

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇEŞİTLİ PLASTİK ATIKLARIN HDF ÜRETİM
SÜRECİNDE KULLANIM OLANAKLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Tuba KÜLÇE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Saim ATEŞ

KASTAMONU 2016

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

**ÇEŞİTLİ PLASTİK ATIKLARIN HDF ÜRETİM SÜRECİNDE
KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Tuba KÜLÇE

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Saim ATEŞ
Yrd. Doç. Dr. Alperen KAYMAKCI
Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim ŞAHİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2016

TEZ ONAYI

Tuba KÜLÇE tarafından hazırlanan "**Çeşitli Plastik Atıkların HDF Üretim Sürecinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Saim ATEŞ
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Alperen KAYMAKCI
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim ŞAHİN
Düzce Üniversitesi


23/11/2016

Enstitü Müdür V.

Prof. Dr. Temel SARIYILDIZ

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.



Tuba KÜLÇE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇEŞİTLİ PLASTİK ATIKLARIN HDF ÜRETİM SÜRECİNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Tuba KÜLÇE

Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstrisi Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Saim ATEŞ

Ahşap malzemeye plastik atık ilavesi ile HDF üretimindeki temel amaç; ahşap malzemenin birçok kullanım yeri için olumsuz olarak düşünülen boyutsal kararsızlığı gibi özelliklerini iyileştirmek ve aynı zamanda HDF levhalarında mevcut fiziksel ve mekanik özelliklerini artırmaktır. Ayrıca giderek artan plastik malzeme atıkların oluşturduğu çevre kirliliğinin engellenmesinde alternatif bir yöntem olarak orman ürünleri endüstrisinde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi günümüzde yaygın bir şekilde araştırılma yapılan bir konudur.

Bu çalışma ile lif levha endüstrisi için önemli derecede katkı maddesi olma potansiyeli olduğu düşünülen, plastik atıklarda bulunan farklı özelliklerdeki polimerlerin, odun liflerine ilave edilerek HDF üretiminde değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla da; odun lifleri ile plastik atıklardan elde edilen; polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP) ve polistiren (PS) polimerlerinin kullanımı incelenmiştir. Kastamonu Entegre AŞ.' den temin edilen hazır tutkallı kayın ve çam lifleri ile farklı miktarlarda karıştırılarak (25/75, 50/50, 75/25) plastik katılarak yaklaşık 31x36x1,1 cm ebatlarında ortalama 0,8 gr/cm³ yoğunluğu olacak şekilde levhalar üretilmiştir. Üretilen levhaların yoğunluk, rutubet, su alma, kalınlığına şişme, elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sonuçta elde edilen karışım levhaların belirli kullanım yerleri için % 100 odun lifi kullanılarak elde edilen lif levhalara alternatif hammadde olabileceği rahatlıkla söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Plastik, geri dönüşüm, kompozit

2016, 101 sayfa

Bilim Kodu: 1204

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF USING POSSIBILITIES VARIOUS PLASTIC WASTES FOR PRODUCTION PROCESS OF HDF

Tuba KÜLÇE

Kastamonu University
Institute Of Science and Technology
Department of Forest Industry Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Saim ATEŞ

The main purpose of the addition of plastic wastes to HDF process is to improve the physical and mechanical properties of HDF panels such as dimensional stability, is disadvantage for some application area. Using plastic wastes in forest product industry as an additive material for alternative solution method for decreasing the environmental pollution.

In this study, usability of plastic wastes, which have various characteristics and considerably potential as an additive material for wood fibers, were searched in HDF production process. For this purpose, Polyethylene terephthalate (PET), polypropylene (PP) and polystyrene (PS), wastes, with different mixture ratios with wood fibers were used in HDF production process. They were mixed with already prepared glued beech and pine fibers in different amounts (25/75, 50/50, 75/25) which were provided by Kastamonu Integrated. The sizes of the manufactured boards are approximately 31x36x1,1 cm and averagely the density is around 0,8 g/cm³. The changes on density, dampness, water uptake, thickness swelling, elasticity modulus and bending strength of the produced fiber boards were examined. As a result of these; it is possible to easily say that: for some usage areas, the produced mixture can be used instead of 100 % wood fiber.

Key words: Plastic, recycling, composites

2016, 101 pages

Science Code: 1204

TEŞEKKÜR

“Çeşitli Plastik Atıkların HDF Üretim Sürecinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması” adlı bu çalışma Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışman hocam Prof. Dr. Saim ATEŞ’e teşekkürlerimi sunarım.

“KÜBAP-03/2015-10” Nolu Bilimsel Araştırma Projesiyle tezime maddi açıdan destekte bulunan Kastamonu Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederim.

HDF üretimi için gerekli olan odun liflerini temin etmemde yardımcı olan Kastamonu Entegre A.Ş.’ye, deneysel çalışmalarında ve atık pet şişe toplamamda yardımcı olan Arş. Gör. Çağrı OLGUN’a teşekkür ederim.

Topladığım plastik atıklardan Polietilen tereftalat (PET)’i temin etmemde yardımcı olan ilkokul öğretmenim İsmail BASKINCI’ya (Sezer Kafe’ye) teşekkürlerimi sunarım.

Topladığım plastik atıklardan Polistiren(PS)’in çoğunluğunu temin ettiğim Hacıbiyıkzade Ticaret’e teşekkür ederim.

Topladığım plastik atıklardan Polipropilen (PP)’in çoğunluğunu toplamamda yardımcı olan babam Numan KÜLÇE’ye, Mustafa ERSAKA’ya, Mahmut ERSAKA’ya ve Hasan KÜLÇE’ye teşekkür ederim.

Plastik atıkları toplamamda, öğütmemde, maddi ve manevi birçok konuda yardımlarını eksik etmeyen kardeşim Mustafa KÜLÇE’ye ve son olarak bana maddi manevi her konuda destek olan, her anımda yanımda bulunan annem Seviyen KÜLÇE’ye, babam Numan KÜLÇE’ye ve ablam Sümeyra KÜLÇE’ye sonsuz teşekkür ederim.

Tuba KÜLÇE
Kastamonu, Kasım, 2016

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
GRAFİKLER DİZİNİ	xiii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Dünyada ve Türkiye’de Plastik Atıkların Durumu	6
2.1.1. Dünyada plastik atıkların durumu	6
2.1.2. Türkiye’de plastik atıkların durumu	9
2.2. Plastiklerin Geri Kazanım Yöntemleri	12
2.2.1. Plastiklerin kimyasal geri dönüşümü	13
2.2.2. Plastiklerin mekanik geri dönüşümü	14
2.2.2.1. Plastiklerin mekanik geri dönüşümünde kirleticilerin etkisi	15
2.3. Geri Dönüşüm Olarak Kullanılan Plastik Atık Türleri	16
2.3.1. Polietilen tereftalat (PET).....	17
2.3.2. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE-HDPE).....	18
2.3.3. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE).....	19
2.3.4. Polipropilen (PP)	20
2.3.5. Polistiren (PS).....	21
2.3.6. Polivinil klorür(PVC-V)	22
2.3.7. Diğer	22
2.3.7.1. Akriik	22
2.3.7.2. Polikarbonat (PC)	23
2.3.7.3. Naylon (Poliamidler).....	24
2.4. Yüksek Yoğunlukta Lif Levha (HDF)	24

2.5. Kompozit Malzeme Üretimi.....	26
2.5.1. Kompozit malzeme üretiminin avantajları	28
2.5.2. Kompozit malzeme üretiminin dezavantajları.....	29
2.5.3. Kompozit malzemenin kullanım alanları	30
3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	32
4. MATERYAL METOD	40
4.1. Materyal.....	40
4.2. Metot	40
4.2.1. Atık malzemelerin tasnif edilmesi	41
4.2.1.1. PET' in tasnif edilmesi	41
4.2.1.2. PP'nin tasnif edilmesi.....	42
4.2.1.3. PS'in tasnif edilmesi	43
4.2.2. Atıkların öğütülmesi	44
4.2.3. Atıkların elenmesi.....	45
4.2.4. Deneme planı	45
4.2.5. Levhaların üretimi	46
4.2.6. Test örneklerinin hazırlanması	52
4.2.7. Levhaların yoğunluğunun ölçülmesi	52
4.2.8. Levhaların rutubetinin ölçülmesi.....	53
4.2.9. Levhaların su alma özelliklerinin test edilmesi	54
4.2.10. Levhaların kalınlığına şişme özelliklerinin test edilmesi	55
4.2.11. Levhaların elastikiyet modülü ve eğilme direnci özelliklerinin belirlenmesi.....	56
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
5.1. Atık PET İle Üretilen Levhalara Ait Bulgular	58
5.1.1. Levhaların yoğunluk değerlerine ait bulgular.....	58
5.1.2. Levhaların rutubet değerlerine ait bulgular	59
5.1.3. Levhaların su alma değerlerine ait bulgular	61
5.1.4. Levhaların kalınlığına şişme değerlerine ait bulgular	63
5.1.5. Levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular	65
5.1.6. Levhaların eğilme direnci değerlerine ait bulgular.....	67
5.2. Atık PP İle Üretilen Levhalara Ait Bulgular	69
5.2.1. Levhaların yoğunluk değerlerine ait bulgular.....	69

5.2.2. Levhaların rutubet değerlerine ait bulgular	70
5.2.3. Levhaların su alma değerlerine ait bulgular	72
5.2.4. Levhaların kalınlığına şişme değerlerine ait bulgular	75
5.2.5. Levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular	77
5.2.6. Levhaların eğilme direnci değerlerine ait bulgular.....	79
5.3. Atık PS İle Üretilen Levhalara Ait Bulgular	81
5.3.1. Levhaların yoğunluk değerlerine ait bulgular.....	81
5.3.2. Levhaların rutubet değerlerine ait bulgular	82
5.3.3. Levhaların su alma değerlerine ait bulgular	84
5.3.4. Levhaların kalınlığına şişme değerlerine ait bulgular	86
5.3.5. Levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular	88
5.3.6. Levhaların eğilme direnci değerlerine ait bulgular.....	90
6. SONUÇLAR	92
7. ÖNERİLER.....	95
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	101

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AA	Asetaldehit
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ABS	Akrilonitril bütadien stiren
AŞ	Anonim Şirketi
C	Karbon
CO ₂	Karbondioksit
dk	Dakika
DMT	Dimetiltereftalat
EM	Elastikiyet Modülü
ED	Eğilme Direnci
FTP	Lif Takviyeli Polimer
GTİP	Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu
H	Hidrojen
HDF	Yüksek Yoğunluklu Lif Levha
HDPE	Yüksek Yoğunlukta Polietilenin, Naylon
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
MA	Maleik anhidrit
MAPE	Maleatlanmış Polietilen
MA-PP	Maleatlanmış Polipropilen
MDF	Orta Yoğunlukta Lif Levha
MF	Melamin Formaldehit
NAFTA	Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşması
O	Oksijen
OPK	Odun Plastik Kompozit
PAGEV	Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PEI	Polietherimid
PETE-PET	Polietilen Tereftalat
PETKİM	Petro Kimya
PF	Fenol formaldehit
pMDI	Polimerik difenil diizosiyanat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVA	Polivinil Asetat
PVC – V	Polivinil Klorür
RF	Resorsinol formaldehit
S1S	Bir yüzü düzgün
S2S	İki yüzü düzgün
Tg	Camsı geçiş sıcaklığı
Tm	Erime sıcaklığı
TPA	Tereftalik asitten
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TS	Türk Standartları

UF - ÜF	Üre formaldehit
vb	Ve benzeri
yy	Yüzyıl
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kimyasal geri dönüşüm	14
Şekil 2.2. Plastik geri dönüşüm ana hattı	15
Şekil 2.3. PET'in molekül yapısı	17
Şekil 2.4. HDPE'nin molekül yapısı	19
Şekil 2.5. LDPE'nin molekül yapısı	19
Şekil 2.6. Polipropilen'in molekül yapısı.....	20
Şekil 2.7. Polistiren kimyasal yapısı	21
Şekil 2.8. Polivinil klorürün kimyasal yapısı	22
Şekil 2.9. Akrilik molekül yapısı	22
Şekil 2.10. Polikarbonatın molekül yapısı	23
Şekil 2.11. Naylonun kimyasal yapısı.....	24
Şekil 2.12. Lif levha üretimi (Kuru yöntem).....	25
Şekil 2.13. Odun lifi ile polimerin uyum sağlayıcı ile bağ yapısı.....	27

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 2.1. Dünya plastik üretiminin ülkeler bazında dağılımı	9
Grafik 2.2. Türkiye plastik üretimi ve geliri	11
Grafik 5.1. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm ³).....	59
Grafik 5.2. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%).....	60
Grafik 5.3. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%).....	62
Grafik 5.4. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%).....	64
Grafik 5.5. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm ²).....	66
Grafik 5.6. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların ED değerleri (N/mm ²).....	68
Grafik 5.7. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm ³).....	70
Grafik 5.8. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%).....	72
Grafik 5.9. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%).....	74
Grafik 5.10. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)	76
Grafik 5.11. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm ²)	78
Grafik 5.12. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların ED değerleri (N/mm ²)	80
Grafik 5.13. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm ³)	82
Grafik 5.14. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)	83
Grafik 5.15. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)	86
Grafik 5.16. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)	88
Grafik 5.17. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm ²)	89
Grafik 5.18. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların ED değerleri (N/mm ²)	91

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 1.1. Atıklara teslim edilmiş doğa.....	1
Fotoğraf 4.1. Atık polietilen tereftalat (PET) şişeler.....	41
Fotoğraf 4.2. Atık polipropilen (PP) borular.....	42
Fotoğraf 4.3. Atık polistiren (PS) köpükler	43
Fotoğraf 4.4. Atık plastikleri öğütülmesi	44
Fotoğraf 4.5.a,b,c. Öğütülmüş atıklar	44
Fotoğraf 4.6.a,b,c. Atıkların elenmesi.....	45
Fotoğraf 4.7. Odun lifi ve karıştırıcı	46
Fotoğraf 4.8. Levha üretimi	47
Fotoğraf 4.9.a,b,c. Farklı PET içeriğine sahip HDF levhalar	48
Fotoğraf 4.10.a,b,c. Farklı PP içeriğine sahip HDF levhalar	49
Fotoğraf 4.11.a,b,c. Farklı PS içeriğine sahip HDF levhalar	50
Fotoğraf 4.12. Odun lifinden üretilen levha.....	51
Fotoğraf 4.13. İklimlendirme	51
Fotoğraf 4.14.a,b. Levha rutubet ölçümü.....	54
Fotoğraf 4.15.a,b,c. Numunelerin su alma ve kalınlığına şişme özelliklerinin test edilmesi	55
Fotoğraf 4.16.a,b. Elastikiyet modülü ve Eğilme direnci özelliklerinin test edilmesi.....	56

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Plastiklerin kullanım alanları	7
Tablo 2.2. Geri dönüşümde kullanılan kodlar.....	16
Tablo 2.3. Bazı termoplastiklerin özellikleri.....	17
Tablo 2.4. OPK'leri kullanım alanları.....	30
Tablo 4.1. Deneme planı	45
Tablo 5.1. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm^3)	58
Tablo 5.2. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%).....	59
Tablo 5.3. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)	61
Tablo 5.4. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri(%).....	63
Tablo 5.5. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm^2)	65
Tablo 5.6. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların Eğilme direnci değerleri (N/mm^2)	67
Tablo 5.7. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm^3).....	70
Tablo 5.8. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)	71
Tablo 5.9. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)	73
Tablo 5.10. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)	75
Tablo 5.11. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm^2)	78
Tablo 5.12. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların Eğilme direnci değerleri (N/mm^2).....	79
Tablo 5.13. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm^3)	81
Tablo 5.14. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)	83
Tablo 5.15. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%).....	85
Tablo 5.16. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)	87
Tablo 5.17. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm^2)	89
Tablo 5.18. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların Eğilme direnci değerleri (N/mm^2).....	90

1. GİRİŞ

Gelişmişlik seviyeleri arttıkça insanlar daha yüksek bir hayat temposuna sahip olmakta ve dolayısıyla da birçok araç, gereç ve ürüne daha hızlı ulaşmak durumunda kalmaktadırlar. Bu yüzden gıda, teknoloji, inşaat, ... vb. bir çok sektörde plastikler hayatımıza girmiş durumdadır ve maalesef atık hale geldiklerinde de hayatımızdan çıkmaları uzun sürdüğü gibi, çevreye ve doğaya da zarar vermektedirler. Fotoğraf 1.1'de atık plastiklerin çevreye yaptığı kirlilik görülmektedir.



Fotoğraf 1.1. Atıklara teslim edilmiş doğa (URL-1)

Plastik atıklar Fotoğraf 1.1'de görüldüğü gibi hem görüntü olarak hem de uzun yıllar tabiat şartlarında yok olmadığı için çevreye zarar vermektedirler. Diğer taraftan doğal kaynağımız olan ağaçlarımız birçok ürünün üretilmesinde hammadde olarak kullanımı tercih edilmektedir. Hayatları boyunca oksijen üretimi ile insanlığa katkı sağlayan odunlar yaşayan bir malzeme olduğu için çalışma özelliğine sahiptir ve bu özellik bazı kullanım alanları için problem oluşturmaktadır. Plastiklerin çevreye

verdiği zararı en aza indirmek ve ağaç malzemenin özelliklerini iyileştirmek amacıyla odun plastik kompozit (OPK) üretim çalışmaları son zamanlarda artmıştır.

OPK'ler polimer ile lignoselülozik malzemenin birleştirilmesi ile oluşturulan yeni bir kompozit malzeme olarak tanımlanmıştır (Kaymakçı, Ayrılmış ve Akbulut, 2014).

İnsanoğlunun ilk zamanlarından beri lignoselülozik esaslı malzemelerin hayatımızın birçok alanında en fazla kullanılan gereçlerin başında geldiği bilinmektedir. Bulduğumuz yüzyılda ahşap malzemedен üretilen ürünlere alternatif hammadde geliştirme çalışmaları artmıştır. Bu çalışmaların artmasının temel sebebi ilerleyen teknolojinin ilerlemesi ve gelişmesi ile insanların ağaç malzemeye olan ihtiyaçlarının yani talebin artmasından kaynaklanmaktadır (Arslan, Karakuş ve Güntekin, 2007).

Atık; insanların bazı ihtiyaçları olan bir takım ürünleri kullanması ve bu ürünlerin bir süre sonra kullanım ömürlerinin bitmesi sonucunda evlerden, mağazalardan, işyerlerinden ve fabrikalardan atılan katı malzemelerin tamamına verilen addır.

Plastik; petrol esaslı ürünlerin önemli madde gruplarından birisi olan kimyasal dönüşümleriyle elde edilen doğalgazı hammadde olarak kullanan, yüksek ısı ve elektrik yalıtımı sağlayan ve hayatımızda vazgeçilmez bir yer alan madde olarak tanımlayabiliriz. Plastik maddeler çevre kirliliğine sebep olmalarına rağmen hafif olmaları, esnek olmaları, korozyona uğramamaları, kirlenmemeleri, yumuşak ve kolay şekil verilebilir olmaları, ucuz olmaları gibi bazı özellikleri nedeni ile tercih edilmektedirler (Zarrabi Ahrabi, Bilici ve Bilgesu, 2012).

Odunun yüksek sıcaklıklara dayanıksız oluşu işlenme özelliğini olumsuz etkilemektedir. Çünkü yüksek sıcaklıklarda odunun kimyasal yapısında bozunma (yanma) meydana gelmektedir. Dolayısı ile ahşap malzeme gerekli esneklik ve yumuşaklığa getirilemediği ve eritilemediği için bazı kullanım alanlarında günümüzde tercih edilmemektedir. Plastik, cam ve metal malzemelerin aksine yüksek sıcaklıklarda ve sıvı fazda, istenilen işlem uygulanabilmektedir. Fakat bu malzemeler sınırlı kullanıma sahip olduğundan alternatif hammadde arayışında tam bu noktada, ahşap malzemenin kullanım alanlarının sınırlı kalmasının ve bazı

olumsuz özelliklerinin iyileştirilmesi açısından plastik malzeme ile uyumlu bir malzeme üretilebileceği fikri ortaya çıkmıştır (Alma, 1996).

Birçok alanda kullanılan plastiklerin atık olarak tabiata bırakılması ile çevreye verdiği zarar göz ardı edilemez. Plastiklerin yukarıda belirtilen birçok olumlu özelliği ile odun liflerinin daha da sağlamlaştırılması, su alma özelliğinin azaltılması bağlamında alternatif olarak kullanımı düşünülmektedir. Böylece tabiatın ve insanın yaşamını atık olarak olumsuz etkileyen plastiklerin çevreden uzaklaştırılması da sağlanmış olacaktır.

Bulduğumuz yüzyıldaki artan plastik kullanımından kaynaklı olumsuz etkileri azaltmak, işlenmemiş plastik kullanımını minimize etmek ve bazı çevresel etkileri azaltmak için ticari polimerlerin geri dönüşümü ile ilgili projeler geliştirilmiştir. Bu ticari polimerlerin başında Polietilen (PE), Polistiren (PS), Polivinil klorür (PVC), Polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) yer almaktadır. Ülkemizde polietilen tereftalat (PET), hafif içecek (meşrubat) su, sıvı gıda ambalajlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Zarrabbi Ahrabi, 2009). Bu projelerden OPK üretimi atık plastiklerin kullanımı dayanım ve direnç özelliklerinden dolayı araştırmacılarının ve sektörün dikkatini çekmiştir.

Plastik endüstrisi hızlı gelişen ve zamanla kullanım alanı biraz daha genişleyen bir endüstriyel alandır. Bunun yanında orman kaynaklarımızın yenilenmesinin uzun zaman diliminde gerçekleşmesi ve her geçen gün ahşap malzemelere olan talebin artması sonucunda tabiatın dengesinin olumsuz yönde değişim göstermesi mümkündür. Bu sorunun temel olarak çözümü için lignoselülozik liflerin başka bir hammadde ile karıştırılarak kompozit malzemelerin üretiminde kullanılması fikri ortaya atılmıştır (Karakuş, Varlıbaş, Mengeloğlu ve Karademir, 2010).

Plastik atıkların çevre için sorun oluşturduğu bilinmektedir, bunun yanı sıra odun kullanımının azaltılması için hammadde arayışının olduğu da bilinmektedir. Eğer plastik atıklar ile kompozit üretimi gerçekleştirilirse hem orman ürünleri sektörü için hem de çevresel problemler için sağlıklı bir çözüm olduğu düşünülmüştür (Karakuş, Güleç, Kaymakçı ve Mengeloğlu, 2010). Bu düşünceye uygun olarak

termoplastiklerden 150-220°C arasındaki sıcaklıklarda eriyebilen ama yanmayan polimerlerin ahşap malzeme ile beraber bir ürün elde edilerek ahşap malzemenin bozulması önlenebilecektir. Düşük sıcaklıklarda eriyen polimerlere örnek olarak Polietilen (PE), Polipropilen (PP) ve Polistiren (PS) gibi plastikler gösterilmektedir (Altuntaş, Karaoğul ve Alma, 2014).

Fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi olması, geri dönüşüme uygun olmaları, ses ve gürültüyü azaltıcı özellikte olmaları diğer levha ürünlerine göre plastik kompozitlerin tercih edilme sebebidir. Ülkemizdeki plastik potansiyeli ve plastik kompozit üretiminin sağlayacağı olumlu özellikler göz önünde bulundurulduğunda bu çalışmaların hız kazanacağı öngörülmektedir (Acar, Salan, Altuntaş ve Alma, 2014).

Çevreye dost ürünlerin pazarda daha çok yer alması ve sektörün canlanmasının yanı sıra daha temiz bir çevre amacı ile bu tür çalışmaların yapılması önem arz etmektedir. Plastik kompozit üretimi de gerek kalitesi gerek artan pozitif özellikleri ve gerekse doğaya sahip çıkılması bakımından bu çalışmalardan en çok araştırılanlarından birisidir. Ayrıca atık plastiklerin geri kazanımı sağlanarak OPK üretiminin hayata geçirilmesi ve yaygınlaşması için insanlarımızı ve ülkemize de büyük bir öneme sahiptir.

Bu çalışma ile yüksek yoğunluklu lif levha (HDF) endüstrisi için önemli derecede katkı maddesi olma potansiyeli olduğu düşünülen, plastik atıklardan elde edilen polimerlerin mevcut HDF üretiminde, odun liflerine farklı oranlarda karıştırılarak değerlendirilmesi durumunda, levha özelliklerinde meydana gelebilecek değişimlerin incelenmiştir.

Bu amaçla; odun lifleri ve plastik atıklardan elde edilen Polietilen tereftalat (PET), Polipropilen (PP) ve Polistiren (PS) polimerler ürünleri seçilmiştir. Plastik atıkların bünyesinde bulunan mevcut polimerlerin geri dönüşümü sağlanarak HDF üretim sistemine kazandırılması ve bu durumda üretilecek HDF levhaların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. HDF üretim sistemlerinin de katkı maddesi olarak plastik atıkların kullanılması ile hammadde ihtiyacının azaltılması ve üretim maliyetinin azaltılması, HDF'nin boyutsal

kararlılığının artırılması, özelliklerinin iyileştirilmesi, atıkların bu şekilde değerlendirilmesi ile çevreye ve topluma fayda sağlaması hedeflenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Plastik Atıkların Durumu

2.1.1. Dünyada plastik atıkların durumu

Plastik sanayii giyim, otomotiv, elektrik, inşaat gibi birçok farklı sanayiye hizmet eden bir sektördür. Gerek ara mamul gerekse nihai ürünlerin üretiminde ve arzının gerçekleştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Plastik sektörü hayatımıza kazandırdığı birçok ürün ile toplumumuzun hayatını kolaylaştırmaktadır ve dayanıklılık, hafiflik, kolay ulaşılabilirlik ve maliyet gibi başlıca özelliklerinden dolayı her daim tercih sebebi olmaktadır. Tüm bu pozitif özelliklerine rağmen kullanım ömrünün bitiminden sonra çöp evresinde çevreye ve insanlığa negatif etkileri göz ardı edilemeyecek durumdadır. 1860 yıllarında bulunan plastik gün geçtikçe gelişmekte, daha çok tercih edilmekte ve üretimi artmaktadır. Bu bağlamda Dünyada ve Türkiye’deki plastik sektörünün takip edilmesi gerekliliği ön görülmektedir.

Dünya plastik mamulleri üretimi, 1976 - 2002 yılları arasında yıllık birleşik büyüme oranı % 5,48’dir. 2009 yılındaki krize rağmen büyüme kesintisiz olarak devam etmiştir. 2002 - 2014 yılları arasında yıllık birleşik büyüme oranı % 3,75’dir ve plastik mamul üretimi 200 milyon tondan 311 milyon tona yükselmiştir. 2013 yılına göre toplam dünya üretimi 2014 yılında % 4,01 artmıştır ve bu artış 2015 yılında da devam etmiştir. 2012 - 2017 yılları arasında % 3,7 oranında plastik mamul talebinin artacağı düşünülmektedir. 2014 yılına göre 2015 yılında toplam plastik üretimi % 2,94 artarak 2015 yılında yaklaşık 320,2 milyon ton olmuştur. Dünya plastik mamul üretimindeki termoplastik ve poliüretan 2014 yılında 260 milyon ton olmuştur. Bu mamullerin üretiminde Çin % 26, Avrupa % 20, NAFTA % 19 ve Diğer Asya ülkeleri %16 paya sahiptir (Aksoy ve Mutlu, 2016).

Dünyadaki plastik üretimi için gerekli olan petrol üretiminin % 4’lük kısmı plastik üretiminde değerlendirilmektedir. Ambalaj sektöründe bu % 4’lük kısımdan elde edilen plastiğin % 20 - 25’i kullanılmaktadır. Polietilen tereftalat (PET), Polipropilen

(PP), Polistiren (PS), Polietilen (PE) ve Polivinil Klorürdür (PVC) plastik atıklar içinde en çok tercih edilen ürünler arasında yer almaktadırlar (Zarrabi Ahrabi vd., 2012).

Dünyadaki tahmin edilen plastik tüketimi yaklaşık olarak yıllık 70 milyon ton'dur. Bu miktar yüzdeye vurulduğunda ise % 45'lik plastik tüketiminin gerçekleştirildiği ülkeler ABD, Japonya ve Avrupa Topluluğu'dur. Aşağıdaki verilen Tablo 1'de yüzde olarak plastiklerin kullanım alanları belirtilmiştir. Bu tabloya göre tüketimi gerçekleştirilen atık plastiklerin ömrü bir yıldan daha az olanların bulunduğu payda % 20'lik kısımdır. Ömrü bir-on yıl arasında olanların bulunduğu payda % 35'lik kısımdır. Ömrü on yıldan daha fazla olanlar ise geriye kalan kullanılan plastikleri kapsamaktadır ve % 45'lik bir kısma sahiptir. Yani kullanılan bu plastikler bir süre sonra kullanım ömürleri bittiğinde ya doğaya bırakılacaklar ya çöpe atılacaklar ya da geri dönüşümleri sağlanarak yeniden kullanıma hazır hale getirilecektir. Buna göre atıkların değerlendirilmesi dört bölümde ele alınmıştır. Bunlar: Malzemelerin yeniden üretim hattına alınması, atıkların azaltılması, enerji tasarrufu, atık malzemelerin yok edilmesi ve atıkların değerlendirilmesidir (Topçu ve Taşgetiren, 1994). Tablo 2.1'de plastiklerin sektörler bazında farklı kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 2.1. Plastiklerin kullanım alanları (Topçu ve Taşgetiren, 1994)

Kullanım Oranı	Sektör
% 39	Paketleme
% 20	İnşaat
% 7	Taşımacılık
% 7	Elektrik-Elektronik
% 5	El ve Ev Aletleri
% 4	Mobilya
% 3	Giyim
% 3	Makina Ekipmanı
% 2	Ziraat
% 1	Sağlık
% 9	Diğer

Tablo 2.1'de görüldüğü gibi plastik atıkların büyük oranı % 59'luk kısmı paketleme ve inşaat alanında oluşmaktadır. Bunun % 39'luk kısmı paketleme sektöründen ve % 20'lik kısmı inşaat sektöründen oluşmaktadır. Çevreye ve bize zarar verecek olan bu

atıklar; pet şişe, pet bardak, köpük, boru vb. malzemelerdir. Bu malzemelerin yapımında PET, PP ve PS polimerleri kullanılmaktadır.

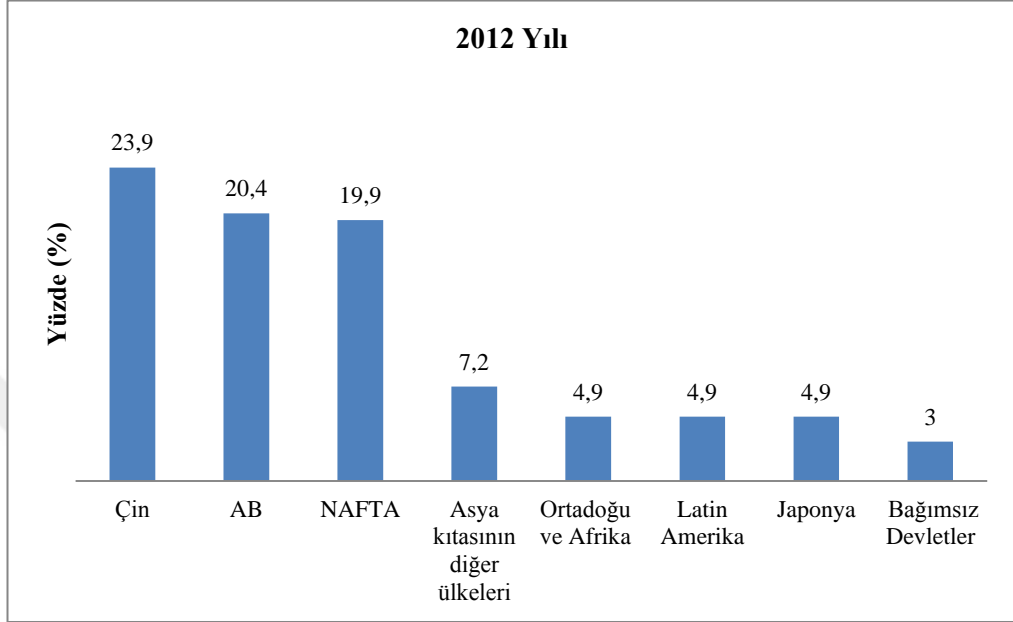
Dünya plastik sanayii sektöründe plastik üretimi toplamda 265 milyon tonu bulmaktadır. Bu miktar yüzdeye vurulduğunda birinci sırada % 23,5 üretim miktarı ile Çin yer almaktadır, ikinci sırada % 21,5'lik üretimi ile Avrupa yer almaktadır. Ve hemen ardından üçüncü sırada % 20,5'lik üretimi ile ABD, Kanada ve Meksika'nın oluşturduğu NAFTA (Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşması) yer almaktadır. Plastik sanayii sektöründe 54 000'in üzerinde tesis üretime katkıda bulunmaktadır. Bu firmalarda 1,6 milyondan fazla kişiye istihdam etmektedir. Bu sektör 307 milyar Euro yıllık cirosu ile ekonomiye ve sektöre katkı sağlamaktadır. Sunulan veriler, plastik ürünleri üreticilerini, geri dönüşümcüleri, plastik hammadde üreticileri ile birlikte, tüm plastik sanayiini içermektedir (Küçük, 2012).

Fransa'da değerlendirilen plastik atıkların miktarı 12 000 ton, toplam üretimi 1 200 000 ton ve geri dönüşüm % 1 olarak tespit edilmiştir. Bu oranlar incelendiğinde atık plastiklerin geri dönüşümündeki azlık göze çarpmaktadır. Toplam üretim dikkate alındığında geri kazanıma verilmesi gereken önem daha net anlaşılmaktadır. Fransa gibi gelişmiş ve diğer birçok ülkenin model aldığı bir ülkenin, geri kazanım çalışmaları ile dünya ülkelerine örnek olacak çalışmaların yapılması gerekmektedir (Kavadar, 2014).

Kauçuk ve plastik sektörünün ihracat ve ithalatındaki artış her geçen gün artmasına rağmen 2009 yılında gerçekleşen küresel krizden dolayı bu yılda krizin etkileri hissedilmiş ve bir düşüş yaşanmıştır. Yaşanan krize rağmen 2010 yılında yeniden artış göstererek önceki yıla göre hızlı bir şekilde toparlanmış ve kriz öncesi değerlerini aşmıştır. 2011 yılında ihracat % 20'lik bir artış ile 672 milyar dolara ithalat ise % 18'lik bir artış göstererek 670 milyar dolara ulaşmıştır. Bu sayede sektöre yeniden bir canlılık gelmiştir (URL-3).

Dünya plastik malzeme üretiminde önemli bir noktada oldukları gibi dünyada plastik tüketimine yön veren ülkeler Batı Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'dır. Bu ülkeler dışında plastik malzeme üretimine önemli derecede katkı sağlayan Güney

Doğu Asya ülkelerini de sektörde yer almaktadır. 2012 yılında gerçekleştirilen plastik üretimi 241 milyon tondur (Acar vd., 2014). Grafik 2.1’de Dünya plastik üretiminin ülkeler bazında dağılımı gösterilmiştir.



Grafik 2.1. Dünya plastik üretiminin ülkeler bazında dağılımı (Acar vd., 2014)

Grafikte görüldüğü üzere küresel olarak plastik üretiminde Çin % 23,9 üretimi ile lider konumundadır. Çin’i % 20,4 üretimi ile AB, % 19,9 üretimi ile NAFTA, % 7,2 üretimi ile Asya kıtasının diğer ülkeleri takip etmektedir. Ortadoğu ve Afrika, Latin Amerika ve Japonya % 4,9 üretimleri ile aynı sırayı paylaşmaktadırlar ve % 3’lük üretimi ile Bağımsız devletler dünya plastik üretimine katkı sağlamaktadırlar (Acar vd., 2014).

Ahşap plastik kompozit üretiminin ekonomik planına göre İran’da yapılan bir çalışmada yıllık 5000 ton üretimin olacağı ve 68100 milyon riyal geliri olacağı ifade edilmiştir. Bu tahminde yola çıkılarak OPK’nin umut verici bir gelece sahip olduğu söylenebilir (Ghasem, 2013).

2.1.2. Türkiye’de plastik atıkların durumu

Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı (PAGEV), Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP) plastik esaslı malzemeleri belirli kodlar vererek

sınıflandırmıştır. Gruplar bazında plastik mamullere 3916 - 3926, kauçuk mamulleri ise 4008 - 4017 tanımlamıştır. Plastik ve kauçuk ürünleri sektörü, yılda 16,5 milyar ton üretim gerçekleştirmektedir. Bu üretim değeri ile Türkiye'nin en önemli sanayi kollarından biri olmuştur (Küçük, 2012).

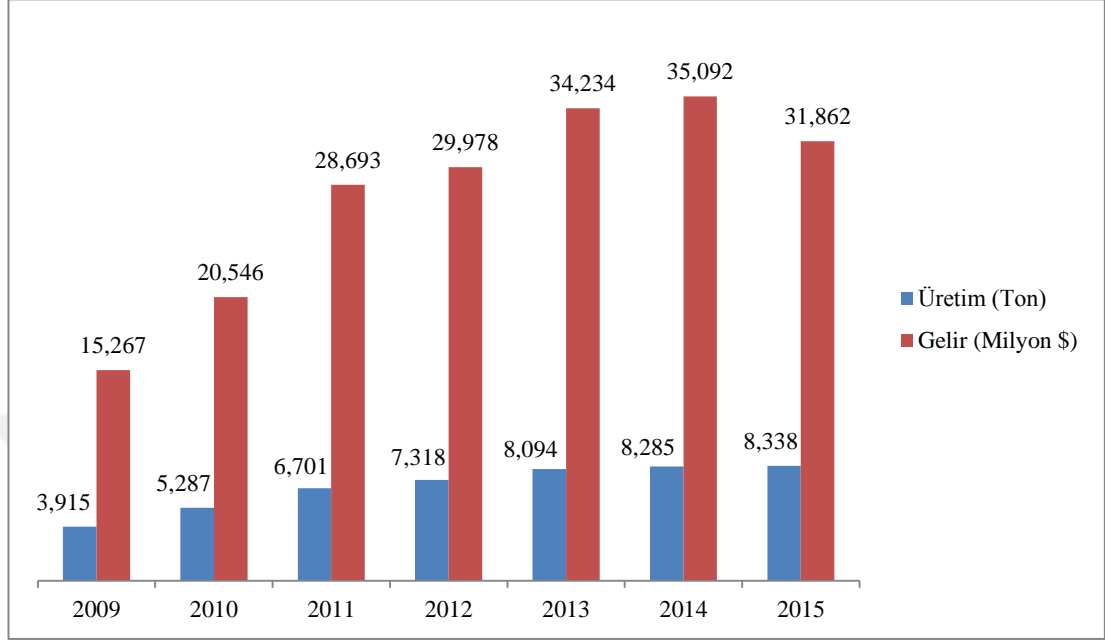
Ülkemizde yıllık yaklaşık olarak 26 milyon ton katı atık miktarı oluşmaktadır. Plastikler bu miktarın yaklaşık 2,1 milyon tonunu oluşturmaktadır. Türkiye'de plastik sanayi üretimi 1996 – 2000 yılları arasında yılda ortalama yüzde 12,5 oranında artmıştır. Buna bağlı olarak da atık plastik miktarında önemli artışlar olmuştur. Geri dönüşüm ele alındığında bu miktarların çok az bir kısmının geri dönüştürülmesi sağlanmıştır (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

Türkiye'deki plastik üretiminde 2000 - 2001 ve 2002 yıllarında iki milyon tonun üzerinde üretim olmuştur. 2003 yılında 3 426 milyon ton üretim olmuştur. 2004 – 2005 ve 2006 yıllarında dört milyon tonun üzerinde üretim gerçekleşmiştir. 2007 – 2008 ve 2009 yılları arasında beş milyon tonun üzerinde üretim gerçekleştirilmiştir. 2010 ve 2011 yıllarında ise artışa devam etmiş ve altı bin tonun üzerinde bir üretim sağlanmıştır. 2001, 2008 ve 2009 yıllarında hafif düşüşler gerçekleşmiş olsa da 2009 yılında sonra gözle görülür şekilde artışlar meydana gelmiştir ve plastik sektöründeki talep ve gelişim her gün artarak devam etmiştir. 2009 yılında ise küresel bir kriz nedeni ile düşüş görülmüştür (Acar vd., 2014).

Dünyada ve Türkiye'de plastik sektörünü yönlendiren alanlar % 36 pay ile ambalaj sektörü ve % 26 pay ile inşaat malzemeleri sektörüdür. Türkiye'nin dünya plastik üretimindeki payı % 1,6 oranındadır ve Avrupa'da plastik işleme kapasitesi altıncı sırada iken beşinci sırada İspanya vardır. Türkiye sentetik elyaf üretiminde Avrupa'da ikinci sırada olup üçüncü sırada yer aldığı alan pencere profil üretimidir (Acar vd., 2014).

Türkiye'de 2012 yılında dokuz farklı firmada toplam 5 000 ton (OPK) üretilmiştir. OPK Ürünlerinin 15 000 tonu ithal olarak elde edilmektedir. Bu veriler ışığında OPK kullanımı tahmini olarak yıllık 20 000 tona ulaşmıştır (Özmen, Çetin, Narlıoğlu,

Çavuş ve Altuntaş, 2014). Grafik 2.2 Türkiye plastik üretimi ve geliri değerleri verilmiştir.



Grafik 2.2. Türkiye plastik üretimi ve geliri (Aksoy ve Mutlu, 2016)

Türkiye’de 2015 yılı sonunda plastik üretiminden elde edilen gelir 31,9 milyon ABD doları iken bu gelirin elde edilmesi için üretilen plastik mamul üretim miktarı 8,3 milyon ton olarak kayıtlara geçmiştir (Aksoy ve Mutlu, 2016).

Grafik 2.2 dikkate alınarak yıllara göre ülkemizdeki plastik üretimi ve gelirini incelediğimizde; 2009 yılından itibaren üretim ve elde edilen kazanç her geçen gün artış devam etmiştir. Plastik üretimindeki artış her geçen yıl artmasına rağmen 2015 yılı üretiminde bir önceki yıla oran ile 3 milyon ton civarında düşüş gerçekleştiği haledede elde edilen gelirdede bir önceki yıla oran ile artış devam etmiştir. 2010 yılı plastik üretimi 2009 yılına göre 5 279 artış göstermiştir ve gelir olarak 1 372 milyon ABD doları artış göstermiştir.

Bu veriler dikkate alındığında plastik sektöründeki gelişim ve büyümenin ilerleyen yıllarda da devam edeceği kanısına ulaşmamızı sağlamaktadır. İlerleyen yıllarda toplum gerekli taleplerinin giderilmesi ve gelirdeki kazancın artması açısından

önemli bir sektör olduğu düşünölmek ile beraber bu sektörün dezavantajlarının minimize edilmesi gerekliliği göz ardı edilmemelidir.

2.2. Plastiklerin Geri Kazanım Yöntemleri

Dünyada ve ölkemizde ihracatı ve ithalatı yapılan birçok ürünün geri kazanımı ile ilgili çeşitli araştırmalar ve çalışmalar yapılmaktadır. Plastikler kullanım ömürleri bittikten sonra gerek insanlara gerekse doğaya verdiği olumsuz etkilerden dolayı geri kazanımı gerçekleştirilmesi gereken ürünlerin başında geldiği görölmektedir.

Geri kazanım üretimdeki hammadde açığı kapatmak, üretim maliyetini düşürmek ve daha uzun ömürlü bir dünya elde etmemiz için gerekli olan bir yöntemdir. Ancak bu yöntemin uygulanması ve geliştirilmesi için daha duyarlı ve bilinçli bir topluma ihtiyacımız olduğu unutulmamalıdır. İnsanlığa geri kazanım için düşen bu önemli görevin başında atıkları doğaya bırakmak yerine sınıflandırarak belirlenmiş atık toplama araçlarına bırakmaları gelmektedir. Geri dönüşümün gerçekleştirilmesi için sınıflandırılarak gerekli tesislere bırakılan bu atık plastikler ilk olarak kaba bir temizleme işleminden geçirilmelidir. Detaylı bir temizlikten sonra gerekli boyutlara getirilmeli ve gerekli işlemlerden geçirilerek ikincil hammadde olarak kullanıma hazır hale getirilmelidir.

Üretilen plastiklerden PET, PP, PS, PE ve PVC gibi yaygın olan polimerler toplam plastik tüketiminin yaklaşık % 60'ını kapsarlar. Atık plastiklerin değerlendirilmeleri için toplandıktan sonra ayırma işlemine geçmeleri gereklidir ve ayırma işlemi için kullanılan iki yöntemden biri tercih edilmelidir. Bu ayırma yöntemlerden birincisi yüzdürme-batırma işlemidir. Bu yöntemde farklı tür plastiklerin farklı yoğunluklarda olma özelliğinden yararlanılarak sınıflandırma gerçekleştirilir. İkinci ayırma yöntemi ise kendi içinde birçok gruba ayrılır, bunlar; elle ayıklama, hidrosiklon, depolimerizasyon, hava, lazer taraması ve seçimli çözündürme gibi tekniklerin birleşiminde oluşur. Flotasyon ile ayırma ise bir başka yöntemdir (Kılıç ve Yüce, 2014).

Katı atıkların yönetiminin dünyada ve ülkemizde üç temel prensibi vardır:

1. Atıkların daha az üretilmesi,
2. Atıkların çevreye zarar vermeden yok edilmesi,
3. Atıkların geri kazanılmasıdır (Tayyar ve Üstün, 2010).

Plastik atık kaynaklarını kendi içinde ikiye ayırabiliriz. Bunlar;

1. Üretim atıkları,
2. Kullanım sonrası atıklar olarak iki sınıfa ayrılırlar.

Proses atıkları; Plastik üreten firmaların imalathanelerinde plastik ürünler üretilirken, üretim hatasından kaynaklanan ya da malzemelerin çapaklarının alınması sonucu oluşan atıklara denir.

Kullanım sonrası atıklar; kentsel atıklar (alışveriş merkezleri, ev atıkları ve süper marketler gibi), elektrik-elektronik, otomotiv, inşaat, ziraat, ambalaj vb. sektörler ve alanlarda oluşan atıklara denir (Zarrabbi Ahrabi, 2009).

Geri dönüşüm için "3R" kuralı çoğu ülkede kullanılmaktadır. Bu kuralın açılımı ise kullanılan hammaddeyi azaltarak daha az atık oluşturmak, ürün ya da malzemenin geri dönüşümünü gerçekleştirmek ve bir ürünün geri kazanımını sağlamaktır (Kaymakçı, Ayrılmış ve Akbulut, 2012).

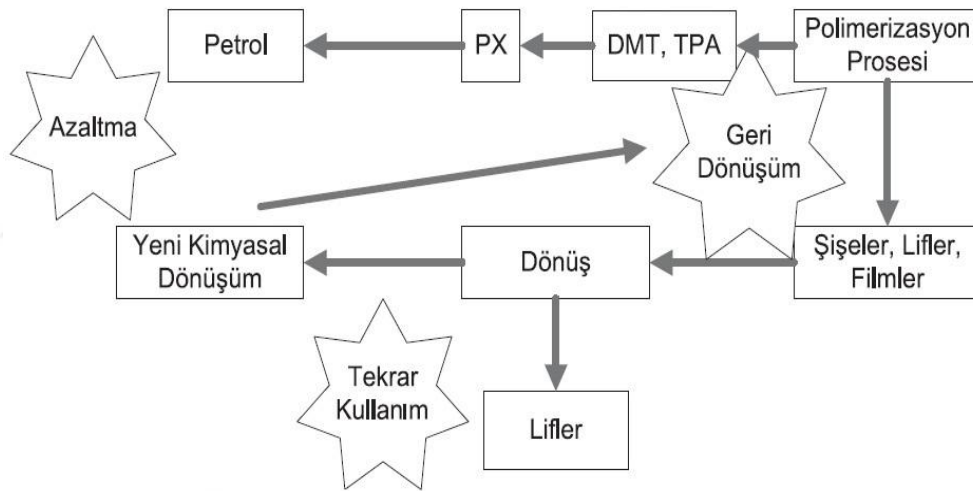
Saf plastikten elde edilen kompozit ürün yerine atık plastikten elde edilen kompozit malzeme üretimini geri dönüşümünün daha kolay olması ve atıkların azaltılması açısından daha avantajlı olacaktır. Atık plastikler kullanılarak oluşturulacak olan plastik kompozit ürünler ile yeni malzemeler talep olarak tercih edilecek ve yeni pazar alanlarına yer açılmış olacaktır (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

2.2.1. Plastiklerin kimyasal geri dönüşümü

Kimyasal geri kazanımdaki asıl amaç atık plastiklerden, plastiğin üretildiği polimerin monomerini, orijinal polimerini ya da başka kimyasalların hammadde veya ara madde olarak kullanılmasıdır. Kimyasal geri kazanım, üçüncül geri kazanım yani kimyasal geri dönüşüm olarak da tanımlanmaktadır. Bu yöntemde en çok kullanılan

teknik ısı parçalanma ürünleri elde edilmesidir ve elde edilen bu ürünlerin kimyasal olarak kullanılmasıdır (Zarrabbi Ahrabi, 2009).

Şekil 2.1’de plastiklerin kimyasal geri dönüşümünün aşamaları verilmiştir. Atık plastiklerin kimyasal geri dönüşüm işleminin akışında: Şekil 2.1’de görüldüğü gibi ilk aşamada hammadde üretilir. Üretimden sonra polimerizasyon işlemi gerçekleştirilir. Üçüncü aşamada plastik reçine üretimi sağlanır, plastik ürün elde edilir ve tüketimi için pazara sunulur. Kullanılmış atık plastikler toplanır. Yıkama ile temizleme gerçekleştirilir, parçalama ile geri dönüşüm işlemi için gerekli boyutlar elde edilir. Kimyasal madde ile muamele edilir. DMT destilasyon ve kristalizasyon ile saflaştırılır. En son olarak yeniden polimerizasyon sağlanarak atık plastiklerin geri kazanımı sağlanmış olur. Böylece yeniden plastik üretimi gerçekleştirilebilir.



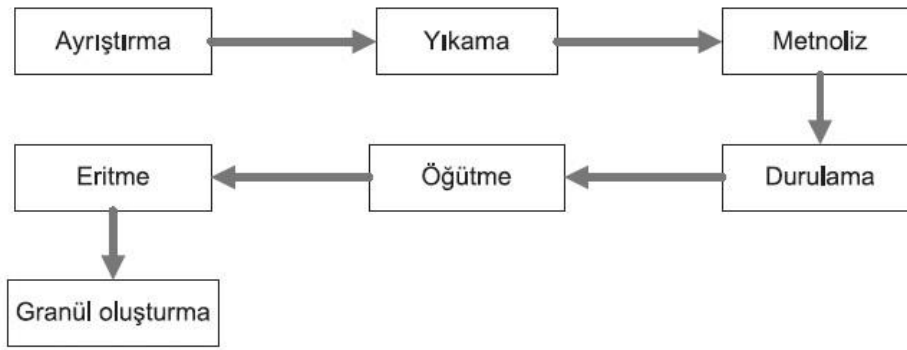
Şekil 2.1. Kimyasal geri dönüşüm (Tayyar ve Üstün, 2010)

2.2.2. Plastiklerin mekanik geri dönüşümü

Plastiklerin mekanik geri dönüşümü yani ikincil geri kazanım (mekanik) olarak da adlandırılan bir geri dönüşüm yöntemidir; bu geri kazanımdan elde edilen ürün maalesef geri kazanımdan önceki ürüne göre daha az kalitededir bu yüzden ikincil kalitede bir mamul elde edilmiş olur. Mekanik olarak geri dönüşümü sağlanan atık plastiklerin gıda ürünlerinin ambalajlanmasında kullanılmasının uygun olmadığı ve kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir. Çünkü mekanik dönüşüm işlemi plastik malzemenin yıkanması, küçük parçalara ayrılması ve plastiğin yeniden kullanılmak

üzere işlenmesi ile gerçekleştirilir bu da gıda ürünleri için pek sağlıklı bir yöntem değildir (Zarrabbi Ahrabi, 2009).

Şekil 2.2’de plastiklerin geri dönüşüm ana hattı gösterilmiştir. Şekil 2.2’ye göre plastiklerin mekanik geri dönüşüm işlem akışında ilk olarak ayrıştırma işlemi yapılmaktadır. Bu kısımda farklı yapıdaki plastikler ve plastiklerin üzerindeki ambalajlama, etiket gibi maddeler ayrıştırılır. Ayrıştırma işlemi polimerlerin farklı karakteristik özelliklerinden dolayı ayrı bir önem oluşturur. Daha sonra yıkama/kırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada da su ile arındırılabilir kirliler yok edilir ve işlem için gerekli boyutlanma işlemi uygulanır. Gerekirse kimyasal işlemde uygulanmalıdır. Sonrada durulama ve kurutma işlemleri uygulanır. Tek tek gerçekleştirilen bu muamelelerden sonra öğütme, eritme ve granül oluşturma işlemleri yapılır.



Şekil 2.2. Plastik geri dönüşüm ana hattı (Tayyar ve Üstün, 2010)

2.2.2.1. Plastiklerin mekanik geri dönüşümünde kirleticilerin etkisi

Mekanik geri dönüşüm sürecinde genellikle kimyasal bir işlem uygulanmadığı için ve saf olarak istediğimiz polimeri elde edebilmek için elde edilen parçacıkların kirliliğinin minimize edilmesi mümkünse bu oranın sıfırlanması gerekmektedir. Çünkü elde edilecek ürünün kalitesi, verimliliği gibi çoğu özelliğini önemli miktarda etkilemektedir.

Mekanik geri dönüşümdeki kirleticileri sınıflandıracak olursak:

1. Renkli maddeler
2. Asit kirliliği
3. ve diğer saf olmayan maddeler (Zarrabbi Ahrabi, 2009).

2.3. Geri Dönüşüm Olarak Kullanılan Plastik Atık Türleri

Kullanım dışı kalan atık plastik malzemeler tabiatta 1 000 yılda yok olduğu varsayılmaktadır. Plastik şişe ise yaklaşık 400 yılda yok olacağı düşünülmektedir. Bu açıdan plastiklerin geri dönüşümünün sağlanması önemli bir konudur (Uzunoğlu, 2014).

Geri dönüşüm sektöründe kullanılan atık plastiklerin tanınması ve daha rahat kullanımı için sınıflandırılması gerekliliği neticesinde dönüşüm kodları ile adlandırılmışlardır. Plastik üretiminde kullanılan farklı polimerlerin kısaltmaları, kullanım yerleri ve geri dönüşüm numaraları Tablo 2.2’te detaylandırılarak verilmiştir.

Tablo 2.2. Geri dönüşümde kullanılan kodlar (Tayyar ve Üstün, 2010)

No	Kısaltma	Polimer	Kullanım
1	PETE-PET	Polietilentereftalat	Şişe, film, elyaf
2	YYPE-HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen	Yiyecek dışı şişeler, taşınmaya elverişli kapların yapımı
3	PVC-V	Polivinil Klorür	Çit ve parmaklık malzemeleri
4	LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen	Elektrik sanayi, sera örtüsü, film, ambalaj
5	PP	Polipropilen	Plastik şişe, mutfak eşyası
6	PS	Polistiren	Yalıtım malzemesi, oyuncak, videokaset, tepsi
7	Diğer	Akrilik, polikarbonat, naylon ve diğer	

Tabloda belirtilen farklı plastiklerden Polietilen tereftalat (PET), Polipropilen (PP) ve Polistiren (PS)’in HDF üretim sürecinde kullanımının değerlendirileceği atık plastiklerdir. Bu polimerlerin tercih edilmelerinin başında, ülkemizdeki üretimlerinin çokluğu ve kullanımlarının talep açısından fazlalığı yer almaktadır. Diğer yandan çevremizdeki atık şişeler, inşaatların etrafındaki atık borular ve beyaz eşya gibi birçok ürünün ambalajlanması ve paketlenmesinde köpüklerin kullanımının fazla

olmasıdır. Tablo 2.3'te bazı polimerlerin özgül ağırlıkları, çekme mukavemetleri, elastikiyet modülleri ve kullanım sıcaklık sınırları verilmiştir.

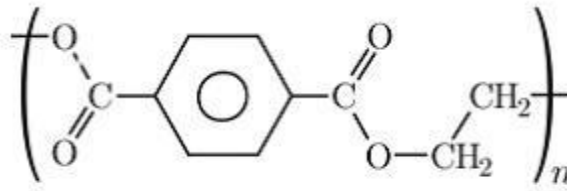
Tablo 2.3. “Bazı termoplastiklerin özellikleri” (Kaytuoğlu, Erdoğan, Bayındır ve Kaya)

Malzeme	Özgül Ağırlık (mg/m ³)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Elastikiyet Mod. (Mpa)	Kullanma Sıcaklık Sınırı (°C)
Polietilen (yüksek özgül ağırlık) (PE)	0,95 - 0,96	20 – 37	420 – 1260	100
Polietilen (düşük özgül ağırlık) (PE)	0,92 - 0,93	7 – 17	105 – 280	80
Polipropilen (PP)	0,90 - 0,91	50 – 70	1120 – 1500	105
Polistiren (PS)	1,08 - 1,10	35 – 68	2660 – 3150	85
Polivinil klorür (PVC)	1,50 - 1,58	40 – 60	2800 – 4200	110

Bu polimerlerin kullanım sıcaklıklarının düşük olması ve esnek olması gibi özelliklerinden dolayı kolay şekil alabildikleri için birçok kullanım alanında tercih edilirler.

2.3.1. Polietilen tereftalat (PET)

Polietilentereftalat'ın erime sıcaklığı 250 – 265°C arasındadır. PET'e diğer bir deyiş ile termoplastik poliester'de denilmektedir. Kendi içerisinde düşük yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu polietilen olarak sınıflandırılır. PET kolay yanar ve kendiliğinden sönmez. Eriyerek akan kısmı yanar. Alevinin rengi berrak mavidir ve alevin ucu sarı renklidir. Yanma sonucunda siyah renkli bir duman çıkarır (Kaya, 2005). Bir plastik şişe ise doğada 3 bin yıl süreyle yok olacağı düşünülmektedir ve bir ton plastik geri kazanıldığında 14 bin kW/sa enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Tayyar ve Üstün, 2010). PET'in molekül yapısı, bağları vb. Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. PET'in molekül yapısı (Tayyar ve Üstün, 2010)

Polietilen tereftalat suda yüzebilir, açık veya hafif renklidir, yarı saydam özelliktedir. Yoğunluğu 1,37 - 1,41 g/cm³ arasında değişim göstermektedir. Orta sertlikte en çok kullanılan plastiklerdendir. PET, termoplastikler arasında kristal yapıda, bazlara, zayıf asitlere ve çoğu çözücülere karşı dayanıklıdır. Bunun yanı sıra parlaklık, yüksek darbe dayanımı, sağlamlık ve sertlik gibi özellikleriyle de dikkat çekmektedir. PET'in gerilme dayanımı 8 000 - 30 000 psi arasındadır. Gaz geçirgenliği birçok plastiğe göre daha düşüktür. Artık Asetaldehit (AA) şişe reçinelerinde normal olarak 2,5 ppm'den daha azdır. PET şişede kullanılan AA şişe içerisinde bulunan sıvının içeriğine yansiyabilmektedir buda içeceğin tadını etkileyebilmektedir. Bu durumun engellenmesi ve ürünlerin tadının değişmemesi için üretimde aşırı AA seviyeleri kullanılmamalıdır (Kılıç ve Yüce, 2014).

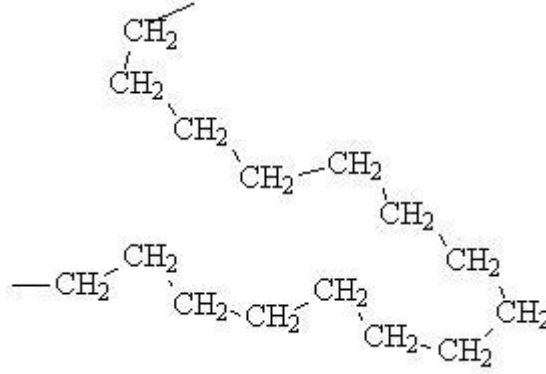
Geri dönüşümü sağlanmış pet şişelerin kullanım alanları çevre kirliliği önlemek ve doğal kaynaklarımızı korumak amacı ile hızla artmaktadır. Bu bağlamda çeşitli araştırmalar ve projeler gerçekleştirilmektedir. Daha çok alkolsüz içecek sektöründe tercih edilen PET şişelerin geri kazanımı için fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilmesi gereklidir. İşlemlerden geçen plastiğin yeniden kullanımı sağlanmaktadır. Geri kazanımı sağlanan PET plastiklerin yeniden kullanımı plastik sektöründe olduğu kadar kompozit sektöründe de alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi gittikçe yaygınlaşmaya başlamıştır (Tayyar ve Üstün, 2010).

2.3.2. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE-HDPE)

Yüksek yoğunluklu polietilenin erime sıcaklığı 120°C'dir. HDPE'nin dayanabildiği kullanım sıcaklığı 100 – 110°C arasında değişmektedir. Maksimum kristallik oranı % 90'dır. Camsı geçiş sıcaklığı eksi 110°C'dir ve erime sıcaklığı 135°C'dir (Kaya, 2005).

Yüksek yoğunluklu polietilenin yoğunluğu 0,96 g/cm³ den fazladır ve en yüksek yoğunluğu 1,0 g/cm³ tür. % 75-95 kristal yapıya sahiptir. Her türlü kimyasala oda sıcaklığında dayanıklıdır. Rutubet alımları düşük oldukları için gıda malzemeleri için ambalaj olarak kullanılırlar. Çevreye, kırılmaya ve yüksek darbeye karşı

dayanıklılırlar (Hazer, 1993). Şekil 2.4’de yüksek yoğunluklu polietilenin molekül yapısı gösterilmiştir.

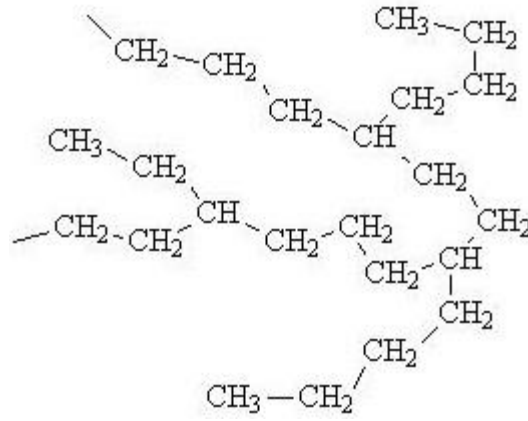


Şekil 2.4. HDPE'nin molekül yapısı (URL-2)

Şekil 2.4 incelendiğinde yüksek yoğunluklu polietilenin molekül yapısı görülmektedir. 15 karbondan oluşmaktadır. Düzenli yani doğrusal bir zincire sahiptir.

2.3.3. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)

Düşük yoğunluklu polietilenin erime sıcaklığı 110°C'dir. LDPE'nin dayanabildiği kullanım sıcaklığı 125°C'dir. Maksimum kristallik oranı % 65'dir. Camsı geçiş sıcaklığı eksi 90°C'dir ve erime sıcaklığı 115°C'dir (Kaya, 2005). Yaklaşık 0,91 – 0,94 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Elektrik, elektronik, yalıtkan malzeme ve ziraat endüstrisinde kullanılırlar. Kokusuz ve tatsız malzemelerdir. Fizyolojik olarak sakıncaları bulunmamaktadır. Rutubet geçirgenlikleri düşüktür. Oda sıcaklığında her türlü kimyasal malzemelere karşı dayanıklılırlar (Hazer, 1993). Şekil 2.5'te düşük yoğunluklu polietilenin molekül yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.5. LDPE'nin molekül yapısı (URL-2)

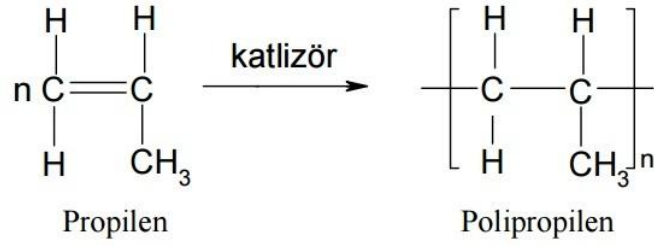
Şekil 2.5'te görüldüğü gibi düşük yoğunluklu polietilen 23 karbondan oluşmaktadır. Ana karbonlara bağlı kısa yan dallardan oluşmaktadır. HDPE'ye göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu yüzden düşük yoğunluğa sahiptir.

2.3.4. Polipropilen (PP)

Çevrenin kirliliğinin azaltılması ve ekonomiye kazandırılması gereken, endüstriyel ve ambalaj sektöründe yer alan ve bir süre sonra atık haline gelen plastiklerin başında gelen polimerlerden biride polipropilendir (Yıldız ve Yıldız, 2003).

Polipropilenin erime sıcaklığı 155 – 160°C civarındadır. PP farklı monomerlerinin polimerizasyon ile homopolimer ve kopolimer olarak elde edilmektedir. Önemli özellikleri arasında kolay işlenebilirliği ve elektriksel özelliklerinin mükemmel olması yer almaktadır ve su absorpsiyonu (su emme) neredeyse yoktur (Kaya, 2005).

Polietilen ile genel olarak benzerlik gösteren Polipropilen, ucuz maliyeti ile de dikkat çekmektedir. PP'in maksimum kullanılabilir sıcaklığı 135°C'dir. Yoğunluğu 0,90 - 0,92 g/cm³ arasında değişmektedir (Kılıç ve Yüce, 2014). PP'in molekül yapısı, bağları vb. Şekil 2.6'da gösterilmiştir.

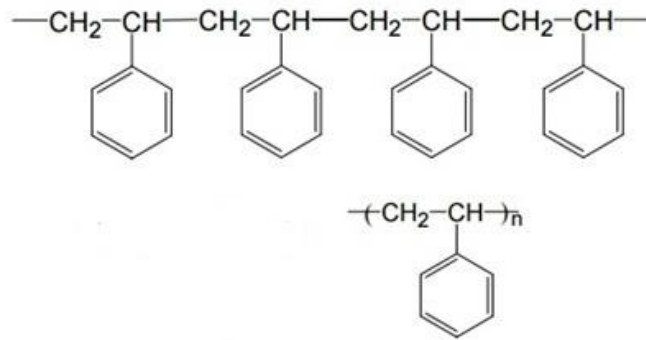


Şekil 2.6. Polipropilen'in molekül yapısı (MEGEP, 2009)

Okaliptüs ağacı lifleri ve polipropilen polimeri ile oluşturdukları ahşap plastik kompozit levhaların test sonuçlarında daha yüksek sertliğe sahip levhalar elde ettiklerini belirtmişlerdir (Cademartori vd., 2015).

2.3.5. Polistiren (PS)

Polistirenin erime sıcaklığı 70 – 115°C arasındadır, alevi portakal rengidir. Maksimum kullanılabilir sıcaklığı 70°C'dir. Polistiren havada is yapar ve ağır bir isi vardır. Kendiliğinden sönmez ve kolay yanarlar. Eriyerek akan kısım çok hızlı yanarak hızlı bir şekilde söner. Çözündüğü çözücüler: Trikloroetilen, Etil asetat, Metil etil keton, Toluen, Tetrakloroetilen'dir (Kaya, 2005). Şekil 2.7'de Polistirenin bu özelliklere sahip olmasını sağlayan kimyasal yapısı gösterilmiştir.



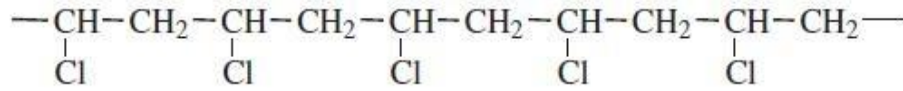
Şekil 2.7. Polistiren kimyasal yapısı (Çökeliler, 2010)

Polistiren, sıvı stirenin polimerizasyonu sonucu oluşur ve asıl hammaddesi petrol ürünüdür. Yoğunluğu 1,03-1,06 g/cm³ civarındadır. Strafor köpük (Polistiren) Polistirenden 30 kat daha hafiftir ve PS'in en tanınmış formudur (Kılıç ve Yüce, 2014).

Odun lifi ve geri kazanımı gerçekleştirilen Polistiren (PS) birleştirilerek nanokil yapıda bir kompozit malzeme üretmişler ve bu ürünün mekanik özelliklerini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda kompozit ürünün mekanik özelliklerinde matrislerin yani PS polimerinin olumlu yönde değişimler gerçekleştirdiğini ve kalitesinde önemli artışlar sağladığı neticesine varmışlardır (Nemati, Khademislam, Talaiepour, Ghasemi ve Bazayr, 2013).

2.3.6. Polivinil klorür(PVC-V)

PVC'nin erime sıcaklığı 115 - 140°C arasında yer almaktadır. Dayanabildiği kullanım sıcaklığı 70 - 95°C civarındadır. Maksimum kristallik oranı % 10'dur. Camsı geçiş sıcaklığı (Tg) 80°C'dir. Kokusu klor ve kuvvetli hidrokloriktir. Yanması zordur ve kendiliğinden sönerler. Yandığında alevi sarıdır ve alevin kenarları yeşildir. Çözündüğü çözücüler; Tetrahidrofur, Sikloheksanon (80 = 20), Ksilen, Metil etil keton, Metilizobütil'dir (Kaya, 2005). Şekil 2.8'de Polivinil klorürün yapısı verilmiştir.



Şekil 2.8. Polivinil klorürün kimyasal yapısı (Klyosov, 2007)

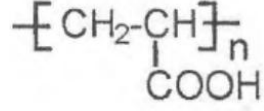
Yoğunluğu 1,32 - 1,42 g/cm³ civarındadır. PVC'den elde edilen ürünler yumuşak ve sert olarak ikiye ayrılırlar. PVC kablolarda elektrik yalıtımında ve otomotiv sanayiinde kullanılırlar (Kılıç ve Yüce, 2014).

2.3.7. Diğer

2.3.7.1. Akrilik

Akrilik monomerler ilk 1843 yılında keşfedilmiştir. Doğrudan etilen siyanohidridinden akrilik atik elde edilir. Kırılğandır, suda ve seyreltik bazlarda çözünürler. Tekstil endüstrisinde hammadde olarak kullanılırlar. Esnek ve dayanıklıdır. Neme, böcek

ve mantarlara, hava şartlarına karşı dayanıklıdırlar (Hazer, 1993). Şekil 2.9’da akrilik molekül yapısı verilmiştir.

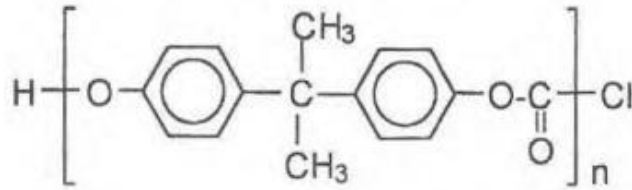


Şekil 2.9. Akrilik molekül yapısı (Saçak, 1998)

Polimetilakrilat’ın erime sıcaklığı 120 - 160°C’dir. Dayanabildikleri kullanım sıcaklıkları 68 – 85°C’dir. Kolay yanar, kendiliğinden sönmez. Alevi mavidir, alevin ucu sarıdır ve yandıkları zaman meyve kokusu verir. Camsı geçiş sıcaklıkları 105°C’dir (Kaya, 2005).

2.3.7.2. Polikarbonat (PC)

Polikarbonat’ın erime sıcaklığı 220 – 230°C’dir. Camsı geçiş sıcaklığı 149°C’dir. PC’nin çözündüğü çözücüler Etilen diklorür, Etilen diklorür: metilen klorür (50 : 50). Yandıklarında portakal rengi ve sarı renge alevi olur ama kolay yanmazlar ve kendiliğinden sönerler. Dumanları koyu siyah rengindedir ve havada is oluştururlar. Yandıkları zaman yumuşayarak bozulurlar (Kaya, 2005). Şekil 2.10’da Polikarbonat’ın molekül yapısı verilmiştir.

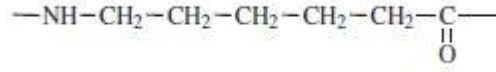


Şekil 2.10. Polikarbonatın molekül yapısı (Saçak, 1998)

1898 yılında ilk Polikarbonat çalışmaları yapılmıştır. Viskoelastik bir yapıya sahiptirler. Işığı geçirirler ve renksizdirler. Serttirler, dielektrik yapıya sahiptirler, berrak ve sağlamdırlar. Yüksek sıcaklığa ve darbeye karşı dayanıklıdırlar. Otomobil ve inşaat endüstrisinde, elektrik endüstrisi gibi alanlarda üretilen birçok ürünün yapımında kullanılabilir (Hazer, 1993).

2.3.7.3. Naylon (Poliamidler)

Naylon olarak adlandırılan poliamidler ilk kez 1928 yılında keşfedilmiştir. Tekstil endüstrisinde sıklıkla kullanılırlar. Çekmeye ve aşınmaya karşı dirençlidirler. Diğer plastıklere göre daha çok nem alırlar. Asitlere ve kimyasal çözücülere karşı dayanıklıdırlar. Elektrik tellerinin izolasyonunda, ağır yük lastiklerinde, fiçı, araba kaplama, ambalaj malzemelerinde, tıbbi malzemelerde, halat, bez ve birçok kıyafetin üretiminde kullanılırlar. Yüksek derecede uzama ve yapışma özelliklerine sahiptirler (Hazer, 1993). Şekil 2.11’de naylonun yapısı verilmiştir.



Şekil 2.11. Naylonun kimyasal yapısı (Klyosov, 2007)

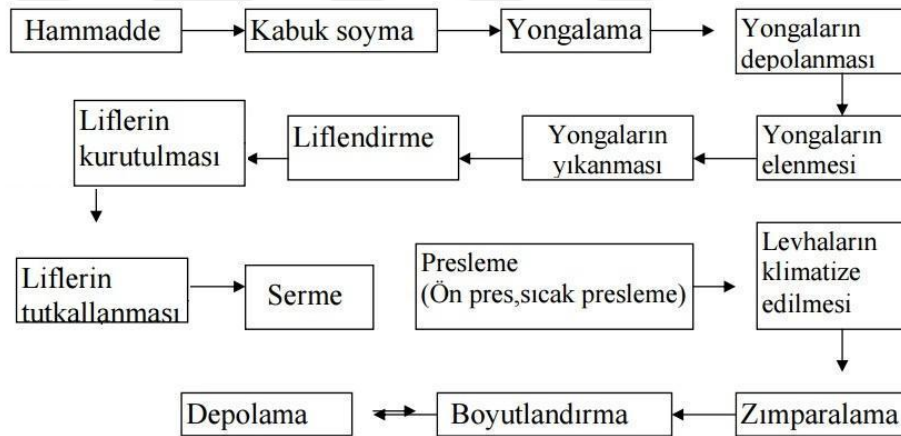
Naylonların ortalama erime sıcaklıkları 170 – 260°C arasında türlerine göre değişim göstermektedir. Dayanabildikleri kullanım sıcaklıkları 150°C’dir (Kaya, 2005).

2.4. Yüksek Yoğunlukta Lif Levha (HDF)

Yüksek yoğunlukta lif levhaların üretimi üç yöntem ile gerçekleştirilir. Bunlar; yaş, yarı-kuru ve kuru yöntemdir. Bu yöntemlerde yaş yöntem ile üretilen sert lif levhalarda kendi içinde ikiye ayrılır. Birincisi S1S (Smooth One Surface) yöntemidir ve levhanın bir yüzünde elek izi bulunur, ikincisi ise S2S (Smooth Two Surface) yöntemidir ve levhanın üzerinde elek izi bulunmaz. Yaş yöntem ile üretimde yaş-sıcak pres kullanılır. Ayrıca yaş yöntem ile üretimde sulu ortam kullanılır. Kuru yöntemde kuru-sıcak pres teknolojisi kullanılır. Günümüzde sert lif levha üretimi bu yöntemlerden daha çok kuru yöntem tercih edilir (İstek, 2006).

HDF üretiminde kullanılan kuru yöntemde taslak oluşumunda sulu ortam kullanılmaz, lifler kuru ortama serilir ve sıcaklık ile sertleşen (termoset) tutkal yardımıyla liflerin yapışması sağlanır. Bu yöntem ile üretilen levhaların her iki yüzeyi de düzgün olur ve bu en önemli özelliklerinden birisidir. Diğer bir özelliği ise iç mekânlarda kullanılmasıdır. Bu özelliği rutubete karşı dayanıklı olmasından

kaynaklanmaktadır. Kuru yöntemin aksine yaş yöntem ile levha üretiminde bazen tutkal yerine lignin kullanılarak yapıştırma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem ligninin, sıcaklığın ve basıncın etkisi ile tutkal görevini görmektedir. Yaş yöntem ile levha üretiminde direncin artırılması için liflendirme ve suyun uzaklaştırılmasının kolay olması önemlidir. Tüp şekillendiricilerde veya uzun eleğin üzerinde taslak üretimi gerçekleştirilir ve su taslaktan uzaklaştırılır. Daha sonra presleme aşamasına geçilir. Pres sıcaklığı 210°C ve süresi 6 - 15 dk ve maksimum basınç 5 N/mm²'dir. Yaş yöntem ile üretilen levhaların eğilme direnci kuru yöntem ile üretilen levhalara göre daha yüksektir. HDF'ler otomotiv sektöründe, yapısal uygulamalarda ve mobilyacılık sektöründe kullanımı tercih edilmiştir. Ayrıca sert lif levhalar bazı özel işlemlerden geçerek dış mekânlarda da kullanılmaktadır (Güller, 2001). Şekil 2.12'de lif levha üretiminin kuru yöntem ile üretimi ele alınmıştır.



Şekil 2.12. Lif levha üretimi (Kuru yöntem) (Güller, 2001)

Uzun liflere sahip olan iğne yapraklı ağaç odunları teknik olarak lif levha endüstrisinde kullanımı tercih edilir. Uzun liflerinin verdiği avantaja rağmen iğne yapraklı ağaç lifleri hamur üretiminde bazı dezavantajlara sebep olur. Bu dezavantajlar; üretimde daha fazla enerjiye ve buharlaşma süresine ihtiyacın artmasıdır. İğne yapraklı ağaç liflerinin aksine yapraklı ağaç lifleri daha ucuzdur ve daha kolay elde edilmektedir. Buna ek olarak, pişirme süreleri kısadır ve yüksek yoğunluğa sahiptirler. Sert lif levhaların üretiminde odun türlerinin yani yapraklı ve iğne yapraklı ağaç liflerinin karıştırılarak kullanılmasında bir sakınca yoktur. Çünkü sert lif levhanın özelliklerinde fazla bir değişime neden olmamaktadır. Kayın, kavak,

çam ve kızılğaç gibi odun türleri sert lif levha üretiminde kullanılmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000).

2.5. Kompozit Malzeme Üretimi

Kompozit malzeme iki ya da daha fazla materyalin birleştirilmesi ile oluşan, bu oluşum ile yeni bir ürün haline gelerek daha faydalı, verimli ve kaliteli ürünlere kompozit malzeme denir.

Termoset esaslı odun kompozit üretimi, odun malzeme ve termoset tutkalı bir araya getirilerek, bir pres yardımıyla basınç ve ısının etkisi ile birleştirilerek elde edilen üründür. Bu kompozit üretiminde odun malzemenin yapıştırılması için kullanılan tutkallar; polimerik difenil diizosiyanat (pMDI), fenol formaldehit (PF), resorsinol formaldehit (RF), üre formaldehit (UF), melamin formaldehit (MF), polivinil asetat (PVA), gibi farklı tutkallardır. Termoplastik esaslı odun kompozitlerin üretiminde kullanılan plastikler; polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polietilen (PE) gibi polimerler odun lifleri ile işleme girmektedir. Kompozitler iki ya da daha fazla materyalin birleşimi ile oluştuğu için genellikle oluşturuldukları malzemelere göre iyi özelliktedirler (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

Kompozitler, bir amaca bağlı olarak değişik materyallerin oluşturulmuş şartlara uygun olarak birleştirilmesi ile elde edilen yeni üründür. Bu ürünleri hazırlamadaki amaç, farklı malzemelerin olumlu ve önemli özelliklerinin bir araya getirilerek homojen bir görüntü sağlayarak tek bir malzemede bir araya getirmektedir. Elde edilen ürünlerin birleşiminde birincil bir kimyasal bağ oluşumu genellikle gerçekleşmemektedir (Zarrabbi Ahrabi, 2009).

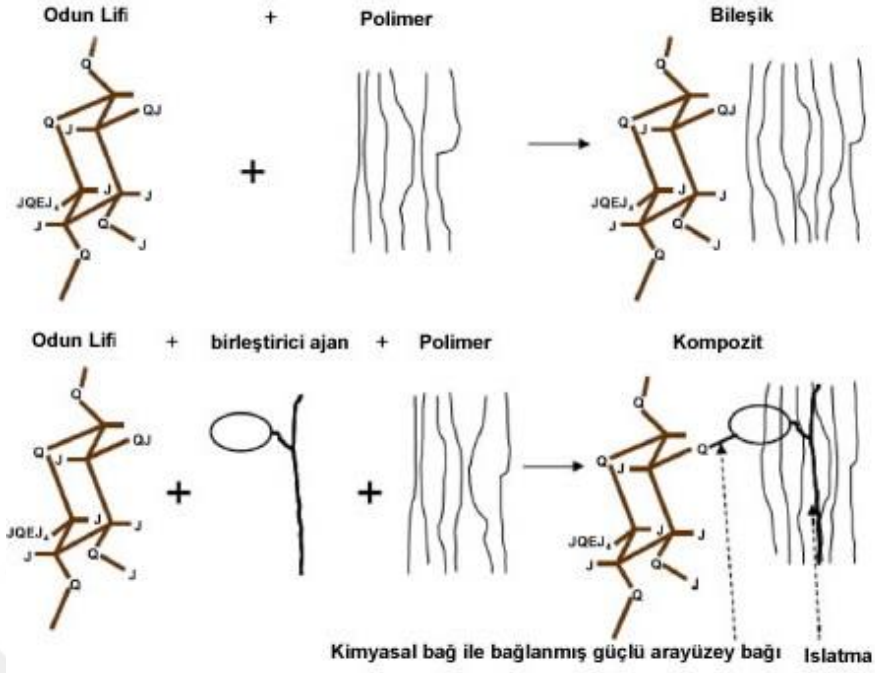
Tüm dünyada OPK levha üretimi ve kullanımı giderek artmaktadır. Bunun en önemli sebeplerinden birisi hammaddeleri olan odun ve plastiğin tek başlarına göstermiş oldukları özelliklerine göre daha iyi özelliklere sahip olmalarıdır. Plastik malzeme kompozit olarak değerlendirildiğinde, doğada daha hızlı bozunmuş olacağı için çevreye verdiği zarar azaltılmaktadır. Buna ek olarak daha ucuz maliyette elde edilir. Ahşap malzeme kompozit bir üründen değerlendirildiğinde çalışma özelliği azaltılarak boyutsal kararlılığı sağlanmış olur. Ayrıca farklı boyutlarda, renklerde ve şekillerde

ürün elde edilebilmektedir. Çatlama, çürüme, böceklere ve mantarlara karşı daha dayanıklı hale gelirler (Acar vd., 2014).

Lignoselülozik maddeler ile termoplastik birleşimi ile oluşturulan kompozitlerde genellikle tercih edilen polimerler; PE, PS, PP, akrilonitril bütadien sitiren (ABS) ve viniller'dir. Odun liflerinin plastikler ile kompozit üretiminde zarar görmemeleri, bozunmamaları için üretimde çok yüksek sıcaklıklar kullanılmamalıdır. Lignoselülozik malzemenin zarar görmemesi içinde sıcaklığın 200 – 220°C'den yüksek olmaması gereklidir (Altuntaş, 2008).

Kuru ve sıvı hallerde üretilen üre formaldehit tutkalı, formaldehit ve ürenin oluşturduğu bir kondenzasyon sonucu elde edilen üründür. Karbondioksit ve amonyağın birleşiminden üre meydana gelir. Üre; suda kolaylıkla çözünebilir, renksizdir ve kokusuz bir malzemedir. Metanolün katalitik oksidasyon hidrolizasyonu ile formaldehit ürünü oluşmaktadır. Odun lifleri kullanılarak üretilen levhalarda genel olarak üre formaldehit tutkalı kullanılır. Diğer tutkal çeşitleri ise özel durumlarda kullanılırlar. Bu tutkallara örnek vermek gerekirse; melamin formaldehit, izosiyanat tutkalı ve fenol formaldehit tutkallarıdır (İstek, 2006).

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan hammaddeler yani odun unu, tutkal ve plastik malzeme bir karıştırıcı aracılığı ile eşit bir şekilde karıştırılır. Böylece levha üretimindeki malzemeler homojen bir görüntü sağlanarak bir araya getirilirler (Tufan ve Mengeloğlu, 2010). Şekil 2.13'de odun lifi ile polimerlerin uyum sağlayıcı ile bağ yapısı verilmiştir.



Şekil 2.13. Odun lifi ile polimerin uyum sağlayıcı ile bağ yapısı (Ashori, 2008)

Şekil 2.13’de görüldüğü gibi lifler ve polimerlerin bir araya getirilmesi mümkündür. Ancak birleştirici ajan kullanıldığında polimerler ve lifler arasında kimyasal bir bağ oluşmaktadır. Bu kimyasal bağlanma ile üretilecek levha ürünlerinin odun esaslı levhalarına göre daha sağlam, daha az su emen ve daha kaliteli üretilebileceğinin göstergesidir.

2.5.1. Kompozit malzeme üretiminin avantajları

Polimer kompozitlerin avantajları arasında fazla miktarda bulunmaları, doğada aşındırıcı olmamaları, yüksek spesifik özelliklerinin olması ve düşük yoğunlukta olmaları yer almaktadır (Karakuş vd., 2010).

OPK Levhanın Avantajları:

1. Yenilenebilir özelliktedirler,
2. Ses izolasyonunu sağlarlar,
3. Elektrik dirençlerinin fazladır,
4. Uygun fiyata sahiptirler,
5. Maliyeti düşürürler,

6. Sağlık problemi oluşturmazlar,
7. Gerekli boyutlara getirilebilirler,
8. Mantar ve böceklere karşı dirençlidirler,
9. Bakım ihtiyaçları düşüktür,
10. Doğa dostu ürünlerdir,
11. Boyutsal olarak stabildir,
12. Rutubete karşı dirençlidirler,
13. Yüksek mekanik özellikler gösterirler (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

Yukarıda sayılan çoğu özelliğin dışında da çok önemli ve iyi özellikleri de bulunmaktadır.

2.5.2. Kompozit malzeme üretiminin dezavantajları

OPK levhanın dezavantajlarından ilk akla gelenleri; odun liflerine göre daha yüksek yoğunluğa sahiptirler. Fazla enerji maliyetleri ve düşük üretim kapasiteleri vardır.

OPK'nin dezavantajları;

1. OPK'yi oluşturan bileşenler iyi temizlenmediklerinde kullanılan makinalarda aşınma olabilir
2. Odun liflerinin plastik malzemeye göre yoğunlukları düşüktür,
3. Hammaddelerin depolama alanlarında problem yaşanabilir,

Ahşap plastik kompozitin dezavantajlarına rağmen çevresel duyarlılığın artırılması, yenilenebilir materyallerin oluşu, dünya nüfusundaki artış, maliyetteki olumlu değişimler gibi niteliklerden dolayı OPK üretiminin yaygınlaşmasında ve her geçen gün daha çok araştırmacının dikkatinin çekmesi ve daha çok projelerin oluşturulmasının kaçınılmaz olduğu ön görülmektedir (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

2.5.3. Kompozit malzemenin kullanım alanları

Kompozit levhalar çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Bunun sebebi teknik yöntemler ile istenilen direnç özelliklerinde, boyutta ve şekilde üretilebildiklerinden kaynaklanmaktadır (İstek, 2006).

OPK'lerin kullanım alanları:

1. Otomotiv parçaları,
2. Tekne gövdeleri,
3. Mimari profiller,
4. Paletler,
5. Mobilya,
6. Kapı çerçeveleri,
7. Pencere profilleri,
8. Korkuluk,
9. Kereste gibi alanlarda verimli olarak kullanılmaktadır (Tankut, Bardak, Ulunam ve Bardak, 2011).

Tablo 2.4'te OPK'lerin kullanım alanları sektörlere göre verilmiştir. Tablo incelendiğinde OPK'lerin hayatımızın geniş bir alanında yer aldıklarını görülmektedir. Ayrıca kullanımlarının giderek yaygınlaştığı da açıkça görülmektedir.

Tablo 2.4. *OPK'leri kullanım alanları (Tufan & Mengeloğlu, 2010)*

Kullanıldığı Sektör	Kullanım Alanı
Endüstriyel	Ambalaj, palet, iskele, uyarı levhaları, sandık
Park / Bahçe	Çit, parke-bahçe mobilyası, kamelya, yürüyüş parkurları, çocuk parkı, bank
Otomotiv	Kapı, iç panel, karoseri, arka raflar, bardak tutacakları
Bina İçi	Dekoratif profiller, raf, yer kaplama, tırabzan, tabla
İnşaat	Kapı, pencere ve çerçeve, kereste, havalandırma, çatı, merdiven

OPK üretiminin yaygınlaşması ile odun lifi kullanımının azaltılarak elde edilen üründe boyutsal stabilizasyon ve daha az tutkal kullanımının sağlanması ve çevrenin atıklardan arındırılması düşüncesi ile atık plastiklerin kullanımı düşünülmektedir.



3. LİTERATÜR ÖZETİ

Topçu ve Taşgetiren (1994), “Plastiklerin Yeniden Kullanılması” isimli çalışmalarında, toplanan plastik atıkların dağılımında % 44’ünün polietilen-polipropilen, % 25’inin polistiren, % 15’inin polivinil-klorit ve % 4’lük bir kısmın plastik olmayan malzemeden oluştuğunu vurgulamışlardır.

Tankut vd. (2011), “İleri Mühendislik Malzemelerinin Orman Endüstrisinde Kullanımı” adlı çalışmalarında, lif takviyeli polimerlerde (FTP) matrisin rolünün gerilmeler ve lifler arasında transfer ve de liflerin yüzeyini mekanik aşınmadan korumak olduğunu, ayrıca çevreye olan olumsuz özelliklerin azaltılması amaçlı bir çalışma olduğunu belirtmişlerdir.

Karakuş vd. (2010), “Atık Değerlendirmesinde Bir Seçenek; Kâğıt-Plastik Kompozit Üretimi” adlı çalışmalarında polipropilen (PP), polistiren (PS) polivinil klorür (PVC) ve polietilen (PE), gibi plastikler ile lignoselülozik maddelerden elde edilen unlar ya da lifler ile farklı türde plastik kompozitlerin üretilebileceğini belirtmişlerdir.

Matuana, Woodhams ve Balatinecz (1998), “PVC/Selülozik Lif Arayüzey Etkileşiminin Kompozit Özellikleri Üzerine Etkisi” adlı çalışmada OPK’lerin üretiminde iyi fiziksel ve kimyasal bağların oluşması için birleştirici ajan kullanılması önerilmiştir. Bu amaçla γ -aminopropiltrioksolan, dichlorodiethylsilane, ftalik anhidrit ve maleatlanmış polipropilen kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Özdemir, Tutuş ve Bal (2013), “Yüksek Yoğunluklu Lif Levhanın Isı İletkenliği ve Limit Oksijen İndeksi Üzerine Yanmayı Geciktiricilerin Etkisi” adlı çalışmalarında, ahşap malzemenin tutuşması halinde ve 275°C dereceye ulaştığı takdirde ahşap malzemede yanma işleminin gerçekleşeceğini belirtmişlerdir.

Sanadi, Hunt, Caulfield, Kovaccsvolgyi ve Destree (2001), “Yüksek Lif – Düşük Matrix Kompozit: Kenaf Lif / Polipropilen” adlı çalışmalarında % 60 - 85 kenaf-PP, maleatlanmış polipropilen (MA-PP) uyum sağlayıcı ve 200°C pres sıcaklığı

kullanmışlardır. Kompozit üretimlerinde düşük ve orta yoğunluktaki levhaların elastikiyet modülü direnç özelliklerinde artış kaydetmişlerdir. Fenol formaldehit kullanılan orta yoğunluktaki levhada eğilme mukavemeti 13 – 42 MPa'dır. Yüksek yoğunluklu lif levhalarda eğilme mukavemeti 70 MPa ve eğilme direncini 7,58 GPa olarak kaydetmişlerdir. Ayrıca gerek mekanik özellikleri gerekse ticari açıdan yüksek yoğunluklu lif ve polimer ile üretilen kompozit levhanın bina, mobilya ve otomobil gibi birçok sektörde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Jayaraman ve Bhattacharyya (2004), "Odun Lif – Atık Plastik Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri" isimli çalışmalarında odun lifi olarak monteri çamı ve atık plastik olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) polimerinden yararlanarak OPK üretimini gerçekleştirmişlerdir. Odun lifi kütlesine göre % 0, % 20, % 30 ve % 40 oranlarında karışım değerleri, %1 Epolene TM kimyasalı ve 180°C sıcaklık kullanmışlardır. Orta yoğunlukta ağaç lifleri ile eriyiği harmanlamışlar ve enjeksiyon kalıplama ile levhalar elde etmişlerdir. Testler sonucunda üretilen levhanın mekanik özelliklerin yaklaşık % 25 iyileştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Muehl, Krzysik ve Chow (2004), "Termoplastit ve / veya Termoset Reçine İle Bağlı Biofiber ya da Atık Ofis Kağıdı İle Kompozit Panel Yapımı " adlı çalışmalarında kompozit panel üretimini araştırmışlardır. Çalışmada atık ofis kâğıtları ile PET ve PP karıştırmışlardır. Üretimi % 5 sertleştirilmiş fenol formaldehit, % 1,5 oranında vaks ve % 10 oranında polipropilen ekleyerek ve 162°C sıcaklıkta gerçekleştirmişlerdir. Kontrol örneğine göre değerlendirme yapılmıştır. Yaptıkları mekanik testler sonucunda PP ile yapılan levhaların mekanik özellikleri PET ile yapılan levhalardan daha iyi değerlere sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Karaman vd. (2006), "Plastik Atıkların Yonga Levha Üretiminde Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilme Olanakları" isimli çalışmalarında çevre dostu olarak bilinen odun plastik yapımını araştırmışlardır. Bu çalışma için polimer olarak PET hammaddesi ile üretilen atık pet şişeleri tercih etmişlerdir. Odun lifi olarak çam talaşını ve tutkal olarak % 55'lik üre formaldehit (ÜF) kullanmışlardır. Sonuç olarak odun malzemedeki su emme ve nem probleminin plastik malzemedden yararlanılarak çözülebileceğini belirtmişlerdir.

Karakuş (2008), “Üniversitemizdeki Polietilen ve Polipropilen Atıkların Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi” adlı çalışmada polimer olarak su boruları (YYPE) ve meşrubat bardaklarını (PP), lignoselülozik malzeme olarak pamuk karpeli, buğday sapları, okaliptüs talaşları kullanmışlardır. Bu maddeleri üniversite ve sanayi çevresinden atık olarak elde etmişlerdir. Kompozit üretimi için uygun ekstruder sıcaklığını YYPE için 129 – 210°C ve PP için 163 - 210°C olarak belirlemişlerdir. Sonuçta uyumsuzluk giderici olarak kullandıkları maleik anhidrit ile eğilme ve çekme direnci özelliklerinde pozitif sonuçlar elde ettiklerini ve atık plastiklerin geri dönüşümünün topluma fayda sağlayacağını ifade etmişlerdir.

Ashori (2008), çalışmasında OPK’lerde PP, HDPE, ABS, PC, Polietherimid (PEI), Naylon, Polyester ve Epoksi reçine polimerlerinin lifler ile kullanımını değerlendirmiştir. Sonuç olarak, kısa ve küçük liflerin (0,24 - 0,35 mm) tercih edilmesi ve lifler ile polimerin iyi bağ yapabilmesi, uyum sağlayabilmesi için birleştirici ajan kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Faruk ve Matuana (2008), HDPE matrisine nanokil takviyeli OPK üretimini araştırmışlardır. Polietilen (PE) ve polipropilen (PP) matrisleri ile bağlama maddesi olarak yapıştırıcıyı artırmak için maleik anhidrit kimyasalını kullanmışlardır. Deneysel sonuçlarında kompozit malzemenin eğilme özelliklerinde iyileşmeler olduğunu gözlemlemişlerdir.

Chaharmahali, Tajvidi ve Najafi (2008), “Atık Lif Levha ve Atık Yonga Levhadan Üretilen Odun Plastik Kompozitin Mekanik Özellikleri” adlı çalışmalarında odun plastik pannellerde bir eriyik karışımın sıcak preste kullanım olasılığını araştırmışlardır. Yüksek yoğunluklu polietilen eriyiğine % 60, % 70 ve % 80 oranlarında MDF ve Yonga levha atıklarını eklemişlerdir. 35 x 35 x 1 cm³ boyutlarında ve 1 g/cm³ yoğunluğunda paneller üretmişlerdir. Sonuçları normal MDF ve Yonga levhaların özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Odun unu ve polimer oranının mekanik özellikleri etkilediğini ve odun unu arttıkça özelliklerde negatif sonuçlara da sebep olduğunu ve bunun uyumsuz bağ yapısından kaynaklanabileceğini vurgulamışlardır.

Ashori ve Nourbakhsh (2009), “Geri Dönüştürülmüş Malzemelerden Yapılan Odun Plastik Kompozitin Özellikleri” isimli araştırmalarında eski gazeteler, YYPE ve PP’den üretilen kompozit malzemenin özelliklerini gözlemlemişlerdir. Birleştirici ajan olarak maleik anhidrit (MA) kullanmışlar ve yeni malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir.

Karakuş vd. (2010), “Mısır Sapı Unlarının Dolgu Maddesi Olarak Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi” isimli çalışmalarında toplanan YYPE borularınının üzerindeki kirlerden arındırmak için yıkamışlar, küçük parçalara elde etmek için şerit testere kullanmışlar ve öğütmek için kırıcı makine kullanmışlardır. Elde edilen hammaddeler ile en fazla % 47 YYPE ve % 45 Mısır sapı unu, sabit olarak % 2,5 vaks, % 2,5 çinko stearate ve % 3 MAPE kullanmışlardır. Sonuç olarak darbe, çekme ve eğilme direncinde azalmalar, elastikiyet modülünde artmalar gözlemlemişlerdir.

Ayrılmış ve Büyüksarı (2010), “Lignoselülozik/Polipropilen Kompozitin Zeytinyağı Fabrikası Çamuru ile Üretimini Kullanımı” adlı çalışmalarında % 3 oranında MA kullanarak, PP içerisine odun unu ve zeytin değirmeni çamurunu ekleyerek ürettikleri kompozit malzemenin kalınlığına şişmesi ve su emme yani boyutsal stabilite testlerinde TS standartlarına göre olumlu sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Huuhilo, Martikka, Butylina ve Karki (2010), “Odun Plastik Kompozitteki Rutubetin Mineral Dolgusuna Etkisi” isimli çalışmalarında kompozit üretiminde; 45 g PP, 10 dk 230°C’de eritilmişlerdir. % 30 PP, % 3 MA birleştirici ajan ve % 44 lif kullanmışlardır. 180°C sıcaklık kullanmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda, kompozit levhanın şişme ve rutubet özelliklerinde azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca levhanın yoğunluğunda artma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ayrılmış ve Jarusombuti (2010), “Odun Esaslı Konvansiyonel Panellere Alternatif Olarak Düz-Preslenmiş Odun Plastik Kompozit” adlı çalışmalarında % 40, % 50 ve % 60 oranlarında odun lifi, % 57, % 47 ve % 37 oranlarında PP ve % 3 oranında MA kullanmışlardır. 170°C sıcaklıkta 6 dakika pres uygulamışlardır. 0,79 - 0,80 g/cm³ yoğunluğunda, 250 x 250 x 10 mm ebatlarında 12 adet levha elde etmişlerdir. Levhalardaki artan polimer içeriği ile su dirençlerinde artış olduğunu

gözlemlenmişlerdir. Yine eklenen plastik malzeme ile sertlik özelliklerinde önemli ölçüde artış tespit edilmiştir. Mobilya imalatı, çatı kaplama, vb. alanlarda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Tayyar ve Üstün (2010), “Geri Kazanılmış Pet’in Kullanımı” isimli çalışmalarında, OPK’de, PET ve HDPE’nin levhada homojen bir dağılım gösterdiklerini, işlenebildikleri ve şekillendirilebildikleri için avantaj sağladıklarını belirtmişlerdir. Kompozit levhadaki PET oranı arttığında maksimum yük altında zorlanma yüzdesinin düştüğünü tespit etmişlerdir. PET oranı artışının elastikiyet modülünün artmasına da katkı sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Najafi ve Eslam (2011), “Lignoselülozik Dolgu/Geri Kazanılmış HDPE Kompozitler: Dolgu Türünün Fiziksel ve Eğilme Özellikleri Üzerine Etkisi” adlı çalışmalarında 35 x 35 x 1 cm ebatlarında ve 1 g/cm³ yoğunlukta ahşap plastik kompozit levha üretmişlerdir. Geri kazanılmış HDPE (süt şişeleri) ile % 3 oranında birleştirme maddesi olarak MAPE, 170°C sıcaklıkta 10 dk eriterek elde etmişlerdir. YYPE, MAPE ve lignoselülozik malzemeleri 5 dk karıştırmışlardır. Yaptıkları fiziksel ve mekanik testler sonucunda kompozit levhanın özelliklerinde iyileşmeler olduğunu tespit etmişlerdir.

Kaymakçı, Ayrılmış ve Akbulut (2012), “Atık Alüminyum Polietilen (Tetrapak) ve Pirinç Sapı Kullanılarak Üretilen Odun Plastik Kompozitlerin Mekanik Davranışlarının Belirlenmesi” isimli çalışmalarında, OPK üretiminde, alüminyum polietilen esaslı polimer kompozit üretiminde kullanılan MAPE’nin mekanik özellikler üzerine olumlu etki yaptığı belirtmişlerdir.

Binhussain ve El-Tonsy (2013), “Dış Yapılar İçin Atık Plastik ve Hurma Yaprağı ile Odun Plastik Kompozit” adlı çalışmalarında, PS karışımı, PC karışımı ve PVC karışım kombinasyonlarını geliştirmişlerdir. Atık plastik ve hurma yaprakları hammadde olarak her ikisini de % 50 oranında kullanmışlardır. 0,63 - 4,0 mm boyutlarında lifler elde etmişlerdir. Evsel plastik atıkları iki kez yıkamışlar ve 1 - 4 mm boyutunda parçalamışlardır. Sonuç olarak, ürettikleri levhalarda daha az su absorpsiyonu, sertlik özelliklerinde iyileşme, doğrusal yanma, levhanın

yoğunluğunda artış olduğu ve dış yapılarda kullanılabilir özelliklere sahip levhalar olduğu gözlemlenmiştir.

Akbaş vd. (2013), “Fındık Kabuklarının Polipropilen Esaslı Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi” isimli çalışmalarında, % 30, % 40 ve % 50 oranlarında fındikkabuğu farklı oranlarda PP kullanılarak OPK üretimi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları testler sonucunda liflerin fazla olduğu örneklerde kalınlığına şişme ve su alma özelliklerinde artış olduğunu ve % 30 oranında lif bulunan örneklerde en iyi değerleri elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Rahman vd. (2013), “Talaş ve Geri Dönüştürülmüş Polietilen Tereftalattan Düz Preslanmi Odun Plastik Kompozit: Fiziksel ve Mekanik Özellikleri” adlı çalışmalarında testere talaşı ve farklı oranlarda geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat’ı döner tipi karıştırıcıda karıştırarak düz preste preslemişlerdir. % 40, % 50, % 60 ve % 70 oranlarında talaş ve % 60, % 50, % 40 ve % 30 oranlarında PET kullanılmıştır. 30 x 25 x 0,6 cm ebatlarında levhalar elde etmişlerdir. Örnekler üzerinde yaptıkları testler sonucunda levha yoğunluğunda azalma tespit etmişler ve uyum sağlayıcı maddeler kullanıldığında daha iyi sonuçlar elde edileceğini belirtmişlerdir.

Ayrılmış ve Kaymakçı (2013), “Termoplastik Kompozitlerde Takviye Dolgu Maddesi Olarak Hızlı Gelişen Biyokütle: Palvonya Odunu” isimli çalışmalarında OPK üretiminde; % 30, % 40 ve % 50 oranlarında PP, % 3 oranında MA uyum sağlayıcısı ve odun lifi olarak da Palvonya kullanmışlardır. Yaptıkları bu karışımlardan elde ettikleri levhaların test sonuçlarında, çekme direnci değerlerinde ve boyutsal stabilite değerlerinde olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir.

Ayrılmış, Kaymakçı ve Özdemir (2013), “Ceviz Kabuğu İle Doldurulmuş Polipropilen Kompozitlerin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri” adlı çalışmalarında, plastik olarak PP ve odun lifi olarak ceviz kabuğu unu kullanmışlardır. % 40, % 50 ve % 60 plastik oranları ve % 3 MA kullanılarak levha üretmişlerdir. Kompozitlerin eğilme ve çekme özelliklerinde olumlu sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Ayrılmış, Kwon ve Han (2014), “Aramid Kumaşı Kullanılarak Lignoselülozik Dolgulu Polipropilenin Eğilme ve Çekme Özelliklerinin Geliştirilmesi” isimli çalışmalarında, OPK üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bu üretimde takviye malzemesi olarak Aramid kumaşı, lignoselülozik madde olarak % 50 oranında pirinç kabuğu unu ve odun unu, polimer olarak % 47 oranında PP ve uyum sağlayıcı olarak % 3 oranında MA kullanmışlardır. PP kullandıkları örneklerin mekanik özelliklerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Kaymakçı ve Ayrılmış (2014), “Odun Plastik Kompozitin Brinell Sertlik ve Gerilme Mukavemeti Arasındaki İlişkinin İncelenmesi” adlı çalışmalarında; % 30, % 40 ve % 50 oranında PP, % 3 oranında MA ve talaş unu kullanmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda kompozitlerin kuvvetli bir korelasyon ile brinell sertliği için uygun gerilme mukavemeti göstermiş olduklarını belirtmişlerdir.

Cademartori vd. (2015), “ Mate Çayının Evsel Atıklar Dolgu Malzemesi ile Odun Polimer Kompozitin Pürüzlülük ve Renginin Değerlendirilmesi” isimli çalışmalarında, özellikle Latin Amerika'da bulunan Mate çayının ekonomik değer zincirini artırmak için okaliptüs ağacı lifleri ve PP polimeri içerikli evsel atıklar karıştırılarak ahşap plastik kompozit üretimini gerçekleştirmişler ve ürünün özelliklerini araştırmışlardır. Daha yüksek sertliğe sahip levhalar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Schwarzkopf ve Burnard (2016), “Ahşap Plastik Kompozitin Performansı ve Çevresel Etkileri” adlı çalışmalarında, yapılan son çalışmalarda matris bileşenlerinin mekanik özellikleri ve odun bileşenleri üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Bu bağlamda OPK'nin çevresel etkilerini araştırmışlardır. OPK'nin geliştirilmesinin gerekliliğinden ve çoğunlukla dış zemin kaplamalar, dış alanlarda kullanıldıklarından bahsetmişlerdir. OPK pazarındaki durumu; Kuzey Amerika'da büyümeye devam etmekte, Avrupa'da büyüme başlamakta ve Çin'de hızlı bir büyüme beklemektedirler. Otomotiv sektöründe ve diğer alt sektörlerde büyümenin devam ettiğini vurgulamışlardır. Ahşap malzeme ve plastik malzemenin bir araya getirilmesindeki amacın çevre dostu olmaları, daha hafif malzeme elde edilmek isteği ve maliyeti azalmak olduğunu belirtmişlerdir.

Bu alanda yapılmış birçok farklı bilimsel çalışma mevcut olup özellikle odun hammaddesindeki yaşanan sıkıntılardan dolayı, alternatif olarak plastik atıkların kullanılması yönündeki çalışmalar ön plana çıkmaktadır.

Görüldüğü gibi bu alanda yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Ancak lif levha sektöründeki odun lifine plastik eklenerek kompozit levha üretimi ile ilgili fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın bu sebep ile literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Seçilen plastik atıkların HDF üretiminde değerlendirilmesi hakkında çok fazla sayıda çalışmanın mevcut olmamasından dolayı, yapılacak olan bu çalışma ile ülkemiz ve lif levha endüstrisinin önemli bir sorunu olan alternatif hammadde kaynağı ihtiyacına çözüm bulunulacağı öngörülmektedir. Bunu sağlarken mevcut üretilen malzemenin özelliklerinde iyileşmeler kaydedileceği ve çevre üzerindeki atık plastiklerin oluşturduğu negatif baskıdan arındırılabilceği düşünülmektedir. Plastikleri eritmeden mekanik geri kazanım ile odun lifine katılması da bu çalışmanın diğer bir özgün yapısıdır. Bu özellik sayesinde eritme maliyetinin ortadan kaldırılması ile sektöre ayrı bir katkı oluşturulacağı düşünülmektedir.

4. MATERİYAL METOD

4.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan odun lifleri Kastamonu Entegre A.Ş.'nin Kastamonu Organize Sanayi Bölgesinde bulunan fabrikasından temin edilmiştir. HDF üretiminde hammadde olarak kullanılan atık PET Kastamonu'nun İhsangazi ilçesindeki Ay Işığı Kafe ve Kastamonu Üniversitesi Yemekhanesinden temin edilmiştir. Atık PP Kastamonu ilinin İhsangazi ve Tosya ilçelerinden temin edilmiştir. Atık PS Hacıbıyıkzade Ticaretten temin edilmiştir. Kullanılan malzeme-cihaz ve yapılan deney-analizler için Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Laboratuvarlarından, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Laboratuvarlarından, Kastamonu Üniversitesi Ahşap Kültürünü Araştırma ve Uygulama Merkezinden ve Kastamonu Üniversitesi, Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nden yararlanılmıştır.

4.2. Metot

Bu çalışmada plastik atıkların öğütülerek elde edilen farklı özelliklerdeki polimerler ile liflerin MA yardımıyla birleştirilmesi ile HDF üretim sürecinde hammadde olarak değerlendirilmesi böylece levhalardaki boyutsal kararlılığın sağlanması ve plastiklerin geri kazanımı amaçlanmıştır.

Çeşitli plastik atıklardan elde edilen polimerlerin HDF (yüksek yoğunlukta lif levha) üretiminde kullanılması durumunda HDF'nin fiziksel ve mekaniksel değerlerinde fazla değişim gözlenmeyeceği hatta üretilecek levhanın özelliklerinde iyileşmelerin olacağı ve levha üretim maliyeti düşürülebilir düşüncesi ile yola çıkılarak, atık plastiklerden Polietilen tereftalat (PET), Polipropilen (PP) ve Polistiren (PS) Kastamonu ili civarındaki değişik kaynaklardan (Kastamonu üniversitesi yerleşkesi, ev, dükkan, pastane, mağaza vb. yerlerden) toplanmıştır.

4.2.1. Atık malzemelerin tasnif edilmesi

Farklı kaynaklardan toplanan atık plastiklerin parçalanması için kullanılacak olan cihazın bıçaklarının zarar görmemesi ve üretilecek levhanın özelliklerini olumsuz yönde etkilememesi için fiziksel olarak (ambalaj, kapak,... vb.) temizliği sağlanmıştır, toplanan atıklara yıkama işlemi yapılmış ve kurumaya bırakılmıştır. Toplanan atık plastikler laboratuvar değirmeni ile parçalara ayrılarak un haline getirilmiştir.

4.2.1.1. PET' in tasnif edilmesi

Atık PET olarak günümüzde çok fazla kullanılması ve çevreye zarar vermesi nedeni ile atık pet şişelerin değerlendirilmesi tercih edilmiştir. Toplanan atık PET şişeler üzerinde bulunan etiket, kapak ve kapağın altındaki mavi halkadan arındırılmıştır. Buna ek olarak yıkanarak kirlerinden arındırılmışlardır. Fotoğraf 4.1'de atık polietilen tereftalat (PET) şişelerin tasnif edilme aşamaları gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.1. Atık polietilen tereftalat (PET) şişeler

Yıkanan ve kurutulan pet şişeler daha sonra öğütücü makinaya uygun boyutlarda Fotoğraf 4.1’de görüldüğü gibi yaklaşık 5 x 5 cm boyutlarında kesici aletler yardımı ile küçültülmüşlerdir.

4.2.1.2. PP’nin tasnif edilmesi

Atık PP olarak farklı tipte atık boruların çalışmada değerlendirilmesine karar verilmiştir. Çeşitli yerlerde toplanan atık borular HDF üretimi için uygun boyutlara getirilmeden önce üzerinde bulunan ambalaj, kir vb. malzemelerden arındırılmıştır. Atık borulara yıkama işlemi uygulanmıştır. Yıkayıp kurutulan atık borular çeşitli kesici aletler yardımı ile öğütmek için gerekli boyutlara getirilmişlerdir. Küçük parçaların boyutu yaklaşık 5 x 5 cm’dir. Fotoğraf 4.2’de atık borular ve küçültülmüş halleri gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.2. Atık polipropilen (PP) borular

4.2.1.3. PS'in tasnif edilmesi

Atık PS olarak toplanan eşya koruyucu olarak kullanılmış PS köpüklerin değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Çok büyük boyutlardaki atık köpükler öğütme işlemi için çeşitli kesici aletler ile yaklaşık 5 x 5 x 5 cm ebatlarında küçültme işlemi gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf 4.3'de atık köpükler ve boyutlandırılmış hali gösterilmektedir.



Fotoğraf 4.3. Atık polistiren (PS) köpükler

4.2.2. Atıkların öğütülmesi

Atık plastiklerin levha üretimine uygun boyutlara getirilmesi için Fotoğraf 4.4'te görülen Wiley tipi bir laboratuvar değirmeni kullanılmıştır.



Fotoğraf 4.4. Atık plastiklerin öğütülmesi

Öğütme işlemi her bir atık plastik için ikişer kez yapılmıştır. En son eleme işlemi yapılarak 60 mesh üzerinde kalan ürünler kullanılmak için ayrılmıştır. Kaba elek üzerinde kalan plastikler yeniden öğütülerek kullanıma hazır hale getirilmişlerdir. Fotoğraf 4.5.a,b,c'de sırasıyla öğütülmüş atık pet şişeler (PET), borular (PP) ve köpüklerin(PS) ikinci öğütülmeden sonraki halleri gösterilmiştir.



(a)



(b)



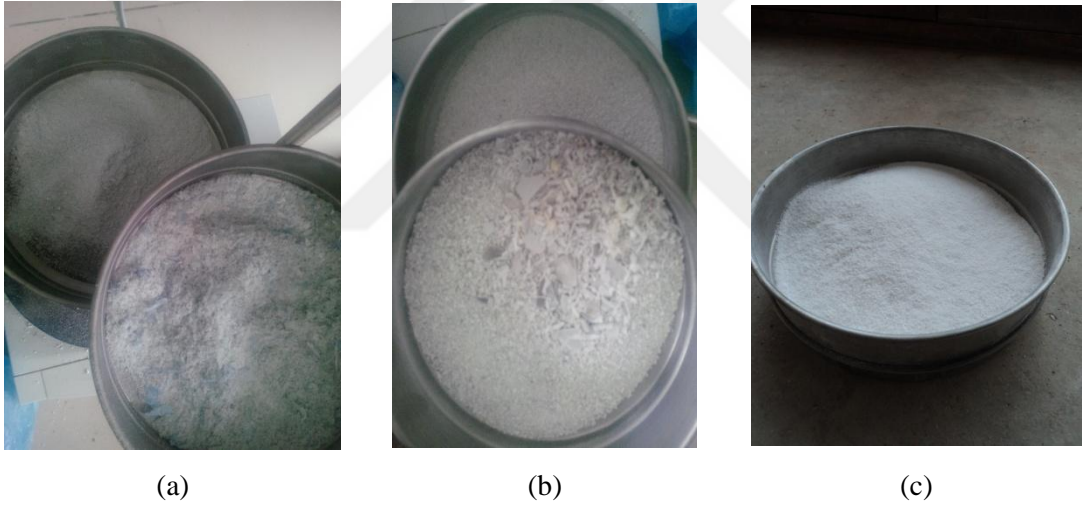
(c)

Fotoğraf 4.5.a,b,c. Öğütülmüş atıklar

Son öğütme ile birlikte her bir farklı plastik için toplamda üç kez öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Öğütme işleminde plastik türlerine göre uygun değirmen hızı kullanılmıştır.

4.2.3. Atıkların elenmesi

Öğütülen atık plastiklerin boyutlarında homojenlik sağlayabilmek için eleme işlemi yapılmıştır. Eleme işleminde elek boyutu olarak 60 mesh dikkate alınmıştır. Kaba elek üzerinde kalan ürünler 60 mesh'e uygun boyutları elde edebilmek için değirmende yeniden öğütülerek tekrar eleme işlemine tabi tutulmuştur. Fotoğraf 4.6.a,b,c'de sırayla PET (pet şişe), PP (boru) ve PS (köpük)'in kaba elek ve 60 mesh üzerinde kalan elenmiş plastikler gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.6.a,b,c. Atıkların elenmesi

4.2.4. Deneme planı

Atık pet şişe (PET), atık boru (PP) ve atık köpük (PS)'ten elde edilen levhaların özelliklerinin belirlenmesinde Tablo 4.1'de gösterilen deneme planı kullanılmıştır. Deneme planında kullanılan plastik oranları, birleştirici ajan miktarı, yoğunlukları, pres basıncı ve pres sıcaklıkları belirtilmiştir.

Tablo 4.1. *Deneme planı*

	Odun lifi (%)	PET (%)	PP (%)	PS (%)	Maleik Anhidrit (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Basınç (bar)	Sıcaklık (°C)
1	100	—	—	—	3	800	110	180
2	25	75	—	—	3	800	110	180
3	50	50	—	—	3	800	110	180
4	75	25	—	—	3	800	110	180
5	25	—	75	—	3	800	110	180
6	50	—	50	—	3	800	110	180
7	75	—	25	—	3	800	110	180
8	25	—	—	75	3	800	110	150
9	50	—	—	50	3	800	110	150
10	75	—	—	25	3	800	110	150

Tablo 4.1’de belirtilen deneme planına göre her bir örnek üçer kez tekrarlanmıştır. Böylece toplamda 30 adet levha örneği üretilmiştir. Üretilen her bir levha % 3 oranında maleik anhidrit ile muamele edilmiştir. Elde edilen levhalar 20°C sıcaklık ve % 65 bağıl nemde denge rutubetine ulaşmaya kadar 25 gün boyunca bekletilmiştir.

4.2.5. Levhaların üretimi

Mekanik olarak geri dönüşümleri sağlanmış olan plastiklerden elde edilen polimerlerle karışım halinde üretim yapmak için üretime hazır tam kuru lif ağırlığına oranla % 10 ÜF tutkalı ve sertleştirici karışımı ile tutkallanmış odun lifi temin edilmiştir. Fotoğraf 4.7’de plastik ve temin edilen liflerin karıştırılmasının yapıldığı karıştırıcı sistem gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.7. Odun lifi ve karıştırıcı

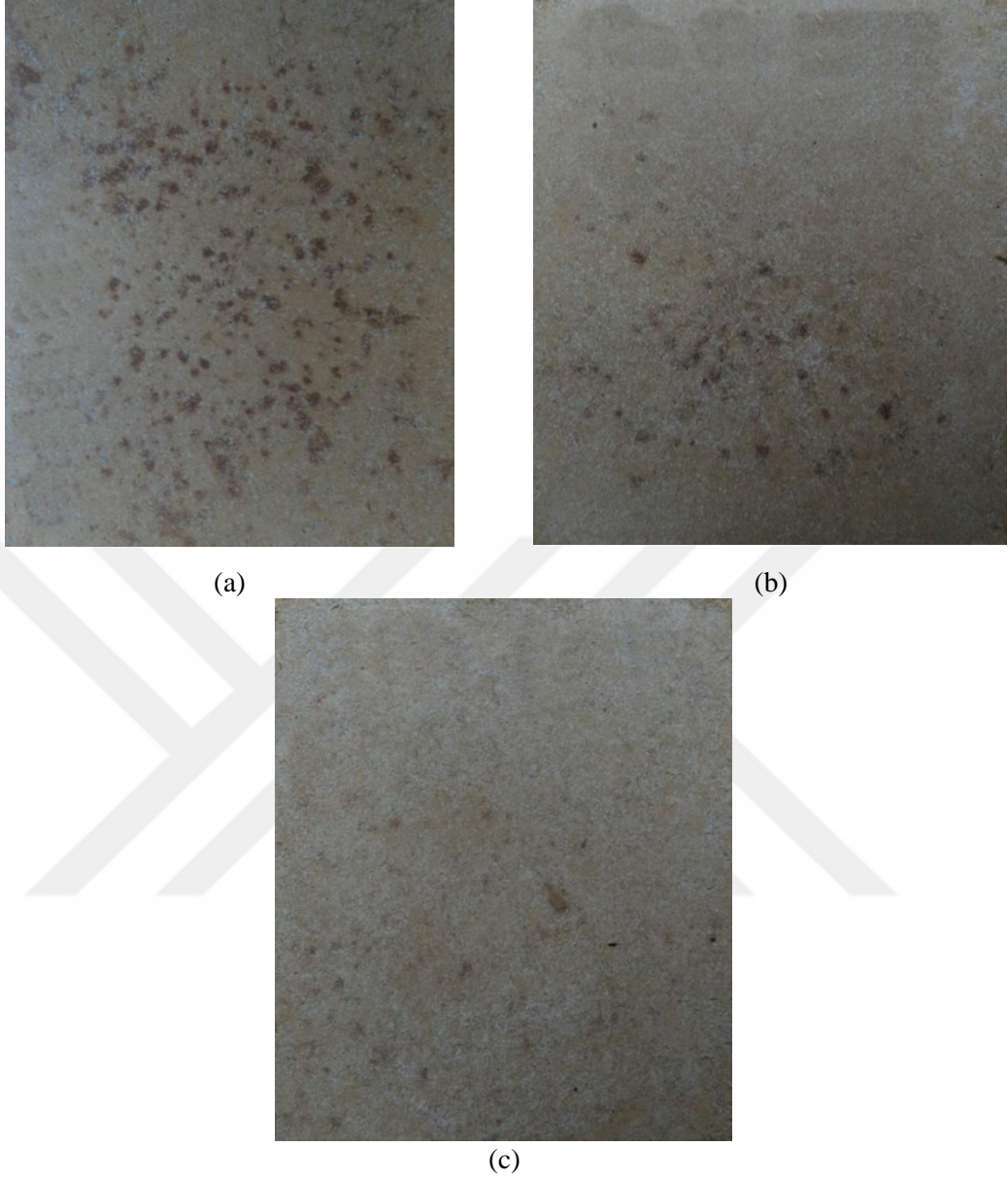
Odun lifleri ve polimerlerin arasında uyum sağlayıcı olarak MA kimyasalı kullanılmıştır. Lifler ve plastiklerin homojen şekilde karıştırılması sağlanmıştır. Fotoğraf 4.8’de levha üretiminin aşamaları gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.8. Levha üretimi

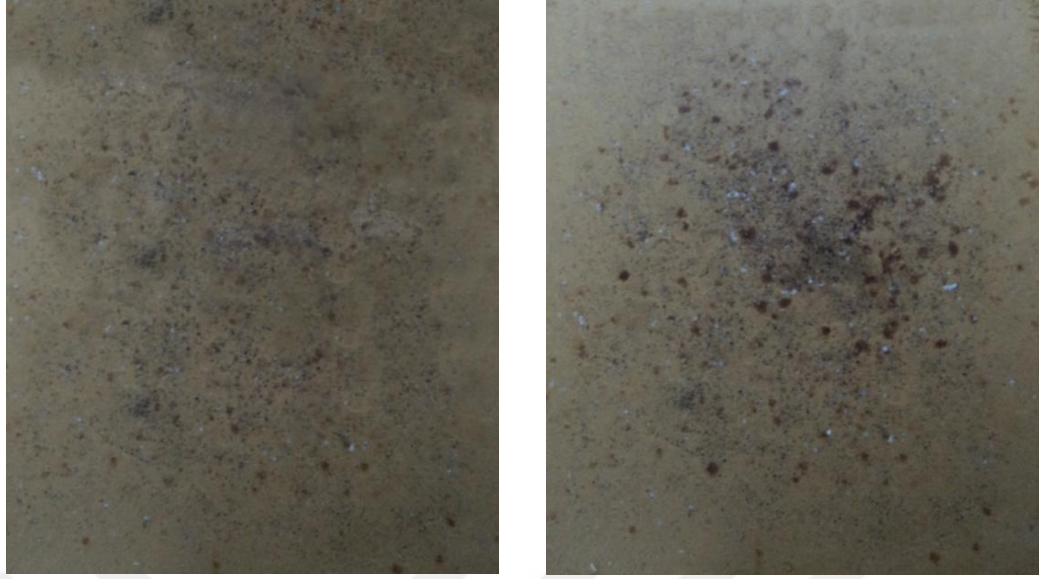
Levhaların üretimi için deneme planında belirtilen oranlarda elde edilen karışımlar Fotoğraf 4.8’de gösterildiği gibi kenarlara kalınlık levhaları konularak ön taslak haline getirilmiştir. Cemil Usta marka pres makinasında taslak levhalar 180°C sıcaklığında, maksimum 110 bar basınç ile 10 dk kadar bekletilmiştir. Süre sonunda elde edilen levhaların boyutları 31 x 36 x 1,1 cm, yoğunluğu ortalama 0,8 gr/cm³ olacak şekilde levhalar üretilmiştir.

Fotoğraf 4.9.a’da % 25 Pet % 75 odun lifi, Fotoğraf 4.9.b’de % 50 Pet % 50 odun lifi ve Fotoğraf 4.9.c’de % 75 Pet % 25 odun lifi karışımlarından üretilen OPK’lerin fotoğrafları gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.9. a,b,c. Farklı PET içeriğine sahip HDF levhalar

Fotoğraf 4.10.a'da % 25 PP % 75 odun lifi, Fotoğraf 4.10.b'de % 50 PP % 50 odun lifi ve Fotoğraf 4.10.c'de % 75 P % 25 odun lifi karışımlarından üretilen OPK'lerin fotoğrafları gösterilmiştir.



(a)

(b)



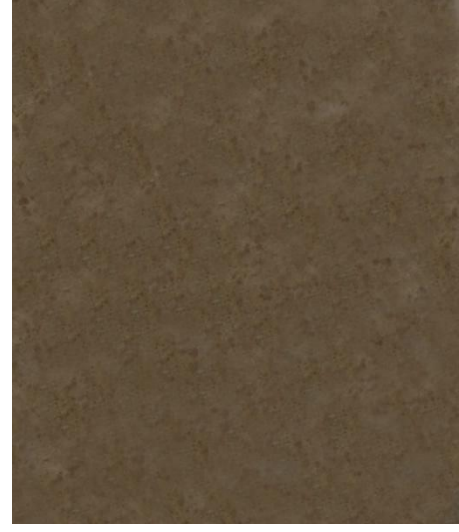
(c)

Fotoğraf 4.10.a,b,c. Farklı PP içeriğine sahip HDF levhalar

Fotoğraf 4.11.a'da % 25 PS % 75 odun lifi, Fotoğraf 4.11.b'de % 50 PS % 50 odun lifi ve Fotoğraf 4.11.c'da % 75 PS % 25 odun lifi karışımlarından üretilen OPK'lerin fotoğrafları gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Fotoğraf 4.11.a,b,c. Farklı PS içeriğine sahip HDF levhalar

Fotoğraf 4.12’de % 70 Çam odunu, % 30 kayın odunu lifinden % 10 üre formaldehit tutkalı ile tutkallanmış HDF (Kontrol örneği) gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.12. Odun lifinden üretilen levha

Üretilen levhalar Fotoğraf 4.13’de gösterildiği gibi iklimlendirme odasında yaklaşık bir ay süre ile $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ sıcaklıkta ve $\% 65 \pm 5$ bağıl nemde denge rutubete ulaşıncaya kadar beklemeye bırakılmıştır.



Fotoğraf 4.13. İklimlendirme

4.2.6. Test örneklerinin hazırlanması

Üretilen test levhaları Kastamonu Üniversitesi Ahşap Kültürünü Araştırma ve Uygulama Merkezinde standartlara uygun şekilde kesilerek yoğunluk tayini, su alma, elastikiyet modülü ve eğilme direnci testlerine tabi tutulmuşlardır. Bu testler sırasında standartlara uygun bir şekilde levhalar üzerinde ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonucu göre üretilen levhaların özellikleri belirlenmiştir. Çeşitli plastik atıklardan elde edilen farklı özelliklere sahip lif levhanın yoğunluk tayini, su alma, eğilme direnci ve elastikiyet modülü özellikleri bilgisayarlı istatistik programları kullanılarak istatistiksel hesaplamaları yapılmıştır. Veriler kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır.

31 x 36 x 1,1 cm boyutunda plastik atıklardan üretilen HDF yaklaşık 5 cm boyutunda kesilerek 7 parça örnek elde edilmiştir. Kesilen 7 parçadan farklı bölgelerdeki 2 parçası yine yaklaşık 5 cm boyutunda kesilerek bir parçadan 6 adet kare şeklinde 5 x 5 x 1,1 cm boyutlarında örnek elde edilmiştir. Kesilen bu iki parçadan doğru sonuçlar elde edebilmek için aynı yoğunluktaki 2 levhadan birinde orta noktalardan diğerinde kenarlardan seçim yapılarak kesim yapılmıştır.

4.2.7. Levhaların yoğunluğunun ölçülmesi

Levha yoğunluğunu ölçmemizin sebebi üretilen levhalar TS EN 323 standartlarına uygunluğunun araştırılmasıdır. Yoğunluk ölçümünde her bir levha grubu için 3 olmak üzere toplam 30 adet test örneği oluşturulmuştur. 5 x 5 x 1,1 cm boyutundaki örnek levhalar ilk olarak $\pm 0,01$ g duyarlıklı hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra en, boy ve kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Formül 4.1 kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

$$d = \frac{m}{V} = \frac{m}{a \cdot b \cdot h} * 1000 \quad (\text{gr/cm}^3) \quad (4.1)$$

d: Yoğunluk

a: En

b: Boy

h: Kalınlık

m: Ağırlık

V: Hacim (gr/cm³)

Elde edilen verilerin ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri Microsoft Excel programında belirlenmiştir.

4.2.8. Levhaların rutubetinin ölçülmesi

Levha rutubetini ölçmemizin sebebi TS EN 322 standartlarına uygunluğunun araştırılmasıdır. 5 x 5 x 1,1 cm boyutundaki örnek levhalar ilk olarak $\pm 0,01$ g duyarlıklı hassas terazide tartılmıştır. Daha sonra $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Deney için her gruptan üçer adet örnek kullanılmıştır. Toplamda 30 adet örnek test edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesi için Formül 4.2 kullanılmıştır. Fotoğraf 4.14.a'da levha örneklerinin rutubet ölçümü için etüve konulması gösterilmiştir. Fotoğraf 4.14.b'de yirmi dört saat sonra etüvden çıkarılan örneklerin soğutulması gösterilmiştir.

$$r = \frac{m_r - m_0}{m_0} * 100 \quad (\%) \quad (4.2)$$

r = Rutubet miktarı (%)

m_r = Etüve konulmadan önceki ağırlık (gr)

m_0 = Numune tam kuru ağırlığı (gr)



(a)



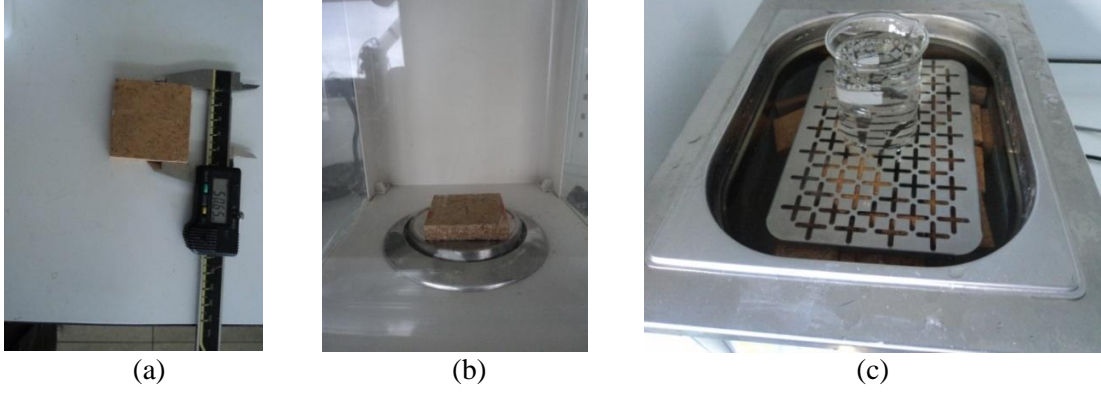
(b)

Fotoğraf 4.14.a,b. Levha rutubet ölçümü

Elde edilen verilerin ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri Microsoft Excel programında belirlenmiştir.

4.2.9. Levhaların su alma özelliklerinin test edilmesi

Levhaların su alma özelliklerinin test edilmesi için su alma deneyi yapılmış ve bunun için 3'er tane örnek hazırlanmıştır. TS EN 317 standartları ile deney örneklerinin HDF üretimi için uygunluğu belirlenmiştir. 50 x 50 x 11 mm boyutundaki örnekler kullanılmıştır. Örneklerin ağırlığı $\pm 0,01$ hassas terazi ile ölçülmüştür ve $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki su banyosu cihazında beklemeye bırakılmıştır. Örnekler 2 saat beklemek üzere suya bırakılmıştır. Süre sonunda yeniden tartım yapılmıştır. 24 saat suda bekletmek üzere aynı işlemler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler Formül 4.3 yardımı ile hesaplanmıştır. Fotoğraf 4.15.a,b,c'de su alma ve suda şişme test aşamaları gösterilmiştir.



Fotoğraf 4.15.a,b,c. Numunelerin su alma ve kalınlığına şişme özelliklerinin test edilmesi

$$SA = \frac{m_y - m_r}{m_r} * 100 \quad (\%) \quad (4.3)$$

SA = Su alma (%)

m_y = Numunenin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (gr)

m_r = Numunenin denge rutubetindeki ağırlığı (gr)

Elde edilen verilerin ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri Microsoft Excel programında belirlenmiştir.

4.2.10. Levhaların kalınlığına şişme özelliklerinin test edilmesi

Levhaların kalınlığına şişme özelliklerinin test edilmesi için kalınlığına şişme testi yapılmış ve her bir grup için 3'er tane örnek hazırlanmıştır. TS EN 317 standartları ile deney örneklerinin HDF üretimi için uygunluğu belirlenmiştir. 50 x 50 x 11 mm boyutundaki örnekler kullanılmıştır. Örneklerin kalınlığı dijital kumpas ile ölçülerek $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklığındaki su banyosu cihazında 2 saat beklemek üzere suya bırakılmıştır. Süre sonunda yeniden kalınlık ölçümü yapılarak 24 saat suda bekletmek üzere aynı işlemler gerçekleştirilmiştir. Sonuçların hesaplanması için Formül 4.4 kullanılmıştır.

$$KS = \frac{h_y - h_r}{h_r} * 100 \quad (\%) \quad (4.4)$$

KŞ = Kalınlığına şişme oranı (%)

h_r = Numunenin denge rutubetindeki kalınlığı (mm)

h_y = Numunenin suda bekletildikten sonraki kalınlığı (mm)

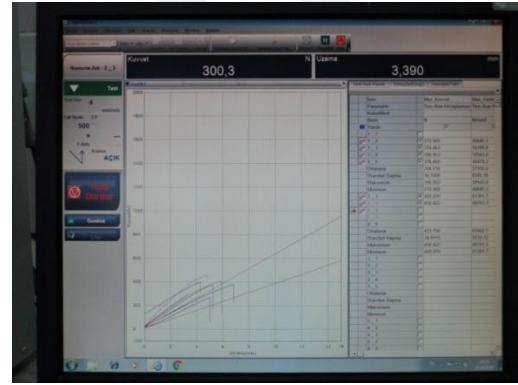
Elde edilen verilerin ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri Microsoft Excel programında belirlenmiştir.

4.2.11. Levhaların elastikiyet modülü ve eğilme direnci özelliklerinin belirlenmesi

50 x 310 x 11 mm boyutundaki örnekler Universal Test Cihazında test edilmiştir. TS EN 310 standartları ile deney örneklerinin HDF üretimi için uygunluğu belirlenmiştir. Destek noktaları arasındaki uzaklık 200 mm olarak ayarlanmıştır. Fotoğraf 4.16.a'da elastikiyet modülü ve eğilme direnci ölçümlerinin yapıldığı test cihazı gösterilmiştir. Fotoğraf 4.16.b'de numune değerlerinin bilgisayar ortamında kayda alınması gösterilmiştir.



(a)



(b)

Fotoğraf 4.16.a,b. Elastikiyet modülü ve eğilme direnci özelliklerinin test edilmesi

Kayda alınan elastikiyet modülü değerleri Formül 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{\text{modülü}} = \frac{F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot f} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4.5)$$

$E_{\text{modülü}}$ = Elastikiyet modülü (N/mm²)

F = Elastikiyet bölgedeki kuvvet (N)

L = Dayanaklar arasındaki uzaklık (mm)

b = Numune en genişliği (mm)

f = Deformasyon miktarı (mm)

h = Numune yüksekliği (mm)

Deney sonucunda elde edilen ve bilgisayar ortamında kayda alınan eğilme direnci değerleri Formül 4.6 ile hesaplanmıştır.

$$G_E = \frac{3 \cdot P_{\max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4.6)$$

G_E = Eğilme direnci (N/mm²)

P_{\max} = Kırılma anında uygulanan yük (N)

L = Dayanaklar arasındaki uzaklık (mm)

b = Numune en genişliği (mm)

h = Numune kalınlığı (mm)

Yukarıdaki formüller kullanılarak elde edilen verilerin ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri belirlenmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Atık PET İle Üretilen Levhalara Ait Bulgular

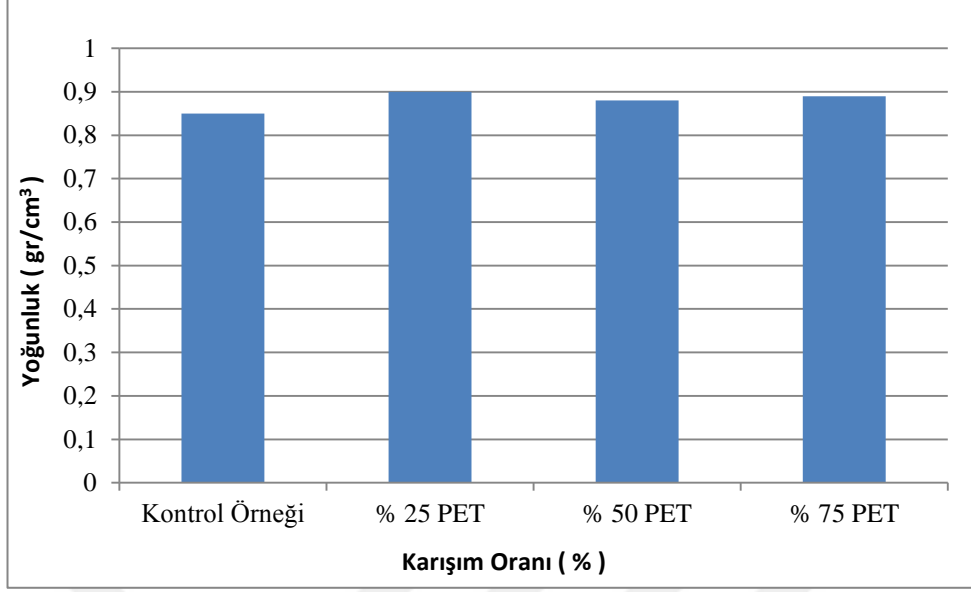
5.1.1. Levhaların yoğunluk değerlerine ait bulgular

Atık pet şişelerden üretilmiş olan levhaların yoğunluk değerlerinin ölçümü için üretilen levhaların farklı bölgelerinden numune örnekleri alınmıştır. 50 x 50 x 11 mm boyutlarındaki numunelere ait ortalama yoğunluk değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Elde edilen verilerin kontrol örneğine yakın veya kontrol örneğinden yüksek olması üretilen levhaların kullanılabilirliği açısından önem arz etmektedir. Kontrol örneğinin yoğunluğu ortalama 0,85 gr/cm³ olarak, % 25 oranında PET katılan levhanın ortalama yoğunluk değeri 0,89 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir ve bu değer HDF üretimi için uygundur. % 50 ve % 75 oranında PET katılan levhalarında yoğunluklarının kontrol levhalarına göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Levhaların yoğunlukları genel olarak ortalama 0,88 gr/cm³’tür. En yüksek yoğunluğa 0,90 gr/cm³ değeri ile % 25 oranında PET katılan levhaların olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.1. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm³)

YOĞUNLUK	Kontrol Örneği	% 25 PET	% 50 PET	% 75 PET
ORTALAMA	0,85	0,90	0,88	0,89
STD. SAPMA	0,03	0,06	0,08	0,02
MAK.	0,87	0,98	0,95	0,92
MİN.	0,81	0,85	0,78	0,86

Atık PET katılan levhalardaki yoğunluk oranlarında sırası ile artış, düşüş ve yeniden artış olmasının sebebinin serme sırasında homojen bir dağılımın sağlanamamasından kaynaklandığı ya da odun liflerinde topaklanmaların meydana gelmiş olma olasılığından kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir. Grafik 5.1’de Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri verilmiştir.



Grafik 5.1. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm³)

Grafik 5.1’de görüldüğü gibi yoğunluk değerlerinde homojen bir dağılım elde edildiği görülmektedir. Değerler incelendiğinde TS EN 323 standardı ile uyumlu olarak 0,8 gr/cm³ yüksek değerler tespit edilmiştir.

5.1.2. Levhaların rutubet değerlerine ait bulgular

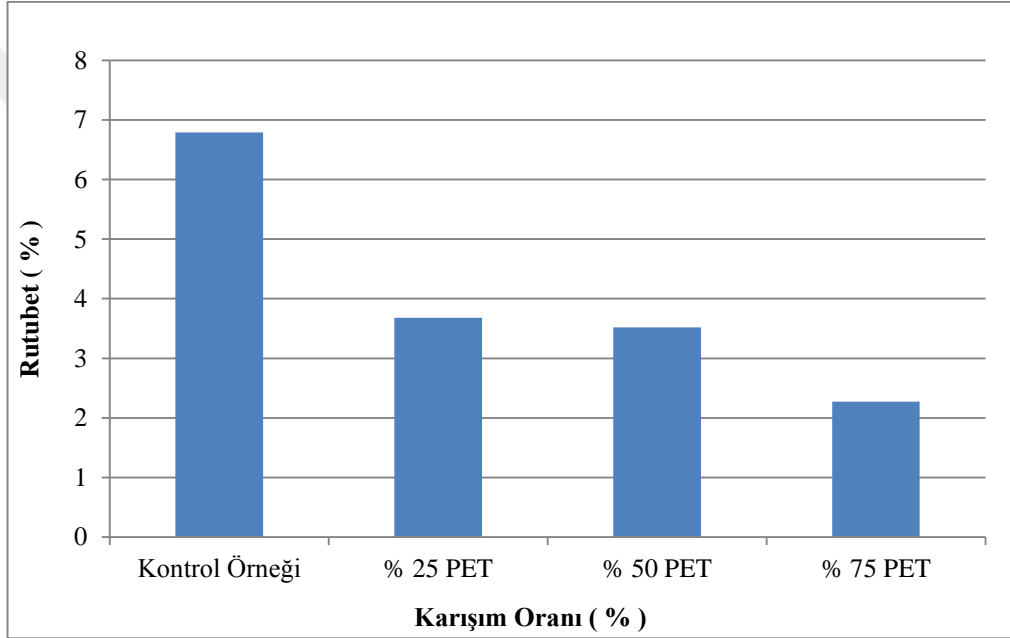
Atık pet şişelerden farklı oranlarda karıştırılarak üretilmiş olan levhaların iklimlendirme odasında (20 ± 2°C sıcaklık ve % 65 ± 5 bağıl nem) bekletildikten sonraki ortalama rutubet değerleri verileri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)

RUTUBET	Kontrol Örneği	% 25 PET	% 50 PET	% 75 PET
ORTALAMA	6,79	3,68	3,52	2,27
STD. SAPMA	5,75	0,16	0,06	0,19
MAK.	14,87	3,87	3,60	2,52
MİN.	2,49	3,46	3,46	2,05

İklimlendirme sonucunda elde edilen Tablo 5.2’deki verilere göre % 100 odun lifinden üretilen levhaların ortalama rutubet değeri % 6,79, % 25 PET katılan levha örneklerinde ortalama rutubet değeri % 3,68, % 50 PET katılan levha örneklerinde

ortalama rutubet değeri % 3,52 ve % 75 PET katılan levha örneklerinde ortalama rutubet değeri % 2,27 olarak bulunmuştur. Farklı oranlarda PET katılan levhaların rutubet değerleri kontrol örneğine göre daha düşük gözlenmiştir. Katılan plastik oranı arttıkça rutubet değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. TS EN 322 standardında belirtildiği gibi kontrol örneği değerleri % 4 – 11 arasında sonuçlara sahiptir. Bu standarda göre % 25 / 50 / 75 oranında PET katılan levhalar % 4 rutubetin altında değerlere sahiptir. Bu değerler levha sektörü için önemli sonuçlara sahiptir. Grafik 5.2’de Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların ortalama rutubet değerleri verilmiştir.



Grafik 5.1. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)

Rutubet değerleri incelendiğinde en fazla rutubetin % 100 odun lifinden üretilen levhalarda olduğu gözlenmiştir. En az rutubet alımının % 75 PET katılan levha örneklerinde olduğu tespit edilmiştir. % 75 PET’ten sonra sırası ile % 50 PET ve % 25 PET gelmektedir. Bu orantısal azalışın plastik malzeme ile odun lifinin iyi bağ yapmasına bağlı olarak rutubet alımının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.1.3. Levhaların su alma değerlerine ait bulgular

Plastik malzeme katılarak üretilen ve su alma özelliklerinde iyileşmelerin olacağı tahmin edilen HDF levhaların 2 saat ve 24 saat olmak üzere su alma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deneyler sonucunda elde edilen farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri Tablo 5.3’de verilmiştir.

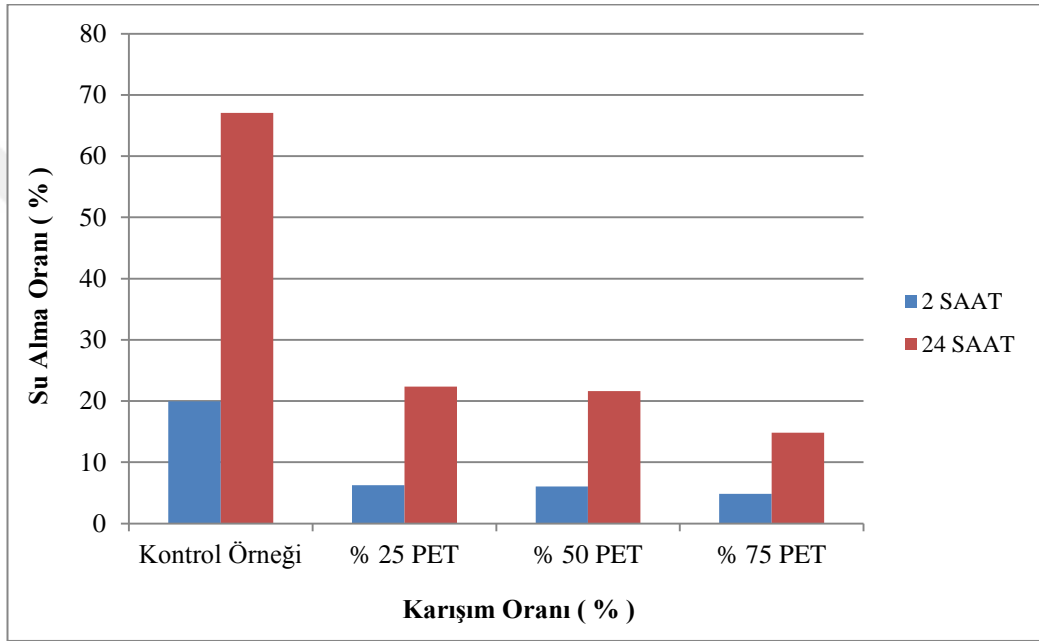
Hesaplamalar sonucunda kontrol örneğinin iki saat suda bekletilmesi sonucunda % 19,97 su aldığı tespit edilmiştir. % 25 oranında PET katılarak elde edilen levha % 6,27, % 50 oranında PET katılarak elde edilen levha % 6,05 ve % 75 oranında PET katılarak elde edilen levha % 4,83 oranında su almıştır. Yirmi dört saat sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde % 25 oranında PET katılarak elde edilen levha % 22,38, % 50 oranında PET katılarak elde edilen levha % 21,60, % 75 oranında PET katılarak elde edilen levha % 14,83 oranında ve kontrol örneği % 67,09 oranında su aldığı görülmektedir. Bu rakamsal değerlerin plastik oranı arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 5.3. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)

	SU ALMA	Kontrol Örneği	% 25 PET	% 50 PET	% 75 PET
2 SAAT	ORTALAMA	19,97	6,27	6,05	4,83
	STD. SAPMA	2,75	1,71	1,19	0,47
	MAK.	23,86	8,65	7,35	5,47
	MİN.	17,83	4,72	4,47	4,45
24 SAAT	ORTALAMA	67,09	22,38	21,60	14,83
	STD. SAPMA	9,42	11,88	3,02	2,18
	MAK.	79,54	36,93	25,70	17,28
	MİN.	56,70	7,82	18,53	11,10

İki saat ve yirmi dört saat ortalama deney verileri arasındaki fark incelendiğinde % 25 oranında PET katılan numuneler % 16,33, % 50 oranında PET katılan numuneler % 15,33, % 75 oranında PET katılan numuneler % 10,00 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler % 47,12 oranında su alma görülmüştür. Bu veriler değerlendirildiğinde en çok kontrol örneğinde su alma olduğu ve en az % 75

oranında PET katılan örneklerde su alma olduğu tespit edilmiştir. TS EN 317 standardına göre HDF’lerde su alma oranının maksimum % 35 olarak belirtilmiştir. Bu orana göre kontrol örneği % 19,97 değeri ile standartlara uygundur. Atık PET katılarak üretilen levhaların su alma değerleri % 35 oranının çok altındadır. Bu sonuçlar sektör açısından çok önemlidir. Kontrol örneği ile plastik malzeme katılan levhalar arasındaki su alma farkının fazlalığı dikkat çekmektedir. Grafik 5.3’te PET içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri verilmiştir.



Grafik 5.3. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)

Su alma verileri incelendiğinde plastik katılan levhaların 2 saat ve 24 saat bekleme sonucunda ulaştıkları değerler arasında çok fark olmamasına rağmen kontrol örneğindeki deney numunelerinde bu fark daha fazladır. Bu sonuçtan yola çıkarak PET maddesinin levha üzerinde su alma özelliğini azalttığı ve levhayı suya karşı daha hidrofobik hale getirdiği gözlemlenmiştir. Bulunan sonuçla uyumlu olarak Karaman vd. (2006), “Geri Dönüştürülmüş Plastik Atıkların Yonga Levha Üretimi İçin İnşaat Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği” adlı çalışmalarında atık pet şişeleri tercih etmişlerdir. 24 saat boyunca su alma deneyini gerçekleştirmişlerdir. % 10 / 20 / 30 / 40 oranlarında PET katarak levha üretimini gerçekleştirmişlerdir. % 10 PET kattıkları levhada % 72, % 20 PET kattıkları levhada % 65, % 30 PET kattıkları levhada % 58 ve % 100 PET kattıkları levhada % 21 değerlerini elde etmişlerdir. Bu

çalışmaya benzer şekilde odun malzemedeki su alma ve nem probleminin plastik malzemeden yararlanılarak çözülebileceğini belirtmişlerdir. Üretilen levha ürünlerinin rutubetli kullanım alanlarında rahatlıkla kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır.

5.1.4. Levhaların kalınlığına şişme değerlerine ait bulgular

Test edilen levhaların kalınlığına şişme değerleri Tablo 5.4’de iki saat ve yirmi dört saat olarak iki grup halinde verilmiştir. Elde edilen verilerin ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri verilmiştir.

İki saatlik sonuçlarda % 25 oranında PET katılan numuneler % 3,99, % 50 oranında PET katılan numuneler % 3,52, % 75 oranında PET katılan numuneler % 1,43 ve % 100 oranında odun lifi katılan numunelerde ise % 7,34 oranında kalınlığına şişme görülmüştür.

Bu veriler değerlendirildiğinde en çok kontrol örneğinde kalınlığına şişme olduğu ve en az % 75 oranında PET katılan örneklerde kalınlığına şişme olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç ile odun lifine katılan plastik malzemenin levhada boyutsal kararlılığı artırdığı söylenebilir.

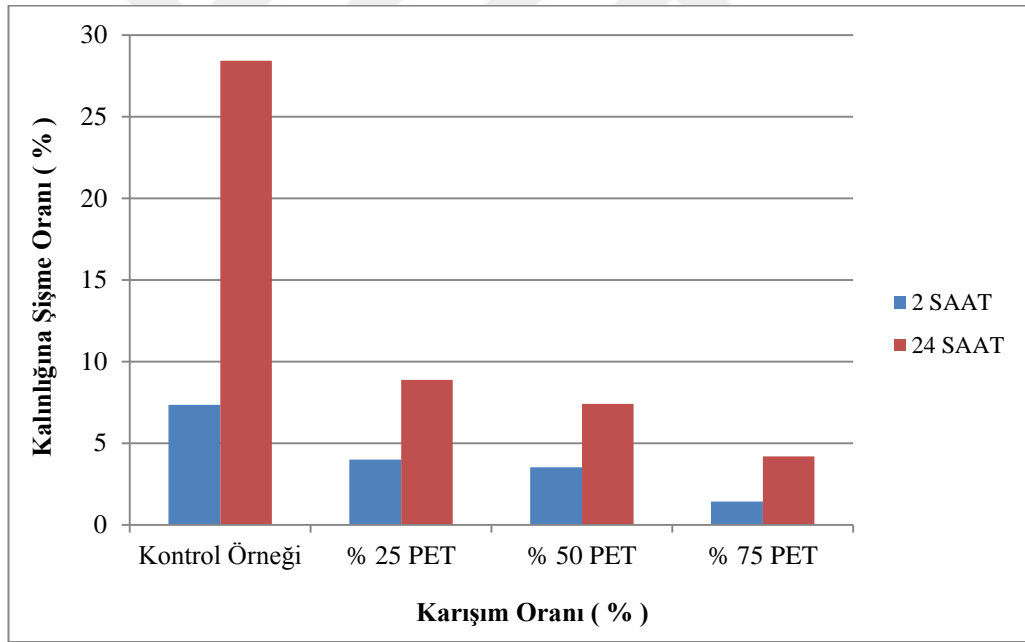
Tablo 5.4. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)

KALINLIĞINA ŞİŞME		Kontrol Örneği	% 25 PET	% 50 PET	% 75 PET
2 SAAT	ORTALAMA	7,34	3,99	3,52	1,43
	STD. SAPMA	1,37	1,31	0,88	0,12
	MAK.	8,44	5,59	4,68	1,55
	MİN.	5,42	2,40	2,54	1,27
24 SAAT	ORTALAMA	28,43	8,90	7,41	4,18
	STD. SAPMA	3,42	0,70	0,39	0,53
	MAK.	33,13	9,78	7,79	4,71
	MİN.	25,07	8,06	6,87	3,46

Yirmi dört saatlik sonuçlar incelendiğinde % 25 oranında PET katılan numuneler % 8,90, % 50 oranında PET katılan numuneler % 7,41, % 75 oranında PET katılan

numuneler % 4,18 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler % 28,43 oranında kalınlığına şişme görülmüştür.

Bu veriler değerlendirildiğinde yine en çok kontrol örneğinde kalınlığına şişme olduğu ve en az % 75 oranında PET katılan örneklerde kalınlığına şişme olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçta odun lifine katılan plastik malzemenin levhada boyutsal stabilizasyonu sağlayabilir. TS EN 317 standardına göre maksimum % 28 şişme değerinin uygunluğu verilmiştir. Kontrol örneğinde de yirmi dört saatlik sonuçlarda bu değere ulaşılmıştır. Atık PET katılarak üretilen levhalarda bu değerin çok altında sonuçlar gözlenmiştir. Bu sonuç boyutsal kararlılık ve sektör açısından çok önemlidir. Grafik 5.4’de Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların ortalama kalınlığına şişme değerlerinin iki ve yirmi dört saat sonucunda elde edilen değerleri verilmiştir.



Grafik 5.4. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)

Grafikte sırası ile orantılı bir azalış tespit edilmiştir. Kontrol levhalarına ait ortalama şişme değerleri daha yüksek bulunmuştur. Atık pet şişe katılan levhaların iki ve yirmi dört saatlik deneyleri sonucunda elde edilen veriler arasındaki fark % 25 PET grubunda 4,91, % 50 PET grubunda 3,89 ve % 75 PET grubunda 2,75 olmasına rağmen kontrol örneklerinde iki ve yirmi dört saatlik deney sonucu arasındaki fark

21,09'dur. Bu sonuç ile levha örneklerinde kalınlığına şişme değerlerinde iyileşme olduğunu tespit edilmiştir.

Karaman vd. (2006), "Geri Dönüştürülmüş Plastik Atıkların Yonga Levha Üretimi İçin İnşaat Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği" adlı çalışmalarında atık pet şişeleri tercih etmişlerdir. 24 saat boyunca kalınlığına şişme deneyini gerçekleştirmişlerdir. % 10 / 20 / 30 / 40 oranlarında PET katarak levha üretimini sağlamışlardır. % 10 PET kattıkları levhada % 9, % 20 PET kattıkları levhada % 8 ve % 30 PET kattıkları levhada % 7,5 değerlerini elde etmişlerdir. Benzer şekilde bizim çalışmamızda % 25 PET katılan levhada % 8,90 değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler levhaların kalınlığına şişme değerlerinde azalma olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak odun malzemedeki kalınlığına şişme probleminin plastik malzemeden yararlanılarak çözülebileceğini ve elde edilen ürünlerin özellikle rutubetin fazla olduğu kullanım alanlarında kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır.

5.1.5. Levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular

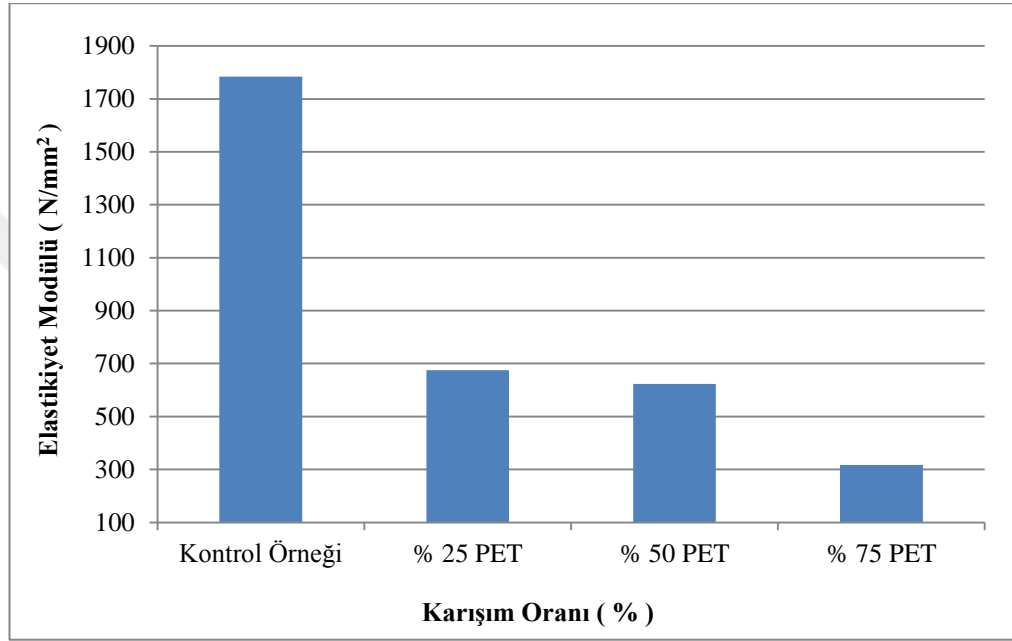
Elastikiyet modülü (EM) malzemelerin yük altında meydana gelen elastik deformasyon değerinin belirlemesini ve test edilen malzemelerin hangi alanda kullanılabilceği hakkında bilgi vermektedir. Bu deneyde her bir grup için beş adet örnek kullanılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin hesaplamaları Microsoft Excel programında yapılarak, ortalama, standart sapma, en yüksek ve en küçük değerleri Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.5. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm^2)

EM	Kontrol Örneği	% 25 PET	% 50 PET	% 75 PET
ORTALAMA	1784,26	675,31	622,92	316,88
STD. SAPMA	624,37	386,34	394,72	291,71
MAK.	2361,44	1231,92	1239,28	856,38
MİN.	614,77	55,53	151,82	32,878

Numunelerin kaldırabilecekleri ortalama yük miktarları % 25'lik grup için 675,31 N/mm², % 50'lik grup için 622,92 N/mm², % 75'lik grup için 316,88 N/mm² ve % 100 odun lifi için 1784,26 N/mm² değerleri elde edilmiştir. En az elastikiyet modülü değerine %75 PET grubunda rastlanmıştır. En yüksek değere ise kontrol örneğinde rastlanmıştır. Grafik 5.5'de PET içeriğine sahip HDF levhaların ortalama elastikiyet modülü değerleri gösterilmektedir.



Grafik 5.5. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm²)

Grafik 5.5'de görüldüğü gibi PET oranı arttıkça elastikiyet modülü değerlerinde azalma gözlenmiştir. En düşük değer % 75 PET katılan levhada tespit edilmiştir. En yüksek değer kontrol levhasında tespit edilmiştir. Kontrol örneğine en yakın değer ise % 25'lik PET grubundan elde edilmiştir. Bu deneyler sonucunda düşük verilerin elde edilmesinin sebebi PET'in 180°C sıcaklıkta eriyememesinden dolayı plastik malzeme ile liflerin yeterli derecede bağ kuramamasından kaynaklanabilir.

Bu sonucun aksine Tayyar ve Üstün (2010), çalışmalarında, PET ve HDPE'nin levhada homojen bir dağılım gösterdiklerini, PET oranı artığında maksimum yük altında zorlanma yüzdesinin düştüğünü tespit etmişlerdir. PET oranı artışının elastikiyet modülünün artmasına da katkı sağladığını vurgulamışlardır.

Çalışmamızda bu sonuca ulaşılmasının sebebi HDF içerisinde kullanılan PET'lerin gerekli kimyasal bağlanmaları sağlayamadığı için oluştuğu söylenebilir.

5.1.6. Levhaların eğilme direnci değerlerine ait bulgular

Eğilme direnci malzemelerin yük altında kaldıklarında ne kadar dayanım göstereceklerini belirlememizi sağlamaktadır. Yük altındaki dayanımlarına göre kullanım alanları da belirlenmektedir. Bu deneyde her bir grup için beş adet örnek kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin hesaplamaları Microsoft Excel programında yapılarak, ortalama, standart sapma, en yüksek ve en küçük değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

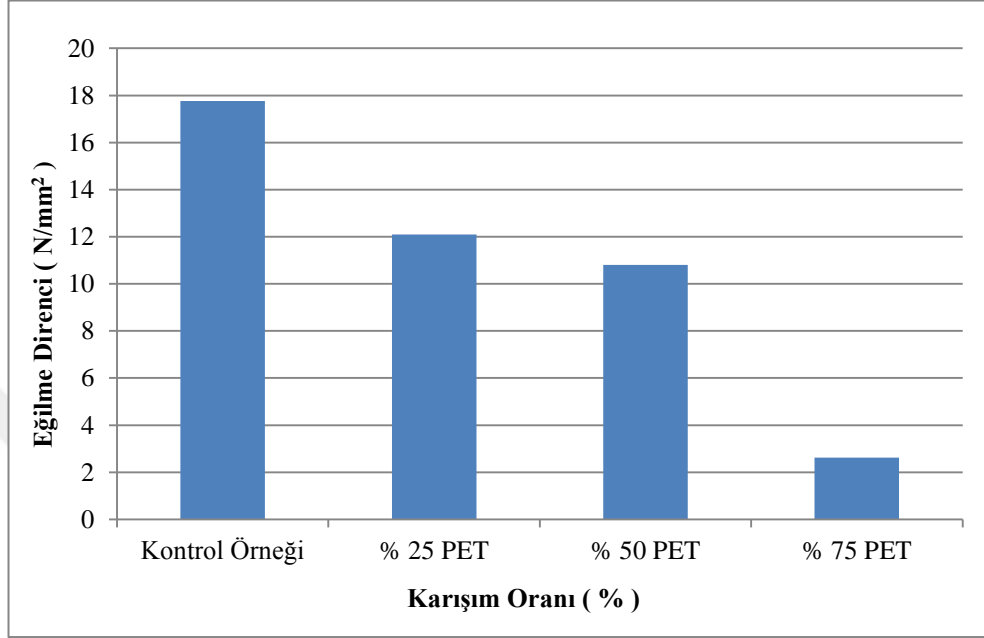
Tablo 5.6. Kontrol ve Farklı oranlarda PET içeriğine sahip HDF levhaların ED değerleri (N/mm²)

Eğilme Direnci	Kontrol Örneği	% 25 PET	% 50 PET	% 75 PET
ORTALAMA	17,76	12,09	10,80	2,62
STD. SAPMA	5,16	2,95	2,42	0,52
MAK.	24,74	16,82	13,79	3,14
MİN.	9,09	7,90	7,71	1,74

Numunelerin eğilme dirençleri % 25 PET katılan grup için ortalama 12,09 N/mm², % 50 PET katılan grup için ortalama 10,80 N/mm², % 75'lik grup için ortalama 2,62 N/mm² ve % 100 odun lifi için ortalama 17,76 N/mm² değerleri elde edilmiştir. En az eğilme direnci değerine 2,62 N/mm² ile % 75 PET grubunda rastlanmıştır. En yüksek değere ise 17,76 N/mm² ile kontrol örneğinde rastlanmıştır. TS EN 310 standardına göre eğilme direnci değeri 40 N/mm² olarak belirlenmiştir. Bulunan sonuçların standardın altında olmasının sebebinin atölye şartlarında kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden kontrol örneği ile karşılaştırma yapılmasının daha sağlıklı sonuç vereceği düşünülmektedir. Bu bakımda % 25 PET içeriğine sahip levhanın kontrol örneğine en yakın değere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Grafik 5.6'da kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların ortalama eğilme direnci değerleri verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde % 75 grubunda en düşük değer ve en yüksek değerin ise kontrol örneğinde elde edildiği gözlenmektedir. Odun lifine katılan plastik oranının artması ile orantılı olarak eğilme direncinde de azalma

olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin polietilentereftalat'ın erime sıcaklığından kaynaklı olarak liflerle bağ kuramaması ve plastik malzemenin kendi ile bağ kurmasından dolayı olduğu söylenebilir.



Grafik 5.6. Kontrol ve PET içeriğine sahip HDF levhaların ED değerleri (N/mm²)

Chaharmahali, Tajvidi ve Najafi (2008), "Atık Lif Levha ve Atık Yonga Levhadan Üretilen Odun Plastik Kompozitin Mekanik Özellikleri" adlı çalışmalarında yüksek yoğunluklu polietilen eriyiğine % 60, % 70 ve % 80 oranlarında MDF ve Yonga levha atıklarını eklemişlerdir. Odun unu ve polimer oranının mekanik özellikleri etkilediğini ve odun unu arttıkça özelliklerde negatif sonuçlara da sebep olduğunu ve bunun uyumsuz bağ yapısından kaynaklanabileceğini vurgulamışlardır. Jayaraman ve Bhattacharyya (2004), çalışmalarında odun lifi olarak monteri çamı ve atık plastik olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) polimerinden yararlanarak OPK üretmişlerdir. Testler sonucunda tüketicilerin OPK'yi rahatlıkla kullanabileceklerini belirtmişlerdir. Üretilen levhanın mekanik özelliklerin yaklaşık % 25 iyileşme kaydetmişlerdir.

Karakuş (2008), çalışmalarının sonucunda uyumsuzluk gidericilerin kompozit levhaların üzerinde eğilme testlerinde olumlu sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ashori (2008), çalışmaları sonucunda lignoselülozik malzemelerin polimer

malzemeler ile iyi bağ yapabilmesi için birleştirici ajan kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Faruk ve Matuana (2008), Polimer olarak Polietileni kullandıkları çalışmanın deneyleri sonucunda kompozit malzemenin eğilme özelliklerinde iyileşmeler olduğunu gözlemlemişlerdir.

Karakuş vd. (2010), çalışmalarında HDPE polimeri ve mısır sapı unu karışımı ile kompozit levha üretmişlerdir ve sonuç olarak, elastikiyet modülünde artmalar gözlemlemişlerdir.

Yukarıda verilen çalışmalar incelendiğinde odun lifinin levhaya katılımının artması ile orantılı olarak mekanik özelliklerde azalma gözlenmesi gerekmektedir. Bizim alışmamızda PET malzemenin erime sıcaklığına bağlı olarak lifler ile sağlam bağ kuramasından dolayı odun lifi katılım oranının artması ile orantılı olarak pozitif sonuçlar tespit edildiği düşünölmektedir.

5.2. Atık PP İle Üretilen Levhalara Ait Bulgular

5.2.1. Levhaların yoğunluk değerlerine ait bulgular

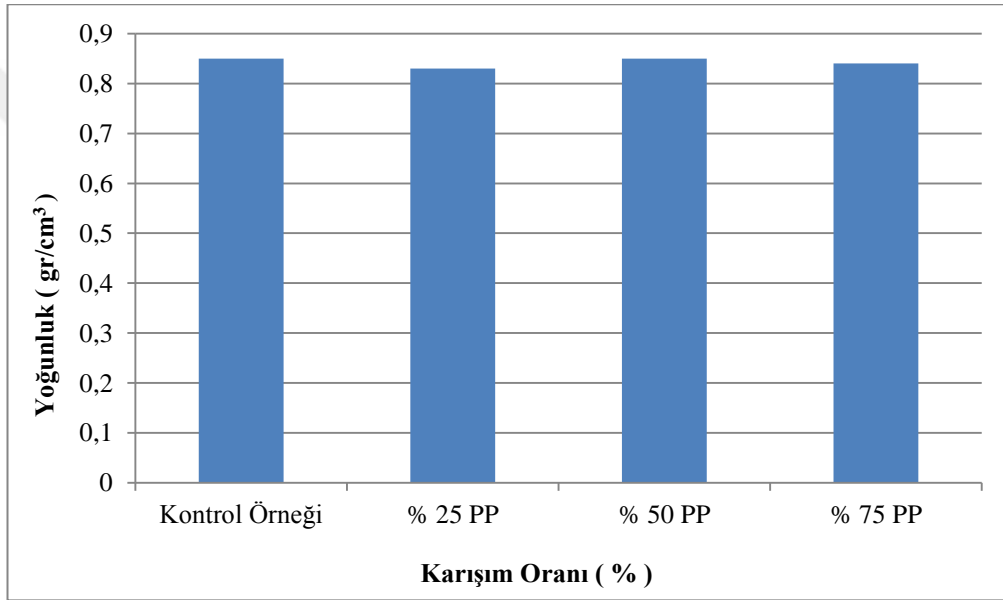
Atık borulardan üretilmiş olan levhaların yoğunluk değerlerinin ölçümü için üretilen levhanın farklı bölgelerinden numune örnekleri alınmıştır. 50 x 50 x 11 mm boyutlarındaki numunelerin hesaplanan yoğunluk verileri Tablo 5.7’de verilmiştir. Elde edilen verilerin kontrol örneğine yakın veya kontrol örneğinden yüksek olması üretilen levhaların kullanılabilirliği açısından önem arz etmektedir.

Kontrol örneğinin yoğunluğu 0,85 gr/cm³’tür. % 25 oranında PP katılan levhanın yoğunluk değerı 0,83 gr/cm³’tür, % 50 oranında PP katılan levhanın yoğunluk değerı 0,85 gr/cm³’tür ve % 75 oranında PP katılan levhanın yoğunluk değerı 0,84 gr/cm³’tür. Levhaların yoğunlukları genel olarak ortalama 0,83 gr/cm³’tür.

Tablo 5.7. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm^3)

YOĞUNLUK	Kontrol Örneği	% 25 PP	% 50 PP	% 75 PP
ORTALAMA	0,85	0,83	0,85	0,84
STD. SAPMA	0,03	0,30	0,08	0,04
MAK.	0,87	0,86	0,92	0,89
MİN.	0,81	0,80	0,77	0,80

Grafik 5.7’de Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri verilmiştir.



Grafik 5.7. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm^3)

Grafik 5.7’de görüldüğü gibi yoğunluk değerlerinde homojen bir dağılım elde edildiği görülmektedir. Değerler incelendiğinde TS EN 323 standardı ile uyumlu olarak $0,8 gr/cm^3$ yüksek değerler tespit edilmiştir.

5.2.2. Levhaların rutubet değerlerine ait bulgular

Atık borulardan farklı oranlarda karıştırılarak üretilmiş olan levhaların iklimlendirme odasında ($20 \pm 2^\circ C$ sıcaklık ve 65 ± 5 bağıl nem) bekletildikten sonraki rutubet verilerinin ortalama, standart sapma, en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 5.8’de verilmiştir. % 25 oranında PP katılan levhanın rutubet değeri % 4,47, % 50 oranında

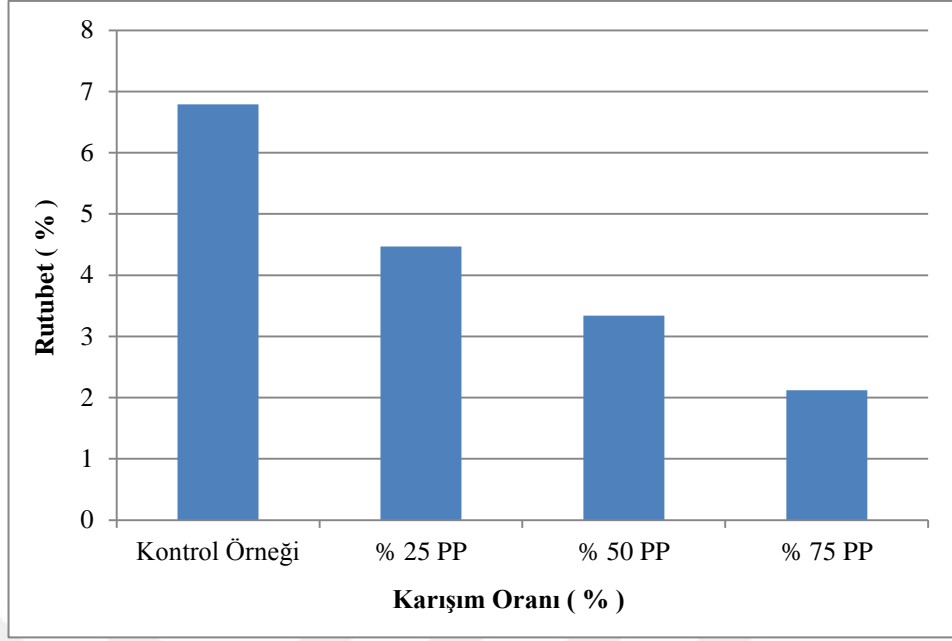
PP katılan levhanın rutubet değeri % 3,34, % 75 oranında PP katılan levhanın rutubet değeri % 2,12 ve kontrol levhasındaki rutubet değeri % 6,79 olarak tespit edilmiştir.

İklimlendirme sonucunda elde edilen bu verilere göre % 25 oranında PP katılan levhaların kontrol örneğine daha yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Katılan plastik oranı arttıkça rutubet değerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5.8. *Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)*

RUTUBET	Kontrol Örneği	% 25 PP	% 50 PP	% 75 PP
ORTALAMA	6,79	4,47	3,34	2,12
STD. SAPMA	5,72	0,07	0,11	0,10
MAK.	14,87	4,56	3,49	2,21
MİN.	2,49	4,40	3,21	1,98

Grafik 5.8’de PP içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri verilmiştir. Verilen değerler incelendiğinde kontrol örneğinden sonra en fazla rutubetin % 25 oranında plastik katılan levhanın olduğu ve bu sırayı % 50 ve % 75 oranında plastik katılan levhaların takip ettiği tespit edilmiştir. Bu orantısal azalışın sebebi; PP’in 180°C’den düşük sıcaklıklarda erimesi odun lifi ile olan bağını artırmaktadır. Bu durumda suyun bağlanabilecek olduğu OH grubu sayısı azalmıştır. Böylece PP oranı arttıkça rutubet değerlerinde de azalmalar görülmüştür. TS EN 322 standardında belirtildiği gibi kontrol örneği ve % 25 oranında PP içeriğine sahip levhaların ve Kontrol levhalarının ortalama değerleri % 4 – 11 arasında sonuçlara sahiptir.



Grafik 5.8. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)

Grafik 5.8’de görüldüğü gibi levhalara katılan PP oranının artmasına bağlı olarak rutubet değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin odun lifi ile PP malzemenin iyi bağ yapmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. % 50 PP ve % 75 PP katılan levhalardaki değerler TS EN 322 standardının altındadır. Bu sonuç sektör için önem arz etmektedir.

5.2.3. Levhaların su alma değerlerine ait bulgular

Plastik malzeme katılarak üretilen ve su alma özelliklerinde iyileşmelerin olacağı tahmin edilen levhaların 2 saat ve 24 saat olmak üzere su alma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin hesaplanması sonucunda elde edilen ortalama, standart sapma, en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 5.9’da verilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda kontrol örneğinin iki saat suda bekletilmesi sonucunda % 19,97 su aldığı tespit edilmiştir. % 25 oranında PP katılarak elde edilen levha % 6,61, % 50 oranında PP katılarak elde edilen levha % 6,25 ve % 75 oranında PP katılarak elde edilen levha % 5,58 oranında su alımı gözlemlenmiştir.

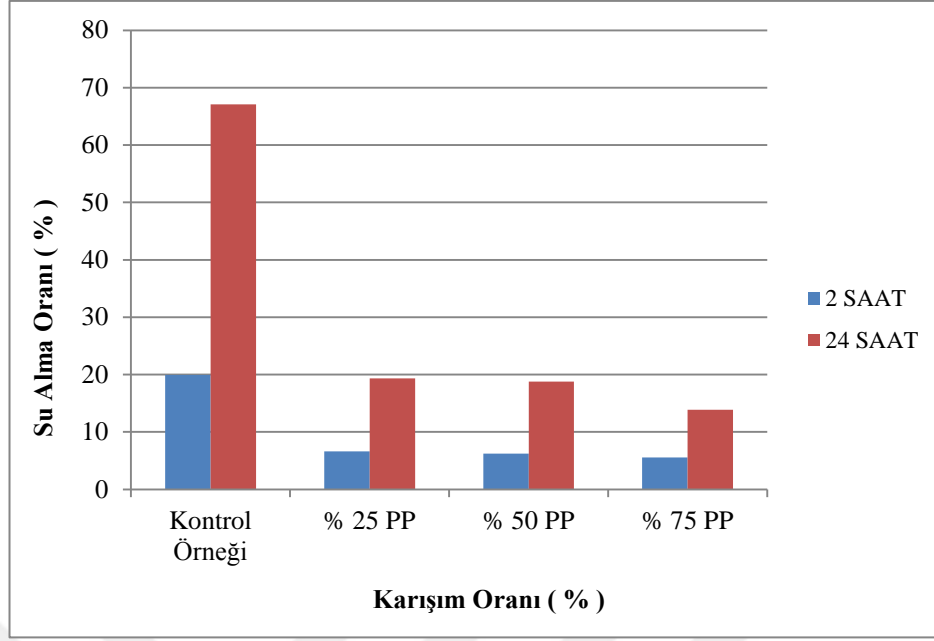
Yirmi dört saat sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde % 25 oranında PP katılarak elde edilen levha % 19,32, % 50 oranında PP katılarak elde edilen levha % 18,76, % 75 oranında PP katılarak elde edilen levha % 13,89 oranında ve kontrol örneği % 67,09 oranında su aldığı görülmektedir. Bu rakamsal değerlerin plastik oranı arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir.

Tablo 5.9. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)

	SU ALMA	Kontrol Örneği	% 25 PP	% 50 PP	% 75 PP
2 SAAT	ORTALAMA	19,97	6,61	6,25	5,58
	STD. SAPMA	2,75	2,13	2,06	2,01
	MAK.	23,86	9,62	8,72	8,14
	MİN.	17,83	5,013	3,67	3,23
24 SAAT	ORTALAMA	67,09	19,32	18,76	13,89
	STD. SAPMA	9,42	4,33	2,72	2,14
	MAK.	79,54	24,44	20,90	16,54
	MİN.	56,70	15,24	14,92	11,30

İki saat ve yirmi dört saat ortalama deney verileri arasındaki fark incelendiğinde % 25 oranında PP katılan numuneler % 12,71, % 50 oranında PP katılan numuneler % 12,51, % 75 oranında PP katılan numuneler % 8,31 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler % 47,12 oranında su alma görülmüştür. Bu veriler değerlendirildiğinde en çok kontrol örneğinde su alma olduğu ve en az % 75 oranında PP katılan örneklerde su alma olduğu tespit edilmiştir.

Kontrol örneği ile plastik malzeme katılan levhalar arasındaki su alma farkının fazlalığı plastik malzemenin tercih edilmesi açısından ve levhalarda boyutsal kararlılığın sağlanması bakımından önemlidir. Grafik 5.9'da PP içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri verilmiştir.



Grafik 5.9. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)

Verilen değerler incelendiğinde plastik katılan levhaların 2 saat ve 24 saat bekleme sonucunda ulaştıkları değerler arasında çok fark olmamasına rağmen kontrol örneğindeki deney numunelerinde bu farkın daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak PP maddesinin levha üzerinde su alma özelliğini azalttığı ve levhayı daha kaliteli hale getirdiği gözlemlenmiştir.

TS EN 317 standardına göre HDF'lerde su alma oranının maksimum % 35 olarak belirtilmiştir. % 25 PP, % 50 PP ve % 75 PP katılan levhalarda standardın çok altında değerler tespit edilmiştir. Bu değerler levhaların boyutsal kararlılığı açısından ve sektörün ilerlemesi açısından önemlidir.

Bulunan sonuçlarla uyumlu olarak Ayrılmış ve Kaymakçı (2013), "Termoplastik Kompozitlerde Takviye Dolgu Maddesi Olarak Hızlı Gelişen Biyokütle: Palvonya Odunu" adlı çalışmalarında % 67, % 57, % 47 ve % 37 oranlarında polipropilen (PP), % 3 oranında maleik anhidrit uyum sağlayıcısı ve odun lifi kullanmışlardır. Yaptıkları bu karışımlardan elde ettikleri levhaların test sonuçlarında boyutsal stabilite değerlerinde olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir.

Ayrılmış ve Büyüksarı (2010), “Lignoselülozik/Polipropilen Kompozitin Zeytinyağı Fabrikası Çamuru ile Üretiminin Kullanımı” adlı çalışmalarında % 57 oranında PP, % 3 oranında maleik anhidrit ve % 30 / 20 / 10 oranlarında lignoselülozik malzeme kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda su alma değerlerinde olumlu sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrılmış ve Jarusombuti (2010), % 57, % 47 ve % 37 oranlarında polipropilen, % 3 oranında maleik anhidrit ve % 40, % 50 ve % 60 oranlarında odun lifi kullanmışlardır. Kompozit malzemedeki artan polimer içeriğine bağlı olarak su alma özelliğinin azaldığını belirtmişlerdir.

5.2.4. Levhaların kalınlığına şişme değerlerine ait bulgular

Test edilen levhaların kalınlığına şişme değerleri ile ilgili olarak ortalama, standart sapma, en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 5.10’da iki saat ve yirmi dört saat olarak iki grup halinde verilmiştir.

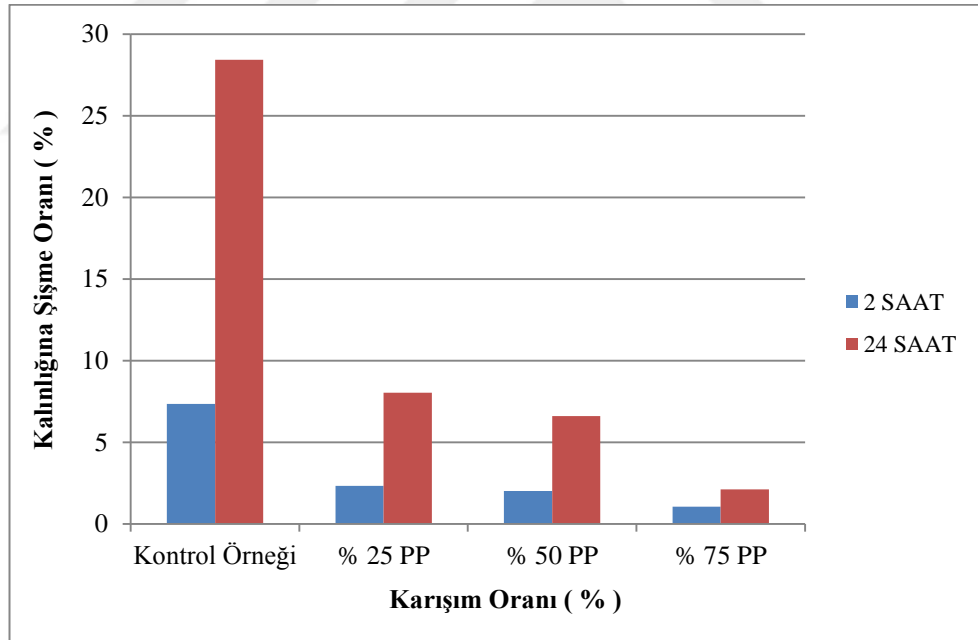
İki saatlik sonuçlarda % 25 oranında PP katılan numuneler % 2,33, % 50 oranında PP katılan numuneler % 2,02, % 75 oranında PP katılan numuneler % 1,05 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler % 7,34 oranında kalınlığına şişme gözlemlenmiştir. Bu veriler değerlendirildiğinde en çok kontrol örneğinde kalınlığına şişme olduğu ve en az % 75 oranında PP katılan örneklerde kalınlığına şişme olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç ile odun lifine katılan plastik malzemenin levhada boyutsal kararlılığı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.10. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)

KALINLIĞINA ŞİŞME		Kontrol Örneği	% 25 PP	% 50 PP	% 75 PP
2 SAAT	ORTALAMA	7,34	2,33	2,02	1,05
	STD. SAPMA	1,37	0,15	0,39	0,44
	MAK.	8,44	2,54	2,42	1,68
	MİN.	5,42	2,19	1,49	0,69
24 SAAT	ORTALAMA	28,43	8,03	6,60	2,10
	STD. SAPMA	3,42	0,71	0,98	0,38
	MAK.	33,13	8,96	7,56	2,45
	MİN.	25,07	7,24	5,26	1,58

Yirmi dört saatlik sonuçlar incelendiğinde % 25 oranında PP katılan numuneler % 8,03, % 50 oranında PP katılan numuneler % 6,60, % 75 oranında PP katılan numuneler % 2,10 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler % 28,43 oranında kalınlığına şişme görülmüştür. Bu veriler değerlendirildiğinde yine en çok kontrol örneğinde kalınlığına şişme olduğu ve en az % 75 oranında PP katılan örneklerde kalınlığına şişme olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçta odun lifine katılan plastik malzemenin levhada boyutsal kararlılığı sağlayabileceği tespit edilmiştir.

TS EN 317 standardına göre maksimum % 28 şişme değerin olması gerektiği belirtilmiştir. Kontrol levhasında iki saatlik deney sonucu bu değerin çok altındadır. Yirmi dört saat deney sonucunda da % 28 değeri gözlemlenmiştir. % 25, % 50 ve % 75 PET katılan levhalarda bu değerin çok altında % 2 ile 9 arasında sonuçlar gözlemlenmiştir. Grafik 5.10'da PP'den üretilen levhaların ortalama kalınlığına şişme değerlerinin iki ve yirmi dört saat sonucunda elde edilen verileri verilmiştir.



Grafik 5.10. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)

Grafikte sırası ile orantılı bir azalış olduğu görülmesine rağmen kontrol örneği değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Atık boru katılan levhaların iki ve yirmi dört saatlik deneyleri sonucunda elde edilen veriler arasındaki fark sırasıyla % 25 PP grubunda % 5,70, % 50 PP grubunda % 4,58 ve % 75 PP grubunda % 1,05 olmasına

rağmen kontrol örneklerinde iki ve yirmi dört saatlik deney sonucu arasındaki fark % 21,09'tür. Bu sonuç ile levha örneklerinde kalınlığına şişme değerlerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde de bu sonuçlarla uyumlu çalışmalar mevcuttur. Akbaş vd. (2013), % 30, % 40 ve % 50 oranlarında findikkabuğu ve % 100, % 70, % 60 ve % 50 oranında PP olmak üzere farklı oranlarda üretimi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları kalınlığına şişme testi sonucunda findikkabuğu katılım oranının fazla olduğu örneklerde kalınlığına şişme ve su alma özelliklerinde artış olduğunu ve % 30 oranında lif bulunan örneklerde en iyi değerleri elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Ayrılmış ve Büyüksarı (2010), "Lignoselülozik/Polipropilen Kompozitin Zeytinyağı Fabrikası Çamuru ile Üretimini Kullanımı" adlı çalışmalarında % 57 oranında PP, % 3 oranında maleik anhidrit ve % 30 / 20 / 10 oranlarında lignoselülozik malzeme kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kalınlığına şişme değerlerinde olumlu sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrılmış ve Jarusombuti (2010), "Odun Esaslı Konvansiyonel Panellere Alternatif Olarak Düz-Preslenmiş Odun Plastik Kompozit" adlı çalışmalarında % 40, % 50 ve % 60 oranlarında odun lifi, % 57, % 47 ve % 37 oranlarında PP ve % 3 oranında MA kullanmışlardır. Levhalardaki artan polimer içeriği ile kalınlığına şişme değerlerinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ayrılmış ve Kaymakçı (2013), "Termoplastik Kompozitlerde Takviye Dolgu Maddesi Olarak Hızlı Gelişen Biyokütle: Palvonya Odunu" adlı çalışmalarında OPK üretiminde; % 30, % 40 ve % 50 oranlarında PP, % 3 oranında MA uyum sağlayıcısı ve odun lifi olarak da Palvonya odunu kullanmışlardır. Yaptıkları bu karışımlardan elde ettikleri levhaların test sonuçlarında, kalınlığına şişme değerlerinde azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

5.2.5. Levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular

Bu deneyde her bir grup için beş adet örnek kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin hesaplamaları Microsoft Excel programında

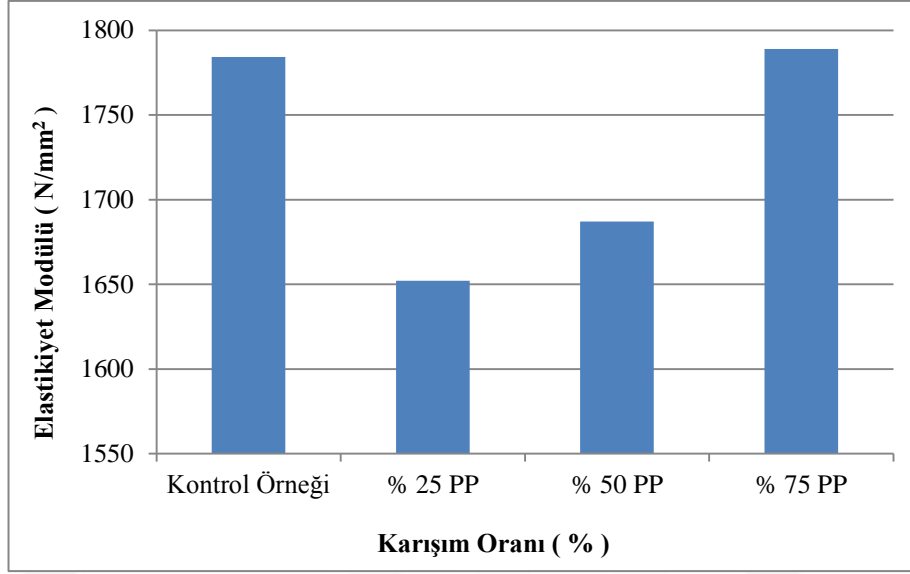
yapılarak, ortalama, standart sapma, en yüksek ve en küçük değerleri Tablo 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.11. *Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm²)*

EM	Kontrol Örneği	% 25 PP	% 50 PP	% 75 PP
ORTALAMA	1784,26	1652,21	1687,02	1789,06
STD. SAPMA	624,37	74,46	300,51	354,87
MAK.	2361,44	1754,05	1987,53	2187,71
MİN.	614,77	1578,11	1386,51	1237,30

Numunelerin kaldırabilecekleri ortalama yük miktarları % 25 PP katılan grup için 1652,21 N/mm², % 50 PP katılan grup için 1687,02 N/mm², % 75 PP katılan grup için 1789,06 N/mm² ve % 100 odun lifi için 1784,26 N/mm² değerleri elde edilmiştir. En az elastikiyet modülü değerine % 25 PP katılan grubunda rastlanmıştır. En yüksek değere ise kontrol örneğinde rastlanmıştır. Kontrol örneğine en yakın değer % 75 PP katılan grupta rastlanmıştır.

Grafik 5.11’de Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların ortalama elastikiyet modülü değerleri gösterilmektedir. En düşük değer % 25 PP katılan grupta gözlemlenmiştir. Kontrol örneğine en yüksek değer ise % 75 PP katılan gruptan elde edilmiştir. Bu deneyler sonucunda düşük verilerin elde edilmesinin sebebi PP’in homojen bir şekilde dağılamamasından ve kendi içinde bağ kurarak gruplaşmasından kaynaklanabilir.



Grafik 5.11. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm²)

Bu durumu destekleyen literatür çalışmaları incelendiğinde Ayrılmış, Kaymakçı ve Özdemir (2013), plastik olarak polipropilen ve odun lifi olarak ceviz kabuğu unu kullanılarak % 40, % 50 ve % 60 plastik oranları ve % 3 MAPP (maleik anhidrit Polipropilen) ile ürettikleri levhanın eğilme özelliklerinde benzer sonuçlar elde ettikleri tespit edilmiştir.

5.2.6. Levhaların eğilme direnci değerlerine ait bulgular

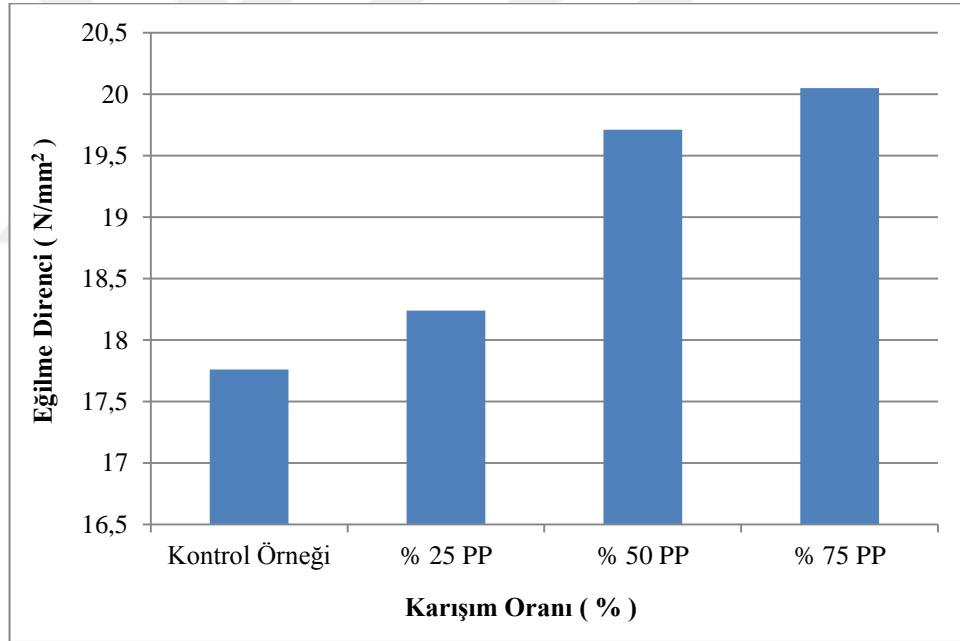
Bu deneyde levhaların eğilme direncinin belirlenmesinde her bir grup için birbirinin aynısı beş adet numune test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin hesaplamaları Microsoft Excel programında yapılarak, ortalama, standart sapma, en yüksek ve en küçük değerleri Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.12. Kontrol ve Farklı oranlarda PP içeriğine sahip HDF levhaların Eğilme direnci değerleri (N/mm²)

Eğilme Direnci	Kontrol Örneği	% 25 PP	% 50 PP	% 75 PP
ORTALAMA	17,76	18,24	19,71	20,05
STD. SAPMA	5,16	3,52	3,01	2,62
MAK.	24,74	21,96	23,93	23,11
MİN.	9,09	13,48	17,23	16,72

Numunelerin eğilme dirençleri % 25 PP katılan grup için ortalama 18,24 N/mm², % 50 PP katılan grup için ortalama 19,71 N/mm², % 75 PP katılan grup için ortalama 20,05 N/mm² ve % 100 odun lifi için ortalama 17,76 N/mm² değerleri elde edilmiştir. En az eğilme direnci değerine kontrol örneğinde rastlanmıştır. En yüksek değere ise % 75 PP grubunda rastlanmıştır.

TS EN 310 standardına göre eğilme direnci değeri 40 N/mm² olarak belirlenmiştir. Bu değere göre tüm gruplar düşük değerlere sahiptir. Bunun sebebinin atölye ortamında kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Kontrol örneğine bağlı olarak yapılan yorumların daha sağlıklı sonuçlara götüreceği düşünülmektedir. Grafik 5.12'deki Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların ortalama eğilme direnci değerleri verilmiştir.



Grafik 5.12. Kontrol ve PP içeriğine sahip HDF levhaların ED değerleri (N/mm²)

Grafik 5.12'deki PP içeriğine sahip HDF levhaların ortalama eğilme direnci değerleri incelendiğinde kontrol örneğinden sonra % 25 PP katılan grubunda en düşük değer elde edildiği ve en yüksek değer % 75 PP katılan grubunda elde edildiği gözlenmektedir. Odun lifine katılan plastik oranının artması ile orantılı olarak eğilme direncinde de artma olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin polipropilen'in erime

sıcaklığından kaynaklı olarak liflerle bağ kurması ve plastik malzemenin kendi ile bağ kurmasının polietilentereftalat'a oranla daha az olmasından kaynaklanabilir.

Cademartori vd., (2015), yaptıkları çalışmada PP karışımı ürünlerin fiziksel ve mekanik testlerinde olumlu sonuçlar elde ettiklerinde belirtmişlerdir. Muehl, Krzysik ve Chow (2004), yaptıkları çalışma ile yukarıda belirtilen verilerle uyuşan sonuçlara ulaşmışlardır. Yaptıkları mekanik testler sonucunda PP ile yapılan levhaların mekanik özellikleri PET ile yapılan levhalardan daha iyi değerlere sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Faruk ve Matuana (2008), polipropilen (PP) matrisleri ile bağlama maddesi olarak yapıştırırmayı artırmak için MAPP kimyasalını kullanmışlardır. Deneyler sonucunda kompozit malzemenin eğilme özelliklerinde iyileşmeler olduğunu gözlemlemişlerdir. Sanadi vd., (2001), çalışmalarında % 60 – 85 kenaf –PP (maleatlanmış) kullanmışlardır. Ürettikleri levhaların eğilme direnci özelliklerinde artış olduğunu belirtmişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalara ek olarak Ayrılmış, Kwon ve Han (2014), takviye malzemesi olarak Aramid kumaşı, lignoselülozik madde olarak % 50 oranında pirinç kabuğu unu ve odun unu, polimer olarak % 47 oranında polipropilen (PP) ve uyum sağlayıcı olarak % 3 oranında maleik anhidrit kullanmışlardır. PP kullandıkları örneklerin mekanik özelliklerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrılmış ve Kaymakçı (2013), “Termoplastik Kompozitlerde Takviye Dolgu Maddesi Olarak Hızlı Gelişen Biyokütle: Palvonya Odunu” adlı çalışmalarında polipropilen karışımı ile elde ettikleri levhaların özelliklerinde iyileşmeler kaydetmişlerdir.

5.3. Atık PS İle Üretilen Levhalara Ait Bulgular

5.3.1. Levhaların yoğunluk değerlerine ait bulgular

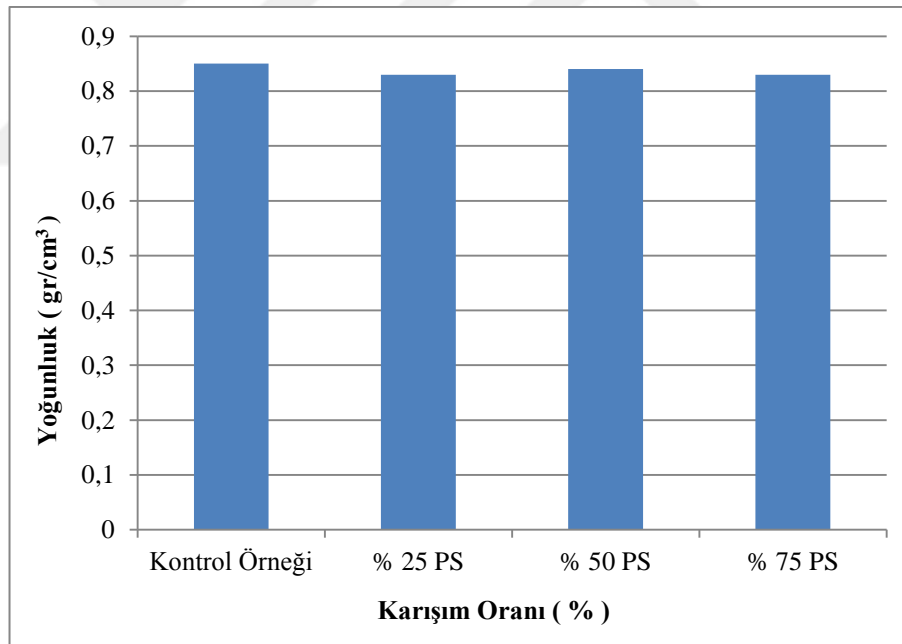
Atık köpüklerden üretilmiş olan levhaların yoğunluk değerlerinin ölçümü için üretilen levhanın farklı bölgelerinden numune örnekleri alınmıştır. 50 x 50 x 11 mm boyutlarındaki numunelerin hesaplanan yoğunluk verileri Tablo 5.13'de verilmiştir. Elde edilen verilerin kontrol örneğine yakın veya kontrol örneğinden yüksek olması üretilen levhaların kullanılabilirliği açısından önemlidir. Kontrol örneğinin yoğunluğu 0,85 gr/cm³'tür. % 25 oranında PS katılan levhanın yoğunluk değeri 0,83

gr/cm³'tür, % 50 oranında PS katılan levhanın yoğunluk değeri 0,84 gr/cm³'tür ve % 75 oranında PS katılan levhanın yoğunluk değeri 0,83 gr/cm³'tür. Levhaların yoğunlukları genel olarak ortalama 0,84 gr/cm³'tür.

Tablo 5.13. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm³)

YOĞUNLUK	Kontrol Örneği	% 25 PS	% 50 PS	% 75 PS
ORTALAMA	0,85	0,83	0,84	0,83
STD. SAPMA	0,03	0,01	0,04	0,03
MAK.	0,87	0,83	0,88	0,87
MİN.	0,81	0,82	0,80	0,80

Yukarıda verilen değerlere göre üretilen levhaların birbirlerine yakın yoğunluk değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Grafik 5.13'de PS içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri verilmiştir.



Grafik 5.13. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların yoğunluk değerleri (gr/cm³)

Grafik 5.13'de görüldüğü gibi yoğunluk değerlerinde homojen bir dağılım elde edildiği gözlemlenmektedir. Değerler incelendiğinde TS EN 323 standardı ile uyumlu olarak 0,8 gr/cm³ yüksek değerler tespit edilmiştir.

Yaptığımız çalışma ile bağlantılı olarak Binhussain ve El-Tonsy (2013), çalışmalarında PS ve hurma yaprağı karışımı ile $0,87 \text{ gr/cm}^3$ değerinde ürettikleri levhaların yoğunluk özelliklerinde artış gözlemlemişlerdir. Sert ağaç odununun yoğunluğunun $0,66 \text{ gr/cm}^3$ ve yumuşak ağaç odununun yoğunluğunun $0,47 \text{ gr/cm}^3$ olduğunu belirtmişlerdir. PS karışımı ile üretilen levhaların dış yapılarda kullanılabilir özelliklerde olduğunu belirtmişlerdir.

5.3.2. Levhaların rutubet değerlerine ait bulgular

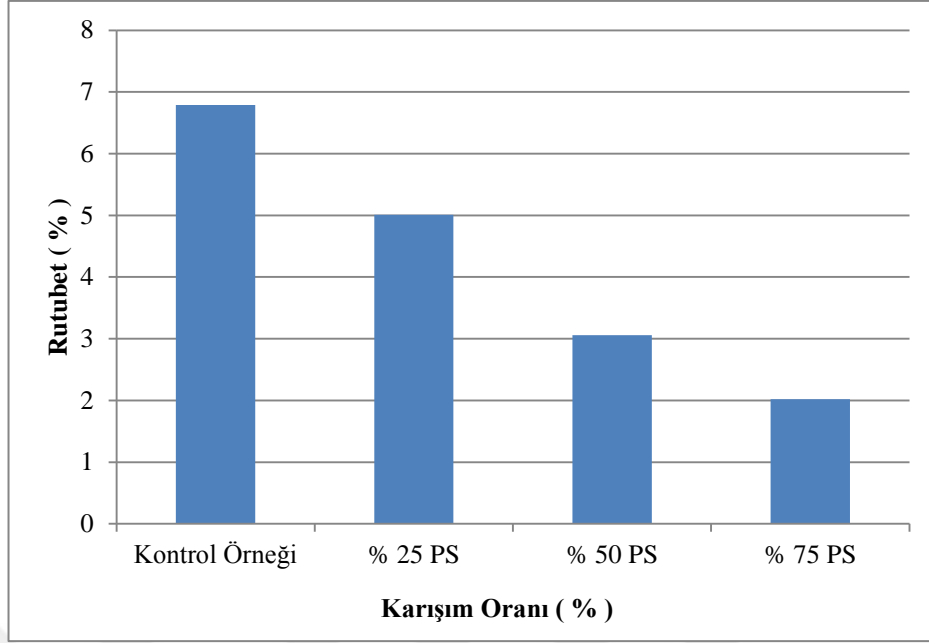
Atık köpüklerden farklı oranlarda karıştırılarak üretilmiş olan levhaların iklimlendirme odasında ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklık ve $\% 65 \pm 5$ bağıl nem) bekletildikten sonraki rutubet verilerinin ortalama, standart sapma, en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 5.14’de verilmiştir. $\% 25$ oranında PS katılan levhanın rutubet değeri $\% 5,01$, $\% 50$ oranında PS katılan levhanın rutubet değeri $\% 3,06$, $\% 75$ oranında PS katılan levhanın rutubet değeri $\% 2,02$ ve kontrol levhasındaki rutubet değeri $\% 6,79$ olarak tespit edilmiştir.

İklimlendirme sonucunda elde edilen bu verilere göre $\% 25$ oranında PS katılan levhaların kontrol örneğine daha yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Katılan plastik oranı arttıkça rutubet değerinde azalma olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.14. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)

RUTUBET	Kontrol Örneği	$\% 25$ PS	$\% 50$ PS	$\% 75$ PS
ORTALAMA	6,79	5,01	3,06	2,02
STD. SAPMA	5,72	10,70	0,29	0,02
MAK.	14,87	18,12	3,47	2,04
MİN.	2,49	8,09	2,84	1,99

Grafik 5.14’de PS içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri verilmiştir. Verilen değerler incelendiğinde $\% 100$ odun lifi örneklerinden sonra en fazla rutubetin $\% 25$ oranında plastik katılan levhanın olduğu ve bu sırayı $\% 50$ ve $\% 75$ oranında plastik katılan levhaların takip ettiği tespit edilmiştir. PS plastik malzemesinin katılımına bağlı olarak orantısal azalışın gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Grafik 5.14. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların rutubet değerleri (%)

TS EN 322 standardında belirtildiği gibi kontrol örneği değerleri ve % 25 PS içeriğine sahip levhaların rutubet değerleri % 4 – 11 arasında sonuçlara sahiptir. % 50 ve % 75 PS içeriğine sahip levhaların rutubet değerlerin standardın altındadır. Bu durum levhaların nem alma oranının azaldığının bir kanıtıdır. Bu sonuç sektör için önemlidir.

5.3.3. Levhaların su alma değerlerine ait bulgular

Plastik malzeme katılarak üretilen ve su alma özelliklerinde iyileşmelerin olacağı tahmin edilen levhaların 2 saat ve 24 saat olmak üzere su alma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin hesaplanması sonucunda elde edilen ortalama, standart sapma, en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 5.15’de verilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda kontrol örneğinin iki saat suda bekletilmesi sonucunda % 19,97 su aldığı tespit edilmiştir. % 25 oranında PS katılarak elde edilen levha % 11,21, % 50 oranında PS katılarak elde edilen levha % 7,53 ve % 75 oranında PS katılarak elde edilen levha ise % 3,74 oranında su almıştır.

Yirmi dört saat sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde % 25 oranında PS katılarak elde edilen levha % 35,33, % 50 oranında PS katılarak elde edilen levha % 21,10, % 75 oranında PS katılarak elde edilen levha % 16,24 oranında ve kontrol örneği % 67,09 oranında su aldığı görülmektedir. Bu değerlerin plastik oranı arttıkça düştüğü gözlemlenmiştir.

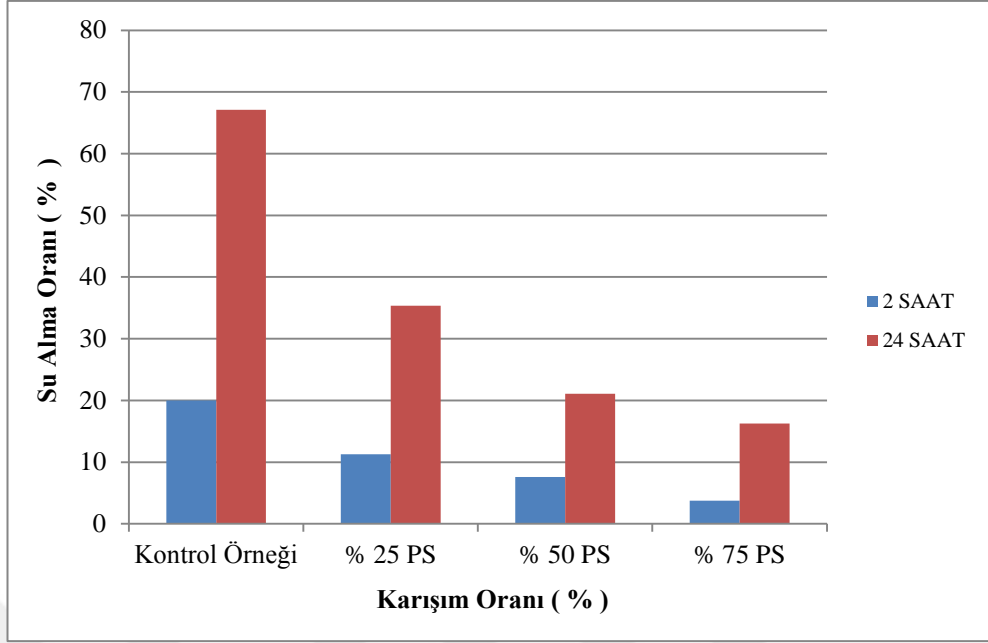
Tablo 5.15. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)

	SU ALMA	Kontrol Örneği	% 25 PS	% 50 PS	% 75 PS
2 SAAT	ORTALAMA	19,97	11,26	7,57	3,74
	STD. SAPMA	2,75	5,97	1,79	1,95
	MAK.	23,86	19,69	9,87	5,28
	MİN.	17,83	6,58	5,50	0,99
24 SAAT	ORTALAMA	67,09	35,33	21,10	16,24
	STD. SAPMA	9,44	9,32	4,65	2,66
	MAK.	79,54	48,51	26,79	19,30
	MİN.	56,70	28,40	15,71	12,82

İki saat ve yirmi dört saat ortalama deney verileri arasındaki fark incelendiğinde % 25 oranında PS katılan numuneler % 24,07, % 50 oranında PS katılan numuneler % 13,53, % 75 oranında PS katılan numuneler % 12,50 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler % 47,12 oranında su alma görülmüştür.

Bu veriler değerlendirildiğinde en çok kontrol örneğinde su alma olduğu ve en az % 75 oranında PS katılan örneklerde su alma olduğu tespit edilmiştir. Kontrol örneği ile plastik malzeme katılan levhalar arasındaki su alma farkının fazlalığı plastik malzemenin tercih edilmesi açısından ve levhalarda boyutsal kararlılığın sağlanması bakımından önemlidir. Grafik 5.15’de PS içeriğine sahip HDF levhaların değerleri su alma değerleri verilmiştir.

TS EN 317 standardına göre HDF’lerde su alma oranının maksimum % 35 olarak belirtilmiştir. Bu değere göre % 25 PS, % 50 PS ve % 75 PS katılan levhaların kullanımının uygun olduğu gözlemlenmiştir.



Grafik 5.15. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların su alma değerleri (%)

Grafikteki değerler incelendiğinde plastik katılan levhaların 2 saat ve 24 saat bekleme sonucunda ulaştıkları değerler arasında çok fark olmamasına rağmen kontrol örneğindeki deney numunelerinde bu farkın daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak PS maddesinin levha üzerinde su alma özelliğini azalttığı gözlemlenmiştir.

Yaptığımız çalışma ile paralel olarak Binhussain ve El-Tonsy (2013), çalışmalarında % 50 oranında PS ve % 50 oranında hurma yaprağı kullanarak ürettikleri levhaların deneylere tabi tutmuşlardır. Deneyler sonucunda levhaların su alma oranını % 9,9 olarak tespit etmişlerdir. Sert ağaç odunundaki su alma oranının % 29,2 ve yumuşak ağaç odunundaki su alma oranının % 42,4 olduğunu belirtmişlerdir.

5.3.4. Levhaların kalınlığına şişme değerlerine ait bulgular

Test edilen levhaların kalınlığına şişme değerleri ile ilgili olarak ortalama, standart sapma, en yüksek ve en düşük değerleri Tablo 5.16'da iki saat ve yirmi dört saat olarak iki grup halinde verilmiştir.

İki saatlik sonuçlarda % 25 oranında PS katılan numuneler % 2,61, % 50 oranında PS katılan numuneler % 2,11 , % 75 oranında PS katılan numuneler % 1,96 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler % 7,34 oranında kalınlığına şişme görülmüştür.

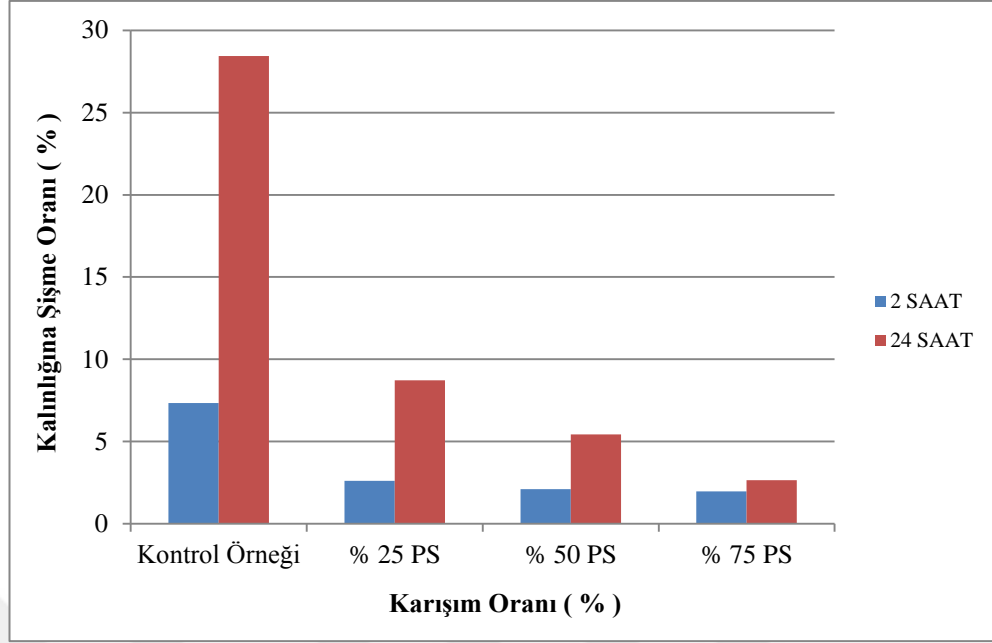
Bu veriler değerlendirildiğinde en çok kontrol örneğinde kalınlığına şişme olduğu ve en az % 75 oranında PS katılan örneklerde kalınlığına şişme olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç ile odun lifine katılan plastik malzemenin levhada boyutsal kararlılığı sağlayabileceği sonucuna götürmektedir.

Tablo 5.16. *Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)*

KALINLIĞINA ŞİŞME		Kontrol Örneği	% 25 PS	% 50 PS	% 75 PS
2 SAAT	ORTALAMA	7,34	2,61	2,11	1,96
	STD. SAPMA	1,37	1,21	1,71	1,07
	MAK.	8,44	4,63	3,08	2,28
	MİN.	5,42	0,28	0,46	1,50
24 SAAT	ORTALAMA	28,43	8,73	5,44	2,65
	STD. SAPMA	3,42	0,97	0,90	0,12
	MAK.	33,13	9,57	6,48	4,08
	MİN.	25,07	7,37	4,29	2,03

Yirmi dört saatlik sonuçlar incelendiğinde % 25 oranında PS katılan numuneler % 8,73, % 50 oranında PS katılan numuneler % 5,44, % 75 oranında PS katılan numuneler % 2,65 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler % 28,43 oranında kalınlığına şişme görülmüştür. Bu veriler değerlendirildiğinde yine en çok kontrol örneğinde kalınlığına şişme olduğu ve en az % 75 oranında PS katılan örneklerde kalınlığına şişme olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçta odun lifine katılan plastik malzemenin levhada boyutsal kararlılığı sağlayabileceği tespit edilmiştir.

TS EN 317 standardına göre maksimum % 28 şişme değerinin uygunluğu verilmiştir. Üretilen tüm grupların standarda uygunluğu gözlemlenmiştir. Grafik 5.16'da PS'den üretilen levhaların ortalama kalınlığına şişme değerlerinin iki ve yirmi dört saat sonucunda elde edilen verileri verilmiştir.



Grafik 5.16. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların kalınlığına şişme değerleri (%)

Grafikte sırası ile orantılı bir azalış olduğu görülmesine rağmen kontrol örneği değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Atık köpük katılan levhaların iki ve yirmi dört saatlik deneyleri sonucunda elde edilen veriler arasındaki fark % 25 PS grubunda 6,12, % 50 PS grubunda 3,33 ve % 75 PS grubunda 0,69 olmasına rağmen kontrol örneklerinde iki ve yirmi dört saatlik deney sonucu arasındaki fark 21,09'dur. Bu sonuç ile levha örneklerinde kalınlığına şişme değerlerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

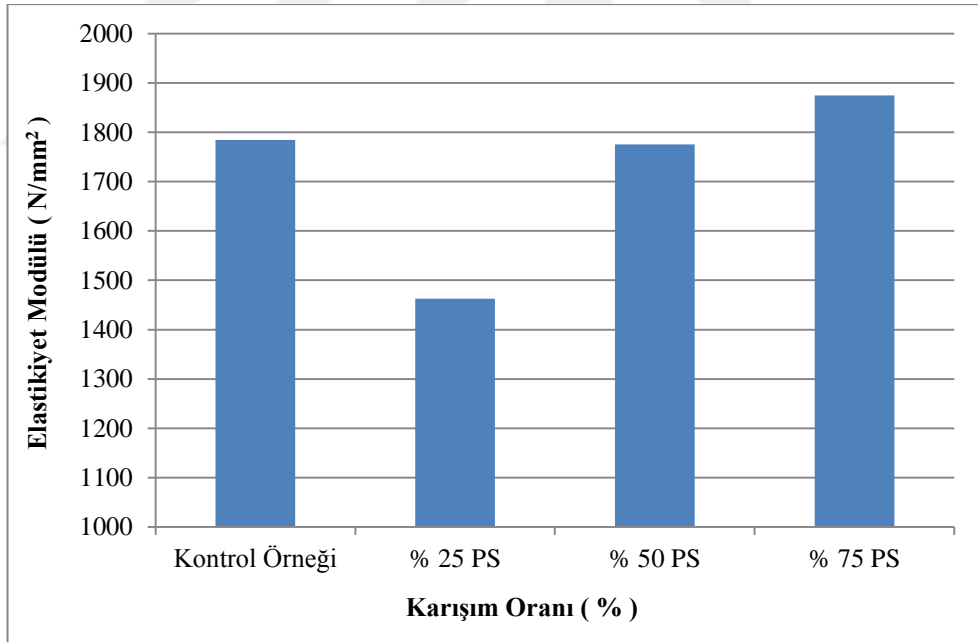
5.3.5. Levhaların elastikiyet modülü değerlerine ait bulgular

Bu deneyde her bir grup için beş adet örnek kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin hesaplamaları Microsoft Excel programında yapılarak, ortalama, standart sapma, en yüksek ve en küçük değerleri Tablo 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.17. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm²)

EM	Kontrol Örneği	% 25 PS	% 50 PS	% 75 PS
ORTALAMA	1784,26	1462,58	1775,04	1874,86
STD. SAPMA	624,37	154,52	155,47	557,15
MAK.	2361,44	1670,96	1968,79	2570,26
MİN.	614,77	1274,77	1582,96	1174,63

Numunelerin kaldırabilecekleri ortalama yük miktarları % 25'lik grup için 1462,58 N/mm², % 50'lik grup için 1775,04 N/mm², % 75'lik grup için 1874,86 N/mm² ve % 100 odun lifi için 1784,26 N/mm² değerleri elde edilmiştir. En az elastikiyet modülü değerine % 25 PS katılan grupta rastlanmıştır. En yüksek değere ise % 75 PS kullanılan numunelerde rastlanmıştır. Kontrol örneğine en yakın değere % 50'lik grupta rastlanmıştır. Grafik 5.17'de Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların ortalama elastikiyet modülü değerleri gösterilmektedir.



Grafik 5.17. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların EM değerleri (N/mm²)

Grafik incelendiğinde plastik malzeme miktarının artması ile orantılı olarak elastikiyet modülü değerlerinde artmalar meydana geldiği gözlemlenmektedir.

5.3.6. Levhaların eğilme direnci değerlerine ait bulgular

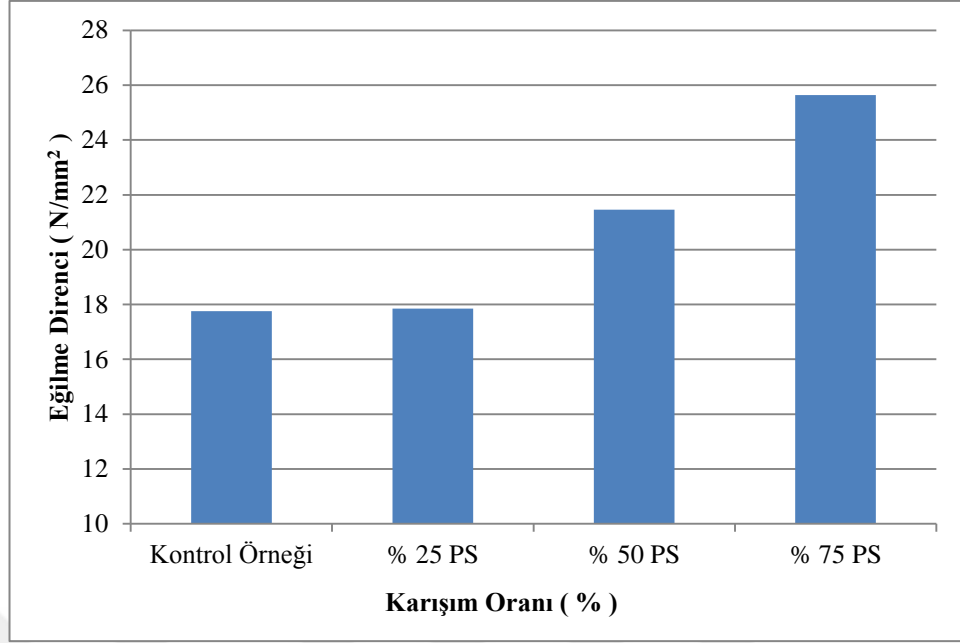
Eğilme direnci (ED) malzemelerin yük altında kaldıklarında ne kadar dayanım göstereceklerini belirlememizi sağlamaktadır. Yük altındaki dayanımlarına göre kullanım alanları da belirlenmektedir. Bu deneyde her bir grup için beş adet örnek kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin hesaplamaları Microsoft Excel programında yapılarak, ortalama, standart sapma, en yüksek ve en küçük değerleri Tablo 5.18’de verilmiştir.

Tablo 5.18. Kontrol ve Farklı oranlarda PS içeriğine sahip HDF levhaların Eğilme direnci değerleri (N/mm²)

Eğilme Direnci	Kontrol Örneği	% 25 PS	% 50 PS	% 75 PS
ORTALAMA	17,76	17,85	21,46	25,64
STD. SAPMA	5,16	1,10	1,07	4,99
MAK.	24,74	18,92	23,13	33,15
MİN.	9,09	16,16	19,96	20,37

Numunelerin eğilme dirençleri % 25’lik grup için ortalama 17,78 N/mm², % 50’lik grup için ortalama 21,46 N/mm², % 75’lik grup için ortalama 25,64 N/mm² ve % 100 odun lifi için ortalama 17,76 N/mm² değerleri elde edilmiştir. En az eğilme direnci değerine kontrol örneğinde rastlanmıştır. En yüksek değer ise % 75 PS grubunda elde edilmiştir. Kontrol örneğine en yakın grup % 25 PS katılan gruptur.

TS EN 310 standardına göre eğilme direnci değeri 40 N/mm² olarak belirlenmiştir. Standarda göre tüm grupların eğilme direnci değerleri düşüktür. Bunun sebebinin üretimin ve deneylerin yapıldığı ortamdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bakımdan test sonuçlarının kontrol örneğine göre değerlendirilmesinin daha sağlıklı sonuçlara götüreceği düşünülmektedir. Grafik 5.18’de Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların ortalama eğilme direnci değerleri verilmiştir.



Grafik 5.18. Kontrol ve PS içeriğine sahip HDF levhaların ED değerleri (N/mm²)

Grafikte verilen değerler incelendiğinde % 75 PS kullanılan grupta en yüksek değer elde edildiği ve en düşük değer % 25 PS kullanılan gruptan elde edildiği gözlenmektedir. Odun lifine katılan plastik oranının artması ile orantılı olarak eğilme direncinde de artma olduğu gözlenmiştir.

Literatür incelendiğinde Nematı vd. (2013), Odun lifi ve geri kazanımı gerçekleştirilen Polistiren (PS) birleştirilerek nanokil yapıda bir kompozit malzeme üretmişlerdir. İncelemeler sonucunda kompozit ürünün mekanik özelliklerinde matrislerin yani PS polimerinin olumlu yönde değişimler gerçekleştirdiğini ve kalitesinde önemli artışlar sağladığı neticesine varmışlardır.

Binhusain ve El-Tonsy (2013), polistiren (PS) karışımı, polikarbon (PC) karışımı ve Polivinil klorür (PVC) karışım kombinasyonlarını geliştirmişlerdir. Atık plastik ve hurma yaprakları hammadde olarak her ikisini de % 50 oranında kullanmışlardır. Sonuç olarak, levhanın mekanik özelliklerinde iyileşme kaydettiklerini ve dış yapılarda kullanılabilir özelliklere sahip levhalar olduğunu belirtmişlerdir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada hammadde olarak PET, PP, PS ve odun lifi kullanılmıştır. Atık plastikler tasnif edilmiş, öğütülmüş ve elenmişlerdir. Standart boyutlara getirilen atık plastikler ile % 25 plastik % 75 odun lifi, % 50 plastik % 50 odun lifi ve % 75 plastik % 25 odun lifi olmak üzere üçer grup örnek üretilmiştir. % 100 odun lifi ile üretilen levhalar kontrol örneği olarak kullanılmıştır. Odun lifleri üretim sırasında maleik anhidrit ile muamele edilmiştir. Elde edilen levhalar fiziksel ve mekanik testler için uygun boyutlara getirilmişlerdir. Levhaların standartlara uygunluğunu belirlemek için yoğunluk özellikleri TS EN 323'e göre, rutubet özellikleri TS EN 322'ye göre, su alma özellikleri ve kalınlığına şişme özellikleri TS EN 317'ye göre, elastikiyet modülü ve eğilme direnci özellikleri TS EN 310'a göre tespit edilmiştir. Yapılan bütün çalışmaların bulguları "BULGULAR VE TARTIŞMA" kısmında literatürde belirtilen önceden yapılmış çalışma ve araştırmalarla desteklenmiştir.

Odun lifine katılan plastiklerin yoğunluk sonuçları değerlendirildiğinde PET grubunda % 25 PET kullanılan levhalarda en yüksek sonuç elde edilmiştir. PP grubunda % 50 PP grupta en yüksek sonuç elde edilmiştir. PS grubunda ise % 50 PS grupta en yüksek sonuç elde edilmiştir. Bu üç gruptan en yüksek yoğunluğa PET grubu sahiptir. Daha sonra sırası ile PP ve PS grubu gelmektedir.

Rutubet değerleri karşılaştırıldığında, PET grubundan % 75'lik grup, PP grubundan % 75'lik grup ve PS grubundan % 75'lik grup en az rutubeti alan gruplardır. Bu üç gruptan en düşük rutubet alımı PS grubunda gerçekleşmiştir. Bu grubu sırası ile PP ve PET takip etmektedir.

Su alma değerleri karşılaştırıldığında, iki ve yirmi dört saatlik sonuçlarda PET grubunda iki saatte ve yirmi dört saatte su alımı ile % 75'lik grup en az su alan gruptur. PP grubunda iki saatte ve yirmi dört saatte su alımı ile % 75'lik grup ve PS grubunda iki saatte ve yirmi dört saatte su alımı ile % 75'lik grup en az su alan gruplardır. İki saatlik su alma sonuçlarına göre PS grubunda en az su alımı gerçekleşmiştir. Yirmi dört saatlik sonuçlar karşılaştırıldığında en az su alan PP grubudur.

İki ve yirmi dört saat su alma deneyleri sonucundaki farklar karşılaştırıldığında % 75 oranında PET katılan numuneler % 10,00, % 75 oranında PP katılan numuneler % 8,31, % 75 oranında PS katılan numuneler % 12,50 ve % 100 oranında odun lifi katılan numuneler arasındaki fark % 47,12 tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre iki ve yirmi dört saat arasındaki fark en az olan grup % 75 oranında PP katılan grubudur.

Kalınlığına şişme değerleri karşılaştırıldığında, iki ve yirmi dört saatlik sonuçlarda PET grubunda iki saatte ve yirmi dört saatte kalınlığına şişme ile % 75'lik grup en az değeri olan gruptur. PP grubunda iki saatte ve yirmi dört saatte kalınlığına şişme ile % 75'lik grup ve PS grubunda iki saatte ve yirmi dört saatte kalınlığına şişme ile % 75'lik grup en az kalınlığına şişme gözlemlenen gruplardır. İki saatlik kalınlığına şişme sonuçlarına göre PP grubunda en az kalınlığına şişme gözlemlenmiştir. Yirmi dört saatlik sonuçlar karşılaştırıldığında en az kalınlığına şişme PP grubunda tespit edilmiştir.

İki ve yirmi dört saat kalınlığına şişme deneyleri sonucundaki farklar karşılaştırıldığında % 75 PET grubunda % 2,75, % 75 PP grubunda % 1,05, % 75 PS grubunda % 0,69 ve kontrol örneklerinde fark % 21,08 tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre iki ve yirmi dört saat arasındaki fark en az olan grup PS grubudur.

Elastikiyet modülü değerleri karşılaştırıldığında PET grubunda % 25'lik grup, PP grubunda % 75'lik grup, PS grubunda % 75'lik grup en yüksek değere sahiptir. Bu sonuçlara göre % 75 PS grubunun en yüksek elastikiyet modülü değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Eğilme direnci değerleri karşılaştırıldığında PET grubunda % 25'lik grup, PP grubunda % 75'lik grup, PS grubunda % 75'lik grup en yüksek değere sahiptir. Bu sonuçlara göre % 75 PS grubunun en yüksek eğilme direnci değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tüm bu sonuçlar bağlamında odun lifine farklı oranlarda katılan farklı türdeki atık plastiklerin levha özelliklerinde iyileşmeler sağladığı görülmektedir. Özellikle boyutsal kararlılığı olumlu yönde etkilemesi lif levha endüstrisi için tez kapsamında belirlediğimiz özellikler bazında önemli bir avantaj sağlamıştır. Özellikle zemin

döşemelerinde kullanılan HDF levhaların su alma, kalınlığına şişme ve rutubet alma probleminin atık plastik malzemenin yararlanılarak bir dereceye kadar çözülebileceği gözlemlenmiştir. Bütün örneklerde elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerinde artış gözlenmesine rağmen PET kullanılan levha örneklerinde azalma tespit edilmiştir. Bu sonuçlar literatürde yapılan benzer çalışmalarla da uyuşmaktadır.

Farklı plastik atıkların HDF üretiminde değerlendirilmesi ile yüksek yoğunlukta lif levha üretimi için katkı maddesi olarak alternatif bir hammadde kaynağı oluşturacağı öngörülmektedir. Yüksek yoğunlukta lif levha üretim sistemine hammadde ve üretim maliyetinin azaltılması gibi olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Elde edilen kompozit malzemenin boyutsal kararlılık verilerin olumlu olması atık plastik katkı HDF levhaların uygun tekniklerle üretimleri durumunda yaygın kullanım imkânı bulacağı söylenebilir. Ayrıca plastik atıkların bu şekilde değerlendirilmesi ile çevreye ve ekonomiye fayda sağlaması hedeflenmektedir. Bu sayede ülkemiz lif levha endüstrisi firmalarının uluslararası rekabete büyük avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir.

7. ÖNERİLER

Bu çalışma ve buna bağı olarak yapılacak olan çalışmalar lif levha sektöründe yeni kompozit levhanın kazandırılması ve üretilmesi konusunda önemli fikirler vereceği düşünülmektedir. Çalışmada üretilen levhaların genel olarak fiziksel ve mekanik özellikleri, yoğunluk, rutubet, boyutsal kararlılığı, su alma, kalınlığına şişme, elastikiyet modülü ve eğilme direnci özelliklerinde iyileşmeler kaydedilmiştir. Bu bağlamda lif levhanın ilgili özelliklere göre tercih edilmediği alanlarda kullanılabilir olduğunu gösteren bir çalışmadır. Dolayısı ile bu uygulamaya yönelik ilave çalışmaların yapılması uygundur.

Yoğunluk verilerine göre lif levha sektöründe atık PP, PET ve PS malzemelerin değerlendirilmesi ile olumlu sonuçlar elde edileceği ön görülmektedir. Rutubet alımı açısından başta PS olmak üzere PP ve PET malzemelerin kullanılabilirliği düşünülmektedir. Su alma ve kalınlığına şişme sonuçları değerlendirildiğinde boyutsal kararlılık açısından atık PS kullanımının avantaj sağlayacağı ön görülmektedir. Elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerleri açısından HDF üretiminde PP ve PS atıkları katkı maddesi olarak kullanılabilir. Özellikle su alma ve kalınlığına şişme değerleri açısından % 75 PS yani atık köpük katılarak HDF üretimi gerçekleştirilebilir.

Atık PET'in kullanılabilirliğinin artırılmasını araştırmak amacı ile pres sıcaklığının farklı olduğu denemeler yapılabilir. Pres sıcaklığı dışında odun lifine çalışmada bulunmayan oranlarda örneğin % 10'dan % 50'ye kadar kullanılması durumunda üretilecek levhaların özelliklerinin incelenmesi önerilebilir.

Atık PP'in kullanılabilirliğinin artırılmasını araştırmak amacı ile pres sıcaklığının daha farklı olduğu denemeler yapılabilir. Benzer şekilde çalışmada bulunmayan oranlarda lif katılarak üretilecek levhanın özelliklerinin belirlenmesi yönünde çalışmalar önerilebilir. Ayrıca PS için daha düşük pres sıcaklığı ve farklı karışım oranları kullanılarak üretilecek levhaların özelliklerini belirleyecek çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Acar, H., Salan, T., Altuntaş, E., & Alma, M. H. (2014). Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve atık pirinç saplarından üretilen kompozitlerin bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi. *II. Ulusal Akdeniz orman ve çevre sempozyumu*, 808-818, Isparta.
- Akbaş, S., Güleç, T., Tufan, M., Taşcıoğlu, C., & Peker, H. (2013). Fındık kabuklarının polipropilen esaslı polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 50-56.
- Aksoy, S., & Mutlu, S. (2016). *Plastik sanayiciler federasyonu 2015 sektör izleme raporu*. İstanbul: Pusula Basım.
- Alma, M. H. (1996). Odun artıklarının plastikleştirilmesi ve uygulamaları. *Ekoloji Çevre Dergisi* (20), 26-29.
- Altuntaş, E. (2008). Borlu Polimer - Odun Kompozitleri. Yüksek Lisans Tezi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kahramanmaraş.
- Altuntaş, E., Karaoğul, E., & Alma, M. H. (2014). *Geri dönüşümde kullanılmayan atık plastiklerden odun-plastik kompozit üretimi*. Putech & Composites. <http://www.putech-composites.com/Haber/Geri-Donusumde-Kullanilamayan-AtikPlastiklerden-Odun-Plastik-Kompozit-Uretimi.html>, Erişim tarihi: 14/11/2016.
- Arslan, M. B., Karakuş, B., & Güntekin, E. (2007). Tarımsal atıklardan lif ve yonga levha üretimi. *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 9(12), 54-62.
- Ashori, A. (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bioresource Technology*, 99(11), 4661-4667.
- Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (2009). Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials. *Waste Management*, 29(4), 1291-1295.
- Ayrılmış, N., & Büyüksarı, Ü. (2010). Utilization of olive mill sludge in manufacture of lignocellulosic/polypropylene composite. *Journal of Materials Science*, 45(5), 1336-1342.
- Ayrılmış, N., & Jarusombuti, S. (2010). Flat-pressed wood plastic composite as an alternative to conventional wood-based panels. *Journal of Composite Materials*, 45(1), 103-112.
- Ayrılmış, N., & Kaymakçı, A. (2013). Fast growing biomass as reinforcing filler in thermoplastic composites: Paulownia elongata wood. *Industrial Crops and Products*, 43, 457-464.

- Ayrılmış, N., Kaymakçı, A., & Özdemir, F. (2013). Physical, mechanical, and thermal properties of polypropylene composites filled with walnut shell flour. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(3), 908-914.
- Ayrılmış, N., Kwon, J. H., & Han, T. H. (2014). Improving bending and tensile properties of lignocellulosic filled polypropylene composite panels using aramid fabric. *Fibers and Polymers*, 15(11), 2410-2415.
- Binhussain, M. A., & El-Tonsy, M. M. (2013). Palm leave and plastic waste wood composite for out-door structures. *Construction and Building Materials*, 47, 1431-1435.
- Cademartori, P. H., Missio, A. L., Mattos, B. D., Gatto, D. A., Magalhaes, W. L., & Lima, E. A. (2015). Roughness and color evaluation of wood polymer composites filled by household waste of mate-tea. *Maderas-Cienc Tecnología*, 17(4), 1-19.
- Chaharmahali, M., Tajvidi, M., & Najafi, S. K. (2008). Mechanical properties of wood plastic composite panels made from waste fiberboard and particleboard. *Polymer Composites*, 29(6), 606-610.
- Çökeliler, D. (2010). *Polimer kimyası*. <http://www.baskent.edu.tr/~cokelliler/polimerler.pdf>, Erişim tarihi: 14/11/2016.
- Eroğlu, H., & Usta, M. (2000). *Liflevha üretim teknolojisi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Faruk, O., & Matuana, L. M. (2008). Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for wood-plastic composites. *Composites Science and Technology*, 68(9), 2073-2077.
- Ghasem, J. M. (2013). Economic model assessment of wood - polymer composites production from agricultural wastes. *Annals of Biological Research*, 4(5), 169-174.
- Güller, B. (2001). Odun kompozitleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2), 135-160.
- Hazer, B. (1993). *Polimer teknolojisi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi.
- Huuhilo, T., Martikka, O., Butylina, S., & Karki, T. (2010). Impact of mineral fillers to the moisture resistance of wood-plastic composites. *Baltic Forestry*, 16(1), 126-131.
- İstek, A. (2006). Sert lif levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerine sıcaklık ve basıncın etkisi. *Zonguldak Karadeniz Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8(10), 29-35.

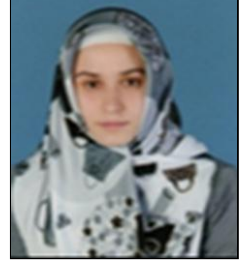
- Jayaraman, K., & Bhattacharyya, D. (2004). Mechanical performance of woodfibre–waste plastic composite materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(4), 307-319.
- Karakuş, K. (2008). Üniversitemizdeki polietilen ve polipropilen atıkların polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kahramanmaraş.
- Karakuş, K., Güleç, T., Kaymakçı, A., & Mengeloğlu, F. (2010). Mısır sapı unlarının dolgu maddesi olarak polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi. *III. Ulusal karadeniz ormancılık kongresi*, 2013-2019, Artvin.
- Karakuş, K., Varlıbaş, H., Mengeloğlu, F., & Karademir, A. (2010). Atık değerlendirmesinde bir seçenek; kağıt - plastik kompozit üretimi. *III. Ulusal karadeniz ormancılık kongresi*, 1852-1858, Artvin.
- Karaman, S., Şahin, S., & Örüng, İ. (2006). Usability of recycled plastic wastes for particle board production as construction material. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(1), 57-60.
- Kavadar, F. (2014). Atıkların Geri Kazanımı. *Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Kaya, F. (2005). Ana hatlarıyla plastikler ve katkı maddeleri. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Kaymakçı, A., & Ayrılmış, N. (2014). Investigation of correlation between brinell hardness and tensile strength of wood plastic composites. *Composites Part B: Engineering*, 58, 582-585.
- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., & Akbulut, T. (2012). Atık alüminyum polietilen (tetrapak) ve pirinç sapı kullanılarak üretilen ahşap polimer kompozitlerin mekanik davranışlarının belirlenmesi. *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 334-344.
- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., & Akbulut, T. (2014). Dış cephe kaplamalarına ekolojik bir yaklaşım: ahşap polimer kompozitler. 7. *Ulusal çatı & cephe sempozyumu*, 3-4 (4), http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum7/8_%20Bildiri_%20kaymakci.pdf, Erişim tarihi:14/11/2016.
- Kaytuoğlu, O., Erdoğan, L., Bayındır, O. G., & Kaya, A. Y. DC gerilim üretici kullanarak yalıtkan ömür hesabı.
- Kılıç, M., & Yüce, A. E. (2014). PVC ve PET atıkların seçimli flotasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, <http://docplayer.biz.tr/9036382-Pvc-ve-pet-atiklarin-secimli-flotasyonu-bolum-1-plastikler-cevresel-etkileri-geri-donugumu.html>, Erişim tarihi: 14/11/2016.

- Klyosov, A. A. (2007). *Wood plastic composites*. Canada: John Wiley & Sons.
- Küçük, C. T. (2012). Avrupa birliği'ne uyum sürecünde plastik ve kauçuk ürünleri sanayii, <http://www.aia-istanbul.org/files/yayinlar/plas.pdf>, Erişim tarihi:14/11/2016.
- Matuana, L. M., Woodhams, R. T., & Balatinecz, J. J. (1998). Influence of interfacial interactions on the properties of PVC/celulosic fiber composites. *Polymer Composites*, 19(4), 446-455.
- MEGEP. (2009). *Kimya Teknolojisi Propilen türevleri ve prosesleri*. Ankara.
- Muehl, J. H., Krzysik, A., & Chow, P. (2004). Composite panels made with biofiber or office wastepaper bonded with thermoplastic and/or thermosetting resin. *United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory*. 294, 1-6.
- Najafi, A., & Eslam, H. K. (2011). Lignocellulosic filler/recycled HDPE composites: effect of filler type on physical and flexural properties. *BioResources*, 6(3), 2411-2424.
- Nemati, M., Khademieslam, H., Talaiepour, M., Ghasemi, I., & Bazayr, B. (2013). Investigation on the mechanical properties of nanocomposite based on wood flour/ recycle polystyrene and nanoclay. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3(3), 688-692.
- Özdemir, F., Tutuş, A., & Bal, B. C. (2013). Yüksek yoğunluklu lif levhanın ısı iletkenliği ve limit oksijen indeksi üzerine yanmayı geciktiricilerin etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(2), 121-126.
- Özmen, N., Çetin, N. S., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., & Altuntaş, E. (2014). MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 15(1), 65-71.
- Rahman, K. S., Islam, M. N., Rahman, M. M., Hannan, M. O., Dunganı, R., & Khalil, H. A. (2013). Flat-pressed wood plastic composites from sawdust and recycled polyethylene terephthalate (PET): physical and mechanical properties. *SpringerPlus*, 2(1), 1-7.
- Saçak, M. (1998). *Polimer kimyasına giriş*. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları.
- Sanadi, A. R., Hunt, J. F., Caulfield, D. F., Kovacsvolgyi, G., & Destree, B. (2001). High fiber-low matrix composites: kenaf fiber/polypropylene. *The sixth international conference on woodfiber-plastic composites*, 121-124.
- Schwarzkopf, M. J., & Burnard, M. D. (2016). Wood-plastic composites performance and environmental impacts. 19-43.

- Tankut, A. N., Bardak, T., Ulunam, M., & Bardak, S. (2011). İleri mühendislik malzemelerinin orman endüstrisinde kullanımı. *Uluslararası Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19), 90-99.
- Tayyar, A. E., & Üstün, S. (2010). Geri kazanılmış pet'in kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 53-62.
- Topçu, M., & Taşgetiren, S. (1994). Plastiklerin yeniden kullanılması. *Çevre Dergisi*, 10, 9-16.
- Tufan, M., & Mengeloğlu, F. (2010). Odun plastik kompozitleri ve ülkemizde odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilir hammadde üzerine genel bir değerlendirme. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 1658-1664, Artvin.
- URL-1. Bolununesi, 11/03/2016 tarihinde <http://www.bolununesi.com/icerik/okuyucudan.asp?id=160> adresinden alınmıştır.
- URL-2. Polymer Chemistry Topology, 11/03/2016 tarihinde <http://faculty.uscupstate.edu/lever/polymer%20resources/Topology.htm> adresinden alınmıştır.
- URL-3. Kauçuk ve Plastik Sektörü, 11/03/2016 tarihinde http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://risk.gtb.gov.tr/data/52c53691487c8eca94a7c66a/Kau%25C3%25A7uk%2520ve%2520Plastik%2520Sekt%25C3%25B6r%25C3%25BC%252013.02.2014.pdf&gws_rd=cr&ei=eQRgWIL_PKGegAaHpbDACw adresinden alınmıştır.
- Uzunoğlu, H. (2014). Çevremizi kirleten atıklar ve atık yönetiminin önemi. *İzmir Ticaret Odası*, 25-31.
- Yıldız, T., & Yıldız, C. (2003). Soma termik santrali uçucu kül ve polipropilen atıklarının yeni bir malzeme üretiminde değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 163-169.
- Zarrabi Ahrabi, A., (2009). Pet atıkları kullanılarak kompozit malzeme üretiminin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Zarrabi Ahrabi, A., Bilici, İ., & Bilgesu, A. Y. (2012). Pet atıkları kullanılarak kompozit malzeme üretiminin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3), 467-471.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuba KÜLÇE
Doğum Yeri ve Yılı : İhsangazi - 1991
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : tuba_ormanendustri@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : 2005 – 2009 Kastamonu Anadolu Kız Meslek Lisesi Bilişim Teknolojileri
Lisans : 2010 – 2014 Kastamonu Üniversitesi / Orman Fakültesi / Orman Endüstrisi Mühendisliği

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Tic. AŞ. (Stajyer) - 2012
İş Yeri : TKS Kontrplak Sanayi (Stajyer) - 2013

Yayınları

Olgun Ç., Ateş S., Akça M., Külçe T., Kabaca Ö., İlhan E., Karaoğlan Z., Kaya M., (2014), “Çeşitli Atık Kağıtların MDF Üretim Sürecinde Hammadde Olarak Değerlendirilmesi”, II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Bildiri Kitabı, 546-553, Isparta.

Proje Deneyimleri

Külçe T., Ateş S., ve Kabaca Ö., (2014), Atık Kültürel Kâğıtların MDF Üretim Sürecinde Hammadde Olarak Kullanım Olanaklarının Araştırılması (TÜBİTAK 2209/2014 / Yürütücü)

Ateş S., Gür M., Olgun Ç., Külçe T., (2015), “Çeşitli Plastik Atıkların HDF Üretim Sürecinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması” (KÜBAP-03/2015-10 / Araştırmacı)