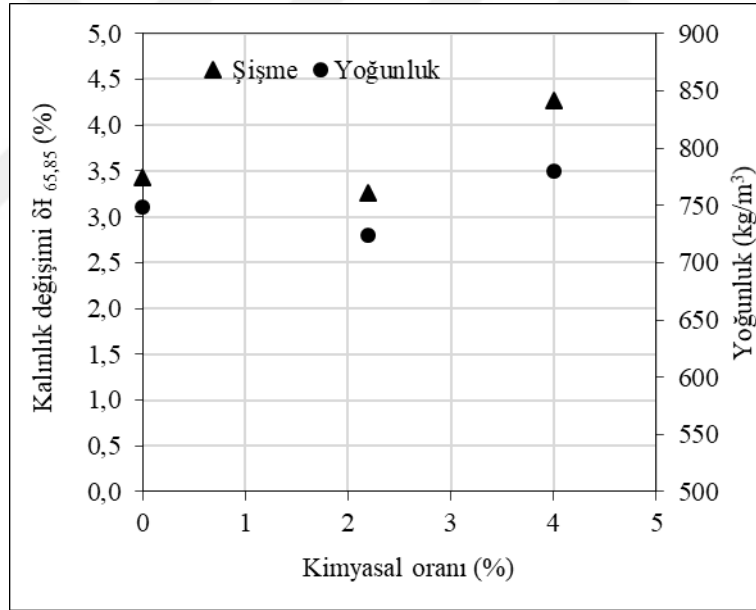
Şekil 21. Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha şişme özelliğine etkisi

Levha üretiminde kullanılan DMDHEU oranı artışı ile levha şişme yüzde değerinin azalması; liflerin daha fazla oranda kimyasal ile daha fazla çapraz bağ yapabilme imkânı elde etmekle birlikte lifler arasında çapraz bağ sayısı artmakta ve bunun akabinde levhaya su girişi (serbest –OH grupları ile bağ yapma) daha az olmaktadır. Su da bulunan –OH gruplarının lif de bulunan serbest –OH gruplarının sayısının azalması ile daha az bağ yapabilecek ve levhanın şişmesi azalacaktır. DMDHEU ilavesi ile elde edilen şişme yüzde değerleri standartta istenilen değerler arasında elde edilmiştir.

#### 4.1.2. Boyutsal Stabilite Özelliklerine Etkisi

Şekil 22’de %2,2 ve %4 oranında DMDHEU ilavesiyle üretilen liflevhaların bağıl nemin %65’ten %85’e çıkarılması durumunda boyutlarındaki kalınlık (şişme) değişim grafiği verilmiştir. Şekilde verilmiş olan değerler ölçüm sonuçlarının ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Şekilde görüldüğü üzere, sabit sıcaklıkta artan bağıl nemle birlikte %2,2 DMDHEU ilavesinde kalınlık yönünde değişim dikkate değer düzeyde değilken DMDHEU miktarının %4’e çıkarılması ile artmıştır. Bu durum %4 DMDHEU kullanılan levhanın yoğunluğunun fazla olması ile ilişkilendirilmiştir.

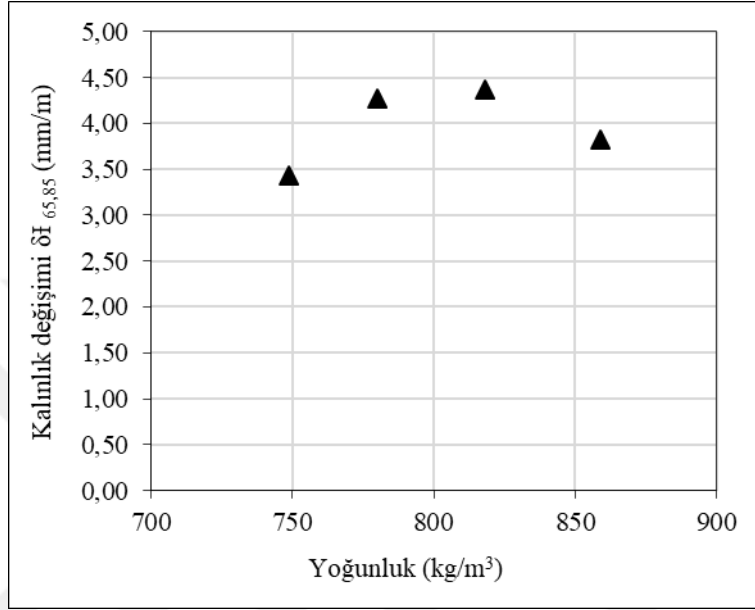
Lif levhaların kalınlık yönündeki şişmenin sebebini, levhanın rutubet alması ile iç bağ yapısının bozulması ve levha içerisinde oluşan basınçlı gerilimin serbest kalmasına bağlanmaktadır.



Şekil 22. DMDHEU kimyasalının levhanın kalınlık değişimi üzerine (şişme) etkisi

Levha yoğunluğunun levha kalınlık (şişme) değişimi üzerine deformasyonu Şekil 23’de görülmektedir. Levha yoğunluğunun artması ile beraber levhaların kalınlıklarında deformasyonlar olduğu görülmektedir. Levhaların yoğunluk değerlerine göre kalınlık artışındaki deformasyonun, levha yoğunluğunun artışı ile bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Lif levhanın higroskopik malzeme olması sebebi ile rutubetli ortamlarda lifler arasında

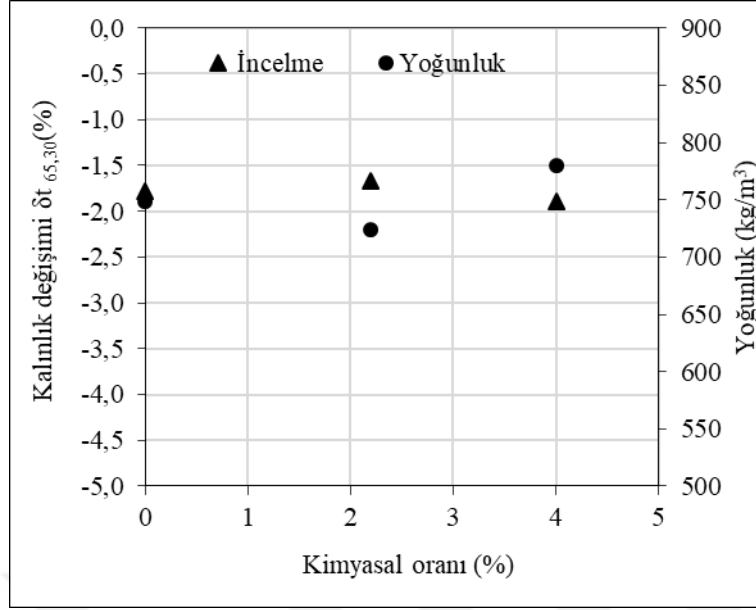
oluşan bağların bozunmasına ve liflerin şişmesine ve böylece, levhaların da kalınlaşmasına neden olmaktadır. Yoğunluğu fazla olan levhalarda şişmenin daha fazla olması beklenen bir sonuçtur. MÜF tutkalının ve DMDHEU'nun su itici kimyasallar olması ve lifler ile çapraz bağ oluşturması sebebi ile levhaların kalınlık artışında azda olsa azaltıcı etki görülmüştür.



Şekil 23. Levha yoğunluğunun levha kalınlık (şişme) değişimi üzerine etkisi

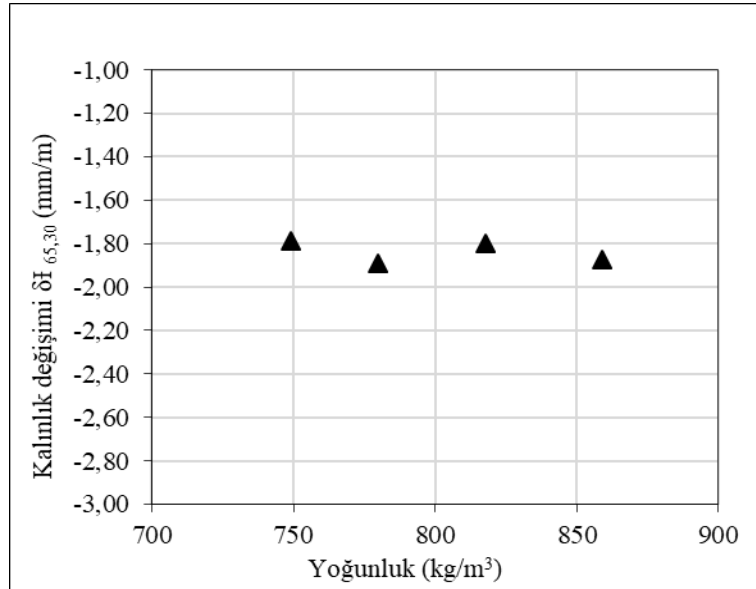
Levhanın kalınlığı boyunca eşit olmayan nem ve yoğunluk profilinin sonucu olarak levha farklı nispi nem oranlarında kalınlık ve boyuna yönünde genişleme özelliği gösterecektir (Ganev vd., 2005). Levhaların kalınlık (şişme) değerlerinin artışında levha yoğunluğunun etkisini de göz önünde bulundurmak önemli bir konudur. Levha yoğunluğunun levhanın iç ve dış kısmında farklı olması ve bu farklılıktan dolayı lifler arasında oluşan bağların farklılaşması ve bunun sonucunda da levhanın farklı rutubet değerlerinde nem alarak levha kalınlığının yoğunluğa bağlı kalarak sonuçlar elde edilmesine sebep olduğu düşünülmüştür.

Şekil 24'de ise bağıl nemin %65'ten %30'a çekilmesi durumunda levha kalınlığındaki ortalama değişim (incelme) değerleri verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere, DMDHEU kullanımı ile levhanın kalınlığına gerçekleşen incelmenin dikkate değer bir büyüklükte olmadığı açıkça görülmektedir. Levhaların çapraz bağlı yapısının nem vermede kalınlığına olan boyutsal stabiliteyi koruduğu görülmektedir.



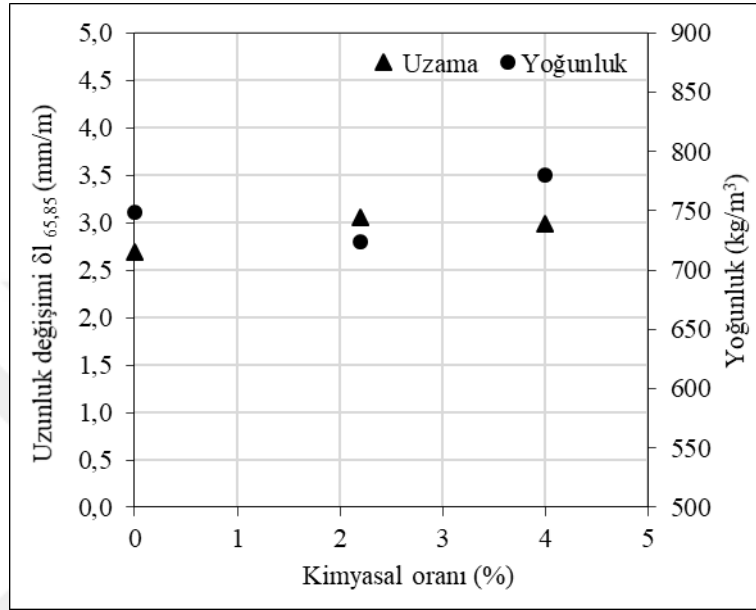
Şekil 24. DMDHEU kimyasalının levhanın kalınlık (incelme) değışimi üzerine etkisi

Bununla birlikte, Şekil 25’de levha yoğunluğunun levha kalınlığındaki değışime etkisi incelendiğinde, levha yoğunluğunun artışı levha kalınlık deformasyonuna ciddi bir etki oluşturmadığı görülmektedir.

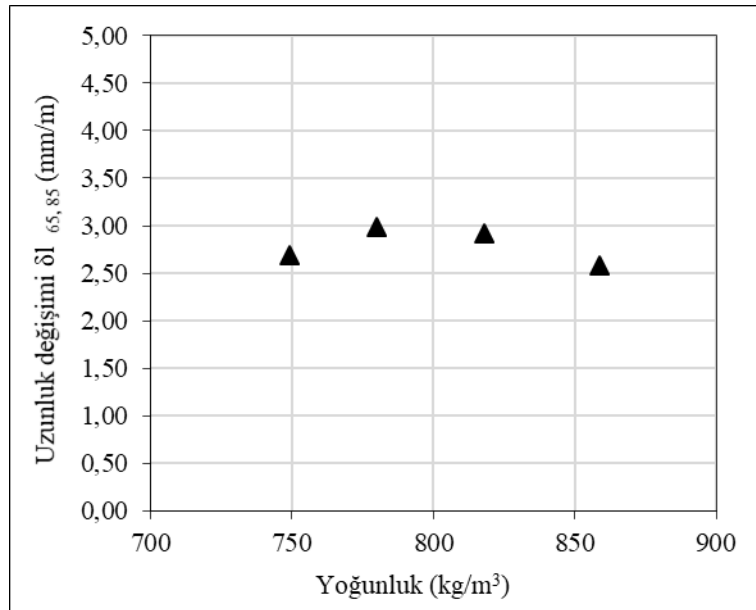


Şekil 25. Levha yoğunluğunun levha kalınlık (incelme) üzerine etkisi

Levhanın %65 bağıl nemden %85 bağıl neme geçişte uzunluğuna değişimi Şekil 26'da görülmektedir. %2,2 ve %4 DMDHEU ilavesinde levhaların uzunluk yönünde düşük miktarda bozulmanın olduğu görülmektedir. Kontrol levhasına göre uzunluk değişimi karşılaştırıldığında 0,36 mm/m'lik bir uzama olduğu görülmüştür.



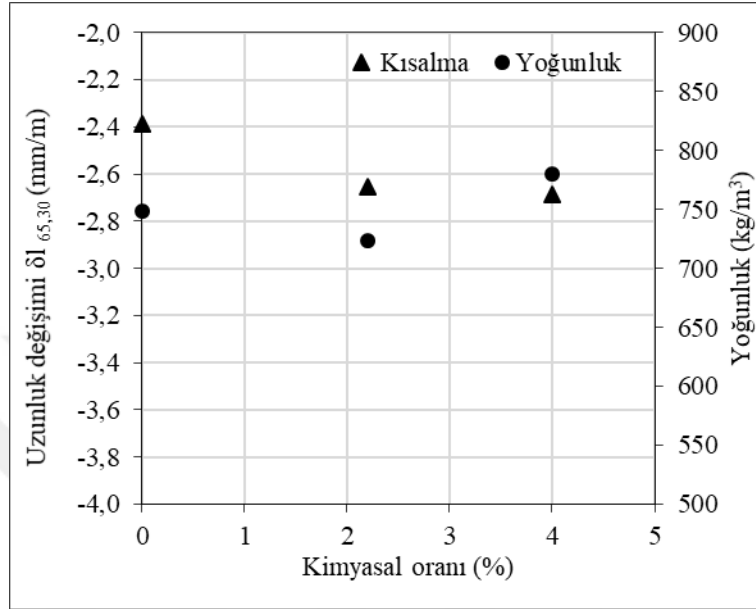
Şekil 26. DMDHEU kimyasalının levhanın uzunluk (uzama) değişimi üzerine etkisi



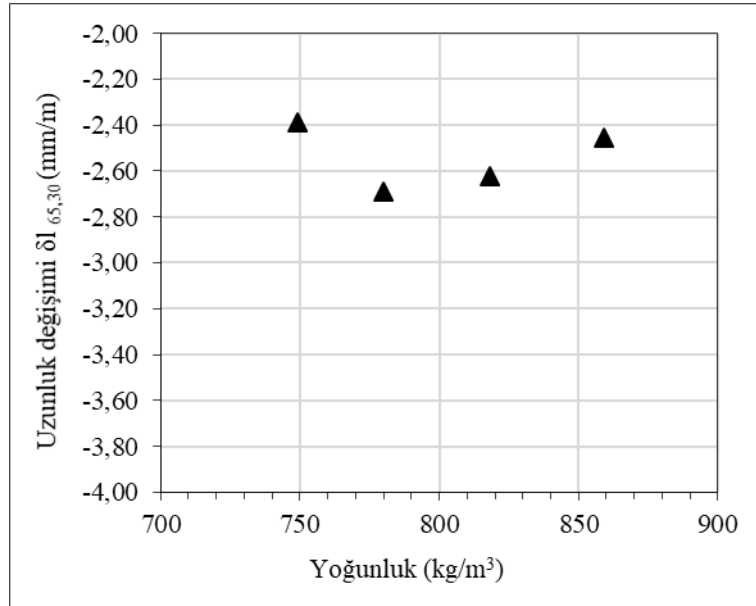
Şekil 27. Levha yoğunluğunun levha uzunluk deformasyonuna (uzama) etkisi



Levha yoğunluğunun levha uzunluğu yönündeki deformasyonuna etkisi Şekil 27'de verilmiştir. Grafiğe göre yoğunluk artışı ile levhaların uzunluk yönünde deformasyonun çok fazla değişmediği görülmektedir.



Şekil 28. DMDHEU kimyasalının levhanın uzunluk (kısalma) değişimi üzerine etkisi



Şekil 29. Levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonuna (kısalma) etkisi

Şekil 28’de bağıl nemin azalması durumunda DMDHEU kullanımı ile levhanın boyuna yönde kısılmasını artırmıştır. Şekil 29’da ise levha yoğunluğunun artması ile levhanın boyuna yönde olan deformasyonda (kısalma) farkedilebilir anlamlı bir değişim görülmemiştir. Yoğunluk artışının boyuna yönde deformasyonu (kısalma) azalttığı tespit edilmiştir.

Belirtildiği üzere, levhaların nem içeriğinin levha kalınlığı boyunca eşit şekilde dağılmaması levhanın boyuna uzama ve daralma özellikleri ile ilişkilendirilmekte ve lif levhanın önemli özelliklerinden biri olmaktadır. Lif levhaların boyuna yönde genişlemesi masif oduna benzemekte ve bu doğal olayın odun hücre duvarının şişmesi olarak açıklanmaktadır. Sıcak pres esnasında sıcaklık ve basınç etkisi ile hücre duvarındaki lümenler çökmekte ve hücre duvarında kırıklar oluşmaktadır (Grigsby vd., 2012). Odun hücre duvarında bulunan  $S_1$  ve  $S_2$  tabakalarının levhadaki odun liflerinin şişmesi ve büzülmesinden sorumludurlar. Yoğunluk artışı ile lif miktarının artması ve sonuç olarak  $S_1$  ve  $S_2$  tabakalarının artmasına sebep olmakta ve levhaların boyuna yöndeki değişiminde artması anlamına gelmektedir. Bu oluşumlardan sonra nem alan levhaların boyuna yönde genişlemesi levha yoğunluğu ile paralel olarak artması beklenir.

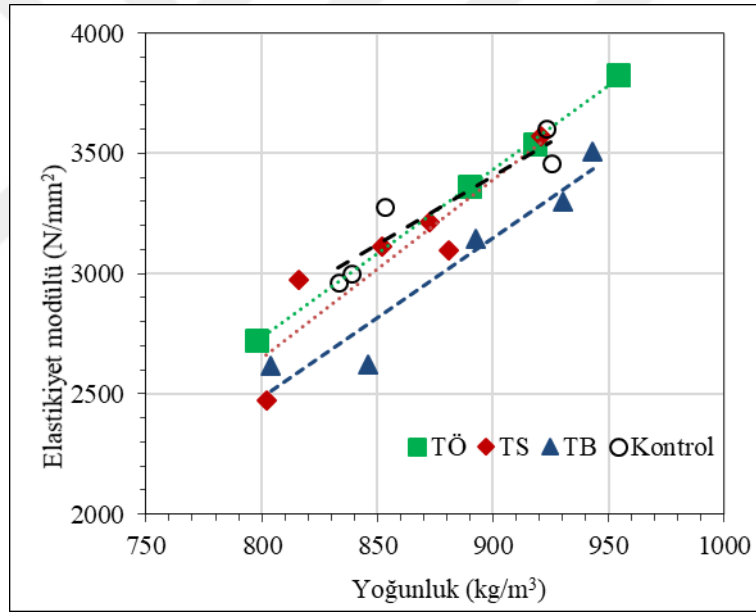
Bununla birlikte, levhanın yoğunluğunun artması gözenekliliğin azalmasına neden olacağı için hem içsel bağlanmanın artması hemde buhar (nem) geçişinin azalmasına neden olması beklenebilir. Bu durum boyutsal değişimi yani bozulmayı yoğunluk azalması yönüne verecektir. İki mekanizmanın hangisinin baskın olacağı aynı zamanda levha üretim koşullarında bağlıdır. Levha içerisindeki nemin artması veya azalması sonucunda levha içindeki hareketlerin artması ve bu hareketlerin sonucunda levha içerisinde yeniden oluşan bağların, yapı içerisinde yüksek iç gerilime neden olduğu literatürde verilmiştir (Ayrılmış, 2007). Bu gerilimin levhada eğrilmeye, dağılmaya veya boyca uzama- daralmaya neden olduğu bilinmektedir. Lif levhaların boy özelliklerindeki değişkenler, endüstride kullanılacak olan levhanın depolanması konusunu da önemli hale getirmektedir. Levhaların uç kısımlarından rutubet alması yüzey ile kıyaslandığında daha kolay olabilmekte ve levha içerisindeki bağların bozunarak, levha boy uzamasının oluşmasına sebep olabilmektedir. DMDHEÜ kullanılan levhaların kontrol levhasına göre boyuna yönde uzamada 0,36 mm/m, boyuna kısılmasında 0,26 mm/m’lik bir fark olmuştur. Bu farkın çok büyük bir olumsuzluk oluşturacağı düşünülmemektedir. Diğer taraftan DMDHEU’nin tutkalla birlikte verilmesi ile üretilen levhalarda belirtilen düşük boyuttaki deformasyonlar tutkallama öncesi ve sonrası

DMDHEU ilavesi ile ortadan kalkabilir. Bunu doğrulamak için yeni ve ileri çalışmaların yapılması gereklidir.

#### 4.1.3. Mekanik Özelliklerin Yoğunluk ile Değişimi

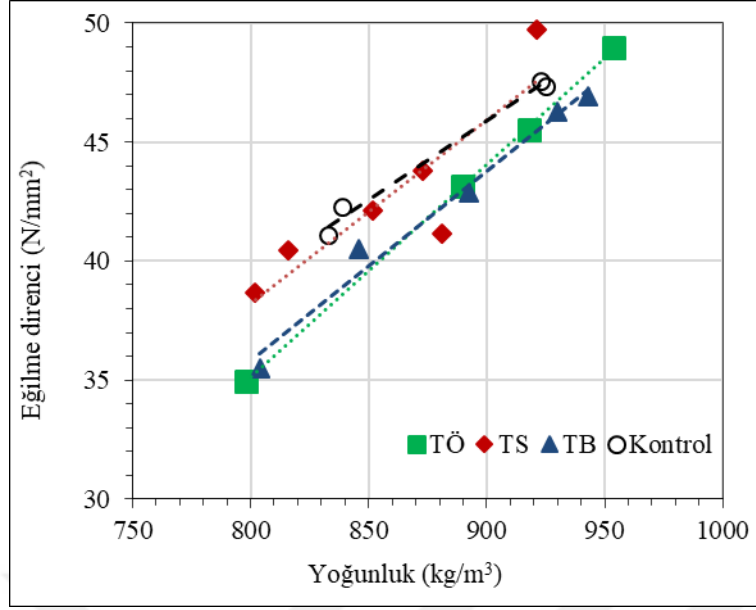
Şekil 30'da farklı yoğunluk değerlerine sahip levhaların elastikiyet modülü değerlerindeki değişim grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde, TÖ ve TS ilavelerde kontrol grubuna yakın bir değişim gözlenirken, TB gerçekleştirilen ilavelerde daha düşük elastikiyet modülü elde edilmiştir.

Lif levhaların yoğunluk artışı ile elastikiyet modülü değerlerindeki artış DMDHEU kimyasalının farklı verilme şekillerinin hepsinde görülmüştür.



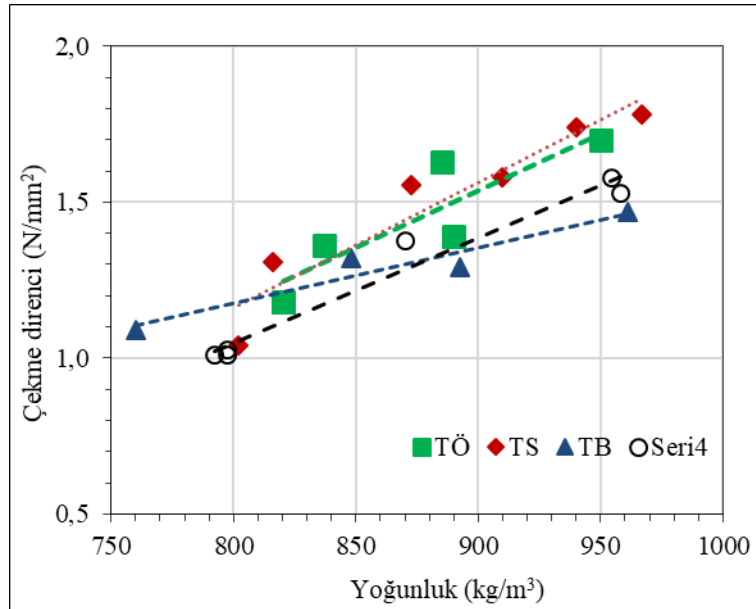
Şekil 30. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının elastikiyet modülü özelliğine etkisi

Şekil 31'de farklı yoğunluk değerlerine sahip levhaların eğilme direnci değerlerindeki değişim yoğunluğun bir fonksiyonu olarak görülmektedir. Şekil incelendiğinde kontrol grubuna en yakın uygulamanın tutkallamadan sonra kimyasal verilmesi ile gerçekleştirilen yöntem olduğu görülmektedir. DMDHEU'nin %2,2 oranında ilavesi ile gerçekleştirilen üretimlerde tutkalla birlikte ve öncesi uygulamalarda daha düşük performans verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 31. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının eğilme direnci özelliğine etkisi

Şekil 32'de farklı yoğunluk değerlerinde %2,2 DMDHEU ilavesinde üretilen levhaların çekme direnci değerlerindeki değişim grafiği görülmektedir.

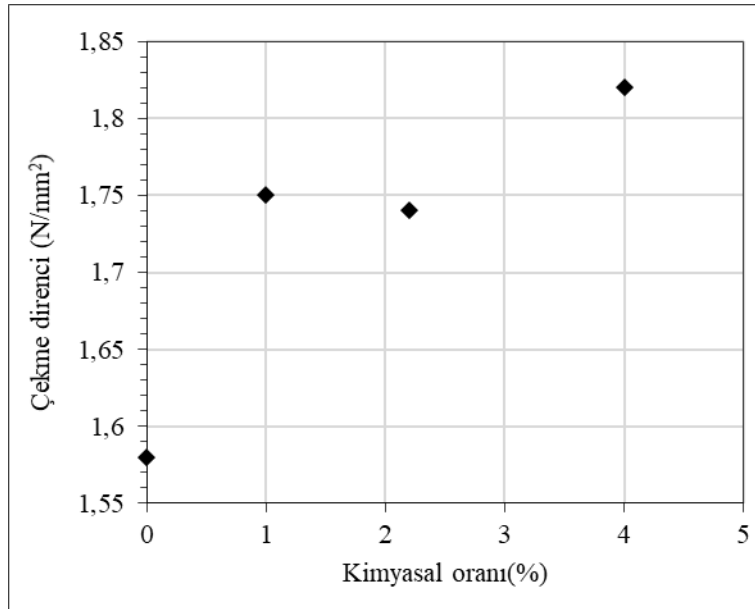


Şekil 32. Farklı levha yoğunluklarında DMDHEU uygulamalarının çekme direnci özelliğine etkisi

Grafik incelendiğinde yoğunluk artışı ile birlikte çekme direnci değerlerinde bir artış görülmektedir. Grafikten görüldüğü üzere TS ve TÖ uygulanan DMDHEU'nın TB uygulamaya göre levha çekme direncini daha etkili şekilde iyileştirmiştir. Levhaların yoğunluklarının artışı ile birlikte mekanik özelliklerinin artması beklenen bir sonuçtur. Bunun nedeni, yoğunluk artışı ile birlikte lifler arasındaki temasın (bağ kurma mekanizması) daha iyi olması ve lifler arasında oluşan bu bağlar ile mekanik özelliklerin iyileşmesi anlamına gelmektedir. Liflevhaların özelliklerini belirlemede Özen'e (1975) göre eğilme direnci tam olarak doğruyu yansıtmamaktadır. Çekme direnci ve Elastikiyet modülü levha özelliklerini belirlemede daha doğru karar verme yöntemidir.

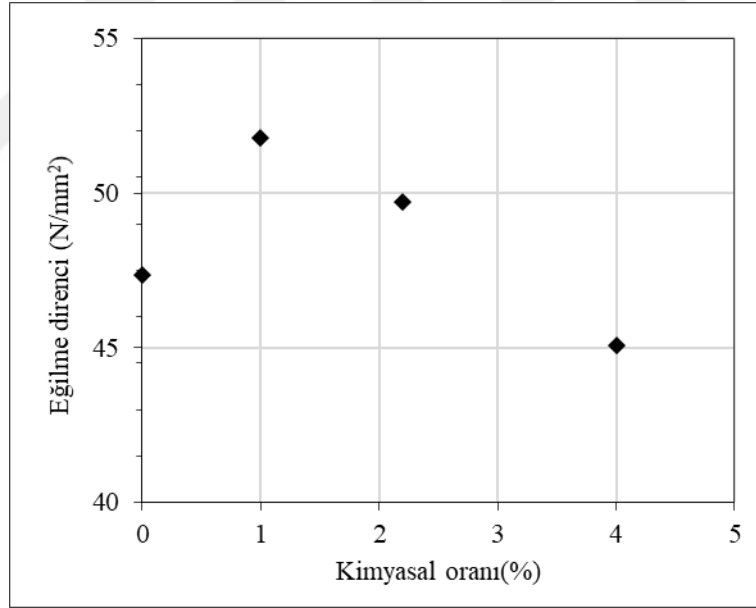
#### 4.1.4. DDEÜ İlave Miktarının Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi

Şekil 33'te farklı oranlarda DMDHEU kimyasalının kullanımı ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının çekme direncindeki değişim grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde tutkal sonrası farklı oranlarda DMDHEU kimyasalının kullanımı ile birlikte çekme direnci değerlerinde artış görülmüştür.



Şekil 33. Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha çekme direnci özelliğine etkisi

Kontrol grubu levhada çekme direnci değeri  $1,58 \text{ N/mm}^2$  olarak tespit edilirken, %4 oranında DMDHEU kimyasalının kullanımı ile üretilen levhada ise çekme direnci  $1,82 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. DMDHEU kimyasalının liflere verilmesi ile birlikte lifin serbest -OH grupları ile kimyasalın ısı etkisi ile birlikte lifler arasında çapraz bağlar kurulmuş ve oluşan bu çapraz bağların varlığı lifleri birbirinden ayırmak için uygulanması gereken kuvvetin artmasına ve çekme direnci değerinin artmasına sebep olmuştur. Buna ilave olarak, kullanılan MÜF tutkalı ile lifler arasında da çapraz bağlar kurulmakta ve bu oluşan bağlar uygulanan kuvvet karşısında lifi dirençli hale getirmekte ve çekme direnç değerinin artmasına etki etmektedir. Yoğunluk artışı ile lif miktarı artmakta ve liflerin birbirleri ile temas alanı artmakta bununla birlikte, ilave edilen DMDHEU kimyasalı ile birlikte daha fazla sayıda çapraz bağlar kurulabilmektedir. Kullanılan DMDHEU kimyasalının lifler arasında çapraz bağ oluşturması ile çekme direnci yüksek levhalar elde edilmesi yönünde olumlu etki yaptığı düşünülmektedir.

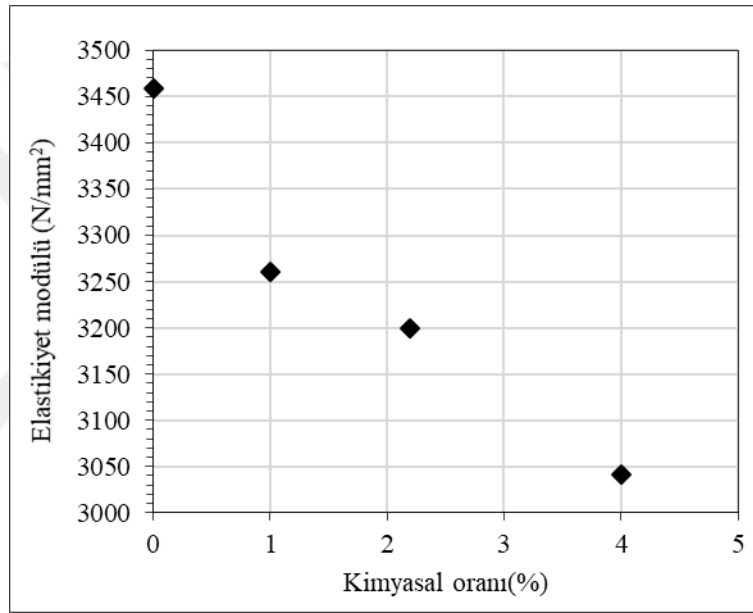


Şekil 34. Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha eğilme direnci özelliğine etkisi

Şekil 34'te farklı oranlarda DMDHEU kimyasalının kullanımı ile üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının eğilme direnci değişim grafiği görülmektedir. Grafikte farklı oranda DMDHEU kullanımı ile birlikte eğilme direnci değerlerinde bir artış sonrasında azalma görülmüştür. Kontrol grubu levhada eğilme direnci değeri  $47,35 \text{ N/mm}^2$

olarak tespit edilmiştir. %4 DMDHEU kimyasalının kullanımı ile üretilen levhada ise eğilme direnci değeri  $45,08 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. %1 DMDHEU kimyasalının kullanımı ile üretilen levhada eğilme direnci  $51,8 \text{ N/mm}^2$ , %2,2 DMDHEU kimyasalının kullanımı ile üretilen levhada eğilme direnci değeri  $49,71 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur

Şekil 35'te DMDHEU miktarının levhaların elastikiyet modülü üzerine etkisi görülmektedir. DMDHEU miktarının artması ile elastikiyet modülü değerinin azaldığı açık olarak görülmektedir. Kontrol grubu levhada elastikiyet modülü değeri  $3459 \text{ N/mm}^2$  olarak tespit edilmiştir.



Şekil 35. Tutkal sonrası DMDHEU ilave miktarının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi

DMDHEU kullanımı ile üretilmiş olan levhaların mekanik özelliklerine bakıldığında çekme direnç değeri düzenli olarak artmış, elastikiyet modülü değerleri düzenli olarak azalmış ve eğilme direnç değeri ise %1 ve %2,2 oranlarında kimyasal kullanımı ile artış göstermiş %4 oranında kimyasal kullanımında düşüş göstermiştir.

Levhaların eğilme direnci ilave edilen kimyasalın farklı oranlarında ilavesinde artma ve azalmalar şeklinde elde edilmiştir. Eğilme direncinin %4 kimyasal ilavesinde en düşük elde edilmesini lifler arasında kurulan bağ yapısı ile ilişkilendirilmiştir. Lif uzunluğu levhanın mekanik özelliklerinde etkili olan bir parametredir (Bouafif vd., 2009). Uzun liflerin birbirleri ile bağ oluşturmasında, lif-lif temas alanının kısa liflerin birbirleri ile oluşturduğu temas alanına göre daha fazla olacaktır. Oluşan bağ kalitesinde lifler arasındaki

temas alanının genişliği önemli bir konudur. Çalışmada %50 uzun lifli %50 kısa lifli hammadde karışımı kullanılmıştır.

Eğilme ve elastikiyet modülünde ki azalma levhaların daha kırılğan özellik kazandığı ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. DMDHEU ile çapraz bağlanmanın yarattığı bu özellik dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, DMDHEU'nin arttırıldığı çalışmalarda yoğunluğun aynı değerde kalmasının sağlanması için daha az lif ilavesi söz konusudur. Bu durumda levhayı daha kırılğan yapıda olmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

Levhaların elastikiyet modülü ve eğilme direnç değerlerinde azalma görülmesine rağmen, elde edilen bu değerlerin standardın belirlemiş olduğu değerler arasında elde edilmiş olması olumsuz bir durum olarak görülmemiştir. Ancak bu olumsuz durum laboratuvar şartlarındaki üretim metodolojisinden kaynaklandığı göz önünde tutulmalıdır.

#### **4.1.5. Farklı Oranlarda Tutkal İlavesinin DDEÜ Performansına Etkisi**

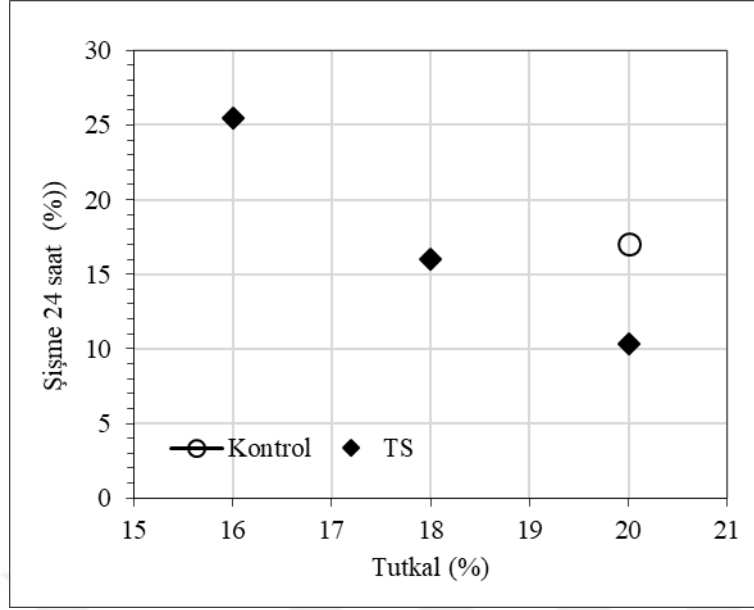
Melamin katkılı farklı oranlarda MÜF (F/Ü: 1,16 mol) tutkalı ile birlikte %2,2 DMDHEU kimyasalı kullanılarak üretilen levhaların özellikleri incelenmiştir. DMDHEU'nin tutkal sonrası (TS) life verilmesi sonucunda üretilen deneme levhalarının aşağıda test sonuçları verilmiştir.

##### **4.1.5.1. Farklı Oranlarda Tutkal ile Birlikte DMDHEU Kullanımının Levhaların Higroskopik Özelliklerine Etkisi**

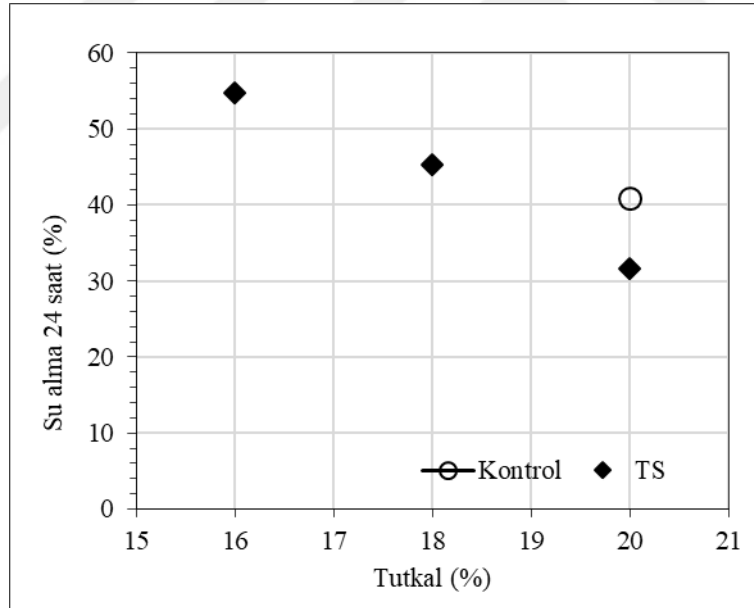
Şekil 36'da farklı oranlarda MÜF (%16, %18 ve %20) tutkalı ve %2,2 oranında DMDHEU kullanımı ile üretilen deneme ve kontrol levhalarının şişme (24 saat) değerleri görülmektedir. Çalışmanın amacı DMDHEU'nin ilavesi ile sağlanacak çapraz bağlanmanın levha üretiminde tutkal kazancını sağlayabilir mi sorusunu aydınlatmaktır. Grafik incelendiğinde artan oranda tutkal kullanımı ile birlikte şişme değerlerinde azalma beklenildiği gibi görülmektedir.

%20 tutkal kullanımı ile üretilen kontrol grubu levhada şişme değeri %17 olarak tespit edilirken %2,2 DMDHEU ve %20 tutkal kullanımı ile üretilen levhada ise şişme değeri %10,30 olarak bulunmuştur. %2,2 DMDHEU ve %16 tutkal kullanımı ile üretilen levhada ise şişme değeri %25,4 olarak bulunmuştur. Şişme değeri açısından değerlendirildiği zaman %18 MÜF +%2,2 DMDHEU ilavesi %20 MÜF ile tüketime benzerlik göstermektedir.





Şekil 36. Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha şişme (24 saat) özelliğine etkisi



Şekil 37. Farklı tutkal oranlarında DMDHEU uygulamasının levha su alma (24 saat) özelliğine etkisi

Şekil 37’de farklı oranlarda tutkal ve %2,2 DMDHEU kullanımı ile üretilen deneme ve kontrol levhalarının su alma (24 saat) değerleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde beklendiği gibi tutkal kullanımı ile birlikte su alma değerlerinde azalma görülmektedir. %20 tutkal kullanımı ile üretilen kontrol grubu levhada su alma değeri %40,94 olarak tespit

edilmiştir. %2,2 DMDHEU ve %20 tutkal kullanımı ile üretilen levhada ise su alma değeri %31,61 olarak bulunmuştur. %2,2 DMDHEU ve %16 tutkal kullanımı ile üretilen levhada ise su alma değeri %54,71 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde, %20 MÜF'ün sağladığı etki yaklaşık %18,8+2,2 DMDHEU ile sağlanmıştır.

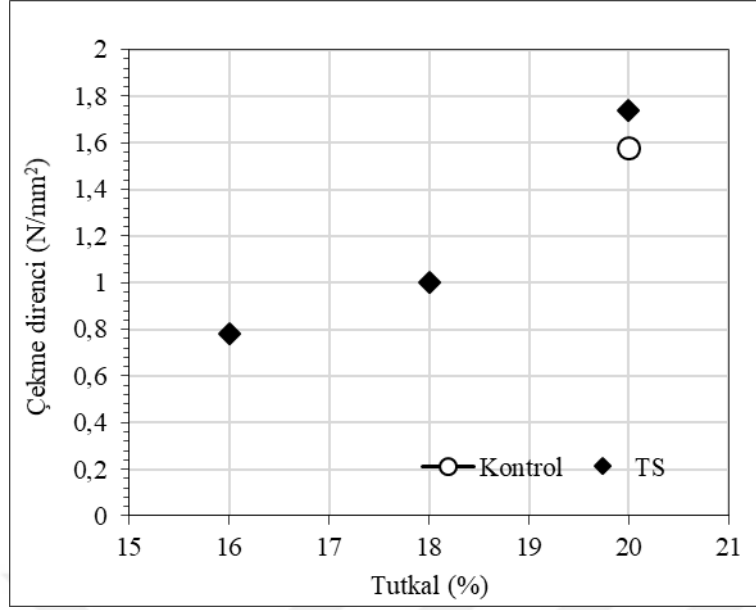
Tutkal kullanım oranının artışı ile beraber levhaların su alma ve şişme yüzde değerlerinin azalması beklenen bir sonuçtur. MÜF tutkalı içerisinde bulunan melaminin suda az çözünmesi ve tutkalın kondenzasyon aşamasında ilk evrede hidrofobik yapının oluşması, bu tutkalın suya karşı dirençli hale gelmesini sağlamaktadır (Pizzi, 2003). Melaminin çapraz bağ yapma özelliğinin çalışmada kullanılan oran ile artması ile su geçişini engelledikleri düşünülmektedir.

DMDHEU kimyasalının da çapraz bağ yapma özelliğinin bulunması lifin serbest -OH gruplarının melamine ilaveten bünyesindeki hidroksimetil grupları ile çapraz bağlanmayı artırması levhanın su alma ve şişme değerini azalttığı düşünülmektedir.

#### **4.1.5.2. Farklı Oranlarda MÜF Tutkalı ile Birlikte DMDHEU Kullanımının Levhaların Mekanik Özelliklerine Etkisi**

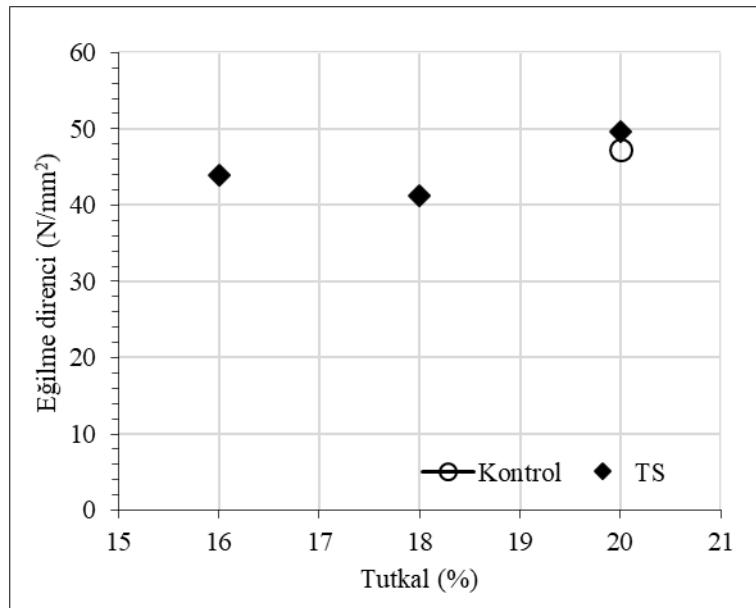
Şekil 38'de farklı oranlarda (%16, %18 ve %20) MÜF tutkalı ve %2,2 DMDHEU kullanılarak üretilen levhaların çekme dirençleri ve sadece MÜF içeren levhanın çekme direnci ile karşılaştırılması görülmektedir. Grafikte farklı oranda tutkal kullanımı ile birlikte çekme direnci değerlerinde bir artış görülmektedir.

Kontrol levhada çekme direnci değeri  $1,58 \text{ N/mm}^2$  iken %2,2 DMDHEU ve %20 MÜF tutkalı kullanımı ile üretilen levhada ise çekme direnci değeri  $1,74 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. %2,2 DMDHEU ve %16 MÜF tutkalı kullanımı ile üretilen levhada ise çekme direnci değeri  $0,78 \text{ N/mm}^2$  olarak belirlenmiştir. %18 MÜF tutkalı ve %2,2 DMDHEU kullanımı ile üretilen levhanın çekme direnci değeri  $1 \text{ N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, daha az bir tutkal oranı ve %2,2 DMDHEU ile levha üretiminde %20 MÜF ile levha üretiminde çekme direncinin elde edilmesi mümkündür.



Şekil 38. Farklı tutkal oranlarında MÜF tutkalı ve DMDHEU uygulamasının levha çekme direnci özelliğine etkisi

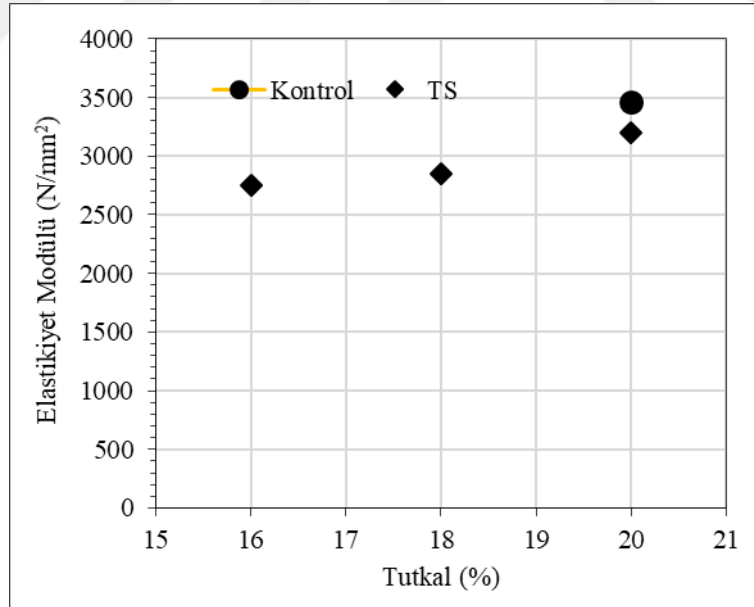
Farklı oranlarda (%16, %18 ve %20) MÜF tutkalı ile birlikte TS %2,2 oranında DMDHEU kullanılarak üretilen levhaların eğilme direnci değerlerindeki değişim Şekil 39'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde artan tutkal kullanımı ile birlikte eğilme direncinde bir miktar artma görülmektedir.



Şekil 39. Farklı tutkal oranlarında MÜF tutkalı ve DMDHEU uygulamasının levha eğilme direnci özelliğine etkisi

%20 tutkal kullanımı ile üretilen kontrol grubu levhada eğilme direnci değeri 47,3 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. %2,2 DMDHEU ve %20 tutkal kullanımı ile üretilen levhada ise eğilme direnci değeri 49,7 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. %2,2 DMDHEU ve %16 tutkal kullanımı ile üretilen levhada ise eğilme direnci değeri 43,9 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. %18 tutkal ve %2,2 DMDHEU kullanımında eğilme direnci değeri 41,2 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. DMDHEU ilavesi eğilme direnci açısından ciddi bir avantaj sağlamamıştır.

Şekil 40'ta farklı oranlarda tutkal ve TS %2,2 oranında DMDHEU kullanımı ile birlikte üretilen deneme levhalarının ve DMDHEU içermeyen kontrol levhasının elastikiyet modülü değerlerindeki değişim görülmektedir. Grafik incelendiğinde, beklenildiği gibi tutkal kullanımının artması ile elastikiyet modülü değerlerinde artış görülmektedir. %20 tutkal kullanımı ile üretilen kontrol grubu levhada elastikiyet modülü değeri 3459 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. %2,2 DMDHEU ve %20 tutkal kullanımı ile üretilen levhada ise elastikiyet modülü değeri 3200 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunurken tutkal miktarının %16'ya düşürülmesi ile elastikiyet modülü değeri 2750 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Bu bulgu, DMDHEU'nin elastikiyet modülü için ciddi bir avantaj oluşturduğunu göstermiştir.



Şekil 40. Farklı tutkal oranlarında MÜF tutkalı ve DMDHEU uygulamasının levha elastikiyet modülü özelliğine etkisi

Farklı oranlarda MÜF tutkalı ve TS %2,2 DMDHEU'nin kullanılması sonucunda üretilmiş olan levhaların mekanik özelliklerinde iyileşme tespit edilmiştir. Mekanik testler

sonucunda elde edilen değerler standart kapsamında istenilen değerlerin üstünde elde edilmiştir.

Kullanılan tutkal oranının artışı ile birlikte levhaların mekanik özelliklerinin iyileşmesi daha önce yapılan araştırmalarda da görülmüştür (Hong vd., 2017). Tutkal kullanım oranının artması ile beraber mekanik özelliklerinin iyileşmesi, tutkalın daha fazla bağ yapabilme kapasitesine sahip olması ile beraber daha fazla sayıda bağ ve daha sağlam bağların oluşması ile mekanik özelliklerinin iyileşmesi şeklinde açıklanabilmektedir. DMDHEU kimyasalının kullanılması ile levhanın mekanik özelliklerinin iyileştiği 4.1.4. maddesinde açıklanmış ve farklı oranlarda tutkal ve kimyasal kullanımı ile mekanik özellikler iyileşmiştir.

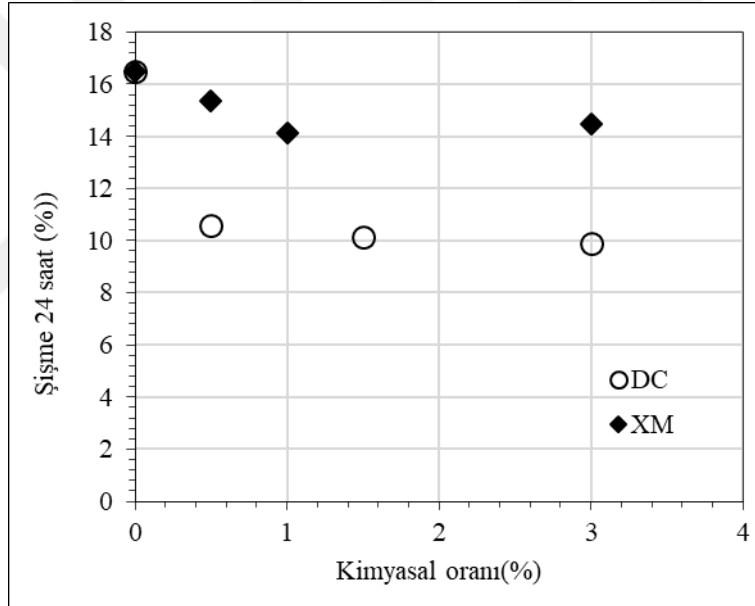


## 4.2. Silikon Esaslı Kimyasalların MÜF Tutkalı ile Birlikte Kullanımı

### 4.2.1. Levhaların Higroskopik Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi

#### 4.2.1.1. Kalınlığına Şişme ve Su Alma Özelliklerine Etkisi

Farklı oranlarda silikon esaslı kimyasalların MÜF (F/Ü: 1,07 mol) tutkalı ile birlikte üretilen levhaların 24 saat suda bekletilmesi neticesinde şişme yüzde değerleri Şekil 41’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde kullanılan kimyasalların levhaların şişme değerlerine olumlu etkisi olduğu görülmektedir.

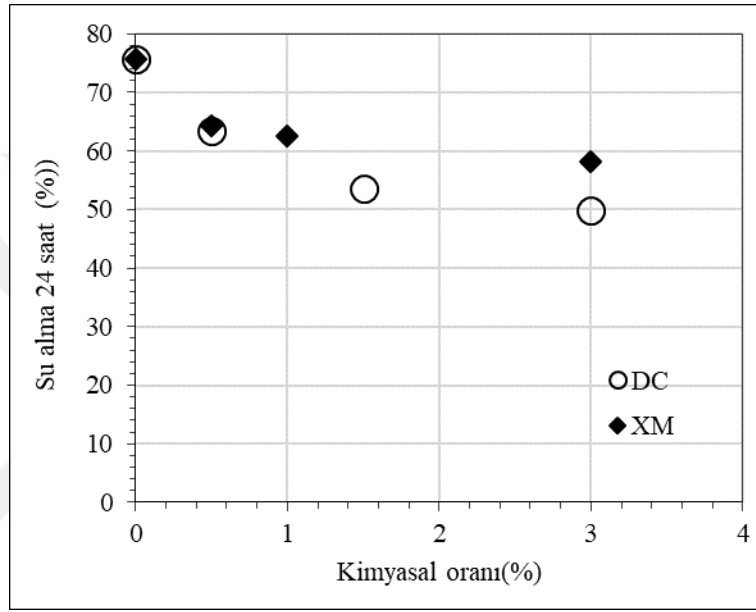


Şekil 41. Silikon esaslı kimyasalların ilave miktarının levhanın şişme (24 saat) özelliği üzerine etkisi

DC ve XM kimyasallarının levhaların şişme değerlerine etkisi ilave miktarına göre değişmekle birlikte, bütün oranlarda levhaların şişme yüzde değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. DC kimyasalının levhaların şişme yüzde değeri üzerine daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük şişme yüzde değeri %10 olarak tespit edilmekle birlikte bu değer %3 DC kullanılarak üretilen levhadan elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, düşük dozlarda hızlı bir azalma görülürken artan dozla birlikte şişme değerinin pek fazla değişmediği tespit edilmiştir. Levhaların şişme değerlerinin düşük olması, levhanın kullanım

yerinde rutubet ve su ile temasında daha dayanıklı olacağı ve kolay bir biçimde levhanın boyutlarının ve direnç özelliklerinin bozulmayacağı anlamını taşımaktadır.

Farklı oranlarda DC ve XM kimyasallarının tutkal ile karıştırılarak üretilen deneme ve kontrol levhalarının su alma yüzde değerleri 24 saat sonunda ölçülmüş ve ölçüm sonuçları Şekil 42’de verilmiştir. DC ve XM kimyasallarının levhanın su alma yüzdesi değerini düşürmesi yönünde etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 42. Silikon esaslı kimyasalların ilave miktarının levhanın su alma (24 saat) özelliği üzerine etkisi

Grafik incelendiğinde levhaların su alma değerine en etkili olan kimyasalın DC olduğu görülmektedir. DC kimyasalının kullanım oranı arttıkça levhanın su alma değerini düzenli olarak azalttığı tespit edilmiştir. %3 DC kimyasalı ile üretilmiş olan levhanın su alma değeri yaklaşık %50 olarak tespit edilmiştir. XM kimyasalı kullanılan levhaların su alma değerlerinin kontrol levhasına göre azaldığı tespit edilmiştir, fakat DC'nin altında kalmıştır. Bu iki kimyasalın içerdiği aktif silan gruplarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Lif levhalar su ile temas halinde, lifin hidroksil gruplarının suda bulunan hidroksil grupları ile yeni bağlar oluşturarak levhanın su almasına sebep olmaktadır.(Hüdaverdi ve Usta, 2000). Lif levhaların su alması ve buna bağlı olarak ta deforme olması istenilen bir durum değildir. Tez çalışmasında kullanılan silikon esaslı kimyasallar ile üretilen deneme

levhalarında su alma oranlarının kontrol levhası ile kıyaslandığında düştüğü görülmektedir. Silikon esaslı kimyasallarda bulunan reaktif silanoller lifin hidroksil grupları ile bağ yapmakta, bu hidrojen bağları kovalent bağa dönüşmekte ve sıcaklık ile birlikte kondenzasyon reaksiyonu sonucunda lif yüzeyinde polisiloksan tabakalar oluşturmaktadırlar (Xie ve arkadaşları, 2010; Ghosh, 2009). Bu polisiloksan tabakalar levhaya su geçişini engellemekte, lif yüzeyini kapatarak lifin hidroksil gruplarının bağ yapma olasılığını da azaltmaktadır. Polisiloksan tabakaların çalışmada üretilen deneme levhalarında oluştuğu ve su alımını azalttığı düşünülmektedir. Taghiyari ve arkadaşlarının (2015) yapmış oldukları çalışmada liflevhaların organosilan bileşiklerinin kullanımı ile levhaların su alma şişme özelliklerinin iyileştirildiği ifade edilmiştir.

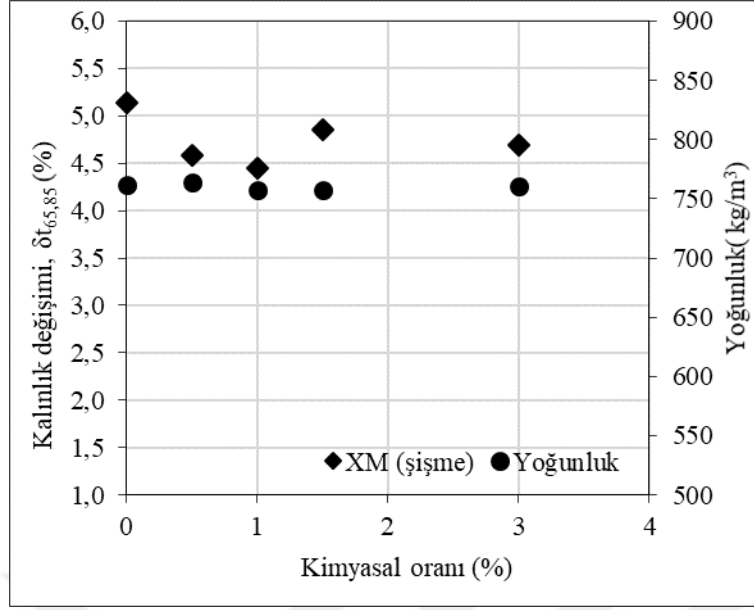
MÜF tutkalının içeriğinde bulunan melaminin su iticilik özelliğine sahip olduğu önceki yapılan çalışmalarda bahsedilmiştir (Manfred vd, 2002). Ayrıca, MÜF tutkalının ÜF tutkalına göre nem ve suya karşı daha dayanıklı olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, termoset reçineleri reaktif silanoller ile bağ yapabilmekte ve ısı ile sertleşen su almayı engelleyen yapı oluşturmaktadırlar. Sonuçlara bakıldığında MÜF tutkalı ve DC ve XM kimyasalların birlikte kullanılması sonucu su alımını azaltıcı yönde etkili oldukları görülmektedir. Su alımında en fazla etki DC kimyasalında görülmektedir. Silikon esaslı kimyasalların levhalarda su alma ve şişme değerlerini azaltmaları silikonlu kimyasal ile üretilen levhalardan üretilen malzemelerin uzun süre su ve nem tarafından bozulmadan kullanabileceği anlamını taşımaktadır (Vetter, 2010).

#### **4.2.2. Levhaların Boyutsal Stabilité Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi**

##### **4.2.2.1. Levhaların Kalınlık Değişimine Etkisi**

Şekil 43'te farklı oranlarda XM kimyasalının kullanılması ile kimyasal madde oranına göre levhaların ortalama kalınlık değişimi (şişme) sonuçları görülmektedir. Tutkal ve farklı oranlarda DC ve XM kimyasallarının kullanılması ile üretilen, farklı yoğunluk değerlerine sahip levhaların kalınlık değişim sonuçları Şekil 44'de verilmiştir. En düşük kalınlık (şişme) değişim değeri sabit sıcaklık ve artan bağıl nem ile birlikte %1 XM kimyasalının ilavesi ile elde edilmiştir. daha yüksek ilavelerde değişimin olmadığı kabul edilebilir.



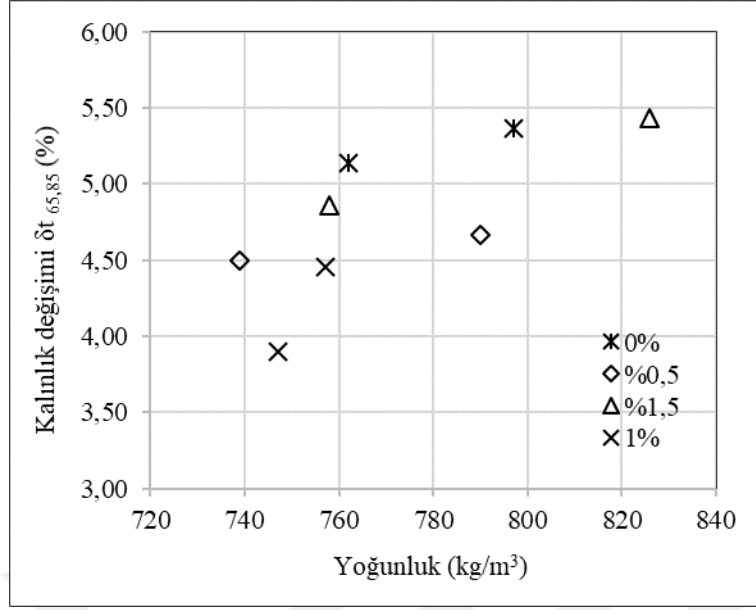


Şekil 43. XM kimyasalı ile üretilen levhanın kalınlık değişimi (şişme) üzerine etkisi

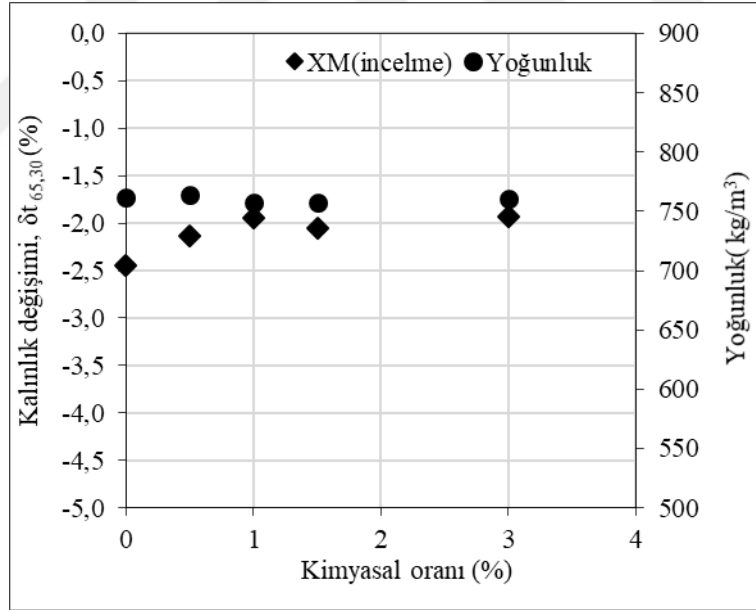
Lif serilmesinin homojen olmaması, levha yoğunluğunun levha iç ve dış kısımlarında farklılıklar oluşturması gibi nedenler, levhaların nem alması durumunda kalınlık yönündeki değişim de farklılıklar gösterecektir. Çalışmamızda üretilmiş olan levhaların testleri sonucundaki farklılıkların bu gibi sebeplerden oluştuğu düşünülmüştür.

Şekil 44'te artan yoğunluk ile birlikte levhalarda boyutsal değişimin arttığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar TS EN 318 standardında istenilen (%6) değerler arasında bulunmuştur. Sonuç olarak XM kimyasal kullanımı ile levhaların kalınlık artışı değerlerinde iyileşme elde edilmiştir.

Xıameter polidimetil siloksan grubu doğrusal ve dallanmış siloksan gruplarının oluşumunda etkili olmaktadır. Doğrusal polimerin bağ yapma özelliği ile oluşan polisiloksan yapılarının çapraz bağ yapısına kıyasla nem varlığında kolay bir şekilde bozunabilmektedirler (Colas, 2005). Silikonlar hidrofobik özellik kazandıran kimyasallar olmakla birlikte, yüksek serbest hacime ve çözünürlüğe sahip olmaları ile gazların silikonlara difüzyonu gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, silikonlu yüzey su tarafından ıslatılmamakta fakat su buharına karşı geçişini engelleyememektedir (Colas, 2005).



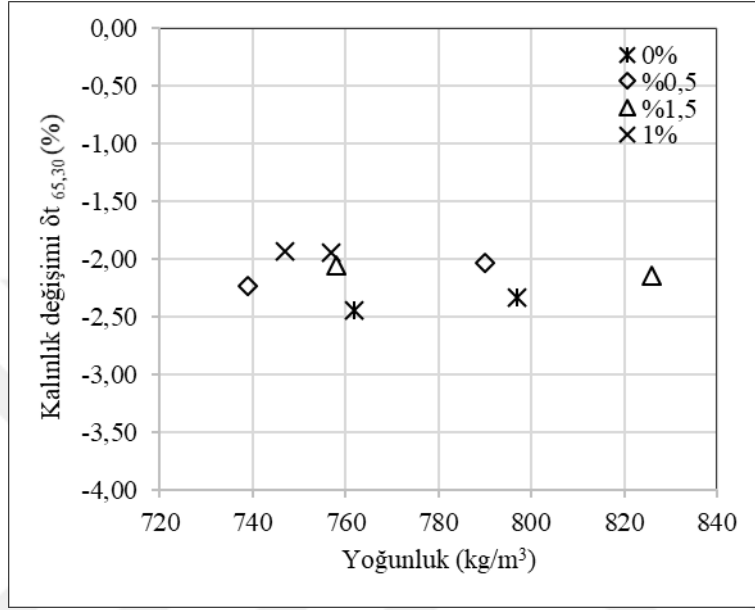
Şekil 44. XM kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun kalınlık deformasyonu (şişme) üzerine etkisi



Şekil 45. XM kimyasalının levhanın kalınlık değişimi (incelme) üzerine etkisi

Şekil 45'te XM kimyasalının aynı sıcaklık fakat bağıl nemin düşürülmesi ile levhanın kalınlığındaki (incelme) deformasyon değerlerinin ortalaması alınarak verilmiştir. Grafiğe göre XM kimyasalı ilavesi ile levhaların kalınlık (incelme) deformasyon değerlerinin azaldığı görülmektedir. %3 XM ilavesi olan levhada en az deformasyon tespit edilmiştir.

Kontrol levhasının kalınlığında ortalama %-2,45 daralma bulunmuştur. XM kimyasalının %0,5- %1- %1,5 ve %3 oranlarında kullanılan levhalarda ise ortalama olarak yüzde deformasyon değerleri sırasıyla %-2.13, %-1.94, %-2.06 ve %-1.93 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerler standardın belirlemiş olduğu değeri (%6) karşılamaktadır.



Şekil 46. XM kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun kalınlık deformasyonu (incelme) üzerine etkisi

Şekil 46’da levha yoğunluğunun, bağıl nemin %65’ten %30’a düşürülmesi durumunda levhada oluşan kalınlık deformasyonuna (incelme) etkisi incelenmeye çalışılmıştır. %1 ve %1,5 XM kullanımında levhanın yoğunluk artışı ile levhanın kalınlık yönünde deformasyonunun arttığı görülmektedir. %0,5 XM kullanımı ve kontrol levhasında yoğunluk artmasına paralel olarak levha kalınlık deformasyonunda azalma görülmüştür. bu değerlendirmeler net bir yorum yapılmasını engellemektedir.

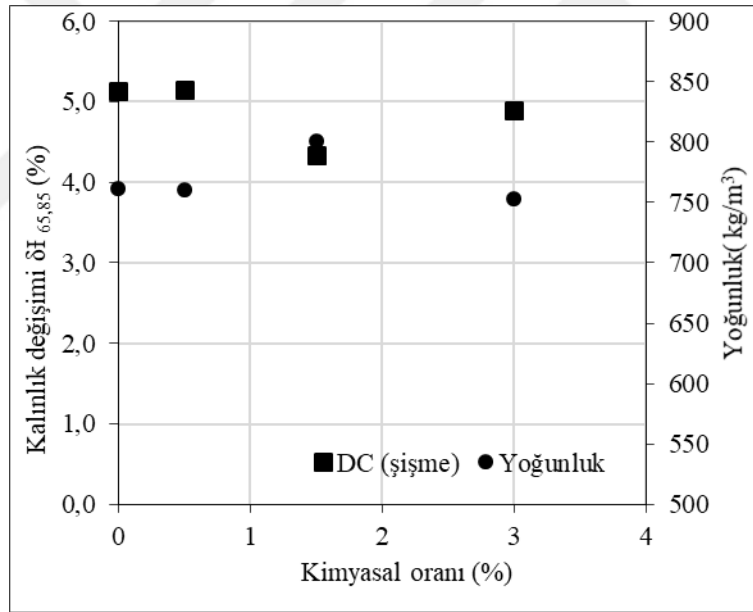
MDF levhalarının kalınlık artışı; baskı gerilimlerinin serbest (gevşeme) kalmasına, liflerin higroskopik şişmesine ve iç bağ yapısının bozulmasına atfedilmiştir. Bu durumda levhaların kalınlık azalmasının kalınlık artışına göre daha az olması beklenmektedir (Ayrılmış, 2007).

Levhaları %65 bağıl nemde absorpladıkları nemi daha sonra %30 bağıl nemde kaybetmeleri sonucunda kalınlıklarındaki deformasyonlar beklenen bir sonuçtur. Bağıl nemin artışı ile levha içerisinde gerilimler olmakta, lifler nem absorplamakta ve bağ yapısı

bozunmaktadır. Sonrasında bağıl nemin %30'a düşürülmesi ile nem kaybetmekte ve iç bağ yapısı yeniden oluşmaktadır. Bununla birlikte, kullanılan XM kimyasalının tüm lifin içerisinde bulunan serbest -OH grupları ile bağ yaparak hidrofobikliği artırarak nem almayı azalttığı ve boyca artan nem değişiminin daha az olması ile kalınlık yönünde daralmayı engellediği düşünülmüştür.

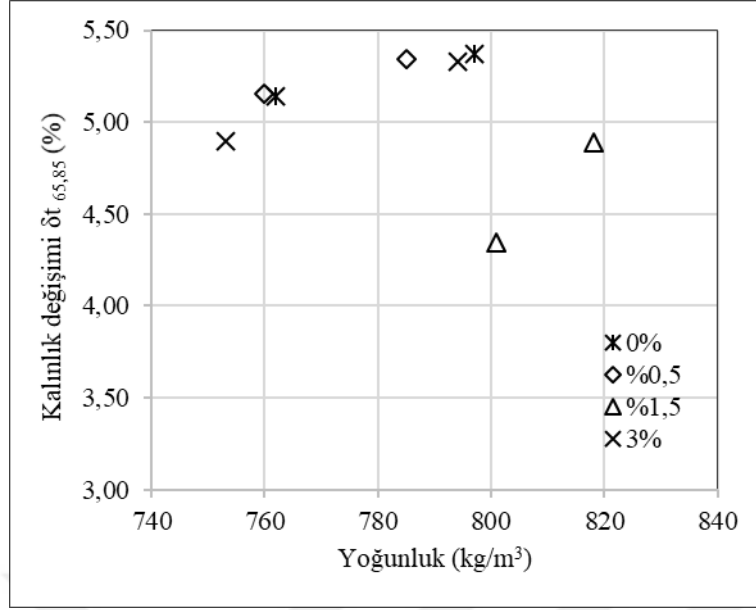
Grafiğe bakıldığında oluşan bu bağların nem alışverişinde çok fazla etkilenmediği kontrol levhası ile kıyaslandığında görülmektedir. Çalışmamızda elde edilen verilere göre kalınlık artışının kalınlık azalmasından daha fazla olduğu görülmektedir.

Farklı oranlarda DC kimyasalının kullanılması ile üretilen levhaların %65 bağıl nemden %85 bağıl neme çıkışta kalınlıktaki değişim (şişme) değerleri ortalamaları alınarak Şekil 47'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde deneme levhalarının üretiminde DC kimyasalının kullanılması sonucunda kalınlık değişiminde çok az bir azalma görülmektedir.



Şekil 47. DC kimyasalının levha kalınlık değişimi (şişme) üzerine etkisi

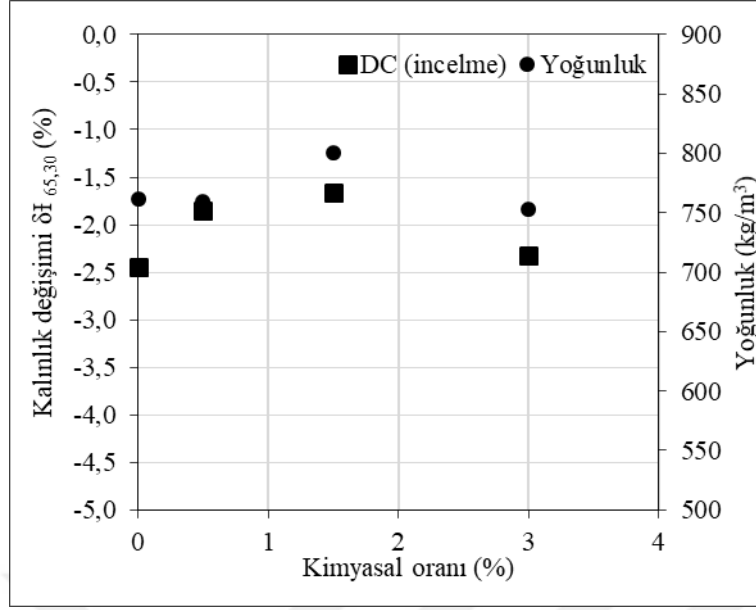
DC kimyasalı kullanılan levhaların ve kontrol levhalarının yoğunluk değerlerine göre kalınlık artışı sonuçları Şekil 48'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde kullanılan bütün DC oranlarında levhanın kalınlık deformasyonu yoğunluk artışı ile artmıştır.



Şekil 48. DC kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun kalınlık deformasyonu (şişme) üzerine etkisi

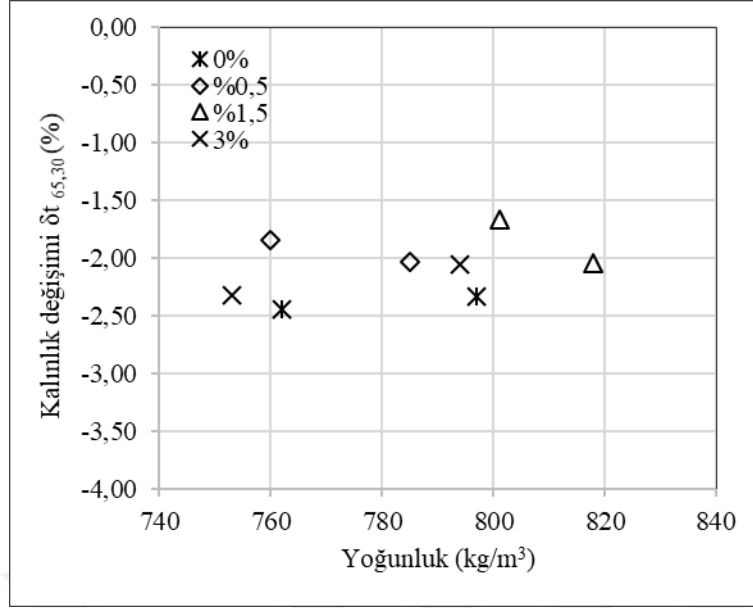
Silikon esaslı kimyasallar reaktif olan silan grupları ile hem organik hem de inorganik kompozitlerde bağlayıcı olarak görev yapmaktadırlar (Materne vd.,2004; Kartal vd.,2009). Çift reaktif özelliklik göstermelerinden dolayı silikon esaslı kimyasallar (organo silanlar) inorganik ve organik yüzeylerde (selüloz, dolgu maddeleri) ve organik polimerik matrisler (kauçuk, termosetler v.b.) arasında köprü kurmakta ve burada yapışmayı artırmaktadırlar. (Materne vd.,2004). Kontrol grubu levhaya göre DC kimyasalı kullanılarak üretilen levhalarda kalınlık (artışını) deformasyonunun daha az olması, silikonların içinde bulunan silan gruplarının etkisi ve MÜF tutkalı ile silan gruplarının bağ yapması ile levhaya kazandırılan su itici özellik ile ilişkilendirilmiştir.

Şekil 49'da DC kimyasalının ilavesi ile üretilen levhaların kimyasal miktarına bağlı olarak ortalama kalınlık değişim (incelme) değerleri görülmektedir. Grafiğe göre en az kalınlık değişim (incelme) değeri %1,5 DC ilavesinde %-1,67 (10mm levha kalınlığında -0,17 mm) daralma değeri elde edilmiştir. Kontrol levhasının kalınlık değişim (incelme) değerinin %-2,45 (10 mm levha kalınlığında -0,25 mm) ile DC kimyasalı ilavesi ile üretilmiş olan levhaların kalınlık (incelme) değişim değerlerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. DC ilavesi ile levhaların boyutsal stabilitesinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 49. DC kimyasalının levha kalınlık değişimi (incelme) üzerine etkisi

Özen'e göre (1975) aynı denge rutubetinde olan levhaların nem almaları durumunda kalınlıklarının az, nem kaybetmeleri durumunda kalınlıklarının fazla olması beklenmektedir. Bu durum levhaların higroskopik özelliğinden ziyade, üretim sırasında pres basıncından dolayı oluşan sıkışmanın bozulmasını ifade etmektedir. Aynı levha kurutulduğunda kalınlığı azalacak fakat ilk kalınlığına ulaşamayacaktır. Bu açıklamaya göre DC ilavesi ile üretilmiş olan levhalarda kalınlıktaki daralmanın kalınlıktaki şişmeye göre daha az olmasını kimyasalın bu anlamda olumlu bir katkı yapmasından kaynaklanmıştır. %65 bağıl nemde daha az nem alması durumunda %30 bağıl nemde daha az nem kaybedecektir. Levhaların yüksek bağıl nemde aldığı nemi daha düşük bağıl nemde tamamen kaybetmemesi histerez olayına atfedilmiştir. Silan gruplarının lifin serbest OH grupları ile bağ yapması sonucunda bu bağların daha az bozunmuş olması ile levha daha az nem almış ve levhanın daha az deforme olması şeklinde açıklanabilmektedir. Böylece, levhaların nem varlığında kalınlık yönündeki (incelme) deformasyonun az olacağı düşünülmektedir, literatürde yapılmış olan çalışmalarda da görülen sonuçlar bu durumu desteklemektedir (Ayrılmış, 2007).

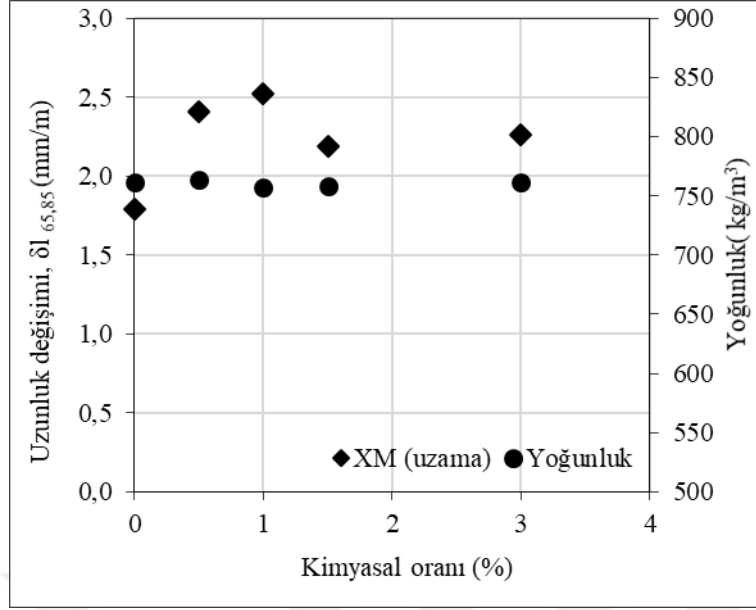


Şekil 50. DC kimyasalı levhada, levha yoğunluğunun kalınlık deformasyonu (incelme) üzerine etkisi

Şekil 50’de DC kimyasalı ile yoğunluğun kalınlık deformasyonuna (incelme) etkisi görülmektedir. Levhaların yoğunluk değerleri incelendiğinde levhanın yoğunluk değerinin artması ile kalınlık (incelme) yönünde deformasyonun arttığı ve azaldığı görülmektedir. Bu durum laboratuvar koşullarında levha üretiminin tekrarlanabilir sonuçları vermesindeki eksikliğin altını çizmektedir.

#### 4.2.2.2. Levhaların Uzunluk Değişimine Etkisi

XM kimyasalının ilavesi ile üretilen lif levhaların ortalama uzunluk değişim (uzama) değerleri Şekil 51’de verilmiştir. Grafiğe göre XM kimyasalının kullanımı ile levhalarda uzama yönünde deformasyon olduğu görülmektedir. XM kullanım oranlarına bakıldığında en az deformasyon %1 ve %0,5 XM ilavesinde sırasıyla 2,52 mm/m ve 2,41 mm/m boyuna uzama elde edilmiştir. Kontrol levhasında 1,79 mm/m boy uzaması tespit edilmiştir.

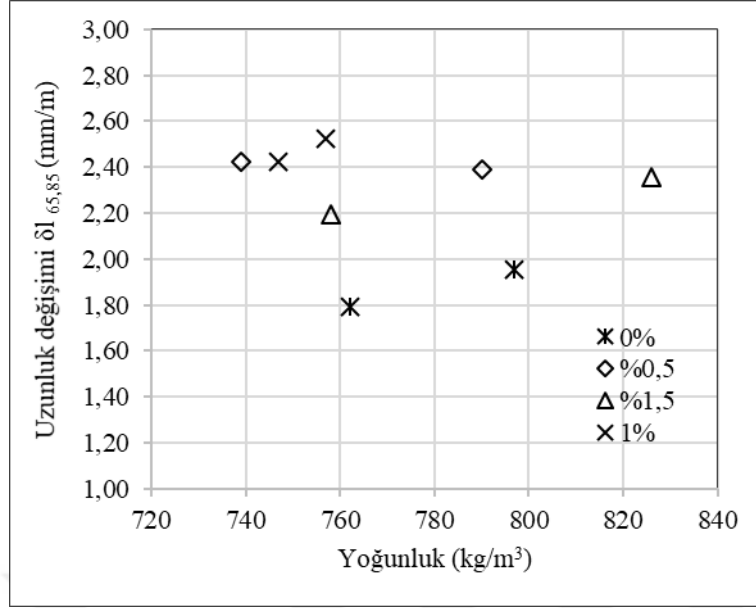


Şekil 51. XM kimyasalının levhanın uzunluk değışimi (uzama) üzerine etkisi

Şekil 52’de XM kimyasalının farklı oranlarda levha üretiminde kullanılması sonucunda levha yoğunluğunun levha uzunluk deformasyonuna etkisi görülmektedir. Genel olarak yoğunluğun artışı deformasyonu artırmıştır. MDF levhaları mobilya üretiminde kullanılan temel hammadde kaynağıdır. Levhaların kullanım yerinde boyutlarındaki değışimin az veya hiç olmaması istenilen bir durumdur. Levhaların uzunluk yönündeki değışimin fazla olması halinde levhalarda çarpılma, eğilme, boyca kısalma gibi istenmeyen durumlar oluşmaktadır. Levhalar nem aldığında boyuna yönde deformasyon fazla, nem kaybetmeleri halinde deformasyon daha az olacaktır. XM kimyasallı levhaların belirtildiği gibi nem almasında deformasyon fazla, nem kaybettiklerinde deformasyon daha az olduğu tespit edilmiştir.

Boyuna uzama, tek tek parçacıkların serbest genişmesini doğrudan yansıtmaz, ancak tek tek parçacıkların genişleme yönüne göre lif yönelimine ve bağlanmış genişleme sınırlama derecesine bağlı olarak ortaya çıkan bir değerdir. (Xu, 1996). Laboratuvar koşullarında levhaların lif dağılımını homojen elde etmek ve düzenli bir dağılım sağlamak mümkün olmamaktadır. Bu durumda levhanın nem değışimi ve yoğunluk değışimi ile birlikte boyutlarındaki değışim kaçınılmaz son olmaktadır.



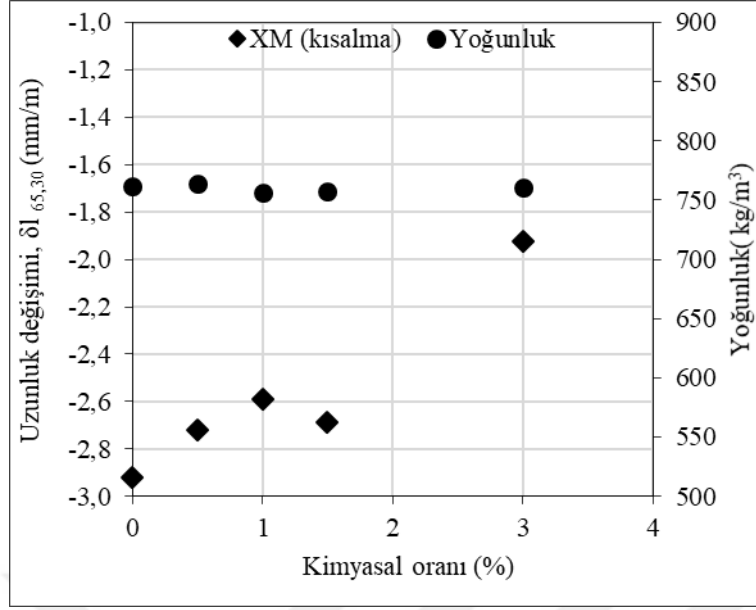


Şekil 52. XM kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonu (uzama) üzerine etkisi

Çalışmamızda kullandığımız XM kimyasalı polidimetilsiloksan grubu kimyasal olup doğrusal ve dallanmış siloksan grupları oluşturabilen polimerdir. XM kimyasalı içerisinde bulunan reaktif silanollerin lifin serbest OH grupları ile bağ yapmakta ve ısı etkisi ile kondenzasyon sonucu PDMS yapıları oluşmaktadır. PDMS yapıları su girişini engellemekte fakat su buharı geçişini engelleyememektedir. Levhaların bağıl nemin artışı ile nem miktarları artmaktadır. Levhaların üretimleri sırasında liflerin düzensiz dağılması ve lif kümelenmelerinin oluşması levha özelliklerini etkilemektedir. Bu düzensiz dağılıma göre oluşan bağların levhanın nem alması durumunda liflerin boyuna yönde düzensiz dağılımının levhaların boyuna yönde daha fazla deforme olmasına neden olduğu düşünülmüştür.

Şekil 53'te XM kimyasalının ilavesi ile üretilen levhaların ve kontrol levhasının bağıl nemin %65'ten %30'a düşmesi durumunda levha uzunluğu yönünde (kısalma) oluşan deformasyonu görülmektedir. Grafikte verilen değerler ölçülen değerlerin ortalaması alınarak verilmiştir.

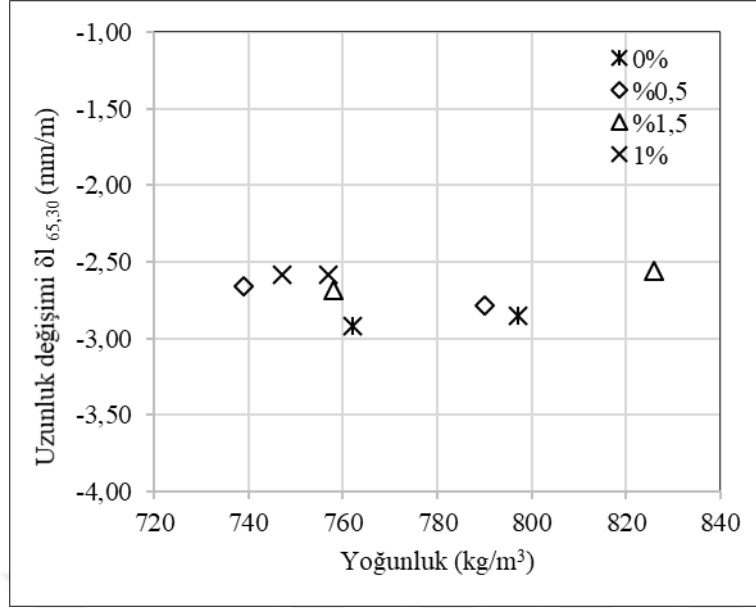
XM kimyasalının %3 ilavesinde levhada ortalama -1,93 mm/m, %0,5. ilave edildiğinde ortalama -2,72 mm/m ve kontrol levhasında ortalama -2,92 mm/m boyuna deformasyon (kısalma) değerleri elde edilmiştir. Bu veriler ve grafik incelendiğinde XM kimyasalının ilavesi levhaların uzunluk (kısalma) yönünde deformasyonu azalttığı görülmektedir.



Şekil 53. XM kimyasalının levhanın uzunluk değişimi (kısalma) üzerine etkisi

Levhaların yüksek bağıl nemde bulunması sonucunda nem almakta fakat bağıl nem değerinin düşürülmesi ile aldığı nemi tamamen bırakması mümkün olmamaktadır (histerez olayı). Kimyasal madde oranının artışı ile birlikte nem alma ve verme durumu ve akabinde gerçekleşen boyuna deformasyonun XM ilavesi ile azaldığı görülmektedir. Levhanın nem kaybetmesi durumunda levha boyuna yöndeki ölçülerinde azalma beklenen bir durum olmakla birlikte, grafikteki değerlerde bunu göstermektedir. İlave edilen kimyasal madde oranının artışı ile birlikte bağ yapısının güçlendiği ve kurulan bağ sayısının arttığı düşünülmektedir. Bununla beraber oluşan bu bağ yapılarının nem alıp verme durumunda kolay bir şekilde bozulmadığı ve levhaların boyuna yönde deformasyonunu azalttığı sonucuna varılmıştır.

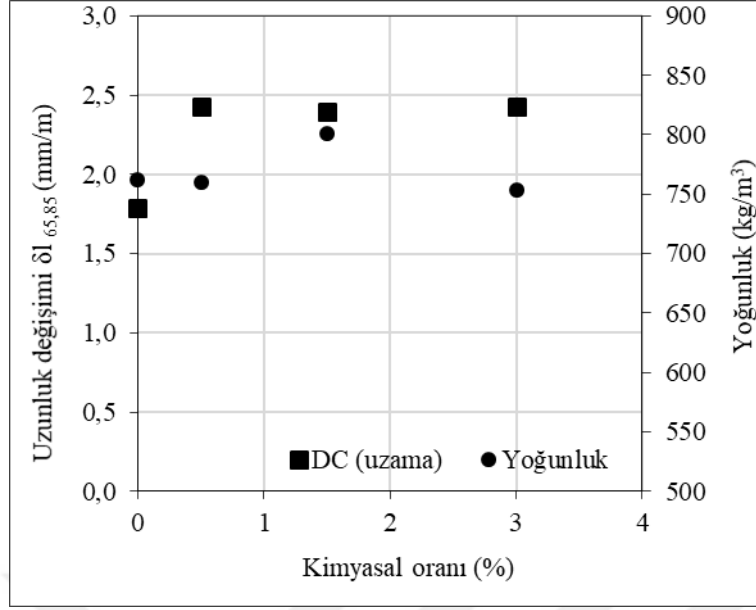
Şekil 54'te levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonuna etkisi görülmektedir. %0,5 XM ilavesinde yoğunluğun artması deformasyonu arttırdığı, kontrol levhası ve %1,5 XM ilavesinde yoğunluğun artması ile uzunluk deformasyonunun (kısalma) azaldığı görülmektedir. Bu durumu, levha oluşumunda liflerin serilmesine ve oluşan levha yoğunluğuna göre bağ yapısına atfedilmiştir. Özetle, üç ilave miktarında nem vermede yoğunluk artışı ile deformasyonun azaldığı yönündedir.



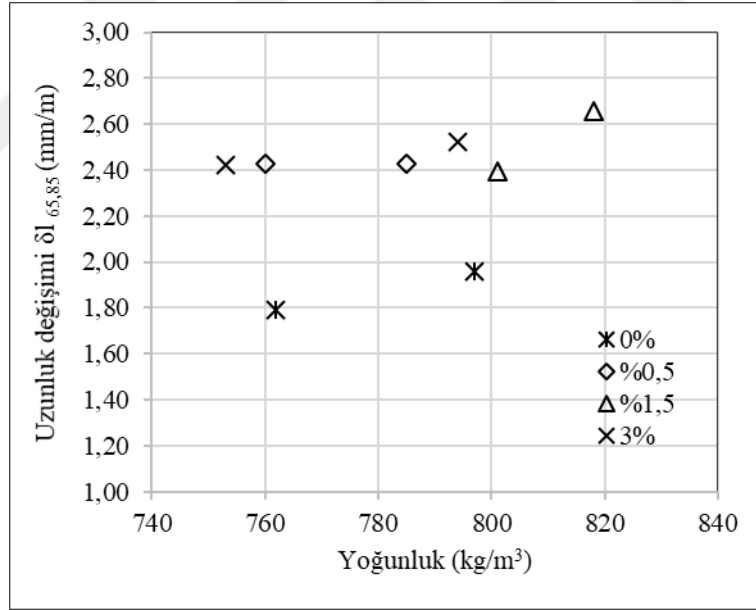
Şekil 54. XM kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonu (kısalma) üzerine etkisi

Şekil 55'te DC kimyasalı ile üretilen levhaların bağıl nemin artması durumunda ortalama uzunluk değişim (uzama) değerleri verilmiştir. DC kimyasalının %0.5, %1.5 ve %3 oranlarında kullanılması ile üretilen levhalardan sırasıyla 2,43 mm/m, 2,39 mm/m, 2,42 mm/m uzunluk değişimleri (uzama) tespit edilmiştir. Kontrol levhasının uzunluk değişimi 1,79 mm/m olarak tespit edilmiştir. Veriler değerlendirildiğinde DC kullanılan levhalarda boyuna deformasyon olduğu görülmektedir.

Levhalarındaki boyuna yöndeki değişimin fazla olmasının sebebini, silanollerin oluşturmuş oldukları Si-OH gruplarının yüzeyden nem absorbe etmeleri durumunda, kurulan diğer Si-OR bağlarının su ile kolay bir şekilde hidrolize olmasını sağlamasına bağlanmaktadır (Buyl, 2007). Nem varlığında bozulan bağlar levha içerisindeki var olan gerilimin serbest kalmasına ve lifler arasındaki mesafenin artmasına sebep olmaktadır. Levha üretiminde lifin serilmesi levhanın özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Burada lifler arasında kurulmuş bağların boyuna yönde deformasyonunda etkilenebildiği görülmektedir.

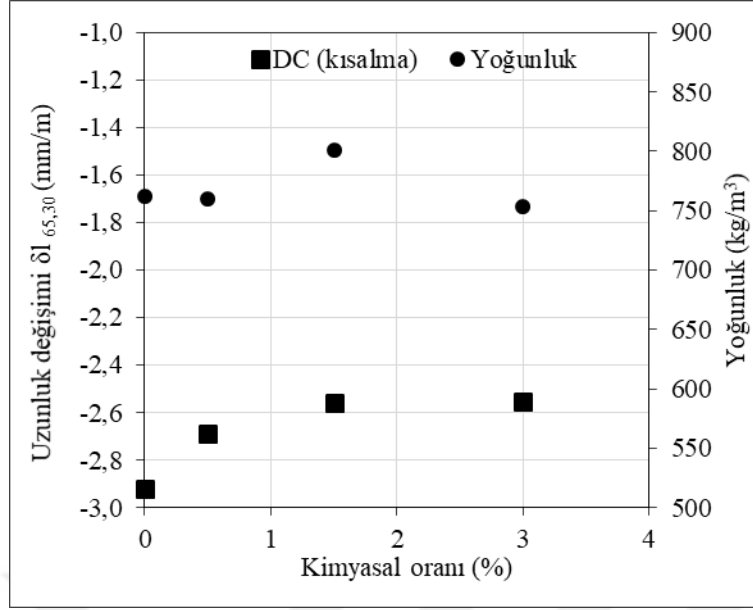


Şekil 55. DC kimyasalının levhanın uzunluk değişimi (uzama) üzerine etkisi

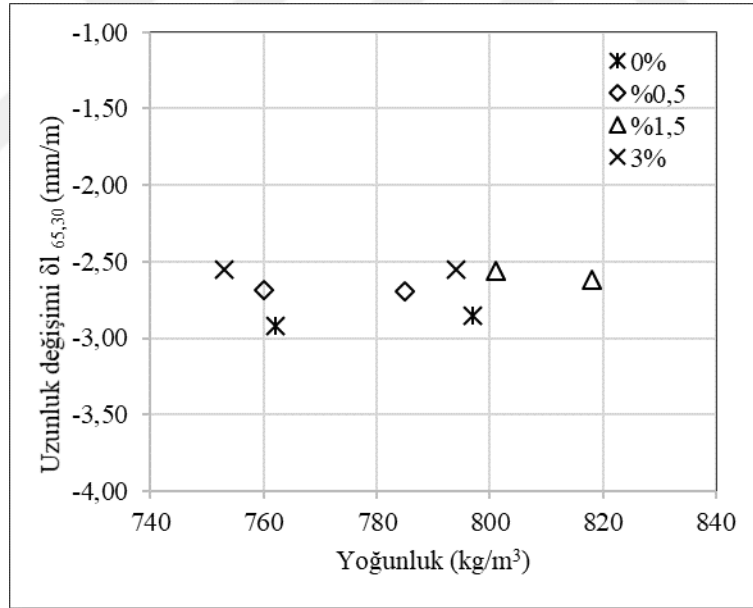


Şekil 56. DC kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonu (uzama) üzerine etkisi

DC kimyasalının farklı oranlarda ilavesi ve levha yoğunluğunun uzunluk değişimine (uzama) etkisi Şekil 56'da verilmiştir. Kullanılan bütün DC oranlarında levhaların boyuna yönde deforme olduğu görülmektedir.



Şekil 57. DC kimyasalının levhanın uzunluk değişimi (kısalma) üzerine etkisi



Şekil 58. DC kimyasallı levhada, levha yoğunluğunun uzunluk deformasyonu (kısalma) üzerine etkisi

Bağıl nemin düşmesi durumunda DC kimyasalı ilavesi ile üretilen levhaların uzunluk değişiminin (kısalma) ortalama değerleri Şekil 57’de verilmiştir. DC kimyasalının kullanılan bütün oranlarında levhaların uzunluk yönündeki deformasyonunun (kısalma) kontrol levhasına göre daha az olduğu görülmektedir. En az kısalma değeri %3 DC kimyasalı ile

üretilen levhalardan elde edilmiştir. DC ile üretilen levhaların boyuna kısıalma değerleri -2,55 mm/m ve -2,69 mm/m aralığında değişmektedir. Kontrol levhasının boyuna kısıalma değeri -2,92 mm olarak tespit edilmiştir.

Şekil 58’de DC kullanımı ve levha yoğunluğunun levha uzunluk deformasyonuna (kısıalma) etkisi görülmektedir. Üç farklı dozda DC kullanımında levhaların yoğunluğunun artması ile deformasyonun azaldığı görülmektedir.

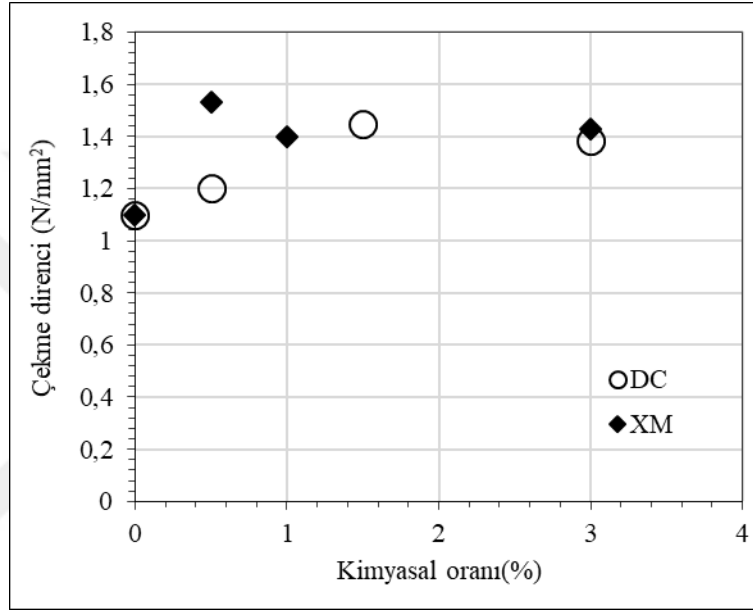
DC kimyasalının farklı oranlarda kullanılması ile üretilen levhaların boyuna deformasyonu (uzama ve kısıalma) test sonuçları incelendiğinde levhaların kısıalma deformasyon değerinin daha az olduğu görülmüştür. Bağlı nemin %65’ten %85’e çıkarılması lifin –OH grupları ve kimyasalın silanol grupları arasındaki bağın su moleküllerinin artışı ile bozulmasına ve lifler arasındaki mesafenin açılmasına sebep olmaktadır. Levha üretimi prosesinde preslenen levhaların basınç etkisi ile bir iç gerilime sahip olduğu, bu iç gerilimin levha nem değerinin artması ile gevşeyerek levhanın boyuna deformasyonuna sebep olduğu bilinmektedir (Ayrılmış,2007). Levha üretim sırasında basınç ve sıcaklık etkisi ile liflerin hücre yapısında deformasyonlar kalıcı şekilde oluşmakta ve bu deformasyonlar levhanın yoğunluğunun artışı ile daha fazla artmaktadır. Levhanın nem alıp vermesi durumunda ise tekrar deformasyonlar meydana gelmektedir.

Ganev ve arkadaşlarına göre (2005), levhaların iç kısmında nem dağılımının düzensiz olması ve bunun sonucu olan yoğunluk profilinin levhanın boyuna deformasyonunu etkilediğini belirtmişlerdir.

Özen’e göre (1975) levhaların boyuna yönde çalışmasında kalınlıktaki çalışmanın tersi bir durum söz konusu olmaktadır. Levha nem kaybetmesi durumunda boyuna yönde uzunluk değişimi az olmaktadır. Levhayı tamamen kurutulduğunda ilk boyuna oranla daha kısa olacaktır. Boyuna yönde levhada histerez olayı kapalı değildir. DC’li levhaların boy deformasyonu (kısıalma) olarak etkisine bakıldığında daha az kısıalma gösterdiği sonucu elde edilmiştir. Bu testte levhaların bulunduğu ortamın bağlı neminin ilk önce %65’e çıkarılması daha sonra %30’a düşürülmesi ile levha önce nem absorbe etmiş daha sonra nem kaybetmiştir. Levhaların histerez olayına göre yüksek bağlı nemde aldıkları nemin hepsini düşük nemde geri bırakmasalar bile daha fazla büzüşmektedirler (Ganev vd., 2005). Silanol ve lif arasındaki bağın levhanın nem kaybetmesi ile fazla etkilenmediği ve levhanın aldığı nemi vererek aşırı daralma durumunun olmadığı ve bu sonucunda levhaların daha az boyuna kısıalma değerlerinin elde edilmesine sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4.2.3. Levhaların Mekanik Özelliklerinin Silikon Esaslı Kimyasalların İlavesi ile Değişimi

Farklı oranlarda kullanılan DC ve XM kimyasallarının MÜF (F/Ü:1,07 mol) tutkalı ile birlikte üretilen deneme levhalarının ve kontrol levhalarının çekme direnci değerlerine ait sonuçlar Şekil 59’da verilmiştir. Her iki kimyasal ile üretilen levhaların çekme direnci değerlerinin kontrol levhasının çekme direncinden fazla olduğu grafikte görülmektedir.



Şekil 59. Silikon esaslı kimyasalların levhanın çekme direnci üzerine etkisi

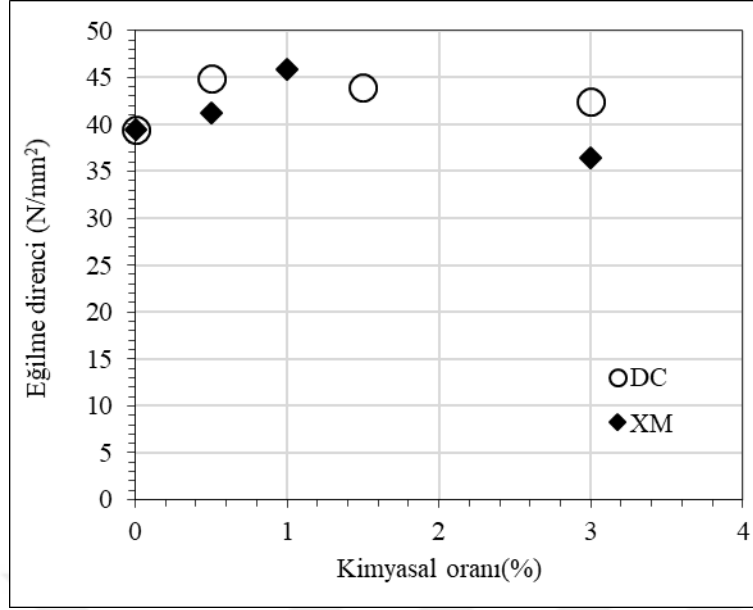
XM ve DC kimyasallarının farklı oranlarda kullanımına göre levhaların çekme direncinde düzenli bir artış sağladığı görülmektedir. XM'nin daha düşük dozda etkili olduğu görülmektedir. Düşük dozda artış ve ardından azalma meydana gelmiş olup bu durumu, levha üretiminde lif serilmesinin homojen olmamasından deney hatasından olabileceği düşünülmüştür. Kontrol grubu levhanın çekme direnci değeri 1,1 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. En yüksek çekme direnci değeri %0,5 oranında XM kimyasalının kullanımı ile üretilen levhadan 1,53 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. DC kimyasalının %0,5 oranında kullanımı ile 1,2 N/mm<sup>2</sup> çekme direnci elde edilmiştir. %3 oranında DC ve XM kimyasallarının kullanımı sonucunda üretilen levhaların çekme direnci değerleri 1,4 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

Levhaların yüzeye dik çekme direnci, lifler arasında oluşan bağların kuvvetine ve lif-lif temas alanının büyüklüğüne bağlı olmaktadır. Çalışmada %50 oranında uzun lifli hammadde kullanımı lifler arasında kurulan temas alanının geniş olmasına ve kurulan bağların daha sağlam olmasına sebep olmaktadır. Levhanın oluşması sırasında lif-lif temas alanının geniş ve iyi bağ yapılarının oluşması yüzeye dik çekme direnci ölçümünde kopmanın levhanın iç kısmında ve lif yüzeyinden olması ile lifler arasındaki bağ yapısından olmaması anlamına gelmektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2011). Ayrıca, liflerin serilmesinde lifler arası bağ direncinde önemli bir konudur. Silikon esaslı kimyasalların silanol gruplarının lifin –OH grupları ile hidrojen bağı kurması ve bu hidrojen bağlarının levhanın preslenmesi sırasında sıcaklık etkisi ile daha sağlam olan kovalent bağa dönüşmesi levhaların yüzeye dik çekme dirençlerini olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.

Bunlara ilave olarak, oluşan Si-O-Si bağlarının yüksek enerji sahibi olması ile bu enerjinin bağlanmayı iyileştirdiği ve iç yapışmayı artırdığı yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Materne vd., 2004). Çalışmada DC ve XM silikon esaslı kimyasallar kullanılarak üretilmiş olan levhaların yüzeye dik çekme direnci değerlerinin kontrol levhasına göre yüksek çıkmasını, lif kimyasal bağının kuvvetli olmasına ve lif-lif temas alanında daha fazla bağlanma olmasına atfedilmiştir.

Şekil 60' da DC ve XM kimyasallarının MÜF tutkalı ile birlikte üretilen levhaların eğilme dirençlerindeki değişim grafiği verilmiştir. Silikon esaslı kimyasalların kullanımı sonucunda levhaların eğilme dirençlerinde artış olduğu görülmektedir. XM kimyasalının %0,5 ve %1 oranında kullanılması ile levhanın eğilme direnci değerinde düzenli bir artış sağlanmış, %3 oranında kullanılması ile eğilme direncinde azalma tespit edilmiştir. DC kimyasalının %0,5 kullanımı ile levhanın eğilme direncinde artış elde edilmiştir. %1,5 ve %3 oranlarında DC kimyasalının kullanılması durumunda eğilme direncinde çok fazla bir değişiklik olmamıştır.

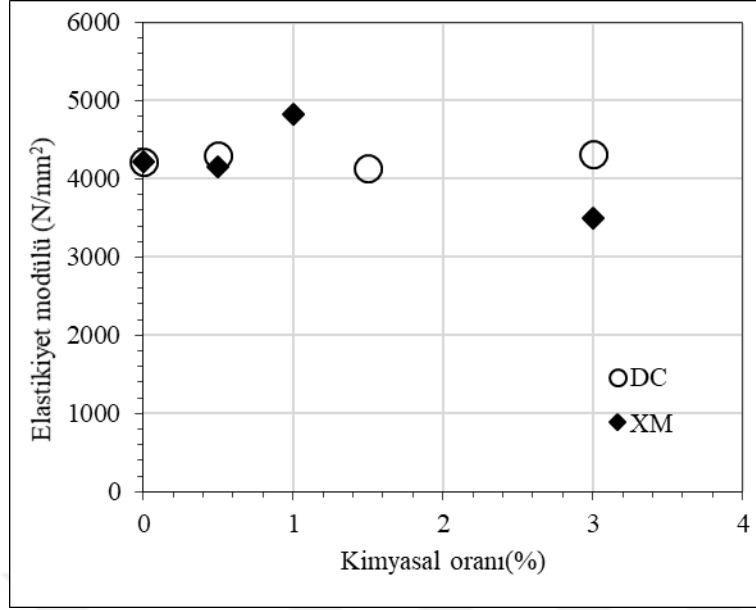




Şekil 60. Silikon esaslı kimyasalların levhanın eğilme direnci üzerine etkisi

Eğilme direnç özelliğinin levhaların nem ve kurulan bağ sağlamlığı ile ilişkilendirmek irdeleme için doğru bir karar olacaktır. Silikon esaslı kimyasallar doğrusal ve çapraz bağ kurabilen reaktif silan grupları içeren kimyasallardır. Oluşan bu bağların ısı etkisi ile yoğunlaşma sonucunda kovalent bağa dönüşmesi, ve kararlı Si-O-Si bağlarının varlığı levhaların eğilme direnç özelliklerini artırmaktadır. Reaktif silan grupları ile oluşturdukları bu çapraz bağlar, levhaya uygulanan kuvvet karşısında levhanın kolay deforme olmasını engellemişler ve bu bağların levhaların eğilme direnç değerlerine olumlu katkı sağladığı görülmüştür. XM kimyasalının DC kimyasalına göre düşük performans göstermesini, XM ile lifin bağ oluşturması sırasında, XM'in lineer bağ grupları içeren lineer polimerlere dönüşmesi (Url-7, 2009) ve oluşan bağın uygulanan kuvvet karşısında DC kimyasalı kadar yeterince dayanıklı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, silan grupları sayısındaki farkta etkili olmuştur.

DC ve XM kimyasallarının levhanın elastikiyet modülü özelliği üzerine etkisi Şekil 61'de verilmiştir. DC kimyasalının kullanımı ile üretilen deneme levhalarının elastikiyet modülü değerleri kontrol grubu levhaya göre çok fazla değişmediği tespit edilmiştir.



Şekil 61. Silikon esaslı kimyasalların levhanın elastikiyet modülü üzerine etkisi

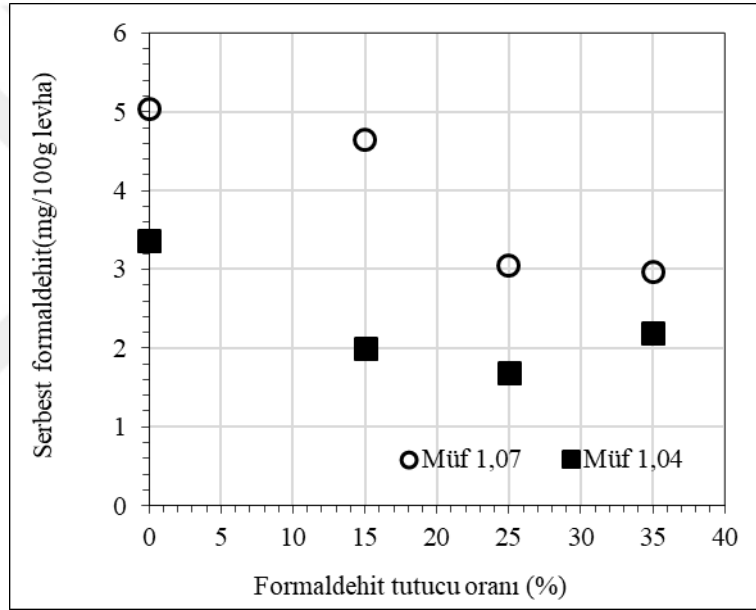
DC ile üretilen levhalarda elastikiyet modülü değerlerinde çok büyük farklılıklar görülmemiş olup, XM kimyasalı ile üretilen levhalarda az da olsa farklılıklar olduğu görülmüştür. Elastikiyet modülü değerinin artması levha esnekliğinin azalması anlamına gelmesinden dolayı elastikiyet modülü değerinin azalması çok istenilen bir durum değildir. Kullanılan silikon esaslı kimyasallar ile levhaların esneklik özelliğinin artmamış olması, kullanılan kimyasalların bu yönde olumsuz etki sağlamamış olmaları iyi bir kazanım olarak değerlendirilmiştir.

### 4.3. MÜF Tutkalı ile Formaldehit Tutucunun Birlikte Kullanımı

#### 4.3.1. Laboratuvarda Üretilen Levhaların Test Sonuçlarının Tartışılması

##### 4.3.1.1. Levhaların Serbest Formaldehit Değerlerine Etkisi

MÜF tutkalları ile farklı oranlarda FT kullanımının levhaların serbest formaldehit değerleri üzerindeki etkisi Şekil 62’de görülmektedir. Beklenildiği gibi formaldehit tutucu kullanımı ile levhaların serbest formaldehit değerleri düşmüştür.



Şekil 62. Formaldehit Tutucu ilavesinin levha serbest formaldehit değeri üzerine etkisi

MÜF 1,04 tutkalının kullanıldığı kontrol levhasının serbest formaldehit değeri 3,37 mg/100gr levha, %35 FT kullanılan levhanın serbest formaldehit değeri 2,20 mg/100gr levha tespit edilmiştir. En düşük serbest formaldehit değeri %35 FT ilavesi ile elde edilmiştir.

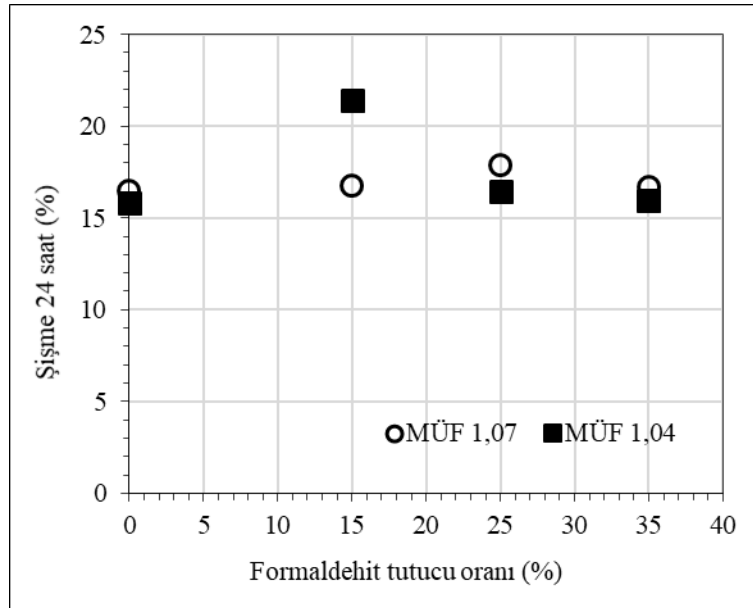
MÜF 1,07 tutkalının kullanıldığı kontrol levhasının serbest formaldehit değeri 5,04 mg/100gr levha, %25 FT kullanımı ile en düşük serbest formaldehit değeri olan 3,05 mg/100gr levha tespit edilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere, 1,04 MÜF tutkalı ile üretilen levhaların serbest formaldehit miktarları daha düşük çıkmıştır. Bu durum tutkal üretiminde daha az formaldehit kullanılmasından kaynaklandığı bilinmektedir.

Melamin içerikli tutkallarda melamin içeriğinin artması veya F/U oranının azalması levhalardan formaldehit salınımını azalttığı literatür taramasında da görülmüştür (Park vd., 2008). Çalışmada melamin katkı oranı aynı, farklı F/U mol oranına sahip tutkallar kullanılmış olup kullanılan formaldehit tutucu oranının artışı ile beraber formaldehit emisyonunun azaldığı görülmüştür. Bu durum, formaldehidin MÜF reçinelerinde bulunan melamin ile çapraz bağ kurabilen daha fazla sayıda dallanmış yapı oluşturmaları, melamin zincirinden gelen amid grupları ve metilen köprüleri arasında oluşan bağın stabilitesi ve ilave hidroksimetil gruplarını oluşturması, melaminin hidrolitik stabilitesinin yüksek olması ve bununla beraber hidroliz reaksiyonunun daha zor oluşması ile açıklanmaktadır (Park vd., 2008; Carvalho, 2012). Levhaların üretiminde kullanılan üre ve formaldehit karışımı formaldehit tutucunun, ürenin formaldehit ile daha fazla bağ kurması ile serbest formaldehit oranını azaltmış ve levhaların formaldehit emisyonu oranını azaltıcı yönde etki etmiştir.

#### 4.3.1.2. Levhaların Higroskopik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

##### 4.3.1.2.1. Levhaların Şişme (%) Özelliğine Etkisi

Şekil 63'te FT ilavesinin levhanın şişme özelliğine etkisi görülmektedir.



Şekil 63. Formaldehit tutucu ilavesinin levha şişme özelliğine etkisi

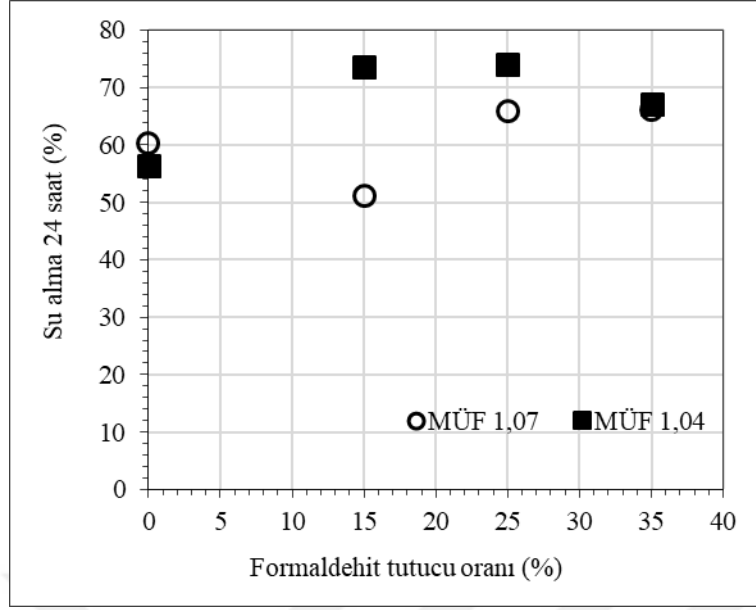
Formaldehit tutucu kullanılmamış olan levhaya göre kıyaslandığında, FT ilavesinin levhaların şişme yüzdesini düşük oranda artırdığı görülmektedir. Şişme yüzdesinin 1,04 MÜF tutkalı ile üretilen levhalarda nispeten daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Carvalho ve arkadaşlarının (2012) belirttiği gibi, levha üretiminde formaldehit tutucu ilavesi levha içerisinde kurulmuş olan bağları olumsuz olarak etkilemektedir. MÜF 1,07 tutkalında %25 FT ilavesinde, MÜF 1,04 tutkalında %15 FT kullanılması halinde levhaların şişme değerlerinin arttığı görülmüştür. Formaldehit tutucunun kullanılan oranlarında düzenli bir artış elde edilmemiş fakat kontrol levhasına göre şişme değerinin arttığı görülmüştür. Formaldehit tutucu kullanım oranlarındaki şişme değerleri arasındaki artışın değişkenlik göstermesini levha pastasının oluşumunda liflerin serilmesine, yoğunluk profiline ve test örneğinin alımında ki değişkenliğin etkili olduğu kanısına varılmıştır. Çalışmada kullanılan FT oranının (içeriğinin üre ve formaldehit karışımından oluşması) artması ile tutkalda bulunan melamin oranına göre tutkalda ki F/U oranının artması melaminin kuracağı kararlı ve suya dirençli bağ sayısının yetersiz olmasına neden olacağı düşünülmüştür. Bağ yapısının etkilenmesi (yetersiz kalması), suya maruz kalan levhanın iç geriliminin kolay bir biçimde bozulmasına (gevşemesine) ve levhanın şişmesine neden olduğu şeklinde bir sonuca varılmıştır. Buna ilave olarak, FT yapısında bulunan ürenin içerisindeki azotun bulunması ve azota fazla -OH gruplarının bağlanması durumunda levhanın şişme değerinin artması söz konusu olmaktadır.

#### **4.3.1.2.2. Levhaların Su Alma (%) Değerlerine Etkisi**

FT ilavesi ile üretilen levhalarının 24 saat su içerisinde bekletilmesi ile elde edilen su alma yüzdelerindeki değişim Şekil 64'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde 1,04 ve 1,07 MÜF tutkalının FT ilavesi ile birlikte levhaların su alma yüzdelerinin arttığı görülmektedir.

Levha üretiminde kullanılan tutkala üre ilavesinin levhaların su alma değerlerini artırdığı yapılan çalışmalarda verilmiştir (Hematabadi vd., 2012). Kurulan bu bağlar levhaların su alma özelliğini ürenin varlığından dolayı arttırıcı etkide olduğuna bağlanmıştır. Buna ilave olarak levha şişmesinin anlatıldığı bölümde tutkaldaki melamin miktarının FT'dan gelen F/U oranına göre az kalması da su almayı olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.



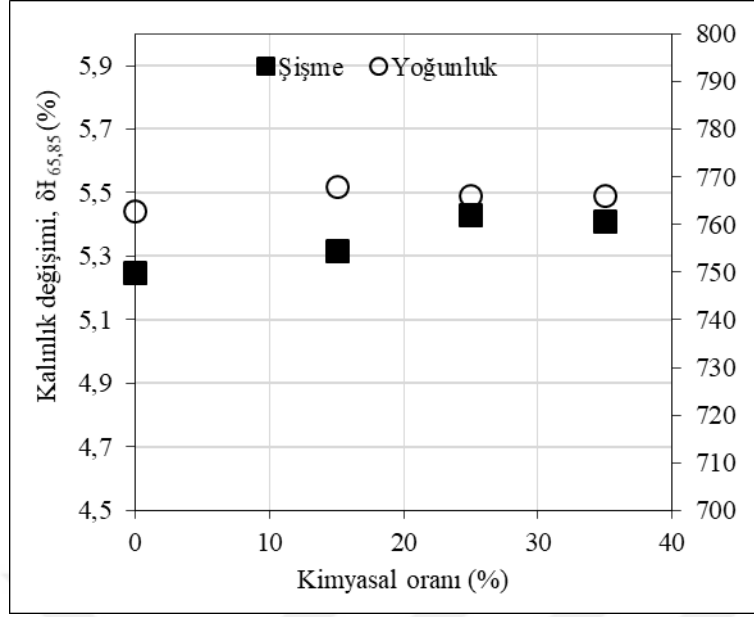
Şekil 64. FT ilavesinin levha su alma özelliğine etkisi

#### 4.3.1.3. Boyutsal Stabilite Test Sonuçlarının Tartışılması

MÜF 1,07 tutkalı ve farklı oranlarda (%0, %15, %25 ve %35) FT ile birlikte sertleştirici kullanılarak farklı yoğunluklarda deneme ve kontrol levhaları üretilmiştir. Bu levhaların bağıl nem artışı ve azalışı sırasında boyutsal değişimleri incelenmiştir.

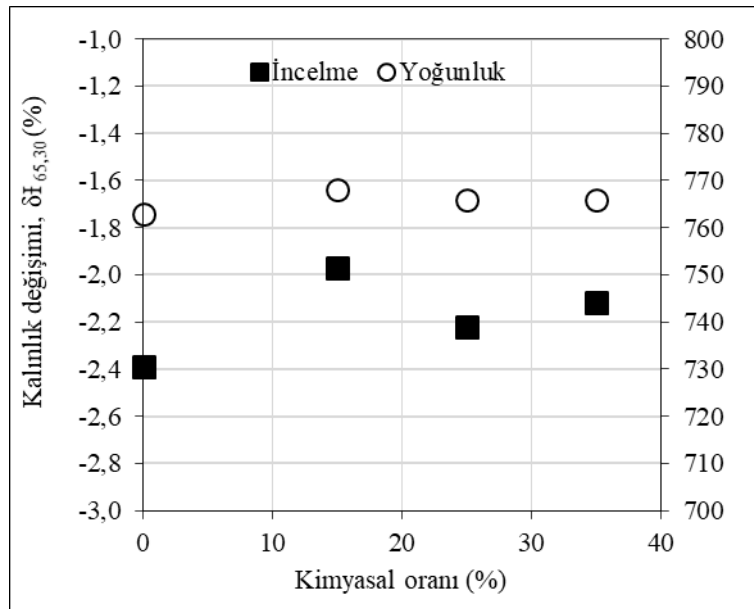
##### 4.3.1.3.1. Levhaların Kalınlık Değişimine Etkisi

Şekil 65'te levha üretiminde farklı oranlarda FT ilavesinin kalınlık (şişme) değişimi üzerine etkisi görülmektedir. Verilen kalınlık değişim (%) değerleri ortalamaları alınarak yazılmıştır. Artan FT ilavesi ile birlikte kalınlık değişimi artma eğilimi göstermiştir. Polimerleşmemiş artan üre oranının rutubet almada ve direnç kayıplarında etkisi olduğu dikkate alınmıştır.



Şekil 65. FT ilavesi ve levha yoğunluğunun levha kalınlık (şişme) değişimi üzerine etkisi

Şekil 66'da iklimlendirme kabininde bağıl nem değerinin düşürülmesi ile elde edilen kalınlık (incelme) değişim değerleri görülmektedir. FT ilavesi ile birlikte levhaların kalınlık (incelme) deformasyonunun azaldığı görülmektedir.



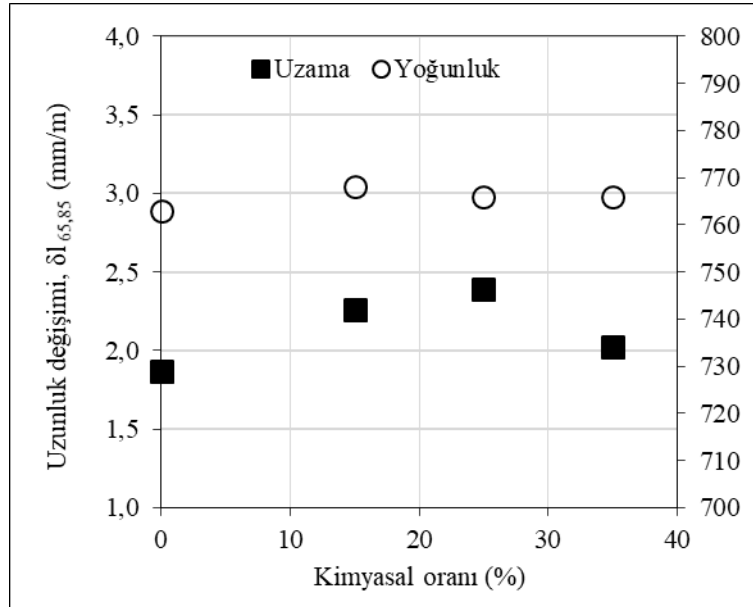
Şekil 66. FT ilavesi ve levha yoğunluğunun levha kalınlık (incelme) değişimi üzerine etkisi

FT'nun %25 kullanımında levhanın kalınlığında daha az incelme elde edilmiştir. FT kullanılan levhaların kalınlık deformasyonu (incelme) kontrol levhasına göre daha az tespit edilmiştir.

Levha yoğunluğunun boyutsal stabiliteyi etkilediği bilinmekle birlikte kalınlık yönünde şişme etkilenmemektedir. Levhanın kalınlık boyunca etkilenmesini levhanın yoğunluk profili ile ilişkilendirilmiştir. Yoğunluk profilinde levhanın yüzey kısmında yoğunluğun düşük, iç kısımlarında yüksek olması levhanın kalınlık yönündeki şişmesinde etkili olmaktadır. Levhaların nem kaybetmesi ile eski boyutlarına dönememelerinin sebebi histerez olayına dayandırılmaktadır. Bu durum tezin diğer kimyasallar ile ilgili bölümlerinde de anlatılmıştır.

#### 4.3.1.3.2. Levhaların Uzunluk Değişimine Etkisi

Şekil 67'de artan bağıl nem ile levhaların uzunluk (uzama) değişim değerleri ortalamaları alınarak verilmiştir. FT ilavesi ile üretilen levhaların uzama değerleri kontrol levhasının uzama değerleri ile kıyaslandığında levhalarda uzama yönünde deformasyon olduğu bulunmuştur.

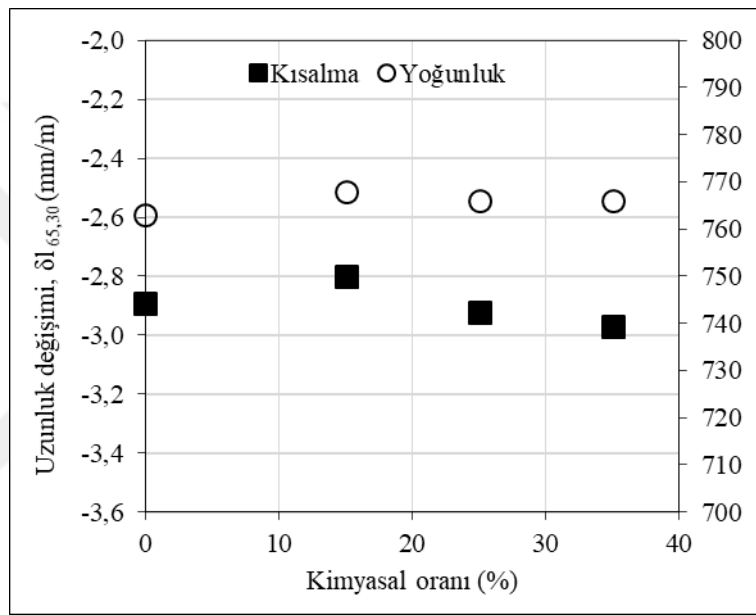


Şekil 67. FT ilavesi ve levha yoğunluğunun levha uzunluk (uzama) değişimi üzerine etkisi



Uzunluk değişim değerleri (uzama), kontrol levhasının 1,87 mm/m, %15 FT kullanımında 2,26 mm/m, %25 FT ilavesinde 2,39 mm/m ve %35 FT eklenmesi ile 2,02 mm/m olarak tespit edilmiştir. Daha önceki kısımda belirtildiği üzere; FT içerisindeki polimerleşmemiş yapıların etkisi büyüktür. Ürenin içerisindeki amin grupları nemdeki su moleküllerini tutma eğilimindedir.

FT ilavesine göre levhaların uzunluk (kısalma) değişim verileri Şekil 68’de verilmiştir. Artan FT oranına bağlı olarak levhaların uzunluk değişimlerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 68. FT ilavesi ve levha yoğunluğunun levha uzunluk (kısalma) değişimi üzerine etkisi

Levhaların ortalama uzunluk (kısalma) değerleri sırası ile şu şekildedir: Kontrol levhasının yoğunluğu uzunluk değişim değeri -2,89 mm/m, %15 FT ilave edilen levhaların -2,81 mm/m, %25 FT kullanılan levhanın -2,93 mm/m ve .%35 FT ile üretilen levhanın -2,97 mm/m olarak tespit edilmiştir. Artan nemle birlikte alınan yüksek miktarda su moleküllerinin rutubet azalımında levhadan uzaklaşsa bile deformasyonun gerçekleşeceği kabul edilmiştir.

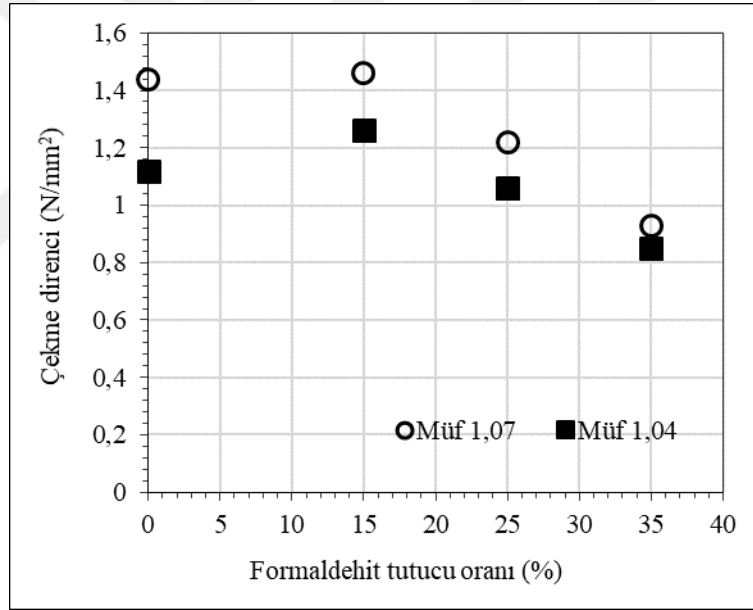
Levha içerisindeki nemin eşit bir şekilde dağılmaması da boyuna yönde uzamada önemlidir (Ganev vd., 2005). Liflerin homojen serilememesinden dolayı levhanın neminin artışı ile beraber lifler arasındaki bağın bozulması, levha içerisinde bulunan gerilimin serbest kalması ile liflerin eşit bir şekilde hareket etmemeleri ve buna ilave olarak da levhanın

boyuna yönde geriliminin eşit olmaması nedeni ile levhanın boyuna yönde deformasyonunda değişiklikler olabilmektedir.

#### 4.3.1.4. Levhaların Mekanik Test Özelliklerine Etkisi

MÜF tutkalları ve FT ilavesi ile üretilen levhaların çekme direnci verileri Şekil 69'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde her iki tutkal için FT kullanımının levhanın çekme direncini azalttığı görülmektedir.

Fornaldehit tutucu kullanılan levhaların çekme direnci özelliklerinde azalmalar görülmesi beklenen bir durum olmaktadır. Kullanılan FT'nin lifler arasındaki bağ direncine olumsuz etkisi olmasından dolayı çekme direncinde azalmalar görülebilmektedir.

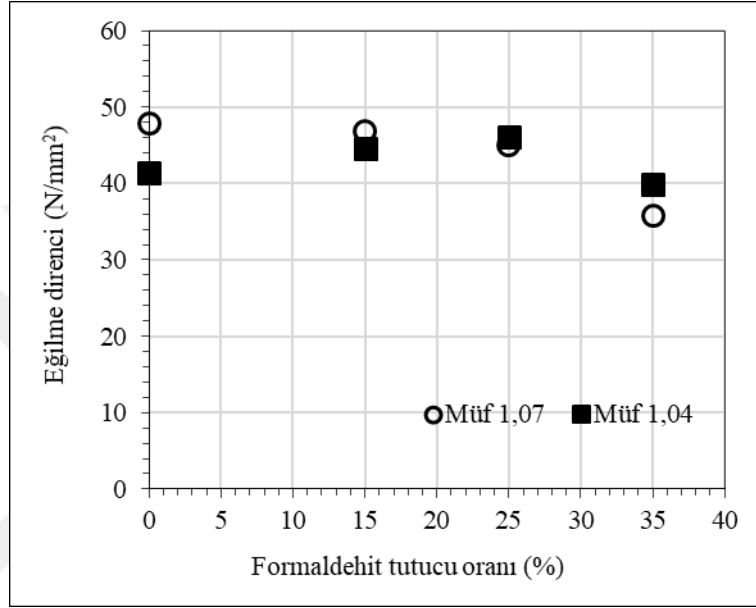


Şekil 69. FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha çekme direnci özelliğine etkisi

Şekil 70'te farklı MÜF tutkalları ve FT ilavesi ile üretilen levhaların eğilme direnci sonuçları görülmektedir. Grafikte her iki tutkalın FT ilavesi ile üretilen levhaların eğilme direncinde azalma olduğu görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde FT ilavesi ile levhaların eğilme dirençlerinde azalmalar görülmüştür. Her iki tutkal içinde benzer eğilimin eğilme direncinde özellikle düşük dozlarda ciddi bir değişim yok iken artan FT miktarına

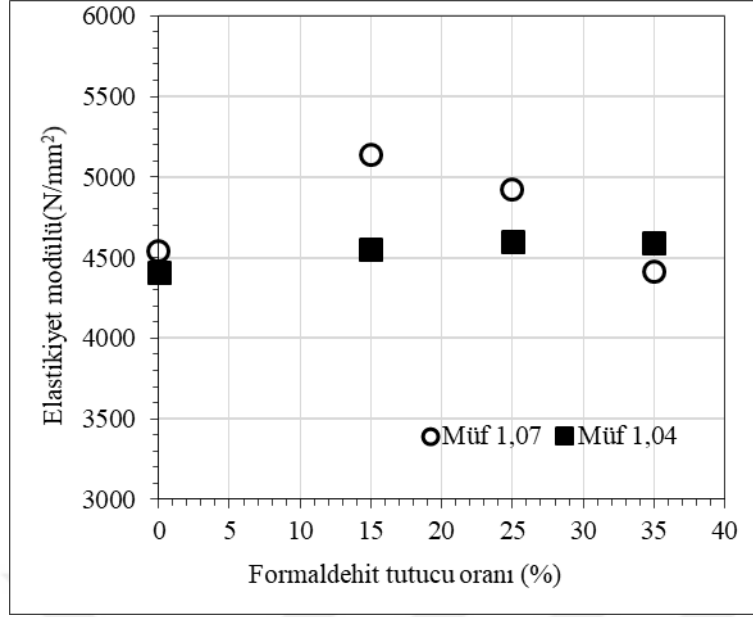
göre eğilme direncinin azaldığı görülmektedir. Kontrol levhalarında beklenildiği gibi 1,07 mol oranlı tutkalla üretilen levhanın eğilme direnci daha yüksektir.

Formaldehit tutucu kullanımı ile eğilme direncinde azalmaların olmasını tutkal ve FT nin kurmuş olduğu bağın direnci ile ilişkilendirilmektedir. Formaldehit tutucu kullanımı levha iç bağ direncini olumsuz etkilemektedir.



Şekil 70. FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha eğilme direnci özelliğine etkisi

Şekil 71’de 1,07 ve 1,04 MÜF tutkalları ve FT ilavesi ile levhaların elastikiyet modülü üzerine etkisi görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere 1,07 mol oranlı tutkal ile üretilen levhaların elastikiyet modülünün bir miktar arttığı sonra azaldığı, 1,04 mol oranlı tutkalla üretilen levhalarda ise ciddi bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 71. FT ilavesi ve farklı tutkal kullanımının levha elastikite modülü özelliğine etkisi

Çalışmada MÜF 1,04 ve 1,07 tutkalarına FT katılımı ile üretilen levhaların çekme, eğilme ve elastikite modülü değerleri standartların belirlemiş olduğu kabul edilir sınırlar içerisinde elde edilmiştir. Levhaların çekme ve eğilme direnç değerlerinde artan FT oranı ile birlikte azalmalar görülmüş, elastikite modülü değerinde değişimler elde edilmiştir. Levha üretiminde tutkala FT ilavesi ile levhaların formaldehit salınımlarının düşürülmesi sağlanmakta fakat mekanik özellik değerlerinde azalmalar görülmesi beklenen bir sonuçtur (Hematabi vd., 2012). Formaldehit üre mol oranının levha içerisinde bağ direncinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve üre oranının artışı ile birlikte tutkal lif bağının zayıflaması ÜF tutkalı kullanılan levhalarda görülen bir durumdur (Hematabi vd., 2012). Çalışmada üretilen levhalarda MÜF tutkalı kullanılmış, melaminden kaynaklanan çapraz bağ yapabilme yeteneği ve dirençli bağ elde edilebilme özelliği bilinmektedir. MÜF tutkalı içeriğinde melamin oranının düşük (%5) kullanılmasının ve formaldehit tutucu olarak üre ve formaldehit karışımı kimyasal kullanılmasının, tutkal içerisindeki üre oranının artışı ile beraber lif ve tutkal arasındaki bağ direncini olumsuz etkilediği ve mekanik değerlerin bu sebepten dolayı azaldığı düşünülmüştür.

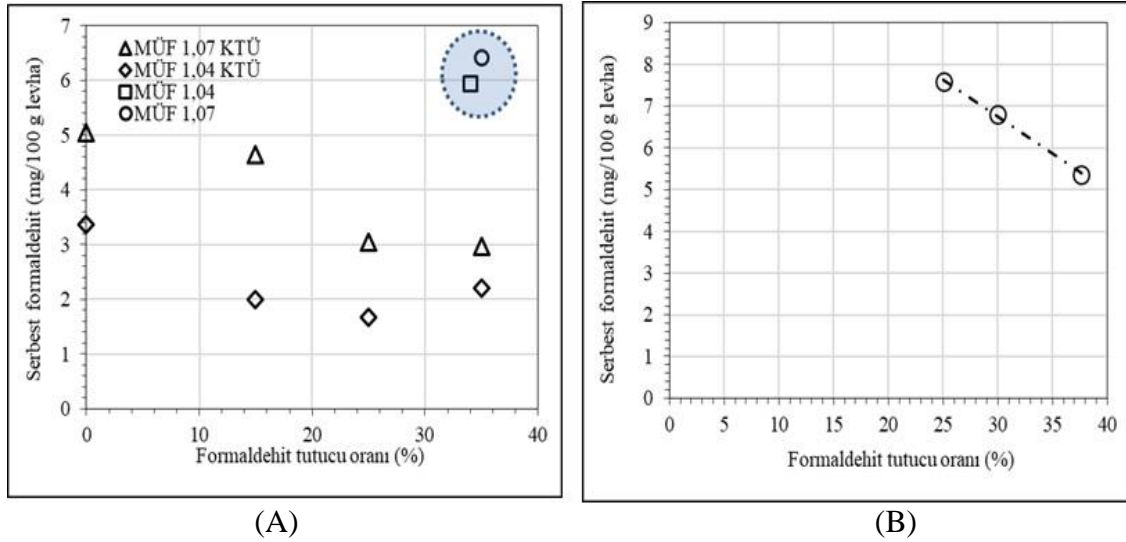
### 4.3.2. KTÜ ve Çamsan A.Ş.'de Farklı MÜF Tutkalı ve FT İlavesi ile Üretilen Levhaların Test Sonuçlarının Tartışılması

MÜF 1,04 ve 1,07 tutkallarının farklı oranlarda FT ilavesi ile Çamsan A.Ş.'de ve KTÜ laboratuvarında levha üretimleri yapılmıştır. Üretilen levhaların mekanik, higroskopik ve serbest formaldehit testleri yapılmış olup aşağıda test sonuçları grafikler halinde verilmiştir.

#### 4.3.2.1. Levhaların Serbest Formaldehit Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışmalarda 1,07 ve 1,04 MÜF tutkallarının farklı oranlarda FT ilavesi ile laboratuvarında ve Çamsan fabrikasında üretilen levhaların serbest formaldehit değerlerinin değişim grafiği Şekil 72'de verilmiştir.

Şekil 72 A'da laboratuvar ve fabrika levhalarının serbest formaldehit değerlerinin değerlendirilmesinde ilave edilen FT oranına göre değişim grafiği görülmektedir. Şekil 72 B'de fabrikada 1,07 MÜF tutkalı ve FT kullanımı ile üretilmiş levhanın serbest formaldehit değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 72 (A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının serbest formaldehit değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ'de üretilen levhaların serbest formaldehit değişim değerleri

Laboratuvarında üretilmiş olan levhaların serbest formaldehit değerleri Çamsan fabrikasında üretilen levhaların serbest formaldehit değerlerinden daha düşük bulunmuştur.

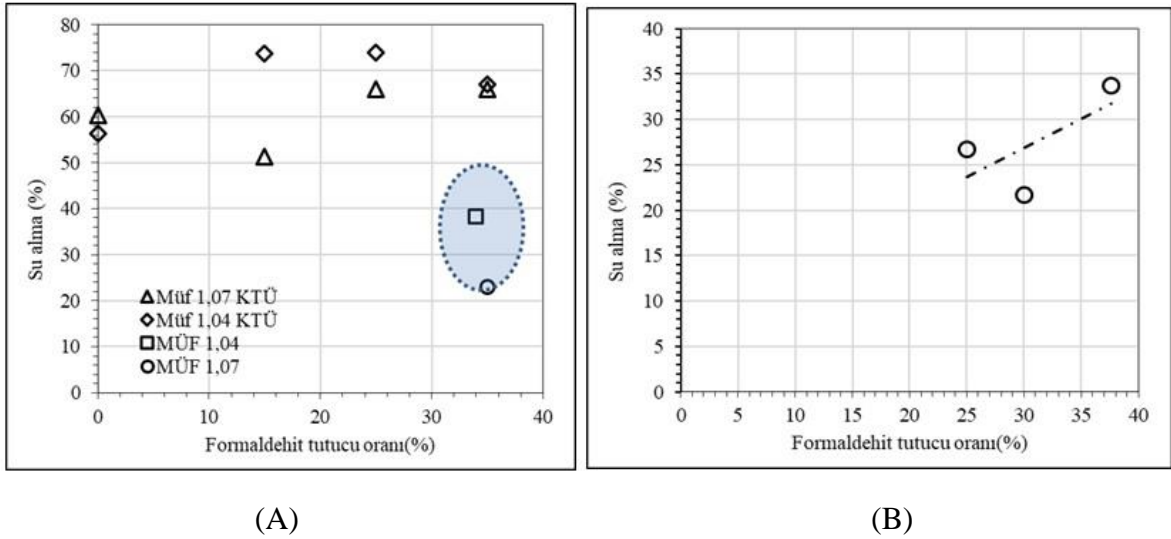
Laboratuvarda 1,04 MÜF tutkalı ve %35 FT kullanımı ile üretilen levhadan 2,20 mg/100gr levha serbest formaldehit değeri tespit edilmiş, fabrikada MÜF 1,04 tutkalı ve %34 FT ilavesiyle üretilmiş olan levhanın serbest formaldehit değeri 5,93 mg/100gr levha olarak görülmektedir. Bu değer laboratuvarda üretilen levhalardan elde edilen en düşük serbest formaldehit değerini vermektedir. Fabrikada 1,07 MÜF tutkalı ve %38 FT kullanılarak üretilen levhadan elde edilen serbest formaldehit değeri 5,37 mg/100gr levha olarak görülmektedir. MÜF 1,07 tutkalı ile üretilmiş Çamsan levhasının FT kullanım oranının artması ile serbest formaldehit değerinin azaldığı görülmektedir.

Levha üretiminde pres süresi ve levha yoğunluğu serbest formaldehit emisyonu değerini etkileyen parametreler arasındadır. Laboratuvarda üretilen levhaların serbest formaldehit değerlerinin daha düşük çıkmasının nedenini, laboratuvarda levha üretiminde pres süresinin fabrika üretimindeki pres süresine göre daha fazla olmasının etkili olduğu düşünülmüştür. Presleme süresinin artması levhadan daha fazla gaz atımı olmasını sağlayacağından serbest formaldehit emisyonu değerlerinin düşük çıkmasında pres süresinin etkili olduğu bilinmektedir. Kullanılan FT miktarının artması ile levhaların formaldehit emisyon miktarının azalması beklenen bir durumdur. Levha içerisinde bulunan serbest formaldehitin FT'dan gelen üre ile bağ yapması sonucunda formaldehit emisyonu azalmaktadır. Serbest formaldehit emisyonunun nedenlerine bakıldığında lif levhaların kalınlıklarının artması ile beraber serbest formaldehit değerlerinin artması bilinen bir durumdur (Çınar, 2018). Laboratuvarda üretilmiş olan levhaların kalınlıklarının fabrika ortamında üretilmiş olan (Şekil 72 B) levhaların kalınlıklarından daha azdır. Burada levha kalınlığının farklı olması ve üretim şartlarının farklı olması sonucu etkilemekte etken olabilmektedir. Bunlara ilaveten, levhaların rutubet içeriklerinin de formaldehit emisyonuna etki yaptığı bilinmekte ve bu bilgiden yola çıkarak değerlendirildiğinde, fabrika levhalarının rutubetinin laboratuvarda üretilen levhalara göre daha fazla olduğu görülmüş ve bu durumu fabrika levhalarının formaldehit miktarının fazla olmasının sebebi olarak düşünülmüştür (Salem vd., 2012). Bununla birlikte levha yoğunluğunun artması serbest formaldehit salınımını arttıracaktır (Carlbom ve Matuana, 2006). Levha yoğunluklarının fazla olması formaldehit salınımı zorlaştıracığından yoğunluk artması formaldehit salınım değerini arttıracaktır. Her iki üretim yerindeki levhaların yoğunluk değerlerinin de farklı olması bu şekilde bir farklılığı ortaya koyduğu düşünülmüştür.

### 4.3.2.2. Levhalarının Higroskopik Test Sonuçlarının Tartışılması

#### 4.3.2.2.1. Levhaların Su Alma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 73 A'da fabrikada ve laboratuvarında farklı MÜF tutkalları ve FT ilavesi ile üretilen levhaların su alma (%) değerleri verilmiştir. Şekil 73 B'de 1,07 MÜF tutkalı ve artan FT oranı ile fabrikada üretilmiş olan levhaların su alma değerleri görülmektedir. Grafiğe göre levhaların FT oranının artması ile su alma değerlerinin arttığı görülmektedir, bu durumu eğim çizgiside desteklemektedir.



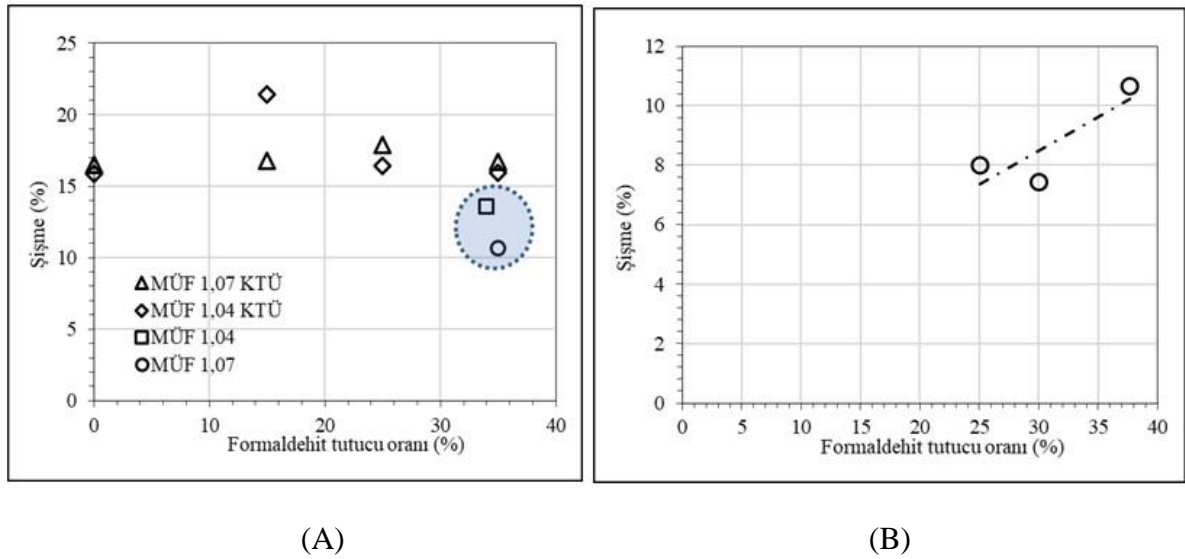
Şekil 73. (A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının su alma (24 saat) yüzde değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ'de üretilen levhaların su alma (24 saat) değişim değerleri

Laboratuvar koşullarında üretilen levhaların FT ilavesi ile su alma değerlerinde artış olduğu ve fabrika levhalarının su alma değerlerinden daha fazla olduğu grafikte görülmektedir. Levhaların su alma değerlerini etkileyen parametreler arasında yüzey sertliği ve levha yoğunluk değerleri bulunmaktadır. Grafikler değerlendirildiğinde, laboratuvarında üretilmiş olan levhaların yeterli yüzey sertliği verilememiş olması su alma değerlerinin artışında etken olduğu düşünülmüştür. Laboratuvarında üretilmiş olan levhaların yoğunluk değerlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Laboratuvar koşullarında levha üretiminde levha yoğunluğunu levha kalınlık boyunca homojen olarak oluşturmak fabrika üretim

koşullarına göre mümkün olamamaktadır. Bu bağlamda, her iki üretim yeri arasındaki üretim ayrımları levhaların su alma değerleri arasındaki farklılıkları oluşturduğu düşünülmüştür.

#### 4.3.2.2.2. Levhaların Şişme Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı MÜF tutkalları ve FT ilavesi ile laboratuvar ve fabrikada üretilen levhaların 24 saatte şişme yüzde değerleri Şekil 74’de görülmektedir. Şekil 74 A’da laboratuvar levhalarının şişme yüzde değerleri ve fabrika levhalarının şişme değerleri verilmiştir. Laboratuvar levhalarının FT kullanım oranının artışı ile şişme değerlerinin artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde fabrikada üretilen levhaların FT ilavesi ile şişme değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 74. (A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının şişme (24 saat yüzde değerleri). (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ’de üretilen levhaların şişme (24 saat) değişim değerleri

Levhaların yoğunluk değerlerinin artması, yoğunluk dağılımının homojen olmaması ve yüzey sertliğinin yeterli olmaması levhanın su alma-şişme özelliklerini artırıcı yönde etkilediği bilinmektedir (Xu ve Winistorfer, 1995). Laboratuvar koşullarında levha üretiminde lifin serilmesinin homojen olması zor olmakta ve bu da levha yoğunluğunu ve levha içindeki gerilimin dağılımını etkilemektedir. Laboratuvar koşullarında üretilmiş olan



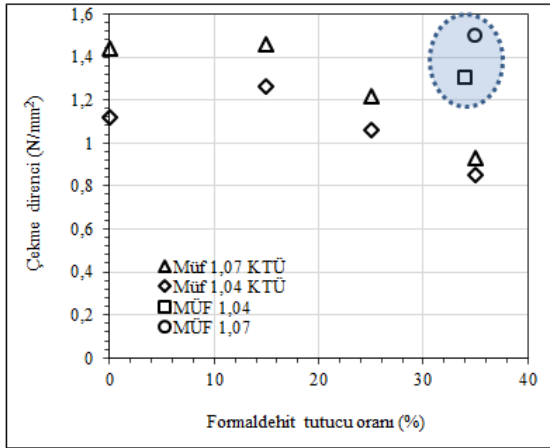
levhaların yoğunluk değerlerinin daha fazla olması şişme değerlerinin fabrikada üretilen levhalara göre yüksek çıkmasında etken olduğu kanısına varılmıştır.

Yoğunluk ve yüzey sertliği parametresinin dışında levhanın higroskopik özelliklerini etkileyecek başka faktörlerde bulunmaktadır. Örneğin, levhaların rutubet değerlerinin düşük olması daha fazla şişme özelliği göstermelerinde etkili olmaktadır. Laboratuvarda üretilmiş levhaların rutubet değerlerinin düşük olması daha fazla şişme özelliği göstermesinde etken olduğu düşünülmektedir. Laboratuvarda üretilen levhaların yüzde şişme değerleri standardın belirlemiş olduğu sınırlara yakın elde edilmiştir, su alma değerleri ise standardın istediği değere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

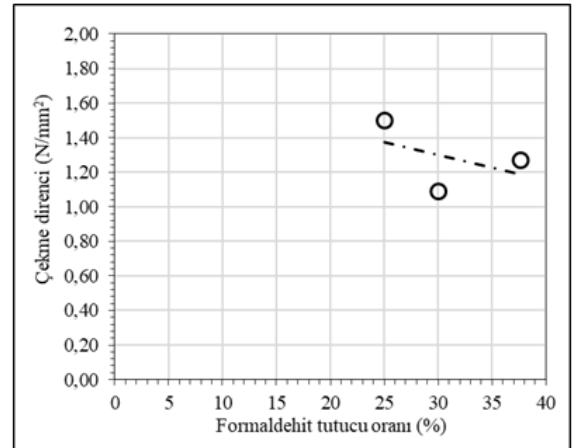
#### 4.3.2.3. Levhalarının Mekanik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 75’de farklı MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile üretilmiş laboratuvar ve fabrika levhalarının çekme direnci değerlerindeki değişim görülmektedir.

Grafiğe göre laboratuvar ve fabrika levhalarında FT oranının artması ile çekme direnç değerlerinin azaldığı görülmektedir.



(A)



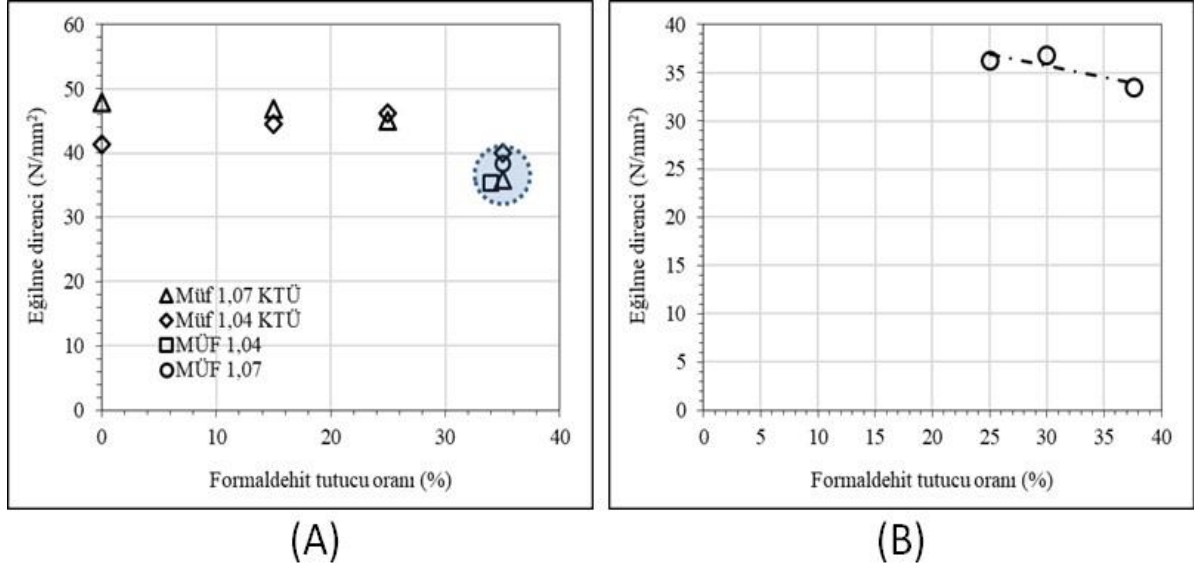
(B)

Şekil 75. (A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının çekme direnci değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ’de üretilen levhaların çekme direnci değişim değerleri

Bununla birlikte, fabrika levhalarının kalınlıkları aynı olmakla birlikte laboratuvarda üretilen levhaların çekme direnç değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumu, laboratuvar koşullarında tutkallanan lifin homojen bir şekilde serilememesinden kaynaklandığı düşünülmüştür.

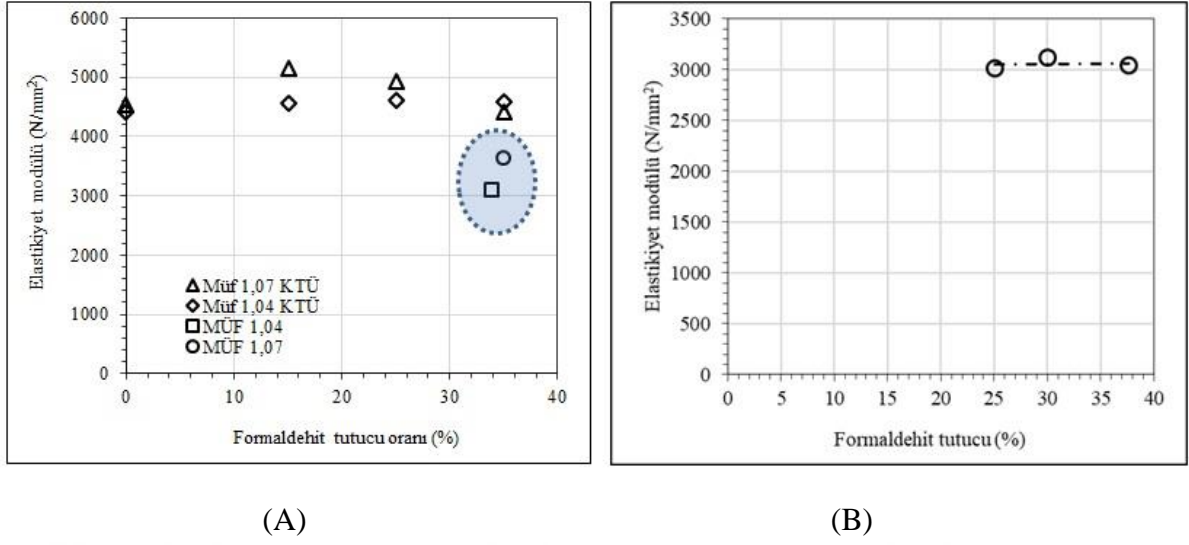
Çekme direnci değeri lifler arasında kurulmuş olan bağın direnci ile ilişkilendirilmektedir. Lifler arasındaki bağ ne kadar kuvvetli olursa kopma bağlar arasından olmayacak lif yüzeyinden yolunma şeklinde olacaktır. Çekme direnci değerlerinin kontrol levhalarına göre azalmasını lifler arasındaki bağ direncinin FT ilavesi ile azalması şeklinde yorumlanmaktadır. Melamin üre formaldehit tutkalının içeriğindeki melamin sayesinde levhaların mekanik özelliklerini iyileştirdiği yapılmış olan çalışmalarda verilmiştir (Gindi ve Grupta, 2002). Fakat levhaların çekme direnci değerlerinin azalmasını FT olarak kullanılan üre formaldehit çözeltisinin, tutkal içerisinde bulunan F/U oranı ile birlikte ortamda fazla miktarda üre ve formaldehit bulunmasına, lif yüzeyinde bağ kuramamış fazla maddelerin birikmesine ve bu birikimin lif tutkal bağını zayıflatarak direnç özelliklerini etkileyebileceği şeklinde düşünülmüştür. Elde edilmiş olunan çekme direnç değerleri fabrika levhalarının değerleri ile benzer ölçekte olduğu görülmektedir.

MÜF 1,04 ve 1,07 tutkallarının farklı oranlarda FT kullanımı ile fabrikada ve laboratuvarda üretilen levhaların eğilme direnç değerleri Şekil 76'de verilmiştir. Laboratuvar ve fabrika levhalarının FT ilavesi ile eğilme direnç değerlerinin azaldığı tespit edilmiş, fabrikada üretilmiş levhaların 1,04 ve 1,07 MÜF tutkalı ile %35 FT kullanımında eğilme direnç değerlerinin laboratuvar levhalarının eğilme direnç değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Şekil 76 B'de 1,07 MÜF tutkalı ve FT ile üretilmiş fabrika levhalarının eğilme direnç değerlerinin değişimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde artan FT oranı ile levhaların eğilme direnç değerlerinin azaldığı görülmekte ve eğim çizgisinde bu durumu desteklemektedir.



Şekil 76. (A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının eğilme direnci değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ’de üretilen levhaların eğilme direnci değişim değerleri

Levha üretiminde kullanılan lifin uzunluğunun levha eğilme direnci üzerindeki etkisi Valcheva ve Savov (2016) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiş ve levhada uzun lif oranının fazla olması lifler arasında kurulan kohezyon bağlarının kalitesini arttırmada etkili olduğu ve dolayısı ile eğilme direnç değerlerinin artmasına sebep olduğuna işaret edilmiştir. Levhaların eğilme direnci testlerinde lifler arasındaki bağ yapısının önemi büyüktür. Lif-lif bağının bozulması veya zayıf olması levhanın eğilme direnci değerini etkilemektedir. Hem laboratuvarda hem de fabrikada üretilen levhalarda FT ilavesi ile levhaların eğilme direnç değerlerinin azaldığı görülmekle birlikte, bu durum, tutkala katılan FT’nun (üre formaldehit çözeltilisinin) lifler arasındaki bağı olumsuz etkilediğine, lifler arasındaki bağ oluşturma katkısının az olduğuna atfedilmiştir. Eğilme direnci değerlerinin azaldığı görülmüş fakat standardın belirlemiş olduğu aralıklarda elde edilmesini MÜF tutkalının odun esaslı malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmesi özelliği sayesinde istenilen değerlerde elde edilmesinde etkili olduğu düşünülmüştür (Golbabaie, 2006).



Şekil 77. (A). Farklı tutkal ve FT ilavesi ile KTÜ ve Çamsan levhalarının elastikiyet modülü değerleri. (B). 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile Çamsan AŞ’de üretilen levhaların elastikiyet modülü değişim değerleri

Fabrikada ve laboratuvarında 1,04 ve 1,07 MÜF tutkalları ve FT ilavesi ile üretilmiş olan levhaların elastikiyet modülü değerleri Şekil 77’de verilmiştir.

Laboratuvarında 1,04 MÜF tutkalı ve FT ile üretilen levhalarda elastikiyet modülü değerlerinde değişimler gözlenmiş, 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilave edilen levhalarda elastikiyet modülü değerlerinde ise azalma görülmüştür. Formaldehit tutucu ilavesi ile levhalarda azalma ve artma şeklinde değişiklikler görülmüş fakat en son %35 FT ilavesinde kontrol değerine yakın bir değerle çok fazla bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Laboratuvarında 1,07 MÜF tutkalı ve %35 FT kullanılarak üretilen levhanın elastikiyet modülü değeri 4416 N/mm<sup>2</sup> elde edilmiştir. Fabrikada 1,04 MÜF tutkalı ve %34 FT kullanılarak üretilen levhanın elastikiyet modülü değeri 3096 N/mm<sup>2</sup> olarak görülmektedir. Elde edilen bütün mekanik test sonuçları standartların belirlemiş olduğu sınırlar dâhilinde elde edilmiştir.

Levhaların mekanik özelliklerine tutkallama, liflerin serilmesi, kullanılan hammadde, pres süresi- pres sıcaklığı, pres basıncı ve yoğunluk dağılımı gibi unsurlar etki etmektedir. Laboratuvarında ve fabrikada üretilen levhalar arasında farklılıkların olması yukarıda açıklanan unsurlardan dolayı muhtemel bir durum olacaktır. Lif yapısı, uzunluğu levha üretiminde önemli olmaktadır. Levha üretiminde uzun lifli hammaddenin tercih edilmesi, lif-lif temas alanının artmasına ve uygulanan kuvvete karşı daha sağlam bağ kurulmasına neden olacaktır. Tutkallamanın homojen olmaması lifler arası kurulacak olan bağın

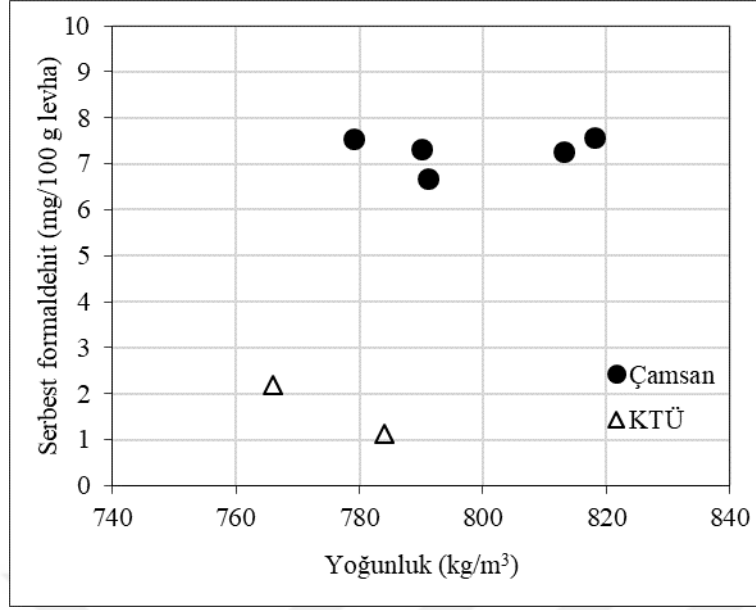
kalitesini etkileyecektir. Liflerin eşit bir şekilde levha pastasının oluşturulmasında homojen serilememesi levha yoğunluğunu ve yoğunluk dağılımını etkileyecektir. Levha testleri için örnek alınmada bu tür yoğunluk farklılıkları da sonucu etkileyeceği düşünülmektedir.

#### **4.3.3. Farklı Yoğunluk Değerlerine Sahip KTÜ ve Çamsan AŞ. Levhalarının Test Sonuçlarının Tartışılması**

1,07 MÜF tutkalı ve farklı oranlarda FT ilavesi ile farklı yoğunluklarda üretilen laboratuvar levhaları ve fabrikada üretilen levhaların değerlendirilmesi yapılmıştır. Laboratuvarda üretilen levhalarda, %35 oranında FT ve %20 tutkal kullanılmış olan levhanın, fabrikada %38 oranında FT ve aynı oranda tutkal kullanılan levhaların test sonuçları verilmiştir. Üretilen levhaların yoğunluklarının mekanik, higroskopik ve serbest formaldehit test sonuçlarına etkisi grafikler halinde verilmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır.

##### **4.3.3.1. Levhaların Serbest Formaldehit Sonuçlarının Tartışılması**

Şekil 78'de laboratuvarda ve fabrikada 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile üretilmiş olan farklı yoğunluklardaki levhaların serbest formaldehit değişim değerleri görülmektedir. Laboratuvar levhalarının yoğunluk değerlerinin artışı ile beraber serbest formaldehit değerlerinin azaldığı görülmektedir. Fabrika levhalarında ise yoğunluk artışı ile beraber formaldehit salınımlarında değişimler görülmektedir.



Şekil 78. MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha serbest formaldehit değerine etkisi

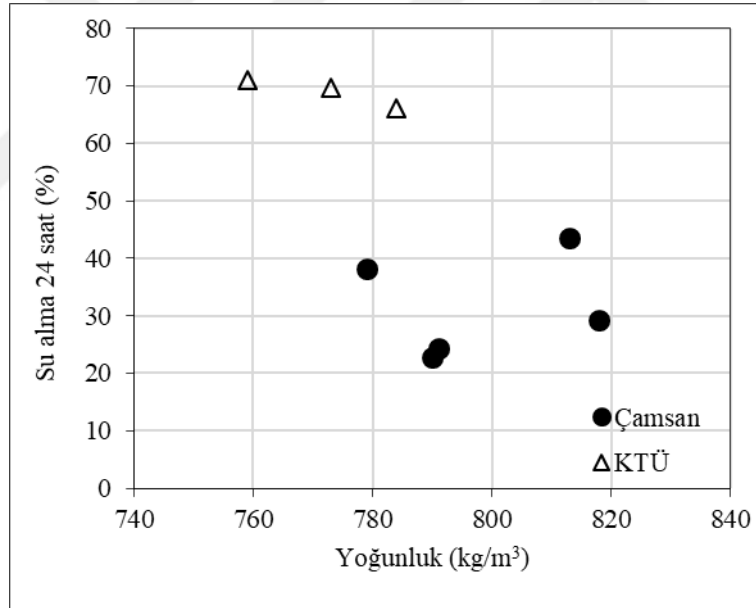
Grafiğe bakıldığında laboratuvar levhalarının serbest formaldehit değerlerinin fabrika levhalarından daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, özellikle pres süresinin laboratuvarında daha uzun olması formaldehitin üretim sırasında açığa çıkmasına neden olması ve sonradan oluşacak formaldehit emisyonu oranında azalttığı düşünülmektedir.

Levha yoğunluğunun artışı, levha pastasındaki nem içeriğinin artışına sebep olduğu bilinmektedir (Hong vd., 2017). Nem lifler arasındaki bağın zamanla hidrolizine sebep olmakta ve levhaların formaldehit salınımlarını artırmaktadır. Formaldehit tutucu kullanılması ile bu durum tersine çevrilmeye çalışılmıştır. Üre formaldehit karışımı formaldehit tutucu tutkal ile karıştırılarak kullanılması durumunda, tutkalda bulunan serbest formaldehidin FT de bulunan üre ile bağ yapması durumunda levhaların formaldehit salınım miktarı azalma göstermiştir. Tutkal içeriğinin formaldehit emisyonunda etkili olduğu literatürde verilen çalışmalarda belirtilmiştir (Tohmura vd., 2001). Melaminli MÜF reçinelerinin stabilizasyonu, melaminin yarı aromatik zincir yapısında bulunan metilol grupları ve melaminin içeriğinde bulunan amid grupları arasındaki bağda C-N stabilizasyonuna dayanmaktadır. C-N bağının hidroliz direnci melamin zinciri ve metilol grup arasında olmaktadır (Dunky, 2002). Melamin içerikli tutkal ile FT kullanımında, FT'nun tutkal ile kurmuş olduğu bağların hidrolize dayanıklı olması melaminin bu özelliğine bağlanmış ve levhalardaki serbest formaldehit değerlerinin azalmasında etken olduğu sonucuna varılmıştır.

### 4.3.3.2. Levha Yoğunluğunun Levha Higroskopik Test Sonuçlarına Etkisinin Tartışılması

#### 4.3.3.2.1. Levhaların Su Alma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 79'da 1,07 MÜF tutkalı ve FT ile laboratuvarında üretilen levhaların yoğunluklarının su alma (24 saat) test sonuçlarına etkisi görülmektedir. Laboratuvarında üretilmiş olan levhaların yoğunluk değerlerinin artması ile levhaların su alma değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Fabrikada üretilmiş levhalarda ise levha yoğunluk değerlerinin artması ile levhaların su alma değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Şekilde yoğunluğun 750-800 kg/m<sup>3</sup> olduğu alan incelendiğinde laboratuvar levhalarının su alma değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun laboratuvar levhalarının üretim parametrelerinin fabrika levhalarına göre farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



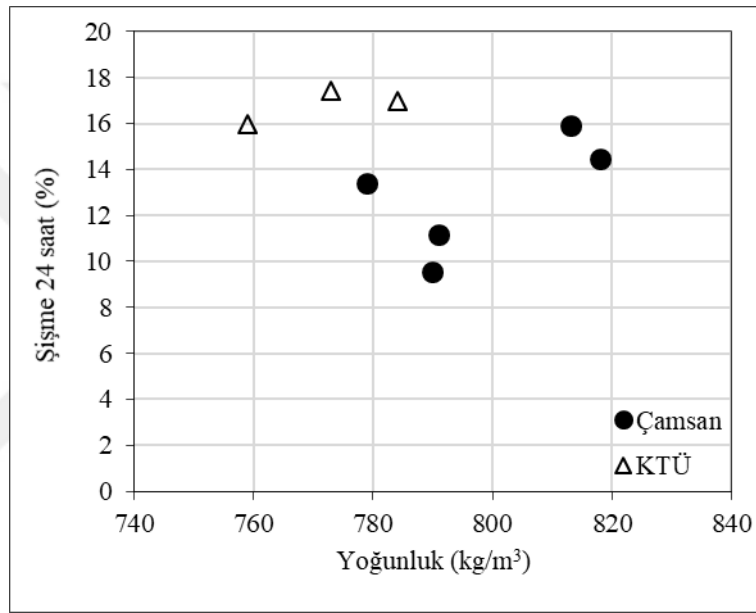
Şekil 79. MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha su alma (24 saat) değerine etkisi

Daha önce yapılan çalışmalarda levhaların yoğunluk değerleri artışının su alma değerleri üzerine negatif (artırma) etkisi olduğu belirtilmiştir. Fabrika levhalarında yoğunluk artışı ile su almanın artışı yoğunluğun su alma özelliğine olumsuz etkisi olduğunu desteklemektedir. Laboratuvar levhasında oluşan azalma eğiliminde ise levha üretimindeki

levha pastasının oluşturulması sırasındaki lifin serilmesi ve yoğunluğun homojen dağılmamasına bağlanmıştır.

#### 4.3.3.2.2. Levhaların Şişme Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı oranlarda FT kullanımı ve 1,07 MÜF tutkalı ile laboratuvar ve fabrikada üretilen levhaların yoğunluklarının levha şişme özelliği üzerine etkisi Şekil 80’te verilmiştir.



Şekil 80. MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha şişme (24 saat) değerine etkisi

Grafiğe göre laboratuvar levhalarının fabrika levhalarının levha yoğunluk artışına göre şişme yüzde değerlerinin arttığı görülmektedir. Levhaların yoğunluk değerleri incelendiğinde 750-800 kg/m<sup>3</sup> aralığında laboratuvar levhalarının şişme yüzde değerlerinin fabrika levhalarından fazla olduğu görülmektedir.

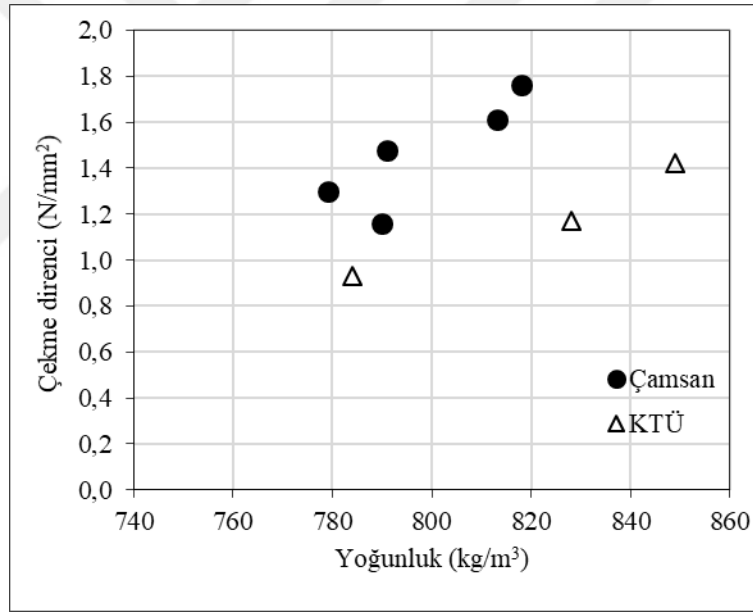
Levha yoğunluğunun artması, lifler arasındaki mesafenin azalmasına ve lif temas alanının artmasına sebep olmakta fakat bunun yanı sıra levha iç geriliminin de artmasına neden olmaktadır. Levha iç geriliminin artışı, levha şişme değerlerinin artışında rol oynamaktadır. Levha içerisindeki bağların su ile hidrolize olması durumunda, iç gerilimin etkisi ile lifler daha fazla birbirinden uzaklaşmakta ve daha yüksek şişme değeri elde



etmemize neden olmaktadır. Levhaların üretiminde MÜF tutkalı kullanılmış olmasına rağmen şişme değerlerinin artmasının nedenini FT kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Formaldehit tutucu kullanımının levhaların özelliklerini olumsuz etkilediği daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. FT kullanımının lifler arasında kurulan bağ yapılarını olumsuz etkilediği, levhaların su alması halinde bu bağların daha çok hidrolize olduğu ve levhaların şişme değerlerini artırıcı yönünde etkilediği düşünülmektedir.

#### 4.3.3.3. Levhaların Mekanik Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

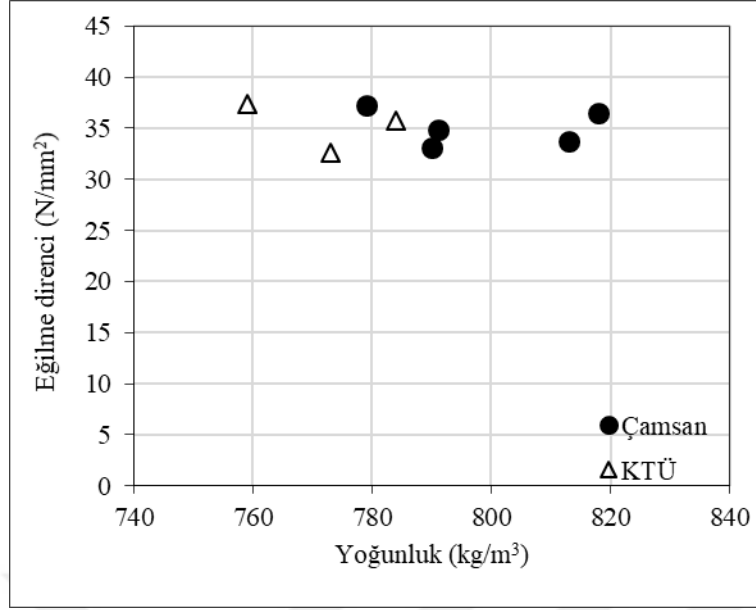
KTÜ laboratuvarı ve Çamsan fabrikasında 1,07 MÜF tutkalı ve FT kullanımı ile üretilen levhaların yoğunluğunun çekme direnci üzerindeki etkisi Şekil 81’de verilmiştir.



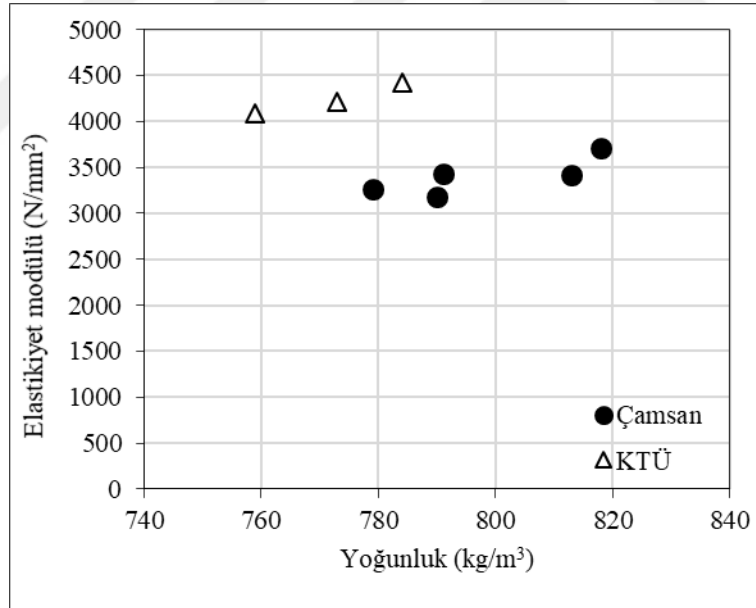
Şekil 81. MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha çekme direnci üzerine etkisi

Fabrikada ve laboratuvarında üretilen levhaların yoğunluk değerlerinin artması ile çekme direnci değerlerinin arttığı görülmektedir. Laboratuvarında üretilmiş olan levhaların çekme direnç değerleri fabrika levhalarından daha düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 82’de 1,07 MÜF tutkalı ve FT ilavesi ile laboratuvarında ve fabrikada üretilen levhaların yoğunluk değerlerinin eğilme direnci üzerine etkisi görülmektedir.



Şekil 82. MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha eğilme direnci üzerine etkisi



Şekil 83. MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanımında levha yoğunluğunun levha elastikiyet modülü üzerine etkisi

Fabrika levhalarında %38 oranında FT kullanılmış, laboratuvar levhalarında %35 oranında FT kullanılmıştır. Grafikte de görüldüğü üzere levha yoğunluk değerlerinin artması ile levhaların eğilme direnç değerlerinde değişimler olduğu görülmektedir. Levha yoğunluk

değeri 750-800 kg/m<sup>3</sup> aralığında laboratuvar ve fabrika levhalarının eğilme direnç değerleri laboratuvar levhalarından daha fazla olarak görülmektedir.

Levha yoğunluğunun levha elastikiyet modülü üzerine olan etkisi Şekil 83'de verilmiştir. Her iki yerde üretilen levhaların yoğunluk değerlerine göre elastikiyet modülü değerlerinde artış tespit edilmiştir. Grafikte laboratuvar levhalarının elastikiyet modülü değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Levhaların mekanik özelliklerinde pres süresi, pres sıcaklığı, pres kapanma süresi gibi pres parametreleri önem taşımaktadır. Laboratuvarda üretilmiş olan levhaların pres süresinin daha fazla olması, levhaların mekanik özelliklerinde fabrika levhalarına göre farklılıklar oluşmasında etkili olduğu düşünülmüştür.

Grafiklerde levhaların yoğunluklarının artışı ile mekanik özelliklerinde artışlar elde edildiği görülmektedir. Yoğunluk artışının levhaların mekanik özelliklerine olumlu katkısı olduğu önceki yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir (Hong vd., 2017, Halvarsson vd., 2008). Levhaların mekanik özelliklerinin artması tutkal ve lif arasındaki kurulmuş olan bağların sağlamlığını ifade etmektedir. Yoğunluğun artması, lif-lif arasındaki temas alanının artmasına, bununla beraber tutkal lif bağ alanının artmasına, lifler arasındaki mesafenin azalmasına ve bunun sonucu olarak da tutkal lif bağının daha kuvvetli olması anlamına gelmektedir. Bunlara ilaveten, MÜF tutkalı çapraz bağ oluşturabilen ve oluşan bağların sağlamlığının yüksek olması bilinmekle birlikte levhaların mekanik özelliklerine olumlu katkı yaptığı düşünülmektedir.

## 5. SONUÇLAR

### 5. 1. Higroskopik Özellikler

#### 5.1.1. 24 Saatte Su Alma Sonuçları

1. Silikon esaslı kimyasal maddelerin farklı oranlarda kullanımı ile üretilen levhaların su alma değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir. Levhalardan elde edilen en düşük su alma değerleri DC kimyasalının ilave edildiği levhalardan elde edilmiştir.

2. Dimetiloldihidroksietilenüre kimyasalının farklı oranlarda ve farklı ilave şekillerinde levha üretimine katılması sonucunda levhaların su alma değerlerinin kontrol levhasına göre azaldığı tespit edilmiştir. DMDHEU kimyasalının bütün ilave şekillerinde kullanımı ile birlikte levha yoğunluğunun etkisi incelendiğinde levha yoğunluğunun artışı ile su alma değerlerinde azalma görülmüştür. DMDHEU ilavesi ile tutkal tüketim miktarının azaltılması ile tutkal kazancı sağlayabilmek amacı ile yapılan çalışmada farklı tutkal oranlarında üretimler yapılmıştır. Tutkal sonrası DMDHEU ilavesi ile tutkal miktarının %18,8 + %2,2 DMDHEU ilavesi ile %20 tutkal ilavesine benzer su alma değeri tespit edilmiştir.

3. Laboratuvarda 1,04 ve 1,07 MÜF tutkalı ve farklı oranlarda formaldehit tutucu kullanımı ile üretilen levhaların su alma değerlerinde artma görülmüştür. En fazla yüzde su alma değerindeki artış MÜF 1,04 tutkalı ile üretilen levhalarda tespit edilmiştir.

4. Laboratuvarda MÜF 1,04 ve 1,07 tutkalları ve formaldehi tutucu ilavesi ile levhaların yüzde su alma değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ile üretilen fabrika levhalarının formaldehit tutucu oranının artışı ile levhalarda su alma değerleri artmıştır. Fabrikada üretilen levhaların laboratuvarda üretilen levhalar ile karşılaştırılması yapıldığında laboratuvarda üretilen levhaların yüzde su alma değerlerinin daha fazla olduğu görülmüştür.

5. Laboratuvarda MÜF 1,07 tutkalı ve %35 oranında formaldehit tutucu ilavesiyle üretilen levhaların yoğunluk değerlerinin artması ile levhaların yüzde su alma değerlerinin değiştiği tespit edilmiştir. MÜF 1,07 ve %38 oranında formaldehit tutucu ilavesi ile üretilen

fabrika levhalarında yoğunluk değerlerinin artması ile yüzde su alma değerlerinin arttığı görülmüştür. Laboratuvar ve fabrika levhalarının su alma değerleri karşılaştırıldığında yoğunluk değerlerinin 750-800 kg/m<sup>3</sup> aralığında laboratuvar levhalarının fabrika levhalarından daha fazla yüzde su alma değeri olduğu saptanmıştır.

### 5.1.2. 24 Saatte Şişme Sonuçları

1. Silikon esaslı kimyasalların farklı miktarlarda kullanımı ile üretilmiş olan levhaların yüzde şişme değerlerinde kontrol levhasına göre azalmalar olduğu bulunmuştur. DC kimyasalının kullanımı ile üretilen levhaların şişme değerlerinin XM kimyasalına göre daha düşük olduğu görülmüştür.

2. DMDHEU kimyasalının %2,2 oranında kullanımında kimyasalın tutkal sonrası, öncesi ve birlikte ilavesi ile levha yoğunluklarının şişme değeri üzerindeki etkisine bakıldığında, şişme yüzde değerleri azalmıştır. DMDHEU oranının etkisinin araştırılması sonucunda DMDHEU'nin tutkal sonrası ilave edilen levhada, kullanılan kimyasal oranının artışı ile beraber levhaların şişme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Tutkal tüketim oranının azaltılması amacıyla yapılmış olan farklı tutkal kullanım oranlarındaki çalışmada %18 tutkal +%2,2 DMDHEU ilavesinde elde edilen şişme değeri %20 tutkal ile üretilmiş olan levhadan elde edilenle benzer bulunmuştur. Daha az tutkal kullanımı ile tutkal kazancı elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

3. Laboratuvarda, 1,04 ve 1,07 MÜF tutkalı ve farklı oranlarda formaldehit tutucu ilavesi ile levhaların şişme değerleri artmıştır. İlave edilen formaldehit tutucu oranlarına göre levhaların şişme değerleri farklılık göstermekle birlikte %25 ve %35 formaldehit tutucu ilavesinde her iki tutkal kullanımında yakın değerler elde edilmiştir.

4. Laboratuvarda üretilen levhaların fabrikada üretilen levhalara göre yüzde şişme değerlerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Laboratuvar levhalarının MÜF 1,04 ve 1,07 tutkalları ve formaldehit tutucu ilavesi ile yüzde şişme değerlerinin artma eğiliminde olduğu, fabrika levhalarının MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu kullanımı ile artma eğilimi gösterdiği saptanmıştır.

5. Levha yoğunluklarının şişme yüzde değerlerine olan etkisi araştırıldığında, hem laboratuvar hem de fabrika levhalarının yoğunluk değerlerinin artması ile levhaların şişme değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Yoğunluk değerinin 750-800 kg/m<sup>3</sup> olan aralıkta

laboratuvar levhalarının fabrika levhalarından daha yüksek yüzde şişme değeri verdiği görülmüştür.

## **5.2. Boyutsal Stabilité Özellikleri**

### **5.2.1. Kalınlık Deformasyonu (Şişme)**

1. Silikon esaslı kimyasallar ile üretilen levha örneklerinin bulunduğu ortamın bağıl nemini %65'ten %85'e çıkarılması durumunda kalınlık (şişme) deformasyon değerlerinde kontrol levhasına göre az oranda da olsa iyileşmeler elde edilmiştir. XM kullanılarak üretilen levhalarda kalınlık deformasyonunun DC kullanılarak üretilen levhaya göre daha az olduğu görülmüştür. Her iki kimyasal ile üretilen levhalarda, levhaların yoğunluk değerlerinin artması ile levhaların deformasyon değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

2. DMDHEU kimyasalının %2,2 ve %4 oranında tutkal sonrası ilavesinde levhaların kalınlıklarında deformasyon (şişme) oluştuğu görülmüştür. Oluşan bu deformasyon standardın belirlemiş olduğu aralıklar arasında bulunmaktadır. Levhaların yoğunluk değerlerinin ve kullanılan kimyasal maddenin oranının artışı deformasyonun artması yönünde etkili olduğu tespiti yapılmıştır.

3. Laboratuvarında MÜF 1,07 tutkalı kullanılan levhalarda formaldehit tutucu oranının artışı ile levhalarda kalınlık deformasyonunun (şişme) oluştuğu görülmüştür. Levha yoğunluk değerlerinin yakın olması ile birlikte kalınlık değerlerinin arttığı saptanmıştır.

### **5.2.2. Kalınlık Deformasyonu (İncelme)**

1. Levhaların buldukları ortamın bağıl nemini %65'den %30'a düşürdüğümüzde levhaların kalınlık deformasyonlarının (incelme) azaldığı elde edilmiştir. DC ve XM kullanım oranlarının artışı ile levhaların deformasyon değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Levhaların kalınlık deformasyonunda XM kimyasalının DC kimyasalına göre daha etkili olduğu bulunmuştur.

2. DMDHEU kimyasalı ile üretilmiş levhaların buldukları ortamın bağıl nemini %65'den %30'a düşürülmesi durumunda kalınlık deformasyonlarında (incelme) levha

yoğunluklarının artışı ile deformasyonun arttığı bulunmuştur. İlave edilen DMDHEU oranının artışı ile beraber levha kalınlıklarında deformasyonlar olduğu tespit edilmiştir.

3. MÜF 1,07 tutkalı ve FT ilavesi ile üretilmiş olan levhalarda kalınlık deformasyonunun (incelme) azaldığı saptanmıştır. Levhaların yoğunluk değerlerinin yakın olması ile birlikte kalınlık deformasyonunda (incelme) azalma tespit edilmiştir.

### **5.2.3. Boy Deformasyonu (Uzama)**

1. DC ve XM kimyasalının farklı oranlarda kullanılması ile üretilen levhalarda boy deformasyonunun (uzama) olduğu görülmüştür. Levhaların boy deformasyon değerleri her iki kimyasal kullanımında birbirine yakın değerler olarak görülmüştür. Levhaların yoğunluk değerlerinin artması ile birlikte boy deformasyonlarının (uzama) genel olarak arttığı tespit edilmiştir.

2. Levhaların üretiminde DMDHEU kimyasalı %2,2 ve %4 oranında ilavesi ile uzunluk yönünde (uzama) düşük miktarda bozulma olduğu tespit edilmiştir. Levha yoğunluk artışının uzunluk değişiminde çok fazla değişikliğe neden olmadığı tespit edilmiştir.

3. MÜF 1,07 tutkalı ve FT kullanılarak üretilmiş olan levhaların, levha yoğunluk değerlerinin çok farklılık göstermemesi ile boy deformasyonunun (uzama) arttığı tespit edilmiştir. Levhalara ilave edilen formaldehit tutucu oranının artışı ile levhaların boy deformasyonu artmıştır.

### **5.2.4. Boy Deformasyonu (Kısalma)**

1. DC ve XM kimyasalı ile üretilen levhaların kontrol levhasına göre boy deformasyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. XM ve DC kimyasalı kullanılarak üretilen levhalar kıyaslandığında XM ile üretilen levhaların boy deformasyonunun (kısalma) daha az olduğu görülmüştür. XM kimyasalının üç farklı oranda ilave edilmesi ile üretilen levhaların yoğunluklarının artması ile boy deformasyonunda (kısalma) azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Farklı ilave oranlarında DC kimyasalı levhaların boy uzama deformasyonunu azaltmış fakat yoğunluğun etkisi ile çok farklılıklar olmadığı görülmüştür.

2. DMDHEU'nin %2,2 ve %4 oranında kullanımında levha yoğunluğunun artışı ile levhaların boy deformasyonunda (kısalma) fark edilir anlamlı bir değişim görülmemiştir.

Kullanılan kimyasal oranının artışı ile beraber levhaların boy deformasyonunun (kısalma) arttığı görülmüştür.

3. MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ilavesi ile levhaların boy deformasyonunda (kısalma) artmalar olduğu tespit edilmiştir. Levhalara ilave edilen formaldehit tutucu oranının artışı ile levhaların boy deformasyonu artmıştır.

### **5.3. Serbest Formaldehit Değerleri**

1. Laboratuvarında MÜF 1,04 ve 1,07 tutkalları ve farklı oranlarda formaldehit tutucu ilavesi ile üretilmiş olan laboratuvar levhalarının serbest formaldehit değerlerinin azaldığı bulunmuştur. Formaldehit tutucunun etkisini en fazla MÜF 1,04 tutkalı kullanılan levhalarda görülmüştür.

2. Laboratuvarında MÜF 1,04 ve 1,07 tutkalları ve formaldehit tutucu kullanımı ile levhaların serbest formaldehit emisyonu değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Fabrikada MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ilavesi ile serbest formaldehit emisyonu değerlerinin azaldığı görülmüştür.

3. Laboratuvarında MÜF 1,07 tutkalı ve %35 formaldehit tutucu kullanımı ile üretilen levhaların serbest formaldehit değerlerinin levha yoğunluğunun artması ile azaldığı tespit edilmiştir. Fabrikada MÜF 1,07 tutkalı ve %38 formaldehit tutucu kullanımı ile üretilen levhalarda levha yoğunluk değerinin artması ile serbest formaldehit değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

### **5.4. Mekanik Özellikler**

#### **5.4.1. Çekme Direnci Sonuçları**

1. DC ve XM silikon esaslı kimyasalların kullanım oranlarının artması ile levhaların çekme direnci değerlerinde artışlar elde edilmiştir. Her iki kimyasalın %3 oranında kullanımında çekme direnci değerinin yakın olduğu saptanmıştır.

2. Tutkal sonrası, öncesi ve birlikte life ilave edilen DMDHEU kimyasalının levha yoğunluğunun etkisi ile birlikte levhaların çekme direnci değerindeki değişimi artıcı yönde etkilediği tespit edilmiştir. Tutkal sonrası ilave edilen DMDHEU'nin miktarının artması ile



çekme direnci değerlerinde artış elde edilmiştir. Tutkal sonrası %2,2 DMDHEU +%19,5 tutkal ilavesi ile üretilen levhanın %20 tutkal ile üretilen levhanın çekme direnci değerine eş değerde elde edilebildiği tespit edilmiştir. Daha az tutkal kullanımı ile tutkaldan kazanç elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

3. Laboratuvarında MÜF 1,04 ve 1,07 tutkallarına farklı oranlarda formaldehit tutucu ilavesiyle levhaların çekme direnç değerlerinde azalmalar olduğu belirlenmiştir. En fazla azalmanın MÜF 1,04 tutkalı kullanılan levhalarda tespit edilmiştir.

4. Laboratuvarında MÜF 1,04 ve 1,07 tutkalları ve formaldehit tutucu ile üretilen levhaların çekme direnci değerleri artan formaldehit tutucu oranı ile azalma göstermiştir. Fabrikada MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ilavesi ile üretilen levhaların çekme direnç değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

5. Laboratuvarında ve fabrikada MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ilavesi ile üretilen levhaların levha yoğunluk değerlerinin artması ile levhaların çekme dirençlerinin arttığı tespit edilmiştir. Fabrikada üretilen levhaların çekme direnç değerlerinin daha fazla olduğu saptanmıştır.

#### **5.4.2. Eğilme Direnci Sonuçları**

1. Silikon esaslı kimyasalların kullanım oranlarının artması ile birlikte levhaların eğilme direnç değerlerinde değişimler gözlenmiştir. Genel olarak bakıldığında çalışmada kullanılan silikon esaslı kimyasalların kullanımı levhaların eğilme direnci değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir.

2. DMDHEU ilavesi ile üretilen levhaların eğilme direnci değerlerinin, kimyasal madde ilave şekline bağlı olarak, levha yoğunluğunun artışı ile birlikte arttığı görülmüştür. En yüksek eğilme direncindeki artışı DMDHEU kimyasalının tutkallama sonrası (TS) ilave edilmesi ile üretilen levhada görülmüştür. Kimyasal madde miktarı artışına bağlı olarak eğilme direnci değerinde değişimler elde edilmiştir. Bununla birlikte tutkal kullanım miktarındaki artışın beklenildiği gibi eğilme direnci değerini artırdığı bulunmuştur.

3. Laboratuvarında MÜF 1,04 ve 1,07 tutkallarına formaldehit tutucu ilavesiyle üretilen levhaların eğilme direnç değerlerinde, formaldehit tutucu ilave artışına göre azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Her iki tutkal kullanımında eğilme direnç değerlerinde yakın değerler elde edilmiştir.

4. Laboratuvarında MÜF 1,07 ve 1,04 tutkalları ve formaldehit tutucu kullanımı ile levhaların eğilme direnç değerleri azalmıştır. Aynı durum fabrikada MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ilavesi ile üretilmiş olan levhalarda da tespit edilmiştir. Aynı kalınlıktaki Levhaların üretiminde %35 formaldehit tutucu ilavesinde laboratuvar ve fabrika levhalarının eğilme direnç değerlerinin yakın olduğu saptanmıştır.

5. Laboratuvarında ve fabrikada MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ilavesiyle üretilmiş olan levhaların yoğunluklarının artması ile eğilme direnç değerlerinde fazla bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir.

### 5.4.3. Elastikiyet Modülü Sonuçları

1. Levha üretiminde kullanılan DC kimyasalının kullanım oranlarındaki artışın elastikiyet modülü değerlerinde çok fazla bir değişiklik yapmadığı görülmüştür. XM kimyasalının %1 oranında kullanımı ile en yüksek elastikiyet modülü değeri elde edilmiştir.

2. DMDHEU kimyasalının life verilme (tutkal öncesi, sonrası ve birlikte) şekline göre üretilen bütün levhaların levha yoğunluğuna bağlı olarak elastikiyet modülü değerinde artış gözlenmiştir. Kimyasalın tutkal sonrası verilmesi ile üretilen levhanın kimyasal oranının artışına bağlı olarak levhanın elastikiyet modülü değerinde azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte, istenilen özellikte levha üretiminde tutkal tüketiminin azaltılarak elde edilmesi yönünde yapılan çalışmada, tutkal miktarının artması levhaların elastikiyet modülünü artırmış fakat kontrol levhasına göre düşük değer elde edilmiştir.

3. Laboratuvarında 1,07 ve 1,04 MÜF tutkalları ve formaldehit tutucu ilavesiyle üretilen levhaların formaldehit tutucu miktarının artması ile elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı saptanmıştır. MÜF 1,04 tutkalı ve formaldehit tutucu kullanımında 1,07 MÜF tutkalına göre daha düşük elastikiyet modülü değerleri elde edilmiştir.

4. Laboratuvarında MÜF 1,04 ve 1,07 tutkallarına farklı oranlarda formaldehit tutucu ilavesi ile üretilen levhaların elastikiyet modülü değerlerinde değişimler olduğu tespit edilmiştir. MÜF 1,07 tutkalı ile yapılan levha üretiminde formaldehit tutucu oranının artması ile elastikiyet modülü değerlerinde azalmalar belirlenmiştir. Fabrikada MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ilavesi ile üretilmiş olan levhaların elastikiyet modülü değerlerinde çok farklılık olmadığı görülmüştür.

5. MÜF 1,07 tutkalı ve formaldehit tutucu ilavesi ile laboratuvarında ve fabrikada üretilmiş olan levhaların yoğunluklarının artması ile elastikiyet modülü değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Laboratuvar levhalarının elastikiyet modülü değerlerinin fabrika levhalarından daha fazla olduğu belirlenmiştir.



## 6. ÖNERİLER

Çalışmada silikon esaslı kimyasalların kullanılması ile üretilen levhalardan elde edilen veriler değerlendirildiğinde, Dow Corning kimyasalının higroskopik verileri ve mekanik özelliklerinin Xiameter PMX kimyasalından daha iyi olduğu görülmüştür. Boyutsal stabilite verilerine göre Dow Corning kimyasalı ile kalınlık ve boy deformasyonunda azalmalar elde edilmiştir. Bu bağlamda, MDF yada parke üretiminde bu malzemelere su itici özellik kazandırılmak istenmesi durumunda Dow Corning kimyasalının maliyetlerde göz önüne alınarak düşük ilave oranında kullanılması önerilmektedir.

Çalışmada Dow Corning kimyasalı tutkal ile birlikte karıştırılarak liflere verilmesi ile levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Levha üretiminde liflerin tutkallama evresinde Dow Corning kimyasalının liflere verilmiş sırasına göre tutkal öncesi ve tutkal sonrası liflere verilmesi sonucunda üretilen levhaların performans değerlendirilmeleri denenebilir.

Çalışmalarda %2 oranda Dimetiloldihidroksietilenüre'nin kullanımında levha üretiminde istenilen verilerin elde edilmesinde yeterli olduğu görülmüştür. Reel üretimlerde levhanın su ile etkileşimlerinde oluşabilecek problemlerin önüne geçilmesi amacıyla %2 oranında Dimetiloldihidroksietilenüre kullanımı önerilebilir. Dimetiloldihidroksietilenüre kimyasalının kullanımı ile üretilen levhaların higroskopi ve mekanik özelliklerinde iyileşmeler elde edildiği görülmüştür. Tutkal miktarında azalma sağlanacağı beklenmektedir. Bu nedenle, bu kimyasalın kullanımında tutkal ilavesinin azaltılması yönünde uygulamalar fabrika şartlarında denenmelidir.

Formaldehit tutucu kullanımında sağlanan düşük formaldehit emisyonu yanında levhaların fiziksel özelliklerinde deformasyonlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Üretimlerde levhaların boyut deformasyonunu önlemek için formaldehit tutucu ile birlikte çapraz bağlayıcı su itici özelliğe sahip kimyasal maddelerin kullanılması faydalı olacaktır.

Laboratuvar çalışmalarının gerçek fabrika şartlarındaki üretimlerle orantılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ancak, tutkallama ve serme işlemlerinin yarattığı sapmaların sonuçları etkilediği göz önüne alınarak bu işlemlerde alternatif yöntemler araştırılması doğru olacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

- A Guide to Silane Solutions, 2009. The Basic of Silane Chemistry, Silicons Simplified, Xiameter from Dow Corning.
- Akbulut, T. ve Ayrılmış, N., 2011. Mdf Üretiminde Dikkate alınması Gereken Hususlar, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 51, 2.
- Akgül, M., Çamlıbel, O. ve Gedik T., 2013. Türkiye ve Dünyadaki MDF Endüstrisine Genel Bir Bakış, Ormancılık Dergisi, 9, 2, 117-125.
- Aksakal, F., Acar Vaizoğlu, S. ve Güler, Ç., 2005. Mobilyalardaki Kimyasallar ve Sağlık Etkileri, Sürekli Tıp Eğitim Dergisi, 14, 12, 268.
- Arık, B., 2015. Selülozik Kumaşların Buruşmazlık İşlemlerinde Son Gelişmeler, Latest Developments on Crease Resistance Processes for Cellulosic Fabrics, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 21,7, 296-305.
- Ayrılmış, N., 2000. MDF'nin Teknolojik Özellikleri Üzerine Ağaç Türünün Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayrılmış, N. ve Mater, J., 2007. Effect of Panel Density on Dimensional Stability of and High Density Fiberboard, J. Material Science, 42, 8551-8557.
- Ayrılmış, N., 2008. Effect of Compression Wood on Dimensional Stability of Medium Density Fberboard, Silva Fennica, 42, 2, 285-293.
- Ayrılmış, N., Laufenberg, T. L. ve Winandy J. E., 2009. Dimensional Stability and Creep Behavior of Heat- Treated Exterior Medium Density Fiberboard, European Journal of Operational Research, 67, 287-295.
- Ayrılmış, N. ve Kara, E.M., 2013. Effect of Resination Technique on Mechanical Properties of Medium Density Fberboard, Bioresources, 8,1, 420-426.
- Baishya, P. ve Maji, T. K., 2014. Studies on Effects of Different Cross-Linkers on the Properties of Starch-Based Wood Composites, American Chemical Society, 2, 1760-1768.
- Bouafif, H., Koubaa, A., Perre, P. ve Cloutier, A., 2009. Effects of Fiber Characteristics on The Physical And Mechanical Properties Of Wood Plastic Composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40, 12.
- Buyl, F., 2001. Silicone Sealant and Structural Adhesives, International Journal of Adhesion & Adhesives 21, 411-422.
- Buyl, de F., 2007. Silicones in Industrial Applications, Organo-Functional Silanes, Dow Corning Europe SA, Seneffe (Belgium).

- Cai, Z. ve Ross, R. J., 2010. Mechanical Properties of Wood-Based Composite Materials, Forest Products Laboratory, Wood Handbook Wood as an Engineering Material, 12, 280-292, 12.1-12.12.
- Carlborn, K. ve Matuana, L. M., 2006. Influence of Processing Conditions and Material Compositions on the Performance of Formaldehyde-Free Wood-Based Composites, Wiley InterScience, DOI 10.1002/pc.20175.
- Carll, C. ve Widenhoeft, A.C. 2009. Moisture- Related Properties of Wood and The Effects of Moisture on Wood and Wood Products, IN: Moisture control in buildings: the key factor in mold preventions / Heinz R. Trechsel and Mark T. Bomberg, editors. 2nd ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, 4, 54-79.
- Carvalho, L. H., Magalhaes, F. D., ve Ferra, J. M., 2012. Formaldehtde Emissions from Wood- Based Panels- Testing Methods and Industrial Perspectives, Chemistry, Application.
- Colas, A., 2005. Silicones: Preparation, Properties and Performance, Dow Corning, Life Sciences.
- Conner, A. H., 1996. Urea-Formaldehyde Adhesive Resins, Polymeric Materials Encyclopedia
- Costa, A. N., Pereira, J., Ferra, J., Cruz, P., Martins, J., Magalhaes, F.D., Mendes, A., ve Carvalho H., 2013. Scavenger for Achieving Zero Formaldehyde Emission of Wood-Based Panels, Wood Science Technology, 47:1261-1272 DOI 10.1007/s00226-013-0573-4.
- Çınar, H., 2018. Effects of Temperature and Thickness of Wood Based Boards on Formaldehyde Emission, Wood Research 63, 5, 895-908.
- De Vetter, L., 2009. Organosilicon Compounds AS Potential Wood protecting Agents, PhD dissertation, Ghent University, Ghent, Belgium, 246.
- De Vetter, L., Van den Bulcke. J. ve Van Acker J., 2010. Envelope Treatment of Wood Based Materials with Concentrated Organosilicons, Euro J. Wood Prod. 69, 397-406.
- Dongbin, F., Jianzhang, L. ve AnCuring M., 2006. Characteristics of Low Molar Ratio Urea-Formaldehyde Resins, Journal of Adhesion and Interface 7, 4.
- Dunky, M., 1998. Urea Formaldehyde Adhesive Resins for Wood, International Journal of Adhesion and Adhesives, 18, 95-107.
- Dunky, M., 2002. Chemistry of Adhesives, Wood Adhesion and Glued Products Cost Action E13.
- Dunky, M., 2003. Adhesive in The Wood Industry, Handbook of Adhesive technology, Second Edition, Revised and Expanded.

- Dunky, M., 2004. Adhesive Based on Formaldehyde Condensation Resins, *Macromol Symposium*, 217, 417-429.
- El-Sheikh, M. A., 2016. A novel photo-grafting of acrylamide onto carboxymethyl starch. 1. Utilization of CMS-g-PAAm in easy care finishing of cotton fabrics, *Carbohydrate Polymers* 152, 105–118.
- EN 120, 1999. Wood-Based Panels-Determination of Formaldehyde Content-Extraction Method Called Perforator Method. European Standard.
- EN 310, 1999. Particleboards and Fiberboards, Determination of Modulus Elasticity in bending and Bending Strength, CEN, Brussels.
- EN 317, 1999. Particleboards and Fiberboards, Determination of Swelling in Thickness after Immersion in Water, CEN, Brussels.
- EN 318, 2005. Wood based panels- Determination of dimensional changes associated with changes in relative humidity.
- EN 319, 1999. Particleboards and Fibreboards. Determination of Tensile Strength Perpendicular to the Plane of the Board.
- En 322, 1999. Wood-based panels- Determination of moisture content.
- EN 323, 1999. Wood Based Panels, Determination of Density, Brussel.
- Eroğlu, H. ve Usta, M., 2000. Lif Levha Üretim Teknolojisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Fakülte yayın no:30, Trabzon.
- Ganev, S., Cloutier, A., Beauregard, R. ve Gendron, G., 2005. Linear Expansion and Thickness Swell of MDF as a Function of Panel Density and Sorption State, *Wood and Fiber Science*, 37, 2, 327-336.
- Gerengi, H., Akçay, Ç., Güler, C. ve Şahin H.İ., 2012. Orman Ürünleri Endüstrisinde Kullanılan Fenol ve Melamin Formaldehit Tutkallarının Paslanmaz Çelik (AISI 316L) Korozyonuna Etkisi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi* SDU Faculty of Forestry Journal, 13, 155-161.
- Ghosh, S.C., 2009. Wood Modification with Functionalized Polydimethylsiloxanes, Doctoral thesis, University of British Columbia Vancouver.
- Gindi, W. ve Gupta H.S., 2002. Cell-wall Hardness and Young's Modulus of Melamine Modified Spruce Wood by Nano-Indentation, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33, 8, 1141-1145.
- Golbabaie, H., 2006. Applications of Biocomposites in Building Industry, Department of Plant Agriculture University of Guelph, [http://www.plant.uoguelph.ca/courses/plnt-6250/pdf/M\\_Golbabaie.pdf](http://www.plant.uoguelph.ca/courses/plnt-6250/pdf/M_Golbabaie.pdf), 05. 02.2019.

- Goyal, S., 2006. Silanes: Chemistry and Applications The journal of Indian Prosthodontic Society, j-ips.org, 6, 1, 14-18.
- Grigsby, W., Thumm, A., ve Carpenter, J., 2012. Fundamentals of MDF Panel Dimensional Stability: Analysis of MDF High- Density Layers, Journal of Wood Chemistry and Technology, 32, 2, 149-164.
- Güller, B., 2001. Odun Kompozitleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, 2, ISSN: 1302-7085, 135-160.
- Halvarsson, S., Edlund, H. ve Norgrena, M., 2008. Properties of Medium-Density Fibreboard (MDF) Based on Wheat Straw and Melamine Modified Urea Formaldehyde (UMF) Resin, Industrial Crops and Products, 28 , 1, 37-46
- Hematabadi, H., Behrooz, R., Shakibi, A. ve Arabi M., 2012. The Reduction of Indoor Air Formaldehyde from Wood Based Composites Using Urea Treatment for Building Materials, Construction and Building Materials, 28, 743-746.
- Homan, W. J. ve Jorissen, A. J. M., 2004. Wood Modification Developments, herojournal.nl
- Hong, M.K., Lubis, M.A.R. ve Park, B.D., 2017. Effect of Panel Density and Resin Content on Properties of Medium Density Fberboard, J. Korean Wood Science Technology, 45, 4, 444-455.
- İlter, M., 2017. Ütülemenin kimyası
- İstek, A., Özlüsoylu, İ. ve Kızılkaya A., 2017. Türkiye Ahşap Esaslı Levha Sektör Analizi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19, 1, 132-138.
- Kaptı, T. ve Ayrılmış, N., 2016. Regulations and Standarts of Formaldehyde Emission and Volatile Organic Compounds from Wood-Based Panels, Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknoloji Konferansı Kapadokya (IMSTEC '16), Nevşehir, Türkiye.
- Kartal, S. N., Yoshimura, T. ve Imamura, Y., 2009. Modification of Wood with Si Compounds to Limit Boron Leaching from Treated Wood and to Increase Termite and Decay Resistance, International Biodeterioration & Biodegradation, 63, 187-190.
- Kaya, A. İ., 2013. Selüloz ve su arasındaki etkileşim, Seminer II Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta.
- Kelly, MW., 1977. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA For Serv Gen Tech report FPL-10. Forest Products Laboratory, Madison, USA.
- Kloeser, L. ve Kharazipour, A., 2007. Panel Board Production by The Use of Silanes, A Review Of Forest, Wood Products and Wood Biotechnology Of Iran And German, 34-45.



- Kollmann, F.P.F., Kuenzi, E.W. ve Stamm, A.J., 1975. Principles of Wood Science and Technology II, Wood Based Materials, Springer Verlag, Berlin, 672.
- Kurtoğlu, A. ve Uçar, H., 1985. Orman Ürünleri Snayiinde Formaldehit Ayrışması ve Çevre Sağlığına Etkileri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 35, 3.
- Mai, C. ve Militz, H., 2004. Modification of Wood With Silicon Compounds. Treatment Systems Based on Organic Silicon Compounds — A Review, Wood Science Technology 37 , 453–461.
- Maminski, M. L., Trzepalka, A., Auriga R., H'Ng P. S. ve Chin K. L., 2018. Physical and mechanical properties of thin high density fiberboard bonded with 1,3-dimethylol-4,5dihydroxyethyleneurea (DMDHEU), The Journal of Adhesion, 1545-5823.
- Manfred, D., Pizzi, T. ve Leemput, V. M., 2002. 1st Edition – February , Cost Action E13, Wood Adhesion and Glued Products.
- Mantanis, G. ve Papadopoulou, N. A., 2010. Reducing The Thickness Swelling of Wood Based Panels by Applying a Nanotechnology Compound, European Journal of Wood and Wood Products - Springer, 68, 237-239.
- Mayer, H., 1998. Masonry Protection with Silanes, Siloxanes and Silicone Resins. JOCCA – Surface Coatings International 81, 2, 89–93.
- Materne, T., Buyl, F. ve Witucki, G. L., 2004. Organosilane Technology in Coating Applications: Review and Perspective, Dow Corning Corporation.
- Myers, G.E.,1985. Effect of Separate Additions to Furnish or Veneer on Formaldehyde Emission and Other Properties: A Literature Review (1960-1984), Forest Product Journal, 35, 6, 57-62.
- OAİB, 2015. Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Levha Sanayi 2015 Sektör Raporu.
- Özen, R., 1975. Lif Levhanın Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri Ve Bunlara Tesir Eden Faktörler, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, , XXV, II.
- Özluşoğlu, İ. ve İstek A., 2015. Mobilya Üretiminde Kullanılan Panellerden Salınan Formaldehit Emisyonu ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri.
- Özluşoğlu, Ş., 2018. Lif Levha Üretiminde Silan Ve Parafın Kullanımının Özellikler Üzerine Etkileri, Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Park, B. D., Lee, S. M. ve Roh J. K., 2008. Effects of Formaldehyde/Urea Mole Ratio and Melamine Content on The Hydrolytic Stability of Cured Urea-Melamine-Formaldehyde Resin, European Journal of Wood and Wood Products, 67, 121.
- Pizzi, A., 1994. Advanced Wood Adhesives Technology, Marcel Dekker Inc. New York. 628-645.

- Pizzi, A., 2003. Melamin Formaldehyde Adhesives, Copyright by Taylor & Francis Group, LLC.
- Pizzi, A., 2003. Urea- Formaldehyde Adhesives, Marcel Dekker, Inc.
- Pizzi, A. ve Mittal, K.L., 2003. Handbook of Adhesive Technology, 2nd Edition, Antonio Pizzi, Kashmiri L. Mittal (Editorler), CRC Press, New York, 1036.
- Pizzi, A., 2015. Synthetic Adhesive for Wood Panels, Progress in Adhesion and Adhesives, boks.google.com, Scrivener Publishing LLC, 85-124.
- Rochow, E.G. 1987. Silicon and Silicones. Springer1Verlag, Berlin, Germany.
- Salem, M. Z. M., Böhm, M., Srba, J. ve Berankova, J., 2012. Evaluation of Formaldehyde Emission from Different Types of Wood- Based Panels and Flooring Materials Using Different Standart Test Methods, Building and Environment 49, 86-96.
- Serin, Z. ve Serin, H., 2004. Avrupa ülkelerinin Mdf tüketimi, Üretim Kapasiteleri ve Türkiye'nin Durumu. V. Ulusal Orman Fakülteleri Öğrenci Kongresi, Nisan, Trabzon, Bildiriler Kitabı: 2.
- Silicon Chemistry Overview, 1997. Dow Corning Corporation, Form No: 51-960 A-97, Midland, Michigan.
- Siva, T. ve Sathiyarayanan, S., 2015. Self healing coatings containing dual active agent loaded urea formaldehyde (UF) microcapsules, Progress in Organic Coatings, 82, 57-67.
- Stevens, C., 2007. Silicones and their Impact on the Environment, Silicones in Industrial Applications, Dow Corning Europe SA, Seneffe (Belgium), New York: Nova Science Publishers.
- Subaşı, T, Çınar, H. ve Çağatay, K., 2017. Mobilya sektöründe Kullanılan Kompozit Malzemelerin İnsan Yaşamına ve Çevreye Etkileri, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 6, 3, 557 – 571.
- Şahin, H.T., Filiz, M., Kaya, A.İ., Sütçü, A., Usta P., Çiçekler, M. ve Bozkurt, C., 2011. Ahşap Esaslı Malzemelerden Formaldehit Emisyonu ve Etkileri.
- Taghiyari, H.R., Karimi, A. ve Tahir, P.M., 2015. Organo-Silane Compounds İn Medium Density Fiberboard:Physical And Mechanical Properties, J. For. Res. 26, 2, 495–500.
- Tohmura, S-İ., Inoue, A. ve Sahari, S.H., 2001. Influence of The Melamine Content in Melamine-Urea-Formaldehyde Resins on Formaldehyde Emission and Cured Resin Structure, Journal of Wood Science - Springer, 47, 451-457.
- Torkaman, J., 2008. Reduction of Water absorption and Swelling of Fiberboard, 11DBMC International Conference on Duability of Building Materials and Components, İstanbul, May, Turkey, 642-646.

- TS EN- 316, 2011. Odun Mamul Lif Levhalar – Tarifler Sınıflandırma ve Semboller, TSE, Ankara.
- URL-1, 2014.<http://www.mobilyadergisi.com.tr/haber/turkiye-ve-dunyada-agac-bazli-levha-sektoru>. 04 Nisan 2019.
- URL-2, 2017. <https://www.aimsaddegerisi.com/dunyanin-5-buyuk-ureticisi-turkiye-levha-sektoru-yeni-yatirimlarla-buyume-ataginda>. 21 Mart 2019.
- URL-3, 2019.<https://pilotshq.com/dow-corning-pmx200-1000cs-silicone-fluid-pmx200pt1000cs-p-12929.html>. 04 Nisan 2019.
- URL-4, 2013. <https://prezi.com/ma-evtoflnm9/seramik-kimyas/>
- URL-5, 2019. <http://terrasilicone.com/tr/index.php/silikonlarn-duenyas.html>. 08 Ocak 2019.
- URL-6, 2014.<http://www.acikbilim.com/2014/02/dosyalar/miniyatur-laboratuvarlar-2.html>.08 Ocak 2019.
- URL-7, 2009. [www.mbfqfiles.co.uk/datasheets/sil\\_fluid\\_tech.pdf](http://www.mbfqfiles.co.uk/datasheets/sil_fluid_tech.pdf). 04 Nisan 2019.
- URL-8, 2018. <https://teknolojirojeleri.com/teknik/parafin>. 04.05.2019.
- URL-9, 2019. <http://www.kimyaendustri.com/urunler/detay/107/5067>. 04.05.2019.
- US 4442257, 1984. Borovicka D. A., Sr., Parma; Hahn K. G.,; Tupa J. T., Low temperature cure latexes.
- Valcheva, L. ve Savov, V., 2016. The Effect of Thickness of Medium Density Fiberboard Produced of Hardwood Tree Species on Their Selected Physical and Mechanical Properties, Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN: 1662-9795, 688, 115-121.
- Wang, S. ve Winistorfer, P. M., 2003. An Optical Technique for determination of Layer Thickness swell of MDF and OSB, Forest Products Journal, 53, 9.
- Wascher, R., Kühn, C., Avramidis G., Bicke, S., Militz, H., Ohms, G. ve Viöl, W., 2017. Plywood Made from Plasma-Treated Veneers: Melamine Uptake, Dimensional Stability and Mechanical Properties, Journal Wood Science.
- Xie, Y., Hill, C.A.S., Xiao, Z., Militz, H. ve Mai C., 2010. Silane Coupling Agents Used for Natural Fiber/Polymer Composites: A Review, Composites: Part A, 41, 806–819
- Xu, W. ve Suchsland, O., 1996. Linear Expansion of Wood Composites: A Model, Wood and Fiber Science, 29, 3, 272-281.
- Xu, W. ve Winistorfer, P. M., 1995. A Prodecure to Detrmine Thickness Swell Distribution in Wood Composite Panels, Wood and Fiber Science, 27, 2, 119-125.

- Yasuda, R., Minato, K. ve Norimoto, M., 1994. Chemical modification of wood by Non Formaldehyde Cross-Linking Reagents, Wood Science and Technology, 28, 209-218.
- Yörür, H. ve Birinci, E., 2018. Türkiye’de Odun Esaslı Levha Endüstrisinin Durumu ve Sektöre Yönelik Mesleki Eğitim Olanaklarının araştırılması, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 20, 1, 110-115.
- Zinetbaş, G., 2015. Farklı Tip Buruşmazlık Etkisi Sağlayan Kimyasalların Boyanmış Viskon Dokuma Kumaşın Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.



## ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Konya'nın Akşehir ilçesinde doğan Meryem ONDARAL ilköğrenimini İzmit'te, orta ve lise öğrenimini Kırıkkale'de tamamladı. 1994 yılında KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümüne kayıt yaptı ve 1998 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2006 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Lif ve Kağıt Teknolojisi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamış ve Ağustos 2009 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamış, Ocak 2010 yılında doktora eğitimine başlamıştır. 2012 yılında Arsin Meslek Yüksekokulu Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü Mobilya ve Dekorasyon programına Öğretim Görevlisi olarak atandı ve halen görevine devam etmektedir. Evli ve iki kız çocuğu olan Meryem ONDARAL İngilizce bilmektedir.