

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ODUNSU MATERYAL KULLANIMININ POLYESTER ESASLI (MERMERİT)  
LEVHALARIN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Orm. End. Müh. Erhan GÖKALP**

**AĞUSTOS 2006  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ODUNSU MATERYAL KULLANIMININ POLYESTER ESASLI (MERMERİT)  
LEVHALARIN BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Orm. End. Müh. Erhan GÖKALP**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Orman Endüstri Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.07.2006  
Tezin Savunma Tarihi : 18.08.2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Gürsel ÇOLAKOĞLU  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hüseyin KIRCI**

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Trabzon 2006**

## ÖNSÖZ

“Odunsu Materyal Kullanımının Polyester Esaslı (Mermerit) Levhaların Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkisi” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Odun Mekaniği ve Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans tez danışmanlığımı üstlenerek, çalışmaların planlanmasında ve yürütülmesinde bilimsel desteğini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında bilgi, tecrübe ve yardımlarından faydalandığım Sayın Hocam Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’ na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yapılan çalışmaya görüş ve önerileriyle katkı sağlayan ve değerli zamanlarını aldığım sayın hocalarım, Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN, Prof. Dr. Sevil Savaşkan YILMAZ, Prof. Dr. Hakkı YAVUZ ve Yrd. Doç. Dr. Fatih MENGELOĞLU’ na ayrıca teşekkür ederim.

Deneme levhalarının üretiminde büyük destekleri olan AKTAŞ FİBERGLAS Sanayi Ticaret LTD. ŞTİ. Sahibi Sayın Sıtkı AKTAŞ’ a ve AKTAŞ FİBERGLAS çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Araştırma boyunca tavsiyelerinden, bilgilerinden, tecrübelerinden yararlandığım ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan dostlarım, Arş. Gör Mustafa ASLAN ve Arş. Gör. Cenk Demirkır’ a çok teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım esnasında yardımlarını gördüğüm Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarının değerli çalışanlarına, akademik ve idari personeline ve emeği geçen herkese teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, emeklerini asla ödeyemeyeceğim sevgili anneme ve rahmetli babama, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ağabeylerime minnet duygularımı ifade etmek isterim.

Erhan GÖKALP

Trabzon, 2005

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	II
İÇİNDEKİLER .....	III
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. GİRİŞ .....	1
1.2. Odun Plastik Kompozitlerinin Tanımı .....	5
1.3. Odun Plastik Kompozitlerinin Tarihi Gelişimi .....	7
1.4. Odun Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılan Hammaddeler .....	8
1.4.1. Ağaç Malzeme .....	8
1.4.2. Plastik Esaslı Ürünler .....	9
1.4.2.1. Plastiklerin Genel Özellikleri .....	9
1.4.2.2. Plastiklerin Isısal Özellikleri .....	10
1.4.2.3. Plastiklerin Kimyasal Özellikleri .....	12
1.4.2.3.1. Termoplastikler .....	14
1.4.2.3.1.1. Polietilenler .....	15
1.4.2.3.1.2. Polipropilenler .....	16
1.4.2.3.1.3. Polivinil Klorürler .....	16
1.4.2.3.1.4. Polistirenler .....	17
1.4.2.3.2. Termosetler .....	18
1.4.2.3.2.1. Polyesterler .....	19
1.4.2.3.2.2. Epoksiler .....	20
1.4.2.3.2.3. Fenolikler .....	20
1.4.3. Katkı Maddeleri .....	21
1.5. OPK Üretim Teknolojisi .....	24

1.5.1.	Hammaddenin Hazırlanması .....	24
1.5.1.1.	Odun Yongası Tipi ve Üretime Etkileri .....	25
1.5.1.2.	Odunların Yongalamaya Hazırlanması .....	28
1.5.1.3.	Yongalama .....	29
1.5.1.4.	Odun Yongalarının Modifikasyona Uğratılması .....	29
1.5.1.5.	Eleme .....	32
1.5.1.6.	Kurutma .....	32
1.5.1.6.1.	Rutubetin OPK Üretimine Etkisi.....	32
1.5.2.	Üretim Metotları .....	33
1.5.2.1.	Birleştirme ve Kalıba Enjekte Metodu ile OPK Üretimi .....	34
1.5.2.2.	Ekstruzyon Metodu ile OPK Üretimi .....	36
1.5.2.2.1.	Tek Vidalı Ekstruder .....	37
1.5.2.2.2.	İkiz Vidalı Ekstruder .....	38
1.5.2.3.	Kalıba Dökme ve Presleme Metodu ile OPK Üretimi .....	42
1.6.	OPK'nin Diğer Levha Ürünleriyle Kıyaslanması .....	44
1.7.	OPK'nin Özellikler ve Kullanım Yerleri .....	51
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	55
2.1.	Materyal .....	55
2.1.1.	Ağaç Malzeme .....	55
2.1.1.1.	Doğu Ladini ( <i>Picea Orientalis</i> ) Odunu Hakkında Genel Bilgiler .....	55
2.1.1.2.	Doğu Kayını ( <i>Fagus orientalis</i> Lipsky) Odunu Hakkında Genel Bilgiler ...	56
2.1.1.3.	Sarıçam ( <i>Pinus silvestris</i> L.) Odunu Hakkında Genel Bilgiler .....	56
2.1.2.	Plastik Malzeme .....	57
2.1.2.1.	Polyester .....	57
2.1.2.2.	Jelkot .....	58
2.1.2.3.	Katkı ve Dolgu Maddeleri .....	59
2.1.2.3.1.	MEKP (Metil Etil Keton Peroksit) .....	59
2.1.2.3.2.	Kobalt .....	60
2.1.2.3.3.	Kalsit .....	60
2.2.	Deneme Levhalarının Üretimi .....	61
2.2.1.	Yongalama .....	61
2.2.2.	Eleme .....	62
2.2.3.	Kurutma .....	62

2.2.4.	Lif Üretimi .....	62
2.2.5.	Kalıbın Hazırlanması .....	63
2.2.6.	Jelkot'un Hazırlanması ve Püskürtülmesi .....	63
2.2.7.	Levha Dökümü .....	64
2.3.	Araştırma Yöntemi .....	66
2.3.1.	Fiziksel Özellikler .....	66
2.3.1.1.	Şekil Bozukluğu .....	66
2.3.1.2.	Birim Hacim Ağırlık .....	66
2.3.1.3.	Su Alma Miktarı .....	67
2.3.1.4.	Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı .....	67
2.3.1.5.	Kaynar Suyu Daldırmaya Karşı Direnç .....	68
2.3.2.	Mekanik Özellikler .....	69
2.3.2.1.	Eğilme Direnci .....	69
2.3.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü .....	70
2.3.2.3.	Vida Tutma Gücü .....	71
2.3.3.	Yüzey Kalitesi Özellikleri .....	72
2.3.3.1.	Kuru Sıcaklığa Karşı Direnç .....	72
2.3.3.2.	Lekelenmeye Karşı Direnç .....	72
2.3.3.3.	Sigara Yanıklarına Karşı Direnç .....	73
2.4.	İstatistik Yöntemler .....	73
3.	BULGULAR .....	75
3.1.	Fiziksel Özellikler .....	75
3.1.1.	Şekil Bozukluğu .....	75
3.1.2.	Birim Hacim Ağırlık .....	75
3.1.3.	Su Alma Miktarı .....	76
3.1.4.	Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı .....	78
3.1.5.	Kaynar Suyu Daldırmaya Karşı Direnç .....	80
3.2.	Mekanik Özellikler .....	80
3.2.1.	Eğilme Direnci .....	80
3.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü .....	81
3.2.3.	Vida Tutma Gücü .....	83
3.3.	Yüzey Kalitesi Özellikleri .....	84
3.3.1.	Kuru Sıcaklığa Karşı Direnç .....	84

3.3.2.	Lekelenmeye Karşı Direnç .....	85
3.3.3.	Sigara Yanıklarına Karşı Direnç .....	86
4.	İRDELEME .....	87
4.1.	Fiziksel Özellikler .....	87
4.1.1.	Şekil Bozukluğu .....	87
4.1.2.	Birim Hacim Ağırlık .....	88
4.1.3.	Su Alma Miktarı .....	90
4.1.4.	Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı .....	91
4.1.5.	Kaynar Suyu Daldırmaya Karşı Direnç .....	93
4.2.	Mekanik Özellikler .....	94
4.2.1.	Eğilme Direnci .....	94
4.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü .....	96
4.2.3.	Vida Tutma Gücü .....	97
4.3.	Yüzey Kalitesi Özellikleri .....	98
4.3.1.	Kuru Sıcaklığa Karşı Direnç .....	98
4.3.2.	Lekelenmeye Karşı Direnç .....	99
4.3.3.	Sigara Yanıklarına Karşı Direnç .....	99
5.	SONUÇLAR .....	101
5.1.	Fiziksel Özellikler .....	101
5.1.1.	Şekil Bozukluğu .....	101
5.1.2.	Birim Hacim Ağırlık .....	101
5.1.3.	Su Alma Miktarı .....	101
5.1.4.	Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı .....	102
5.1.5.	Kaynar Suyu Daldırmaya Karşı Direnç .....	102
5.2.	Mekanik Özellikler .....	102
5.2.1.	Eğilme Direnci .....	102
5.2.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü .....	103
5.2.3.	Vida Tutma Gücü .....	104
5.3.	Yüzey Kalitesi Özellikleri .....	104
5.3.1.	Kuru Sıcaklığa Karşı Direnç .....	104
5.3.2.	Lekelenmeye Karşı Direnç .....	104
5.3.3.	Sigara Yanıklarına Karşı Direnç .....	104

6.	ÖNERİLER .....	105
7.	KAYNAKLAR .....	106
	ÖZGEÇMİŞ .....	116



**ÖZET**

Odun Plastik Kompozitleri (OPK), odun ile plastik malzemenin olumlu özelliklerinin bir araya getirildiği bir üründür. Elde edilen iyi özellikler sayesinde OPK pek çok kullanım alanlarında kullanılabilir. Elde edilen iyi özellikler sayesinde OPK pek çok kullanım alanlarında kullanılabilir.

Bu çalışmada, OPK'nin genel özelliklerinin yanı sıra, saf termoset polyester levha ile odunsu materyal kullanılarak üretilen polyester esaslı levhaların fiziksel, mekanik ve bazı yüzey özellikleri incelenmiştir.

OPK levhalarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde, farklı ele boyutlarındaki odunsu materyalin ve kullanım oranlarının etkili olduğu belirlenmiştir.

OPK levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin, saf polyester levhalara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Fakat OPK'ların fiziksel ve mekanik özellikleri yongalevha, MDF ve OSB gibi kompozit levhalara göre daha yüksektir.

Artan odunsu materyal kullanım oranı; levhaların, birim hacim ağırlık, kalınlık artışı, su alma, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve vida tutma direnci gibi fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak yüzey özellikleri üzerine etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Odun Plastik Kompoziti (OPK), Termoset Plastik, Polyester, Odunsu materyal, Kullanım Oranı, Fiziksel, Mekanik ve Yüzey Özellikleri

## SUMMARY

### **Effect of Wood Materials Use on Some of the Properties Polyester Based Panels**

Wood plastic composite (WPC) is a product combining useful properties both wood and plastic material. By means of obtaining the best properties, WPC can be used in many applications.

In this study, it was investigated physical, mechanical and some surface properties of pure thermoset polyester panels and polyester based panels produced by using wood materials. Also, general properties of WPC were defined.

It was determined that effect of wood materials with different screen size and its proportion of use on physical, mechanical and surface properties.

Physical and mechanical properties of WPC panels were lower than those of pure polyester panels. But they had higher physical and mechanical properties in contrast to wood composite panels such as Particleboard, MDF, and OSB.

It was determined that the increasing proportion of wood materials adversely influenced panel properties such as specific gravity, thickness swelling, water absorption, Modulus of Rapture (MOR), Modulus of Elasticity (MOE) and screw holding power, but the surface properties was not influenced from wood addition ratio.

**Keywords:** Wood Plastic Composite (WPC), Thermoset Plastic, Polyester, Wood material, Proportion of Usage, Properties of Physical, Mechanical and Surface.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Termoplastiklerin yükselen ısıdaki durumları .....	11
Şekil 2. OPK üretiminde kullanılan plastiklerin işlenme sıcaklıkları .....	12
Şekil 3. Polikondenzasyon reaksiyonu .....	13
Şekil 4. Uygunlaştırıcı katkı maddelerinin içyapıda gerçekleştirdiği görev .....	23
Şekil 5. Birleştirici katkı maddelerinin içyapıda gerçekleştirdiği görev .....	23
Şekil 6. Değişik katkı maddelerinin selülozun OH bağları ile reaksiyonu .....	24
Şekil 7. OPK üretiminde kullanılan taneciklerin (pellet) farklı üretim yöntemleri ...	35
Şekil 8. Kalıba enjekte yönteminin şematik gösterimi .....	36
Şekil 9. Kalıp .....	36
Şekil 10. Ekstruder .....	37
Şekil 11. OPK'nin ekstruderden çıkışı .....	37
Şekil 12. Geleneksel ikiz vidalı ekstruderlere ait vida örnekleri .....	39
Şekil 13. Geleneksel ikiz vidalı Ekstruder'in önden ve yandan görünüşü .....	40
Şekil 14. Ekstruder'in şematik görünüşü .....	42
Şekil 15. Elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması .....	45
Şekil 16. Eğilme direnci değerlerinin karşılaştırılması .....	46
Şekil 17. Yüzeye dik çekme direnci değerlerinin karşılaştırılması .....	46
Şekil 18. Young Modülü değerlerinin karşılaştırılması .....	47
Şekil 19. Makaslama direnci değerlerinin karşılaştırılması .....	47
Şekil 20. 24 saat suda bırakılan örneklerin ağırlık artışı değerlerinin karşılaştırılması.	48
Şekil 21. 24 saat suda bırakılan örneklerin kalınlık artışı değerlerinin karşılaştırılması	48
Şekil 22. Isı ile genleşme katsayısı değerlerinin karşılaştırılması .....	49
Şekil 23. Odun lifi oranının eğilme direncine etkisi .....	50
Şekil 24. Odun lifi oranının elastikiyet modülüne etkisi .....	51
Şekil 25. OPK'nin çeşitli kullanım yerleri .....	54
Şekil 26. Deneme levhalarının üretim iş akışı .....	61
Şekil 27. Gelcoat tabakasının püskürtülmesi .....	64
Şekil 28. Karıştırma kazanı .....	65

Şekil 29. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği .....	70
Şekil 30. Vida tutma gücü deney düzeneği ve deney test örneği .....	71
Şekil 31. Üretilen deneme levhalarından kesilen deney örnekleri .....	74
Şekil 32. Odunsu materyal kullanılmadan üretilen polyster (PL) levhada meydana gelen şekil bozukluğu .....	87
Şekil 33. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların birim hacim ağırlık değerleri üzerine etkisi .....	89
Şekil 34. Odun türünün ve kullanım oranının 2 ve 24 saat suda bekletilen levhanın su alma miktarı üzerine etkisi .....	90
Şekil 35. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının 2 ve 24 saat suda bekletilen levhaların kalınlık artışı miktarı üzerine etkisi.....	91
Şekil 36. 2 saat kaynar suya daldırma sonrası kalınlık ve ağırlık artışı değerleri.....	93
Şekil 37. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın eğilme direnci üzerine etkisi.....	94
Şekil 38. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi .....	96
Şekil 39. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın vida tutma gücü üzerine etkisi .....	97
Şekil 40. Kuru sıcaklık uygulanan levha yüzeylerinde meydana gelen bozulma .....	98
Şekil 41. Çeşitli maddelerin levha yüzeylerine uygulanma yöntemi .....	99
Şekil 42. Sigara yanıklarına karşı direnç testi uygulanan levha yüzeylerinde meydana gelen bozulma .....	100

## TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Polietilenin kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri .....	16
Tablo 2. Polipropilenin kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri .....	16
Tablo 3. Polivinil klorürün kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri .....	17
Tablo 4. Polivinil klorürün kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri .....	17
Tablo 5. OPK’de kullanılan katkı maddeleri ve levha üzerindeki fonksiyon ve etkileri .....	22
Tablo 6. PP, PS, YYPE ve DYPE ile üretilen OPK’lerinde odun lifi kullanımının mekanik özellikler üzerine etkisi .....	24
Tablo 7. PP, PS ve YYPE ile üretilen OPK’lerinde odun tozu kullanımının mekanik özellikler üzerine etkisi .....	24
Tablo 8. OPK’nin genel özelliklerinin diğer odun esaslı levhalar ile kıyaslanması	49
Tablo 9. Odun ve plastiğin birbirine göre üstünlükleri .....	52
Tablo 10. Döküm tipi polyeesterlerin fiziksel özellikleri .....	57
Tablo 11. Döküm tipi polyeesterlerin jelleşme karakteristikleri.....	58
Tablo 12. Araştırmada kullanılan döküm tipi polyeesterin mekanik ve kimyasal özellikleri .....	58
Tablo 13. Gelcoat’ın teknik özellikleri.....	59
Tablo 14. MEKP’ye ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler .....	59
Tablo 15. Kobalt’a ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler.....	60
Tablo 16. Kalsit’e ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler .....	60
Tablo 17. Üretilen levha türleri ve levhalarda kullanılan madde ve madde miktarı ...	65
Tablo 18. Deneme levhalarının ortalama birim hacim ağırlık değerleri.....	75
Tablo 19. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levha birim hacim ağırlık değeri üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	76
Tablo 20. Deneme levhalarının birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin Duncan test sonuçları.....	76
Tablo 21. Deneme levhalarının ortalama su alma miktarları.....	77
Tablo 22. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranlarının su alma miktarı üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları .....	77
Tablo 23. Deneme levhalarının su alma miktarlarına ilişkin Duncan test sonuçları...	78
Tablo 24. Deneme levhalarının ortalama kalınlık artışı oranları.....	78

### XIII

Tablo 25. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının kalınlık artışı üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları .....	79
Tablo 26. Deneme levhalarının kalınlık artışına ilişkin Duncan test sonuçları .....	79
Tablo 27. Deneme levhalarının kaynar suya daldırmaya karşı ortalama direnç değerleri .....	80
Tablo 28. Deneme levhalarının ortalama eğilme direnci değerleri .....	80
Tablo 29. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının eğilme direnci üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları .....	81
Tablo 30. Deneme levhalarının eğilme dirençlerine ilişkin Duncan test sonuçları....	81
Tablo 31. Deneme levhalarının ortalama direnç değerleri .....	82
Tablo 32. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	82
Tablo 33. Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin Duncan test sonuçları.....	83
Tablo 34. Deneme levhalarının ortalama vida tutma gücü değerleri.....	83
Tablo 35. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların vida tutma gücüne etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	84
Tablo 36. Deneme levhalarının vida tutma gücüne ilişkin Duncan testi sonuçları.....	84
Tablo 37. Deneme levhalarının yüzeylerinde sıcaklığın etkisiyle meydana gelen değişiklikler.....	85
Tablo 38. Deneme levhalarının lekelenmeye karşı direnç değerleri.....	85
Tablo 39. Deneme levhalarının sigara ateşine dayanıklılık değerleri.....	86
Tablo 40. Aktaş Fiberglas yıllık polyester, kalsit, MEKP, kobalt kullanım miktarları ve üretilen yeni ürünle karşılaştırılması.....	107

**SEMBOLLER DİZİNİ**

<b>DSC:</b>	Dinamik kalorimetre tarayıcı
<b>DYPE:</b>	Düşük Yoğunluklu Polietilen
<b>FTIR:</b>	İnfrared spektroskop
<b>MEKP:</b>	Metil Etil Keton Peroksit
<b>OPK:</b>	Odun Plastik Kompoziti
<b>PE:</b>	Polietilen
<b>PL:</b>	Polyester Levha
<b>POLL5:</b>	Polyester + %5 Odun Lifi Levha
<b>POLL10:</b>	Polyester + %10 Odun Lifi Levha
<b>POTL10:</b>	Polyester + %10 Odun Tozu Levha
<b>POTL15:</b>	Polyester + %15 Odun Tozu Levha
<b>POYL10:</b>	Polyester + %10 Odun Yongası Levha
<b>POYL15:</b>	Polyester + %15 Odun Yongası Levha
<b>PP:</b>	Polipropilen
<b>PS:</b>	Polistiren
<b>PVC:</b>	Polivinil klorür
<b>Tm:</b>	Ergime sıcaklığı
<b>Tg:</b>	Camsı hale geçiş sıcaklığı
<b>YYPE:</b>	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Doğal kaynakların kullanımı genel olarak hammaddenin çok veya az bulunuşuna göre biçimlendirilmektedir. Bu kaynakların azalmasına bağlı olarak rasyonel ve ekonomik kullanma yöntemleri geliştirilerek hammaddelerden en iyi şekilde yararlanma yoluna gidilmiştir.

Ormandan çok yönlü yararlanmanın gerçekleştiği günümüzde, yalnız odundan on binlerce farklı ürün elde edilmektedir. Bu kadar geniş kullanım yeri bulabilen odunun değeri, tüketimi ve dünya nüfus artışına bağlı olarak orman varlığının çeşitli sebeplerle azalması göz önüne alındığında sürekli artmaktadır. Bu nedenle, odunun en ekonomik ve rasyonel şekilde değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir [1].

Sorunun çözümü üzerine gerçekleştirilen yoğun çalışmalar sonucu, odunun biyokütle olarak daha verimli kullanımına imkân veren çeşitli yöntemler belirlenmiştir. Bu çabaların sonucunda yongalevha, MDF, LVL, OSB gibi kompozit levhalar üretilmiştir.

Odun hammaddesi, çok çeşitli alanlarda kullanılabilmesinin yanında, yenilenebilen organik, doğal bir hammaddedir. Anatomik yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimi odunu çok farklı kullanım yerlerinde cazip hale getirmektedir [2]. Teknolojik bakımdan eşdeğer diğer malzemelere oranla üstün özelliklere sahip olan ağaç malzemenin, istenilmeyen bazı sakıncalı özellikleri bulunmaktadır [3]. Bu sakıncaların en önemlisi içinde bulunduğu ortamın sıcaklık ve bağıl nem şartlarına bağlı olarak bünyesine su alıp vermesi sonucu boyutlarını üç yönde farklı oranda değiştirmesi (çalışması) nedeniyle boyutsal kararlılığa sahip olmayışıdır [4]. Ağaç malzemenin çalışmasını engellemek için pek çok çalışma yapılmıştır. Örneğin; kullanım yerine uygun ağaç türü seçimi, bazı konstrüksiyonların uygulanması, stabilizasyon sağlayıcı maddeler ile muamele edilmesi (parafin, polietilen glikol, stiren, metilmetakrilat vb.), kontrplak, kontrtabla, yongalevha ve liflevha gibi kompozit malzemelerin üretilmesi, diğer amaçlar yanında çalışmayı da azaltma çabalarına dayanmaktadır.



Plastik hammaddesi ve katkı maddeleri, günümüzde gerek miktar gerekse çeşitlilik bakımından büyük gelişme göstermektedir. Hafif, kolay işlenebilir, korozyona karşı dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlık özelliğine sahip polimerler; makine, uçak, elektrikli ev aletleri, orman ürünleri sanayi, inşaat sanayi gibi hemen hemen bütün sanayi dallarında gün geçtikçe daha çok kullanılmaya başlanılmışlardır [5].

1990 yılında 86 milyon ton olan dünya plastik malzeme tüketimi, 2003 yılında 176 milyon ton'a çıkmıştır. 2003 yılında kişi başına plastik tüketiminde dünya ortalaması 28 kg olarak gerçekleşmiş olup, bu değer 2010 yılında 37 kg'a çıkması tahmin edilmektedir. Tüketicinin ise 2010 yılında 250 milyon tona çıkması tahmin edilmektedir.

Türkiye 2004 yılında 3 milyon tona yaklaşan plastik malzeme tüketimi ile Avrupa ülkeleri içinde İspanya'dan sonra altıncı sıradaki yerini korumuştur. Türkiye'nin coğrafi konum olarak Avrupa ile Asya'nın bulunduğu noktada yer alması, plastik endüstrisinin ihracatını giderek arttırmasında büyük avantaj sağlamaktadır. Türk plastik sanayi, sorunlarının çözümüne yönelik tedbirlerin alınması halinde sahip olduğu avantajları ile rekabet gücü yüksek önemli bir bölgesel oyuncu niteliğine dönüşme fırsatına sahiptir [6].

İki veya daha fazla hammaddenin üstün özelliklerini tek bir üründe toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşan malzemeler kompozit malzeme olarak adlandırılmaktadır. Kompozitler çok fazlı malzemelerdir. Yapıyı oluşturan bileşenler kimyasal olarak farklı olup fazları birbirinden ayıran, belirgin bir ara yüzeye sahiptirler [7].

Kompozit malzemelerin genellikle dört ana koşula sahip olmaları gerekmektedir. Bunlar;

- İnsan yapısı olması dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzeyler ile ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemelerin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin her birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması amacıyla üretilmiş olması [8].

Kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden bir veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır [9]. Bu özelliklerden başlıcaları;

- Mekanik dayanım (basınç, çekme, eğilme ve çarpma dayanımı),
- Yorulma dayanımı ve aşınma direnci,
- Korozyon direnci,

- Yüksek kırılma direnci,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısı direnç,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç,
- Akustik özellikler,
- Sertlik,
- Ağırlık,
- Güzel görünüm'dür.

Araştırmalar; plastiklerin maliyetini düşürmek ya da termoplastik tipi ürünlerin sertlik ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla ucuz dolgu malzemesi olarak odunsu metaryelin plastik ürünlerde kullanılabilmesini göstermiştir. Bu araştırmaların sonucu, düşük değerlikli odun kaynaklarını yüksek değerlikli ürünlere dönüştürmek amacıyla termoplastik ya da termoset reçineler ile birleştirilerek odun plastik kompozitlerinin (OPK) üretilebileceği anlaşılmıştır. OPK üretiminde genel olarak %10 - %80 oranında odun hammaddesi kullanılmaktadır. Buda OPK üretiminde kullanılmakta olan plastik oranının ve maliyetin azaltılmasını sağlamaktadır.

1980'lerin sonlarına doğru araştırmacı ve endüstriyel şirketler odun ile termoplastik hammaddelerin arasındaki bağı geliştirecek, yüksek dolgu ve katkı maddelerini araştırmaya başlamışlardır. Bu durum üretim prosesi ve formülasyonları yüksek teknolojiye odun plastik kompozitlerinin gelişimine olanak sağlamıştır.

Plastik teknolojisindeki gelişmeler, odun hammaddesinin geri dönüşümden elde edilen plastikler ile pahalı olmayacak şekilde kullanılmasına imkân vermiştir. Atık plastiklere şişe, PVC doğrama ve döşemeler gibi sıklıkla karşılaşılan ürünler örnek verilebilir. Odun hammaddesi ve bu atıkların karıştırılması ile de elde edilebilen OPK'leri döşeme tahtası, kalıp ve parmaklıklarda, hatta tren yollarında bile kullanılabilir [10]. Plastikler, özellikle çok bulunabilmesi, kolay işlenebilirliği ve odun ile kolayca karıştırılabilir olması sayesinde piyasada kullanılan malzemeler içinde önemli bir yer tutmaktadır.

Elde edilen ürünlerin kaliteleri gün geçtikçe geliştirilmektedir. Özellikle Amerika'daki birçok üniversite de OPK geliştirilmesi için çalışmalar yürütülmektedir [11]. OPK özellikle dış ortamlarda kullanımlar için çok iyi özellikler verebilmektedir. Ağaç malzemeler değişik işlemlerle muamele edilerek dış ortamlarda uzun ömürlü olarak

kullanılabilirler. Ancak bunlardan bir kısmı insan ve çevre sağlığı açısından tehlike arz etmektedir (örneğin; CCA ile emprenye). Oysa OPK'lar bu anlamda tehlike arz etmemektedirler. Buna bağlı olarak OPK diğer birçok odun ve odun esaslı ürünlerin pazarlarında olduğu gibi dış mekânlarda kullanılan ürün pazarlarında da yerini almaya başlamıştır.

Ayrıca OPK'lar sıcaklık ve rutubet değişiminden fazla etkilenmemekte, mantar ve böcek saldırılarına karşı daha dayanıklı olabilmektedir. Odun, plastikte dolgu maddesi olarak kullanılmakta ve birçok önemli avantaj sağlamaktadır. Bunlara örnek olarak; ürün fiyatını düşürmesi, mekanik özellikleri arttırması, termal genleşmeyi azaltması ve kolay elde edilebilir olması verilebilir [12].

OPK öncelikli olarak odun ve termoplastik polimerlerden oluşmaktadır. Geleneksel olarak malzemeler odun lifi ve yongalarının termoplastik bir bağlayıcı ile güçlendirilmesi suretiyle üretilirler. Bu nedenle OPK gelişimi cam, karbon, bor, aramid ve mineral lifler gibi sentetik lif ve dolgular üzerinde yapılan çalışmalarını takip etmektedir [13].

OPK araştırmacıları sentetik lifler kullanarak direnç, sertlik, gevreklik, ısı dayanımı gibi özellikleri geliştirme üzerine çalışmalar yapmışlardır. Ortaya çıkan bu malzemelerin ticari başarısı, öncelikli olarak rutubet performansının geliştirilmesi, geri dönüşüm ve atık malzemeden yararlanma, etkin bir ürün ve üretim akışı tasarımı ile değerlendirilmektedir. Odun ve plastik, OPK içindeki ana bileşenlerdir. Ancak bunlar tek başlarına kullanılamazlar [14]. Bunlara ilave olarak kaliteyi olumlu yönde etkilemesi için küçük miktarlarda katkı maddeleri içerirler. Bunlar birleştirme katkıları, dağıtıcılar, ışık kararlaştırıcılar, pigmentler, yağlayıcılar, mantar önleyiciler ve köpük katkıları gibi değişik miktarlarda kullanılan maddelerdir [14].

OPK üretiminde, diğer orman ürünleri sektöründe kullanılan odun hammaddeleri yanında, endüstriyel atıklar, odun tozu, kesici talaşları, kâğıt hamuru ve odun atıkları kullanılabilir [15].

Hammadde odun tozu; planya rendesi ve yongalama atıkları, testere ve planya talaşından öğütölme işleminin ile çok ince ve un kıvamında elde edilebilmektedir.

Odun lifi ise, odun tozuna göre çok daha zor işlenebilmesine rağmen daha üstün özellikler göstererek dolgu maddeleri kadar dayanıklılık göstermektedir. Odun lifi işlenmemiş odundan ya da geri dönüşüm kaynaklarından elde edilebilmektedir. Geri dönüşüm kaynakları; paletler, kullanılmış keresteler ve eski gazete kâğıtlarını dahi

içermektedir. Bunun yanı sıra odunsu materyal küçük çaplı ağaçlardan ve kullanım dışı türlerden de elde edilebilmektedir [16].

Odun Plastik Kompozitleri dünyada büyük bir pazara sahiptir. Amerika'da 2005 yılında bu ürünün pazardaki miktarı 700.000 tona, pazardaki ekonomik değeri ise 1,3 milyar dolara ulaşmıştır. Avrupa da ise bu değer 25.000 tonu bulmuştur [17]. Ülkemiz OPK üretiminde ve teknolojisinde diğer ülkelerle kıyaslandığında endüstriyel anlamda herhangi bir gelişim gösterememiştir.

Nüfus artışına bağlı olarak dünyada inşaat sanayisindeki gelişme mutfak ve banyo mobilyası üretimine de yansımıştır. 2000'li yılların başına kadar sadece mermer ve seramikten üretilen mutfak ve banyo tezgâhları yerini laminant ve polyester esaslı (mermerit) tezgâhlara bırakmıştır.

Ülkemizde odun plastik kompoziti konusunda herhangi bir çalışma ve üretim olmayışı, bir çeşit plastik ürün olan polyester esaslı tezgâh üretiminde odunsu materyal kullanımı düşüncesini yaratmıştır.

Polyester esaslı tezgâhlar, kalsit ve diğer katkı ve dolgu maddelerinden üretilmektedir. Sadece Trabzon'da bir şirkette ayda yaklaşık 400 ila 1200 m<sup>2</sup> arasında polyester esaslı tezgâh üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla 1 m<sup>2</sup> üretim için kullanılan ana hammadde polyesterin maliyeti yaklaşık 22-24YTL'dir. Bu çalışmada; polyester esaslı tezgâh üretiminde plastik esaslı hammadde kullanımının azaltılması ve bir çeşit odun plastik kompoziti üretimi planlanmıştır. Böylece yıllık 3,5 ton (yaklaşık 15.000YTL) polyester tasarrufu sağlanılabileceği öngörülmüştür.

Ayrıca bu üretimde kullanılan odunsu materyal orman ürünleri sanayi atıklarının değerlendirilmesini sağlayabileceği gibi aynı zamanda tezgâhların yoğunluğunu ve bina temeline olan yüklenmeyi azaltabilecektir.

Çeşitli oranlarda odunsu materyal kullanılarak üretilen tezgah malzemesinde fiziksel, mekanik ve bazı teknolojik özellikler belirlenmiş ve bunlar literatür bilgileri ve saf polyester tezgahların özellikleri ile kıyaslanmıştır.

## **1.2. Odun Plastik Kompozitlerinin Tanımı**

Odun plastik kompozitleri; değişik formdaki odun ile termoplastik veya termoset türü plastiklerin karışımından oluşan elemanlardır.

OPK endüstrisi, detayları fazla bilinmeyen çok farklı özelliklerdeki bilimsel disiplin, teknik ve yapıya sahip iki endüstrinin bir araya getirilmesiyle doğmuştur. Plastik üretimi plastik endüstrisi tarafından bilinirken, orman ürünleri endüstrisi için daha çok inşaat ürünleri pazarında bilinmekte ve kullanılmaktadır. OPK üretiminde ilk şirketler odun ve plastik konusunda da deneyime sahip pencere doğrama imalatçıları olmuşlardır.

Plastik endüstrisinde geleneksel olarak; talk, kalsiyum karbonat, mika ve cam veya karbon lifleri kullanılmaktadır. Günümüzde yıllık plastik üretimi için yaklaşık 2,5 milyon ton macun ve güçlendirici kimyasallar kullanılmaktadır [18].

Başlangıçta daha hafif ve ucuz olmaları, daha az aşınma özelliğine sahip ve yenilenebilir kaynaklar olmalarına rağmen, keten veya saman sapı, odun veya diğer doğal lifler, bilinen plastik karışımlardan oluşan üretim araçlarında pek kullanılmamakta idi. Daha sonra meydana gelen gelişmelerle plastik işletmecilerinin hemen hemen hepsi düşük yoğunluk, termal kararlılık gibi özellikler nedeniyle odun liflerine önem vermişlerdir.

Termoplastiklerin çoğu, imalatçılara yaklaşık  $500 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa sahip pelte veya toz halinde ulaştırılmaktadır. Plastik işletmecileri; plastik üretim araçlarının besleme ünitesi içerisinde, düşük hacimli odun lifinin miktar ve etkisinin nasıl yönlendirilebileceği problemiyle karşı karşıya kalmışlardır. Erime noktası düşük olan plastikler ile erime derecesine sahip olmayan odun liflerinin düzenli bir şekilde birleştirilmesi büyük bir problem olmuştur. Odun içeriğindeki yüksek rutubet ve diğer doğal lifler plastik endüstrisinde belirsizlik yaratmaktadır. % 1–2 rutubet içeriği bile fazla olarak kabul edilmiştir. Plastik işletmecileri üretim sırasında cihazlarının kapasitelerini zorladığı için odun liflerinden kaynaklanan rutubet artışına (%5'den %7'ye) karşı olmuşlardır. Bazen kuru plastiklere ihtiyaç duyulan üretimlerde reçine kurutucu maddeleri kullanılmıştır. Bu tür plastiklerin kullanıldığı üretimlerde yangın tehlikesi nedeniyle odun parçacıklarının veya liflerinin kullanımı uygun bulunmamıştır. Odun veya diğer doğal lifleri kullanma çabasında olan plastik işletmecileri, sık sık odun hakkında bilgiye ihtiyaç duymuşlardır. Odun ve plastik bileşiminin bilinçsiz üretimi başarısızlığa yol açabilir. Orman ürünleri endüstrisine oranla termoplastikler farklı yapıya sahip olmasına rağmen bazen geleneksel pazarlara zorla da olsa sokulmuşlardır. Bu durum farklı pazarlardaki plastik endüstrisinin rekabet gücünü arttırmıştır [19].

Bazı plastik endüstrilerinin yapısı geçtiğimiz on yıl içerisinde şaşırtıcı bir biçimde değiştirilmiştir. OPK ürünlerinin gelişimini etkileyen belirsizlikler; tecrübe kazanımı, odun yapısının iyileştirilmesi, üretim araçlarının geliştirilmesi, katkı maddelerinin temin

edilmesi, yeni pazarlara giriş için elverişli zamanların değerlendirilmesi ve özellikle geniş hacimli yapıların uygulama alanlarında kullanımıyla giderilebilmiştir. Orman ürünleri endüstrilerinin yapısı iyiye doğru gitmektedir. Tüketici ilgisine bağlı olarak artışın; odunun dayanma direncini arttıran OPK ürünlerin gelişimi hızla artmıştır. Bu durum bazı orman ürünleri endüstrilerinin OPK levhalarını üretme ve satışına yönelmesini sağlamıştır. Bu girişim müşteri talebiyle sürdürülmekte olup, inşaat ürünlerindeki endüstriyel gelişimle desteklenmektedir. Günümüzde bu ürün büyük bir pazar payı bulmuştur ve artış devam etmektedir [20].

### **1.3. Odun Plastik Kompozitlerinin Tarihi Gelişimi**

Odun–termoset kompozitlerinin başlangıcı 1900’lü yıllara dayanmaktadır. İlk ticari karışım fenol formaldehit ve odun tozundan oluşmuş, “Bakalit” ticari adı altında pazarlanmıştır [18].

İlk ticari ürünün vites kolu olarak 1916’da Rolls Royce tarafından üretildiği bilinmektedir. Odun-termoplastik kompozitleri on yıllık kullanım periyotları için Amerika’da üretilmiş olup, son yıllarda endüstriyel açıdan büyük bir gelişme göstermiştir. Bu kompozitler dünya literatüründe Wood-Plastic Composites (WPC) olarak adlandırılmakta ve odun termoplastikleri olarak incelenmektedir [18].

Düzenli olarak ilk üretim Avrupa’da gerçekleşmesine karşın kitle üretimi açısından Amerika’da son zamanlarda büyük bir gelişme sağlanılmıştır.

Amerikan Woodstock şirketi 1983’te, Lear Corpo’nun Sheboygan, Wisconsin’deki biriminde olan İtalyan giydirme teknolojisinden yararlanarak, otomotiv içi donanım üretimine başlamıştır. Bu ürünler yaklaşık %50 odun tozu ve %50 propilen kullanılarak hazırlanan karışımlar olup, iç otomotiv panelleri için değişik biçimlerde şekillendirilebilen yatay kalıplara dökülerek üretilmiştir.

1990’ların başlarında, Advanced Environmental Recycling Technologies (AERT) ve Trex’den sonra kurulan Mobil Chemical Company (MCC) şirketlerinin bir kısmı polietilene yaklaşık %50 odun lifi ilave ederek dayanıklı OPK’nın üretimine başlamışlardır.

OPK ürünler kullanım yerine döşeme levhaları, piknik masaları, bahçe elemanları, endüstriyel zemin malzemesi olarak satılmaktadırlar.

Benzer kompozitler pencere ve kapı profilleri olarak şekillendirilmektedir. Bugün döşeme pazarında en büyük ve en hızlı gelişimi OPK ürünler göstermektedir.

1990'ların başlarında Strandex Corporation (SC) şirketi, yüksek odun lifi içeren kompozitlerden daha fazla biçim veya şekillendirmeye ihtiyaç duyulmadan direkt son ürün üretimi için uygun bir teknolojinin patentini ve bu teknolojiyi geliştirme lisansını almıştır.

Odun lifi-plastik kompozitler konusundaki teknoloji ve gelişmeleri paylaşmak amacıyla, 1991'de Madison Wisconsin'de gerçekleştirilen ilk uluslararası konferansa, plastik ve orman ürünleri sanayinden endüstriyel temsilci ve araştırmacılar davet edilmiştir. Benzer konferanslar Toronto ve Ontario'da da gerçekleştirilmiş ve bu konferanslar ilerleyen yıllarda rağbet görmeye başlamıştır. Özellikle 1990'larda önemli gelişme göstermiştir [19]. 2000'li yıllarda da bu konferanslar devam etmiştir. 2004 yılında Baltimore, MD'de düzenlenen OPK konferansında endüstri, teknoloji ve Pazar durumunun geldiği nokta tartışılmıştır. Ayrıca 2006 yılında Las Vegas, Nevada'da katkı maddeleri ile ilgili bir konferans düzenlenmiştir.

Andersen Corporation (AC) şirketi, Fransız kapıları için 1993'te odun lifi ile güçlendirilmiş PVC üretmeye başlamıştır. Bu gelişim odun-PVC kompozitlerinin pencere üretiminde kullanılmasını sağlamıştır. AC şirketi, odun ve plastik sanayilerinin atıklarının yeniden değerlendirilmesine imkân vermektedir.

1996'da birçok Amerikan şirketi, odun veya diğer doğal lifler ile plastiği kullanarak yuvarlak top şeklindeki pelletlerin (odun ve plastikten hazırlanmış hammadde) üretimine başlamıştır. Bu şirketler, kendi odunsu materyallerini öğütme ve odun ile plastiğin homojen karışımını sağlama gibi problemleri olan birçok üretici için karışım pelletlerini kullanarak üretim yapma imkânı vermişlerdir. [19].

## **1.4. Odun Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılan Hammaddeler**

### **1.4.1. Ağaç Malzeme**

Odun plastik kompozitlerinde öncelikli olarak çam, akça ağaç ve meşe olmak üzere pek çok ağaç türü kullanılmaktadır. Günümüzde ağaç türü seçimi sahip olduğu özelliklerden ziyade mevcudiyet durumuna göre belirlenmektedir [6].

OPK endüstrisinde dolgu malzemeleri tanecikler (odun tozu) ve lifsel malzemeler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir. Fazlar arası bağlanma yüksek ise toz

partiküller dolgu ya da güçlendiriciler olarak kullanılmaktadırlar. Toz partiküller hemen hemen bütün yönlerde eşit boyutlara sahiptirler ve şekil verilebilir yapıdadırlar. Lifler ise güçlendirici olarak düşünülebilir. Çünkü lifsel maddeler uygulanan yükün çoğuna dayanmakta olup, uzunlukları kesitsel boyutlarından çok daha büyüktür [21, 22]. Lif ve yongalar mekanik özellikleri artırmak için kullanılabilirler. Fakat daha çok polimer kullanımını azaltmak amacıyla hacim artırıcı olarak kullanılırlar. Ayrıca kompozitin sertlik ve direncini artırmak için de ilave edilirler. Bu küçük boyutlu malzemeler plastik endüstrisi tarafından yararlanılan üretim akışına entegre edilir [6].

### **1.4.2. Plastik Esaslı Ürünler**

Plastik esaslı ürünler; termoplastik ve termoset ürünler olmak üzere genel olarak iki gruba ayrılırlar. Bu ürünler hakkında bilgi vermeden önce her iki ürün için de geçerli olan plastiklerin genel, ısısız ve kimyasal özelliklerinden bahsetmek uygun olacaktır.

#### **1.4.2.1. Plastiklerin genel özellikleri**

Plastikler, normal sıcaklıkta genellikle katı halde bulunan, basınç ve ısı etkisiyle mekanik yöntemlerle şekillendirilebilen veya kalıplanabilen organik polimerik maddelerdir. En çok kullanılanları termoplastik ve termosetlerdir.

Termoplastikler; ısı ve basınç uygulandığında plastik özelliklerini kaybetmeyen plastikler olup, defalarca şekillendirilebilirler. Termoplastiklerin kullanılma süreleri, malzemenin yorgunluğuna bağlıdır.

Kendi ağırlıkları altında 54–120°C arasında, bazen de yapılarına bağlı olarak 260 – 270°C'ye varan sıcaklıklarda bozunurlar. Bu nedenle termoplastiğin işlenmesi sırasında sıcaklık iyi kontrol edilmelidir.

Termosetler ise, ısı ve basınç altında bir kere şekillendirildikten sonra tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Ancak bir defa işlenebilirler. Çünkü şekillendirme işlemi sırasında kimyasal değişim ile şebeke yapısına dönüşür ve plastik özelliğini yitirerek sert bir malzeme haline gelirler. Bu sert malzeme torna, freze ve kesici makinelerde işlenebilir. Termosetlerin piyasada pek çok türleri vardır. Kendilerine özgü özelliklerinden dolayı termoset plastikler tek başlarına kullanılamayıp, termoplastikler gibi diğer katkı maddeleri



ile karıştırılarak kullanılırlar. Termosetler yapılarına göre 60–150°C'ler arasında, bazı tipleri ise 230°C sıcaklığa kadar kararlıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise bozunurlar.

Polimerlerin molekül ağırlığı, yapısı, çapraz bağlanma derecesi ve iskeletinin içerdiği fonksiyonel gruplar, üretilen plastiğin fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler. Plastikler metal ve diğer mühendislik malzemelere göre farklı özelliklere sahiptirler [18].

#### 1.4.2.2. Plastiklerin Isısal Özellikleri

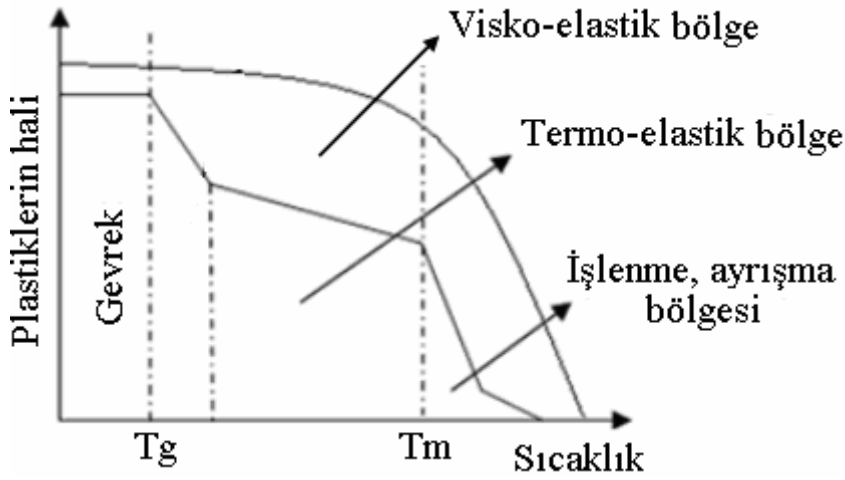
Plastiklerin ısısal özelliği en önemli özelliklerden biridir. Bazı plastikler 100–180°C aralığında uzun süreli kullanım için tavsiye edilebilseler de çoğu plastikler geniş bir sıcaklık aralığında yumuşama gösterirler. Politetrafloraetan ve polifenilen sülfid gibi, başka plastikler 250°C'ye kadar servis ömrüne sahiptirler. Plastiklerin yüksek sıcaklıkta kullanılabilmelerini tayin eden yöntem yumuşama ve sapma sıcaklığıdır. Bu sıcaklık değerleri malzemenin maksimum kullanma sıcaklıkları değildir. Diğer taraftan düşük zorlamalar veya uzun aralıklı yüklemelerde plastikler daha yüksek sıcaklıklara da dayanabilirler. Yumuşama sıcaklığı esasen yalnız malzemenin ön seçimi için bir bilgi vermektedir.

Plastiklerin önemli bir özelliği de ısı iletkenliğidir. Plastiklerin ısı iletkenliği genellikle düşüktür. Metallerin ısı iletkenlikleri  $200\text{--}10.000 \times 10^4 \text{ cal/cm.sn}^\circ\text{C}$  arasındadır. Plastiklerin ısı iletkenlikleri ise  $2,0\text{--}8,0 \text{ cal/cm.sn}^\circ\text{C} \times 10^4$  arasındadır. Plastiklerin ısı iletkenliklerinin düşük olmasından dolayı, sürtünme veya tekrarlanan gerilmelerin sebep olduğu sıcaklık büyümesi, malzeme içerisinde ısı birikmesine neden olur. Bu olay ısı yorulmaya yol açar. Isıl yorulmayı azaltmak için, plastik malzemelere katkı maddeleri ilave edilir. Bu amaçla en çok kullanılan katkı maddeleri metal tozları (alüminyum, bakır vb) veya çeşitli elyaflardır (karbon elyafı, cam elyafı vb). Katkılı plastiklerin ısı iletkenlikleri en az on kat daha yüksektir. Örneğin 4–30 değerinde olan epoksitlerin ısı iletkenlikleri katkı maddeleri ile takviye edildiklerinde 800–2500 değerlerine kadar artabilmektedir. Plastiklerin ısı iletkenlikleri moleküllerin yani sıra kristalize derecesi ve yönelme gibi yapısal faktörlere bağlıdır. Kristalize derecesi ve yönelme artarsa, ısı iletkenlikte artar.

Başka bir diğer önemli özellik ısı genleşmedir, ısı iletkenlik gibi ısı genleşme de molekül ağırlığı ve yapısal faktörler ile değişir. Plastik malzemelerin işlenmesinde önemli bir problem olan ısı genleşme katsayısı, metallere göre çok daha büyüktür.

Kuvvetlendirici elyafların ilavesi plastiklerin ısıl genleşmelerini önemli derecede azaltmaktadır. Örneğin; polistirenine %60 oranında cam elyafların ilavesiyle ısıl genleşme katsayısı yarıya indirilmektedir.

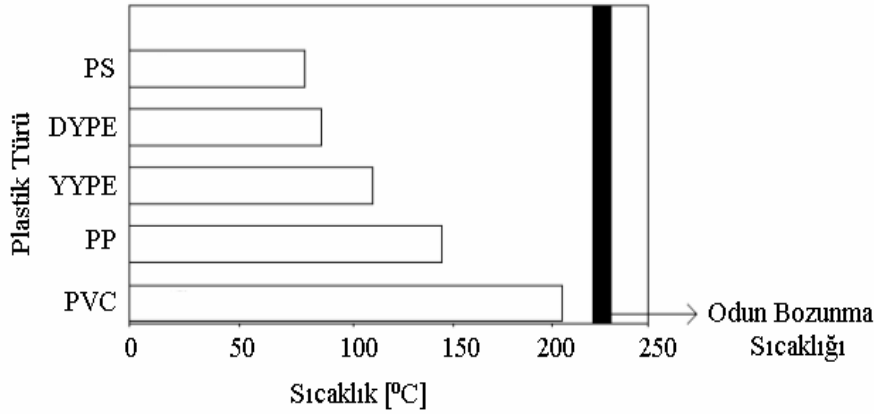
Polimerin kristalize derecesinin çapraz ve bağ yoğunluğunun artmasıyla ısıl genleşme katsayısı azalır. Yönlenme yönünde katsayı azalırken dik yönde artar. Isıl genleşme değerleri, plastiklerin ( $T_g$ ) camsı duruma geçiş ve ergime sıcaklığının ( $T_m$ ) üzerinde veya altında farklıdır (Şekil 1). Şekil 1’de termoplastiklerin yükselen ısıdaki durumlarını gösteren faz diyagramı verilmiştir.



Şekil 1. Termoplastiklerin yükselen ısıdaki halleri

Plastiklerin ısıya karşı dayanıklılığı çok önemli bir faktördür. Genellikle termoplastikler basınç uygulanmayan ortamda 65–120°C de, bazı çeşitleri ise 260°C gibi yüksek sıcaklıklarda bozunurlar. Bu yüzden yüksek sıcaklıklarda düşük bir basınç altında kullanılmalıdırlar. Termosetler daha sert olup, ısıya daha dayanıklıdırlar. Belirli bir sıcaklığa kadar sert kalırlar. Fakat yüksek sıcaklıklarda kömürleşerek bozunurlar.

Termosetler genellikle 150–230°C arasındaki sıcaklığa devamlı maruz kalabilirler; bazı özel termosetler 600°C'ye kadar dayanabilirler. Asbest ve cam gibi dolgu malzemeleri plastiklerin ısıl dirençlerini arttırır [18]. Şekil 2’de OPK üretiminde kullanılan plastiklerin işlenme sıcaklıkları gösterilmiştir.



**Şekil 2.** OPK üretiminde kullanılan plastiklerin işleme sıcaklıkları

### 1.4.2.3. Plastiklerin Kimyasal Özellikleri

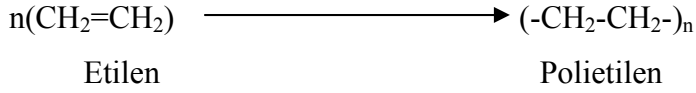
Plastikler metallerle göre, kimyasal maddelere karşı daha dayanıklıdır. Termoplastikler zayıf asit ve tuz çözeltilerinde etkilenmemelerine karşın, organik çözücülerde çözünür ve şişerler. Kuvvetli asit ve bazlar' dan kimyasal olarak etkilenirler.

Termosetlerde kimyasal maddelerin teması sırasında bozunmanın ilk başladığı bölgeler; plastikte kullanım sırasındaki eğilme, büzülme ve benzeri gerilmeler sonucu oluşan çatlaklardır.

Polimerlerin kimyasal dirençleri reaktif maddenin cinsi ve konsantrasyonu, polimerik yapı, sıcaklık, uygulanan gerilme, yüzey pürüzlüğü ve morfolojisine bağlıdır. Kısa süreli polimer-kimyasal çevre etkileşimleri çekme deneyleriyle, uzun süreli etkileşimler ise sürtünme deneyleri ile belirlenirler.

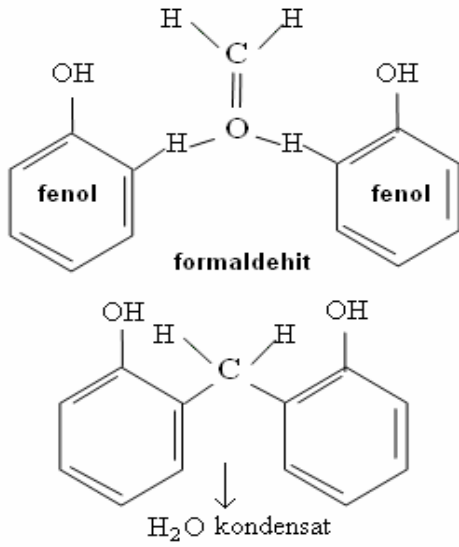
Plastikler monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen yüksek molekül ağırlığına ve zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Bir monomer polimerizasyon, polikondenzasyon ve poliadisyon gibi reaksiyonlar yoluyla başka monomer moleküller ile birleşerek tekrarlanan ünitelerden oluşan çok uzun zincir şeklinde bir makro molekül meydana getirmektedir. Bu monomer kombinasyonuna plastik adı verilmektedir.

Polimerizasyon ikili bağa sahip moleküllerin zayıf bağın açılması ile makro moleküller halinde birleşmesi reaksiyonudur. Örneğin;



Bir polimerizasyon reaksiyonu olarak verilebilir [23].

Polikondenzasyon reaksiyonu ise, reaksiyon kabiliyeti olan noktalara sahip moleküllerin makro moleküller halinde birleşmesidir. Bu sırada sistemden uzaklaştırılması gereken düşük molekülü bir yan ürün (kondensat) ayrışır. Şekil 3'de bir polikondenzasyon reaksiyonu gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Fenol formaldehit polikondenzasyon reaksiyonu

Poliadisyon reaksiyonunda ise; reaksiyon kabiliyeti olan gruplara sahip iki monomerin moleküllerinde H-atomunun yer değiştirmesiyle makromoleküller halinde birleşirler. Bu reaksiyon sonucu yan ürün çıkmaz.

Plastiklerin yapısı organik polimer yapılara dayanmaktadır. Çeşitli malzemelerin üretiminde ya da son kullanım gibi bazı uygulama alanlarında polimer kullanmak oldukça uygundur. Polimerler bir diğer polimer ile ya da katkı maddeler ile birleştirilerek kullanılabilir.

Polimerler aşağıdaki şekilde üç gruba ayrılır; Bu ayırım onların sıcaklığa karşı gösterdikleri davranışa göre yapılmıştır [23].

- Termoplastikler

- Termosetler
- Elastomerler

#### 1.4.2.3.1. Termoplastikler

Termoplastik reçineler, sağlam bir ağ yapısına sahip değildirler. Moleküller birbirine zayıf Van der Waals bağları ile bağlanırlar. Bir termoplastik malzeme camsı duruma geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtılırsa, yumuşar ve sıcaklık arttıkça viskozitesi düşer. Bu malzemeler tekrar soğutulduklarında yeniden sertleşirler.

Termoplastikler polimerik maddeler olup ve “ekstrüzyon” ya da kalıba enjekte etme gibi tekniklerle, yüksek sıcaklıklarda tekrar eritilip şekillendirilebilirler. Polietilen (PE), polivinil klorür (PVC) ve polipropilen (PP)’in hepsi termoplastik polimer maddelere birer örnektir.

Termoset polimerlerde sertleşme ilk sıcaklık artışıyla birlikte başlar ve kısa sürede polimerleşme gösterir. Bunun tersine termoplastikler, sıcaklık artışıyla tekrar tekrar yumuşayıp eriyebilirler.

Polimer zincirleri yapısı ile termoplastikler daha iyi bir ayırma tabii tutulabilir. Termoplastik polimerler hem amorf hem de yarı kristalin özellik göstermektedir. Amorf polimerler rasgele dizilen molekül zincirler içerir. Bunlara örnek olarak polistiren ve polivinil klorür verilebilir. Polietilen ve polipropilen gibi diğer polimerler çeşitli derecelerde kristalin özellik sergilemekte, bu sayede fiziksel ve mekanik özellikleri daha iyi hale gelmektedir.

Düzenli sıralı bir molekül zinciri, yeterli moleküller arası bağlanma ile üç boyutlu kristalin yapı için gerekli olan termal enerjiden kaynaklanan düzensizlikten korunur [24]. Sıcaklığın kristalin polimerlere etkisi amorf polimerlere göre oldukça farklıdır. Polimerleşmeye doğru sıcaklığın artmasıyla kristalin bölgelerdeki ilk düzen erime fazına geçiştir [25]. Amorf polimerler gerçek bir erime fazı sergilemezler, fakat viskoz akış noktasına benzer eriyik durumda yumuşayabilirler.

Termoplastikler kompozit üretimi için uygun olmasına rağmen sadece çok az bir kısmı odun plastik kompozitleri için kullanılmaktadır. OPK için bir termoplastiğin seçiminde öncelikli kriter, odunun ısıyla bozulma sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda eriyebilmesi ya da yumuşayabilmesidir (yaklaşık 210°C). Bu ısı kriteri, poliolefinler olarak bilinen polimer sınıfı için seçim sınırlarını oluşturur.

Genellikle OPK üretimi için uygun yumuşama ya da erime sıcaklıklarına sahip polistiren (PS), düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen (DYPE ve YYPE), polipropilen (PP) ve polivinil klorür (PVC) gibi termoplastikler kullanılmaktadır (Şekil 3). Polietilen genellikle en çok kullanılan termoplastiklerden olup, toplam atık plastiğin %75 ini kapladığı ifade edilmektedir [26]. Günümüzde dış koşullarda kullanılan pek çok odun plastik kompoziti ürününün üretiminde kullanılan polietilen hem saf olarak hem de geri dönüşüm ile elde edilmektedir [18].

Poliolenler, işlenmemiş ya da geri dönüşüm plastiklerinin her ikisi için de pellet, toz, yonga ya da film şeklinde elde edilebilmektedir. Su ve süt şişeleri, pil kapları, film kutuları ve plastik alışveriş torbaları gibi geri dönüşüm ürünleri hammadde olarak kullanılabilir. Geri dönüşüm ürünleri fiyatlarının düşük olmasına rağmen kontrol edilmesi genellikle zordur. Özellikle kirlenmiş ürünlerin temizlenme problemi söz konusudur. Ayrıca ülkemiz için toplanma işlemi pahalı ve uzun zaman alıcı bir prosedürdür [26].

#### **1.4.2.3.1.1. Polietilenler**

En çok kullanılan termoplastik olan polietilenin çok değişik özellikleri vardır. Genellikle polietilenler tok, fevkalade düşük elektrik direnci ve kimyasallara karşı dayanımının yüksek oluşu, düşük sürtünme katsayısı (sıfıra yakın) ve rutubet alma özelliği olan ve kolay işlenebilen reçinelerdir. Çalışma sıcaklıkları  $-4,5$  ile  $+90^{\circ}\text{C}$  arasında değişir. Bunlar; düşük, orta ve yüksek yoğunluklu polietilenler olarak üç sınıfa ayrılırlar. Düşük yoğunluklu polietilenler iyi tokluk ve esnekliğe, düşük sıcaklıklarda darbe mukavemetine ve film şeklinde berraklık özelliklerine sahiptirler. Ancak sıcaklığa karşı mukavemeti oldukça düşüktür. Oda sıcaklığında iyi kimyasal özelliğe sahip olan bu reçinenin kimyasal mukavemeti sıcaklığın artmasıyla birlikte azalmaktadır.

Orta yoğunluklu polietilenler düşük yoğunluklu polietilenlerle benzer özelliklere sahiptirler. Yüksek yoğunluklu polietilenler ise çok daha yüksek rijitlik ve çekme mukavemetine sahiptirler. Darbe mukavemeti nispeten düşüktür. Ancak düşük sıcaklıklarda verdiği darbe direnci değerleri diğer termoplastiklerle karşılaştırıldığında oldukça iyidir [27]. Tablo 1'de polietilenin kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Polietilenin kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri

$[-CH_2-CH_2-]_n$ Polietilen	Hal	Tg °C	Tm °C	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
	Dallanmış (%60 kristalin)	-120	115	0.91–0.93
	Lineer (%95 kristalin)	-120	138	0.94–0.965

#### 1.4.2.3.1.2. Polipropilenler

Düşük yoğunluklu bir reçine olan polipropilenler görünüş olarak yarı saydam ve süt beyaz renktedir. Ayrıca çok iyi boyanma kabiliyetine sahiptir. Malzeme, sınırlı ısısal, kimyasal ve elektriksel özellikler ile orta derecede mukavemete sahiptir. Polipropilenle yapılan parçaların ömrü 120°C de beş yıl, 110°C de on yıldır [23]. Tablo 2’de polipropilenin kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Polipropilenin kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri

$\left[ \begin{array}{c} -CH_2-CH- \\   \\ CH_3 \end{array} \right]_n$ polipropilen	Durum	Tg °C	Tm °C	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
	İzotaktik (%60 kristalin)	-10	176	0.90–0.906

#### 1.4.2.3.1.3. Polivinil Klorürler

Polivinil klorür amorf plastiklerin başında gelir. Bunlar beyaz veya açık sarı renkli toz polimerdir. Normal PVC %53–55 klor içerir. Polivinil klorürü 60°C’ye kadar sıcaklıklarda işlemek mümkündür. Isıtıldığında klorlanmış hidrokarbonlar tarafından çözünür. Asitler ve bazların etkisine karşı dayanıklıdır. Su, alkol ve benzin PVC’ye hiçbir etki yapamaz. PVC, yüksek elektroliz özelliğine sahip ve yanmayan bir polimer olup, 140°C de yavaş, 170°C de ise kolaylıkla HCl ayrılmasıyla parçalanır ve polimerde çift bağ meydana gelir. Bu nedenle polimere kararlı hale getirici kimyasallar katılır. PVC’nin sert ve esnek olarak iki çeşit kullanım alanı vardır.

Sert PVC’ler daha çok boru, pencere profili, duvar kaplamaları vb. alanlarda kullanılır. Bunlar hava şartlarına dayanıklı, mukavemeti yüksek, sert ve kendi kendine

yanmazlık özelliklerine sahiptirler. Özellikle düşük ısı kararlılığına sahip olan PVC'ler ısıtıldıklarında metal yüzeylere yapışma özelliğinde artış meydana gelir. PVC uygun özelliklerinin bulunması nedeni ile kablo imalatında geniş alanda kendine yer edinmiştir. PVC direkt olarak ısıya maruz bırakıldığında hidrojen klorür (HCl) açığa çıkar [28]. Tablo 3'de polivinil klorürün kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri gösterilmiştir

**Tablo 3.** Polivinil klorürün kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri

$\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\   \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$ polivinil klorür	Hal	Tg °C	Tm °C	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
	%75 kristalin	87	212	273

#### 1.4.2.3.1.4. Polistirenler

Amorf bir polimer olan polistirenin dikkat çeken özellikleri; parlayan bir berraklık, sertlik, kolay işlenebilme ve çok iyi renklenme kabiliyetidir. Bu özelliklere bağlı olarak homopolimer ve kopolimer şeklinde üretilebilirler. Homopolimerler genel amaçlı ve darbeye karşı mukavemetli, kopolimerler ise kristal berraklığında, darbe mukavemetli ve cam ile kuvvetlendirilmiş şekilde üretilmektedirler. Bu reçinelere enjeksiyon kalıplama, profil ekstruzyonu, köpük kalıplama gibi pek çok teknolojik yöntemler uygulanabilir [23]. Tablo 4'de polivinil klorürün kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Polivinil klorürün kimyasal yapısı ve bazı fiziksel özellikleri

$\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$ polistiren	Hal	Tg °C	Tm °C	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
	Ataktik (Amorf)	İzoataktik (%50 kristalin)	100	-
100			239	



### 1.4.2.3.2. Termosetler

Termosetler, küçük monomer moleküllerini uzun ve aralarında kuvvetli bağlar bulunan polimer molekülleri haline getiren kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşurlar. Bu reaksiyonların gerçekleşmesi için genellikle bir sertleştirici ve hızlandırıcı katılması, bazen de enerji verilmesi gerekir. Sıvı reçine önce jelleşir, daha sonra tam olarak sertleşir. Kovalent üç boyutlu bağların oluşması nedeniyle termosetler, oldukça rijittirler. Polimerizasyon reaksiyonu tersinir olmadığından tekrar ısıtılıp yumuşatılamazlar. Yüksek sıcaklıklarda ise kovalent bağlar kopar ve malzeme giderek kömürleşir. Termosetler en yüksek mekanik ihtiyaçlar ya da yüksek sıcaklıklar gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır.

Termosetler; epoksi, fenolik ve polyester gibi reçineler içerir. Fenolik reçineler odun esaslı levha endüstrisinde geniş bir alanda kullanılmaktadır. Polyester reçineler ise çok geniş bir alanda reçine sistemlerinde, bir kısmı ise denizcilik endüstrisinde kullanılmaktadır. Birçok polyester reçine sıvı tutkaldır. Genellikle stiren olan, monomer halinde bir polyester solüsyonu ihtiva etmektedir. Stiren ilavesiyle reçinenin viskozitesi azaltılır ve kontrol altına almak kolaylaşır. Ayrıca stiren, polyesterin sağlam çapraz bağlı molekül zincirini sıvı hale getirerek muamele edilmesine imkân tanır. Bu sayede de hiçbir geçiş ürünü geliştirilmesine gerek kalmamaktadır. Bu reçineler, basınç uygulanmaksızın kalıplanabilmekte ve “bağlantı” ya da “düşük basınç” reçineleri adını almaktadırlar. Kalıplamada kullanmak için, bir polyester reçinesi bazı ilave yardımcı ürünlere gereksinim duymaktadır [29]. Bu ürünler genellikle;

- Katalizörler
- Hızlandırıcılar
- Katkı Maddeleri'dir.

Hızlandırıcılar, zaman periyodu içinde reçinenin polimerizasyonunu gerçekleştirmek için kullanılırlar. Katalizörler, reçine sistemine polimerizasyon reaksiyonunun başlamasından hemen önce ilave edilir. Katalizör kimyasal reaksiyonun bir parçası olmamakla birlikte, oluşumu harekete geçirmekte kullanılmaktadır. Katalizörlenmiş reçineye, çalışma yerindeki sıcaklıkta ve/veya büyük bir oranda reaksiyonun ilerleyebilmesine imkân sağlamak için hızlandırıcılar ilave edilir. Çünkü hızlandırıcılar

katalizör yokluğunda reçine üzerinde çok küçük bir etkiye sahiptir. Hızlandırıcılar bazen de reçinede ön hızlandırma oluşturmak için polyester üreticileri tarafından reçineye ilave edilmektedir [30].

Polyester reçinelerine dolgu maddeleri ilave edilir. Bunun çeşitli sebepleri vardır. Bunlar;

- Kalıplama maliyetini düşürmek,
- Kalıplama sürecini kolaylaştırmak,
- Malzemenin özellikleri çeşitlendirmek (işlenme kolaylığı, parlaklık, direnç vb.)

Dolgular genellikle reçine ağırlığının %50'sine kadar ilave edilebilir. Daha fazla kullanımlarda kompozitin bükülme ve eğilme direncini de etkilemektedir [30].

Genel amaçlı, esnek, bükülgen, düşük süneklikte (düşük profilli), dış hava koşullarına dayanıklı, kimyasallara ve yanmaya karşı dayanıklı tipte çeşitli doyurulmamış reçineler mevcuttur. Esterleşmiş bir fitalik anhidrit ve maleik anhidrit ile propilen glikol karışımından hazırlanan bu polyester reçineleri 1000 ile 3000 oranında moleküler ağırlığa sahip lineer polyester zincirleri oluşmaktadır. Lifle iyileştirilen doyurulmamış polyesterler gibi reçinelerden genellikle kullanılanları azo tip başlatıcılar (R-N=N-R) ve organik peroksitler (R-O-O-R)'dir [31].

#### **1.4.2.3.2.1. Polyesterler**

Karma malzeme matrisi olarak özellikle cam elyaf takviyesi ile birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Polyester üretimi için;

- 1 birim glikol,
- 1 birim doymamış dibazik asit,
- 1 birim doymuş dibazik asit,
- 1 birim sertleşmeyi sağlayıcı monomer gereklidir.

Doymamış asitte bulunan karbon atomları arasındaki çift bağ, monomer katılmasıyla kırılır ve sürekli çapraz bağ oluşturur. Böylece rijit bir yapı elde edilir. Bağların şekli değiştirilerek çok farklı özelliklere sahip polyester üretmekte mümkündür [31].

Polyester reçineler 100°C sıcaklığın altında mekanik ve kimyasal dayanım bakımından dirençli olup, fiyatları düşüktür. Sertleşme öncesinde polyesterin viskozitesi

düşüktür ve kullanılan dolguyu iyi bir şekilde ıslatır. Bunlar kompozit malzemelerde matris olarak kullanılırken dolgu malzemeleri de katılabilir. Sertleşme sırasında kendini çekme oranı yüksektir (%5–12). Bu durum liflerin basma gerilmesi altında burkulmasına neden olabilir. Bu nedenle, malzemenin basma zorlama altındaki dayanımı düşüktür ve düzgün yüzey elde etmek güçtür. Özellikle alkali ortamlarda korozyon dayanımı düşüktür. Bünyesine su alarak bozunur [32].

#### **1.4.2.3.2.2. Epoksiler**

Epoksiler, epoksi gruplarının kendi aralarında homopolimerizasyonu ile veya anhidrit, amin, novolak gibi maddelerle reaksiyona girerek elde edilirler. En çok kullanılan epoksi reçineleri epiklorohidrin ile bifenol-A'nın reaksiyonu ile elde edilir. Epoksiler genellikle çok iyi elektriksel, termik ve kimyasal mukavemete sahiptir. Oldukça düşük olan mukavemetleri lifli kuvvetlendirici veya mineral dolgu kullanımıyla iyileştirilebilir. Kalıplama ile elde edilen epoksi parçaları sert, rijid ve nispeten kırılgandır. Ayrıca çeşitli sıcaklıklarda çok iyi boyut kararlılığına sahiptirler. Elyaf ile kuvvetlendirilmiş 260°C olanlar sıcaklığa ancak kısa bir süre dayanabilirler.

#### **1.4.2.3.2.3. Fenolikler**

Fenolik kalıplama malzemeleri yüksek performanslı mühendislik termosetleridir. Fenolik reçineler genel amaçlı olarak katkısız, darbeye ve ısıya karşı mukavemetli, cam elyafı ve özel amaçlı (kimyasal mukavemetli), iyi elektrik özelliklerine sahip şekilde üretilirler. Fenolikler genellikle basınçlı kalıplama, enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile şekillendirilirler. Uzun elyafı reçineler için en uygun yöntem basınçlı kalıplamadır.

Fenolik reçineler siyah veya kahverenginde olup, genellikle, düşük fiyat, iyi ısı mukavemet ve iyi elektriksel özelliklere sahiptir. Ayrıca aleve karşı dayanıklı, su ve kimyasallara karşı mukavemetli, boyutsal kararlılığı iyi olan ve çok iyi kalıplanabilen reçinelerdir.

### 1.4.3. Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri, OPK üretimine gerek üretim prosesini geliştirmek ve kolaylaştırmak, gerekse ürün özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. OPK'ler karmaşık, dikkat isteyen ve çok fazla özel teknoloji gerektiren ürünlerdir. Formülasyonları çok farklı bağları ve geniş sıralı katkı maddelerini içermektedir. Bu katkı maddeleri ürün yoğunluğunu düşürmekte ya da üretimi geliştirip, verim ve ürün sağlamlığını arttırmaktadır [14].

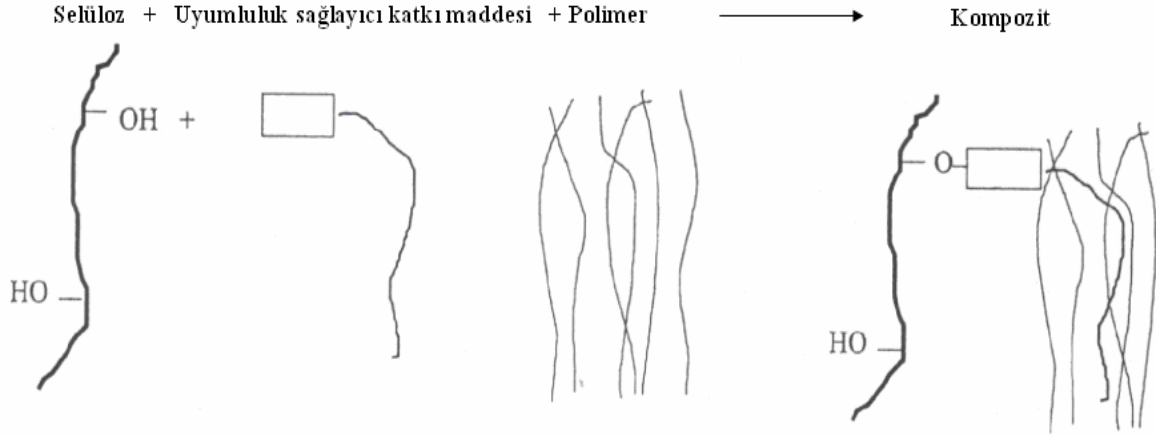
Odun kompozitleri dış ortamlarda kullanıldıklarında ultraviyole radyasyon (UV), yağmur, kar ve nemden kaynaklanan rutubete, donma, erime gibi etkenlere ve mantar atağına maruz kalabilmektedir. Kompozit malzemelerin yapıları bozulmadığı sürece içerisindeki bitkisel lifler bu faktörlerden etkilenmez. Fiziksel ve mekanik dirençleri değişmez. Dış ortamda kullanılacak kompozitin özelliklerinin bozulmasını minimuma indirmek için farklı tiplerde katkı maddeleri kullanılması gerekmektedir.

Literatürde gelecek yıllarda, plastik kompozit üretiminde katkı maddelerinin kullanımının artacağı belirtilmektedir. Renklendirici ve yağlayıcı madde kullanımı üzerinde durulmaktadır. Anti-mikro bakteriyel maddeler, UV sabitleyiciler ve birleştiriciler gibi diğer katkı maddeleri kullanılırsa ürünün kullanım ömrü ve sağlamlık özellikleri çok daha iyileşecektir [14]. Tablo 5'de OPK'de kullanılan katkı maddeleri ve levha üzerindeki fonksiyon ve etkileri verilmiştir.

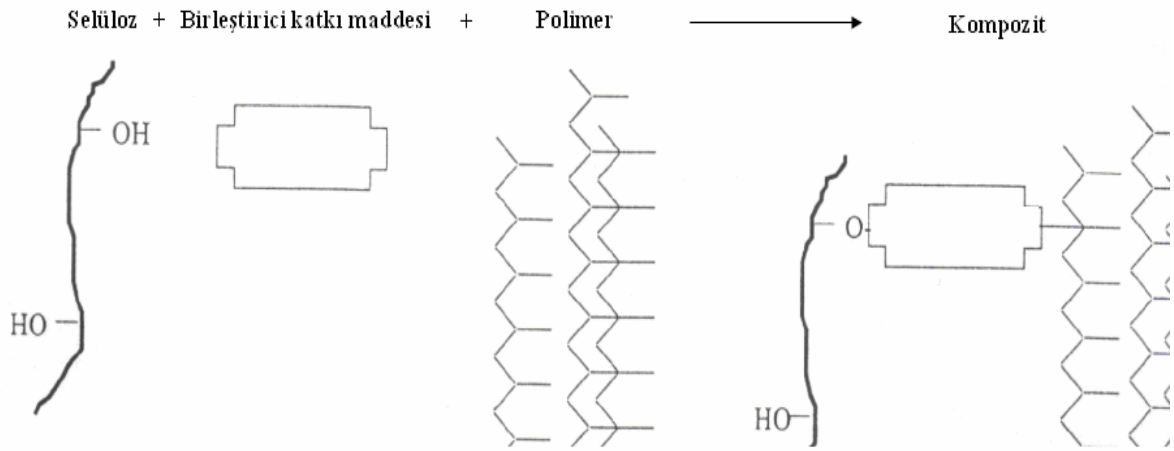
**Tablo 5.** OPK’de kullanılan katkı maddeleri ve levha üzerindeki fonksiyon ve etkileri [14].

Katkı Maddeleri	Fonksiyon / Etki
Birleştirici ve uyumluluk sağlayıcılar	*Odun liflerinin polimer bağlar içinde yayılmasına yardım eder. *Darbe, bükölme ve gerilme direncini arttırır. *Su absorpsiyonunu azaltır *Mekanik özelliklerini rutubet ile yaşlanmaya karşı daha iyi koruma sağlar.
Antioksidan / UV Kararlılaştırıcılar	*Üretim ve kullanım süresince bozulmaya karşı korur.
UV- Absorbe Ediciler	*Odunu bozulmaya karşı korur.
Anti-mikrobiyaller	*Dış kullanım koşullarına maruz kalan kompozitin özelliklerinin bozunmasını minimize eder.
Yangın Önleyiciler	*Yüzey üzerinde alevin yayılmasını geciktirir ya da kabuk yanıcılığını azaltır.
Renklendiriciler	*Malzemeye renk verir.
Köpük yapıcılar	*Hücre sel içyapı oluşturur. *Kompozitin gerç ek bir odun gibi davranmasına izin verir. *Parç alıklı olarak yoğunluğu azaltır, eğilme direncini arttırır, ağaç işleme aletlerinin kaliteli işlem yapmasını ve hızlanmasını sağlar. *Geri dönüşüm zamanını azaltır. *Maliyeti düşürür.

Plastik malzeme ile odun selülozünün birbirine bağlanmasındaki katkı maddelerinin rolü aşağıdaki gibidir [33]. Şekil 4, 5’de uygunlaştırıcı ve birleştirici katkı maddelerinin içyapıda gerçekleştirdiği görev gösterilmiştir.

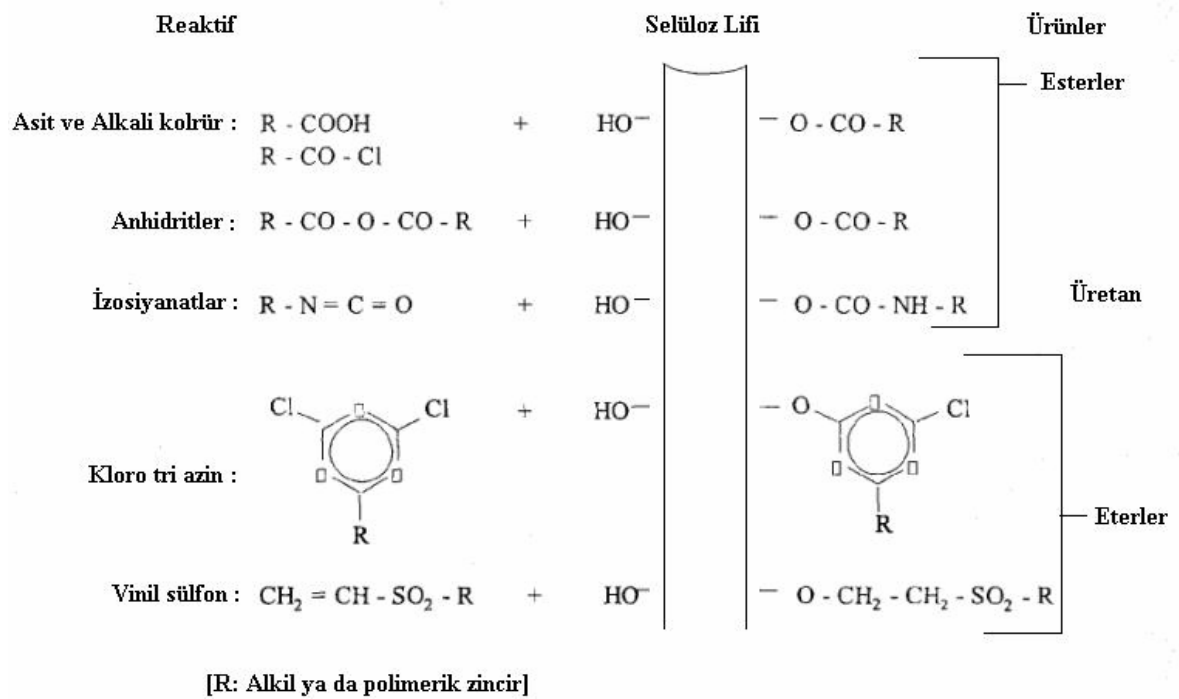


Şekil 4. Uygunlaştırıcı katkı maddelerinin içyapıda gerçekleştirdiği görev [33].



Şekil 5. Birleştirici katkı maddelerinin içyapıda gerçekleştirdiği görev [33].

Şekil 6'da değişik katkı maddelerinin selülozun OH bağları ile reaksiyonu aşağıda gösterilmiştir



Şekil 6. Değişik katkı maddelerinin selülozun OH bağları ile reaksiyonu [33].

## 1.5. OPK Üretim Teknolojisi

### 1.5.1. Hammaddenin Hazırlanması

OPK üretimindeki ilk adım; hangi hammaddenin hangi miktarda kullanılacağını ve üretilen OPK da karşılaşılabilecek üretim ve kalite gerekliliklerini belirlemektir. Odun ve plastik, odun lif plastik kompozitleri içindeki ana bileşiklerdir. Odun kompozitlerinin ilk jenerasyonu odun tozu ya da yongaların bağlayıcılar ile kombine edilmesiyle olup, yongalevha bunlara ilk örnektir. Bu, gerçekte çaba ve dikkat gerektirmeyen uygulamalar için idealdir.

Hammaddenin olarak odun talaşı ya da iskarta odun ürünü kullanılabilir. Teknolojideki gelişmeler, atık ve geri dönüşüm ürünlerinin kullanımını mümkün kılmaktadır. Buda maliyeti azaltmaktadır. Plastikler geri dönüşümlü plastik torba ve pil kılıf maddeleri olabilir. Odun lifleri, kompozit ürünler içindeki talk, kalsiyum, karbonat, cam veya karbon

lifi gibi benzer geleneksel dolgu maddelerinin yerini almaktadır. Doğal lifleri kompozit ürünlerde kullanmanın faydası, geri dönüştürülebilir kaynak olması, yanında hafif ve çok ucuz olmasıdır [10].

OPK’da kullanılan çok yaygın odun türleri çam ve ladin türleridir [34].

OPK üretiminde kullanılacak odun hammaddesini aşağıdaki şekillerde sıralayabiliriz.

- Fabrika bıçkı yongaları (tomruktan elde edilen)
- Talaş
- Odun tozu
- Kesici talaşları
- Kâğıt hamuru
- Odun artıkları (bakım ve aralama kesimlerinden elde edilen ince çaplı materyal)

Hammadde odun seçiminde odun kusurları problem yaratmaktadır. Materyal bitkisel veya hayvansal zararlılar bu endüstri tarafından degradasyona uğramadığı sürece bu endüstride hammadde olarak kullanılabilir.

#### **1.5.1.1. Odun Yongası Tipi ve Üretime Etkileri**

Törmala ve arkadaşları (1985), farklı odun yongası tiplerinin kompozit üzerine etkilerini karşılaştırmıştır. Öğütülen kontrplak düşük yoğunluklu polietilen (DYPE) ile karıştırılmış ve ikiz vidalı ekstruder ile üretim yapılmıştır. Bu çalışmada, öğütülmüş ince kontrplak talaşı ile DYPE tek vidalı ekstruderde karıştırılarak üretilen OPK’nın özellikleri incelenmiştir.

Bu örneklerin enine yönde uygulanan çekme direnci değerleri lif ile üretilen örneklerle oranlandığında daha düşük bağlanma kalitesi verdikleri belirlenmiştir [37].

Maiti ve Singh (1986), farklı boyutlardaki odun tozu bileşiklerini, YYPE (yüksek yoğunluklu polietilen) ile katkı maddesi kullanmadan birleştirmeyi denemişlerdir. Ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuş örneklerin incelenmesi göstermiştir ki, yonga boyutunun azaltılması (425–180µm) eğilme direncini arttırmıştır. Ayrıca azalan dolgu maddesi boyutu da bu direnci arttırmıştır. Tüm kompozitler dolgusuz polimerlere göre daha düşük direnç değeri sergilemektedirler. Maiti ve Singh (1986)’e göre tanecik boyutu arttıkça direnç



özelliklerinin azalması yanı sıra dolgu ve termoplastik malzeme arasında dağıtıcı ve birleştirici katkı maddeleri kullanılmadığında bağlanma zayıflamaktadır [38].

**Tablo 6.** PP, PS, YYPE ve DYPE ile üretilen OPK'lerinde odun lifi kullanımının mekanik özellikler üzerine etkisi

Özellik	Polimer	Odun lifi kullanım oranı (ağırlığa göre %)					
		0	10-15	20-25	30-35	40	50
Eğilmede	PP	0.9-1	1.13	1.17	1.2-1.4	-	1.24
Elastikiyet	PS	1.9	1.9	2.0	2.2	-	-
Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	YYPE	1.0-1.2	1.1	1.1	1.1-1.3	1.3	1.55
	DYPE	0.33	0.43	0.63	0.72	0.77	-
Dayanım ve Sertlik (N/mm <sup>2</sup> )	PP	27-34	23.5	23-25	16-21	20	11.9
	PS	42	36	35	33.8	-	-
	YYPE	25-29	24	19	18-27	17-20	19
	DYPE	10.8	13.1	12.2	11.2	10.7	-

**Tablo 7.** PP, PS ve YYPE ile üretilen OPK'lerinde odun tozu kullanımının mekanik özellikler üzerine etkisi

Özellik	Polimer	Odun tozu oranı (ağırlığa göre %)					
		0	10	20	30	40	50
Eğilmede	PP	1.1	1.22	1.55	2.0	2.4	2.85
Elastikiyet	PS	1.5-1.7	1.7-2.0	1.8-2.5	1.9-2.9	2.0-3.3	3.95
Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	YYPE	0.81	0.8-1.1	1.3-1.5	1.4-1.8	1.6-1.8	2.5
Dayanım ve Sertlik (N/mm <sup>2</sup> )	PP	-	-	-	-	-	26.6
	PS	40.3	35.7	36.4	34.3	29.9	-
	YYPE	-	26.5	25	19	15	-

Lif, yonga ve tozların karşılaştırılmasındaki ortak nokta, dolgu maddesi oranının artmasıyla direncin azalmasıdır (Tablo 6-7). Dağıtıcı ve birleştirici dolgu maddeleri

kullanılmaksızın odun tozu kullanılması elastikiyet modülü değerlerinde yüksek oranda artış sağlamaktadır. Odun ve termoplastik arasındaki bağlanmanın iyi olması durumunda, lif uzunluğunun artmasıyla dayanım ve sertlik değerlerinde artış meydana gelebilir. Ancak odun lifi, etkili birleştirici ve dağıtıcı katkı maddeleri kullanılmadığında sahip olduğu olumlu mekanik özelliklerini kaybetmektedir [6].

Odunsu maddenin boyutu ekstruzyon yöntemi ile elde edilen OPK'nın mekanik özelliklerini etkilemektedir. Yam ve arkadaşları (1990), YYPE-odun lif kompoziti üretiminde ters yönde dönen ikiz vidalı ekstruder kullanmışlardır. Sıcaklık veya asetilen ile muamele edilmiş yada hiçbir muameleye tabi tutulmamış lif kullanımında, lif miktarının artışının elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direncinin arttığı belirlenmiştir. Fakat lif miktarının toplam ağırlığın %60'ı kadar olduğu durumlarda, tüm kompozit ürünlerde yüzeye dik çekme direnci ve darbe direncinin azaldığı gözlenmiştir [39].

Takase ve Shiraishi (1989), odun hamuru ve polipropilenin sıcak preste preslenmesi ile elde ettikleri kompozit üretiminde benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Lif oranının bileşiminin artırılmasının ve birleştirici katkı maddeleri ilavesinin çekme direncinde artış sağladığı belirlenmiştir [40].

Odun dışı diğer dayanım arttırıcı malzemelerin kullanımında lif oranı arttıkça kompozitin direnç özelliklerinde azalma olduğu saptanmıştır. Chiu ve arkadaşları (1991), cam lifi ile güçlendirilmiş polipropileni ekstruzyon işlemine tabi tutmuş, artan lif oranının çekme direncinde azalma, elastikiyet modülünde ise artma meydana getirdiğini tesbit etmişlerdir. Polimer çapraz bağlarına cam lifi ilave edilmesiyle dayanımın sadece güçlü iç bağlanma olduğu zaman arttığı görülmüştür [41]. Bu durum odun lifi ile gerçekleşen bağlanmaya benzemektedir.

Woodhams ve arkadaşları (1984), kompozitin direnç özelliklerinde polipropilen bağları içindeki lif dağılımının önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir. Odun lifi, polipropilen ve kimyasal dağıtıcı katkı maddelerinin karıştırılması ile yapılan çalışmada, lif miktarında malzemenin direnç özelliklerini arttırdığı tespit edilmiştir [42]. Woodhams ve arkadaşları (1993), kâğıt hamuru ile polipropilen termomekanik sık kesicili mikserde karıştırmışlardır. Yapılan testlerde lif ilavesinin artmasıyla eğilme modülü-direnç ve yüzeye dik çekme-elastikiyet modülü arasında pozitif bir ilişki olduğunu tespit edilmişlerdir [43].

Park ve Balatinecz (1997) ise iki kademeli parçalama özelliğine sahip karıştırıcı kullanarak yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Döner halkalı ve

öğütücü değirmen kullanılarak talaş ve doğrusal zincir yapısına sahip düşük yoğunluklu polietilen karışımı ile elde edilmiş kompozit ürünlerinde çok yüksek elastikiyet modülü değerleri belirlemişlerdir. Ancak, %30'a varan oranlarda talaş kullanımında yüzeye dik çekme dirençlerinde önemli oranda azalma meydana gelmiştir [44]. Karmaker ve Youngquist'in (1996), polipropilen ve hint kenevirini yüksek parçalama özelliğine sahip bir mikser ile karıştırarak elde ettikleri karışımdan ürettikleri kompozitin yüzeye dik çekme direnci değeri yüksek çıkmıştır [45].

Geleneksel dirençli sentetik-lifli termoplastiklerde lif oranı veya konsantrasyonu toplam ağırlığın %50 sine kadar arttırılabilir. Woodhams ve arkadaşlarının (1984), böyle bir sınırlandırma yapmasının nedeni üretim esnasında liflerin özelliklerinde hasar meydana gelebileceği ve viskozite artışına bağlı olarak akışkanlıktaki azalmanın problem yaratabileceğidir [42].

Bazı karıştırma koşulları altında ekstrude edilmiş odun lif kompozitleri ağırlığının %75'ine kadar lif dolgusu içermesi mümkündür. Bu çok düşük maliyetlerde normal mekanik özellikler için önemli bir faktör haline gelmektedir [46].

### **1.5.1.2. Odunların Yongalamaya Hazırlanması**

Yongalevha üretiminde kullanılan odunsu materyalin büyük çoğunluğu diğer endüstrilerin atıkları ya da ince çaplı dal odunu ile testere talaşı gibi küçük boyutlu materyaldir. Bu nedenle depolamada bitkisel ve hayvansal zararlıların etkisine daha çabuk maruz kalırlar. Ayrıca bu tip materyal iç kızışma nedeniyle yangın tehdidi altındadır. Bu nedenle depolarda yangın ile bitkisel ve hayvansal zararlılara karşı koruyucu önlemler alınmalıdır. Ayrıca ilk giren hammaddelerin daima ilk kullanılan hammadde olmasına özen gösterilmelidir [35]. Ekstraktif madde içeriği yoğun olan kabukların (örneğin kızılçam veya meşe kabukları), odun plastik kompoziti üretiminde kullanılması tavsiye edilmez. Bütün odunsu materyal metal, cam ve kum gibi kirleticilerden temizlenmelidir.

### 1.5.1.3. Yongalama

Yongaların hazırlanmasında ilk işlem kabuk soymadır. Bu işlem, el ile veya makine ile yapılır.

Levha üretimine uygun ince yongalar, genellikle kesici aletler ile liflere paralel yönde kesmek sureti ile elde edilmektedir. Bunlara, kesme yongası denilmektedir. Liflere dik ve az meyilli kesilen daha kalın odun parçalarına ise kaba yonga denmektedir. Levha için uygun yonganın üretilmesi iki ayrı sistemle olmaktadır:

Birincisinde, önce kaba yongalar üretilir, daha sonra bunlar değirmenlerde veya ince yongalama makinelerinde üretime uygun hale getirilirler. İkincisinde ise, yuvarlak odundan doğrudan levha üretimine uygun incelikte ve uzunlukta fakat geniş yongalar üretilir. Bu yongalar, ince yongalama makinelerinde isteğe bağlı olarak küçültülebilirler [47].

Ancak odun plastik kompoziti üretiminde kullanılacak yonga, odun tozu yada lifsi materyalin boyutlarının ürün kalitesini belirlemedeki etkisinin az olması nedeniyle yongalama makinesi ile odun-bıçak yönü arasındaki ilişkinin etkisi önemsizdir. Bu nedenle yongalama makinesi seçiminde materyal için uygun olan makine kombinasyonları kullanılabilir. Örneğin; geri dönüşüm ürünlerinin kullanımına imkân veren kırıcılar ile kombine edilmiş silindirik kaba yongalama makinelerinde üretilen kaba yongaların inceltilmesi için kullanılan (Haker), çekiçli (Hummer) değirmenler bu sanayi için en uygun makinelerdir [10].

### 1.5.1.4. Odun Yongalarının Modifikasyona Uğratılması

Geçmişten bu güne kadar bitkisel atıklar ve orman endüstri atıkları fenolik ve üre reçineler ile birlikte daha az kullanılmakta idi. Bunun nedenleri; iyi direnç özellikleri, darbelere karşı dayanıklı üretim gerçekleştirmektir. Ancak fiyatının düşük oluşuda değerlendirilmesi gereken bir gerçektir. Son zamanlarda diğer polimerik bağlar içindeki bu dolguların ilişkisini araştırmak için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu tür odun lifleri mekanik özellikleri arttırırken, yüksek Young modülü (10–80 GPa), yüzeye dik çekme direnci ve aynı zamanda da nispeten düşük yoğunluk özelliği sergilemektedir [48]. Bu özellikler, yüksek yoğunluklu inorganik dolgular ile hazırlanan kompozitlerin odun lifleri ile üretilen kompozitler ile mukayese edilmesine imkân sağlamaktadır.

Bununla beraber, odun liflerinin çok fazla miktarlarda kullanılması bazı sakıncaları da beraberinde getirmektedir. Odunun yapısındaki dayanıklı hidroksil grupları içeren selülozik liflerin sağlamlaştırdığı hidrojen bağları, bitkisel yongaların birçok polimerik bağ içinde dağılmasını zorlaştırmaktadır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, polimer ve dolgu malzemeleri arasındaki bağlanmanın artırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sayede iki malzeme arasındaki yüzeylerin bağlanma direncinin artırılması hedeflenmektedir.

Birçok araştırmacı, farklı termoplastik bağlar içeren malzemeler ile hazırlanan kompozitlerin mekanik özelliklerinin artırılması için odun yonga ve tozunun modifikasyonu üzerinde çalışmıştır [49]. Örneğin; Feliks ve Gatenholm (1991), polypropilen içinde liflerin dağılımını homojenleştirmek için, selülozu polipropilen maleik anhidrit ile esterleştirmişlerdir<sup>1</sup> [50]. Benzer bir modifikasyon kullanan Sanadi ve arkadaşları kompozitin mekanik özellikleri geliştirmek için polipropilen ile kenaf liflerini kullanmışlardır [51].

Polimer bağlarla karıştırmada kısa liflerin aşınmasını azaltmak amacıyla da çeşitli muameleler denenmişlerdir [52]. Eş zamanlı gerçekleştirilen bazı çalışmalarda selülozik liflerin kullanıldığı lastiklerin kayda değer dayanım gösterdiği ve saf lastiklerin düşük eğilimde elastikiyet modülü verdiği belirlenmiştir [53].

Literatürde; Odun esaslı ürünlerde geleneksel fenolik bağlayıcılar dışında, termoplastik bağlayıcılar ve termoplastiklerin içinde liflerin birleştirilmesi ile ilişkili çok az araştırma sonuçları yayınlanmıştır. Han ve arkadaşları alışlagelmiş inorganik dolgular (karbonatlar, cam lifleri) yerine gerek sunduğu avantajlar nedeniyle gerekse her yerde bulunabilmesi nedeniyle ucuz orman atıklarını kullanmışlardır. Bu çalışmada lifleri reçine ya da polimerle birleştirmeden önce herhangi bir muameleye tabi tutmamışlardır [54]. Bununla birlikte, birleştirme ajanlarını karışımın birleştirilmesi sırasında ilave etmişlerdir. Ancak iç yüzeylerde ortaya çıkan bağlanmayla ilgili yeterli çalışma göstermişlerdir. Çünkü birleştirme ajanlarının kompozitin tamamında homojen bir şekilde dağılıp dağılmaması, bağların yanı sıra ara yüzeylerdeki özelliklere de etki ettiği bilinmektedir.

Günümüzde, doyurulmamış polyester ve talaşlar ile üretilen kompozitlerde kullanılan dolguların kimyasal muameleye tabi tutulmasının nedeni, mekanik özellikler üzerindeki etkisinin derecesini belirlemektir. Dolgu olarak kullanılan öğütülmüş fındık kabuklarının farklı yonga biçimlerinde kullanılması durumu da araştırılmıştır.

---

<sup>1</sup> Ester: Oksijenli asitler ile alkollerin aralarından bir su molekülü ayrılması sonucunda verdikleri madde.

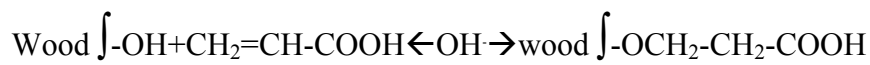
Modifikasyon öncesinde, süresince ve sonra liflerde meydana gelen değişiklikler DSC (dinamik kalorimetre tarayıcı) ve FTIR (infrared spektroskopetre) cihazları kullanılarak belirlenmiştir. DSC cihazı yongaların karakteristiğini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Analiz 20°C/dk.'da, 5-12mg ağırlığındaki örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda modifikasyona uğratılmamış örneklerde de termogravimetrik (TGA) analiz uygulanmıştır. Bu deney 20°C/dk.'da, 20-30mg ağırlığındaki örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. FTIR testi muameleden önce ve sonra lignoselülozik malzemelerin karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılmıştır. OPK'da, yongaların ağırlığının %1'i oranındaki yonga-odun karışımından oluşan parçacıklardan (pellet) elde edilen dalga değişimleri test edilmiştir [55].

Yongaların kimyasal muameleye tabi tutulmasında aşağıdaki yöntem kullanılabilir.

Yongaların kimyasal modifikasyonu işlemi, Hon ve San Luis'in çam odunu ve akrilonitril reaksiyonunda belirttiği yol izlenerek yapılmaktadır [56]. Bu reaksiyon örneklerin alkali ile ön muamelesini ve takiben de aşağıdaki aşamaları içermektedir:

- a- 50 gr yonga su ile seyreltilmiş 400ml'lik sodyum hidroksit solüsyonu içine konur ve 30 dakika süreyle oda sıcaklığında karıştırılarak bekletilir.
- b- Yongalar hemen su-etanol (%50-50) solüsyonu ile yıkanır. Su üzerinde kalanlar tekrar santifürüjle alınır ve bunlar renksiz hale gelinceye kadar tekrar tekrar yıkanılır. Son olarak da yongalar etanol (%95'lik) ile iki kez daha yıkanılır.
- c- Yongalar a maddesinde tanımlanan şekilde akrilik asit ile muamele edilir. Daha sonra yongalar, önceden hazırlanmış olan seyreltilmiş 400 ml akrilik asitle (%99'luk Aldrich) 50°C'de muamele edilir.

Modifikasyon çift bağlı akrilik asitin odun-OH bağlarına bağlanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu olayda NaOH gibi güçlü bir alkali katalizör olarak kullanılmaktadır. Reaksiyon şematik olarak aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir.



### 1.5.1.5. Eleme

Yonga üretiminde, en iyi yongalama makinesi ile en uygun hammadde seçilse dahi yongaların heterojen olması engellenemez. Bu da ürün kalitesini bozar. Yongaların tasnif edilmesi iki sistemle olur: Bunlardan birincisi mekanik, ikincisi ise pinömatik elemedir. OPK için geleneksel levhaların aksine odun tozu kullanımı söz konusu olduğundan, eleklerin mesh boyutunda çok ince gözeneklere sahip olması gerekmektedir. Elde edilen malzemenin boyutunun 40 mesh olması tercih edilmektedir

### 1.5.1.6. Kurutma

Kurutma makinelerine sevk edilen odunsu materyalin rutubeti kesim zamanı ve hammaddenin indiği yere bağlı olmakla birlikte, genellikle %35 - %120 arasında değişmektedir. Kurutma; ağaç türü, yonga boyutları (özellikle kalınlık), özgül ağırlık ve başlangıç rutubetine bağlıdır. Ayrıca kurutma makinesinin tipi ve çalışma sisteminin de kurutma üzerine büyük etkisi vardır. Aynı kurutma şartları altında kurutma süresi, kalınlık ve ağaç türüne bağlıdır. Değişik tipte kurutma makineleri olmakla birlikte, bunlar arasında döner silindirik ve boru demetli kurutucular önemli bir yer tutmaktadır. Kurutma süresi çok kısa olduğu için, kurutucu içinden çok çabuk geçirilmelidirler [47].

#### 1.5.1.6.1. Rutubetin OPK Üretimine Etkisi

Bir termoplastik çapraz bağına odun ilave edilmesi sırasında rutubet artışı kaçınılmaz olacaktır. Genellikle odunsu materyalin rutubet içeriği üretim süresince %1'in altındadır. Bu nedenle ekstrüzyon esnasında ortamın bağıl neminden dolayı rutubet etkisinde kalarak DRM'na ulaşır [57]. %60 oranında dolgu maddesi kullanılarak üretilen PP-odun tozu kompoziti 23°C sıcaklık ve %50 bağıl nem şartlarında ve 150 gün boyunca bırakıldığında %1,6 lık denge rutubet değerine ulaşmaktadır. Suda bekletme testine tabi tutulmuş %20–60 arasında odun tozu içeren aynı örnekler 90°C 'de su banyosunda 7 gün süreyle bekletildikten sonra %8–10 rutubet oranına ulaşmaktadır.

Liang (1995) odun lifi/polistiren karışımını düz preste preslemiş ve suya maruz bırakmıştır. Beklendiği gibi, artan polistiren oranı ürünün bileşiğinin su absorpsiyonunu ve

şişme kalınlığını azaltmıştır. Bileşimdeki polistiren miktarının çok az veya çok fazla olması durumunda bile kompozitin performansını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Deneme levhalarına %25 oranındaki polistiren ilavesi su absorpsiyonunu azaltmıştır. Ancak stiren ilavesi %40' a çıktığında su alma oranında artış meydana gelmektedir [58]. Odun tozu oranının azalması ile ürünün ulaşacağı DRM değeri de azalmaktadır.

### 1.5.2. Üretim Metotları

Lif ya da yongaların termoplastiklere ilavesinin mekanik özellikler ve üretim yöntemlerine avantaj sağladığı belirlenmiştir. Ancak polimerlerin eritilerek bütün odun yongaları üzerine yayılması üretim yönteminin değişmesini gerektirir. Eritme işleminde yoğunlukla bitmiş ürünün kalitesi karışımın kalitesine bağlıdır [59].

Kısa liflerle güçlendirilmiş kompozit üretiminde karışım ve katkı madde oranlarının ayarlanması gerekmektedir. Yetersiz katkı maddesi plastiğin heterojen dağılmasına ve liflerin düşük oranda ıslanmasına neden olurken, aşırı miktardaki katkı maddesi ilavesi ise önemli lif bozulmalarına neden olmaktadır. Her iki durumda da normal şartlarda elde edilen mekanik özelliklere göre daha düşük özellikler elde edilmektedir [39].

Ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplamada taşıma mekanizması olarak vidalardan yararlanılır. Bunlar aslen plastik endüstrisinde kullanılmakta olan tekniklerdir. Çünkü vida geometrisi sayesinde taşıma, pompalama, erime ve yapıştırma gibi polimer proseslerinin başlangıç adımlarının tümü gerçekleştirilebilmektedir [60].

Odun ve termoplastik karışımının sıvı halde hazırlanmasında polimerin eritilebilmesi için genellikle yüksek parçalayıcı kuvvetler gibi fiziksel enerji girişi gerekmektedir [61]. Birleştirme işleminde genellikle plastiği eritecek ya da yumuşatacak yeterli sıcaklıkları sağlayabilen, dağıtıcı özellikte karıştırma yapabilen, eriyik karıştırıcı ekipmanlar kullanılır [44]. Birleştirme, karıştırma, yoğurma ve parçalama gibi terimler spesifik ekipmanların kullanımına dayanan karıştırma işlemini tanımlamaktadır. Lifler ve büyük parçalar uzun ve yüksek yoğunlukta karıştırma gerektirmektedir [46].

Üretim yönteminin tipine bağlı olarak termoplastik kompozitlerin bileşenlerinin karıştırılmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

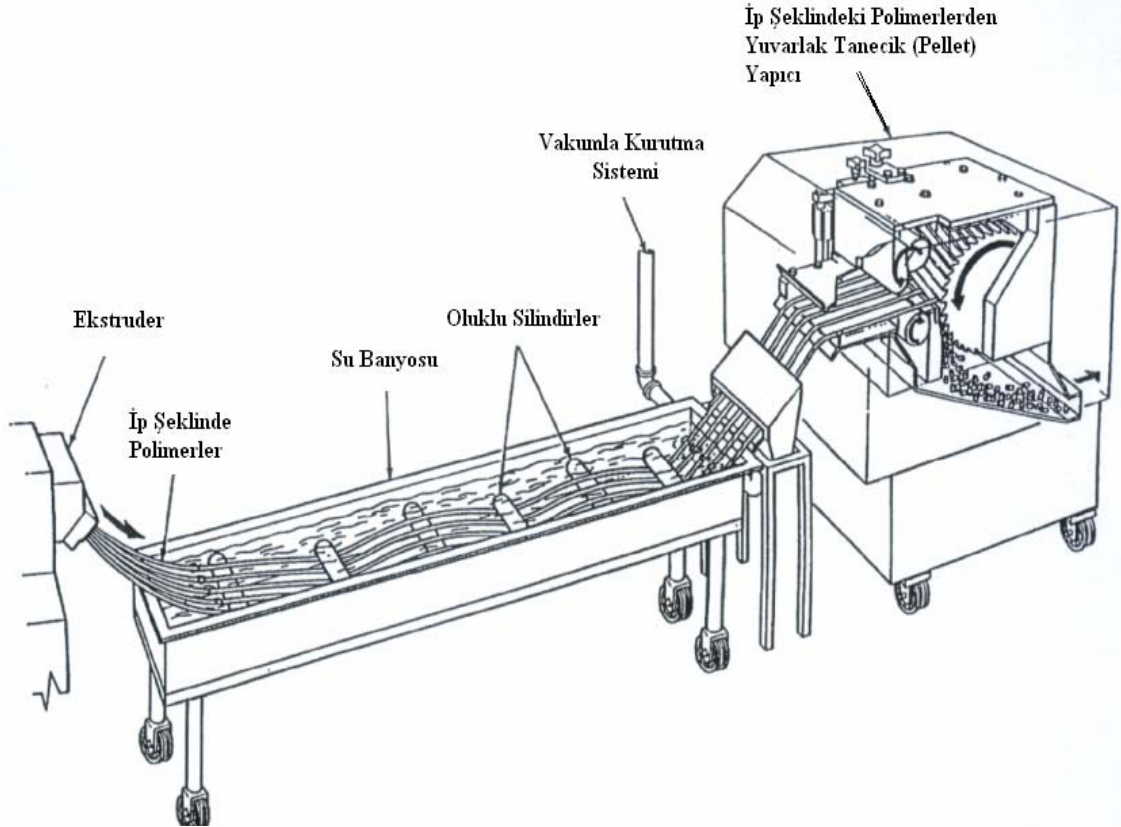
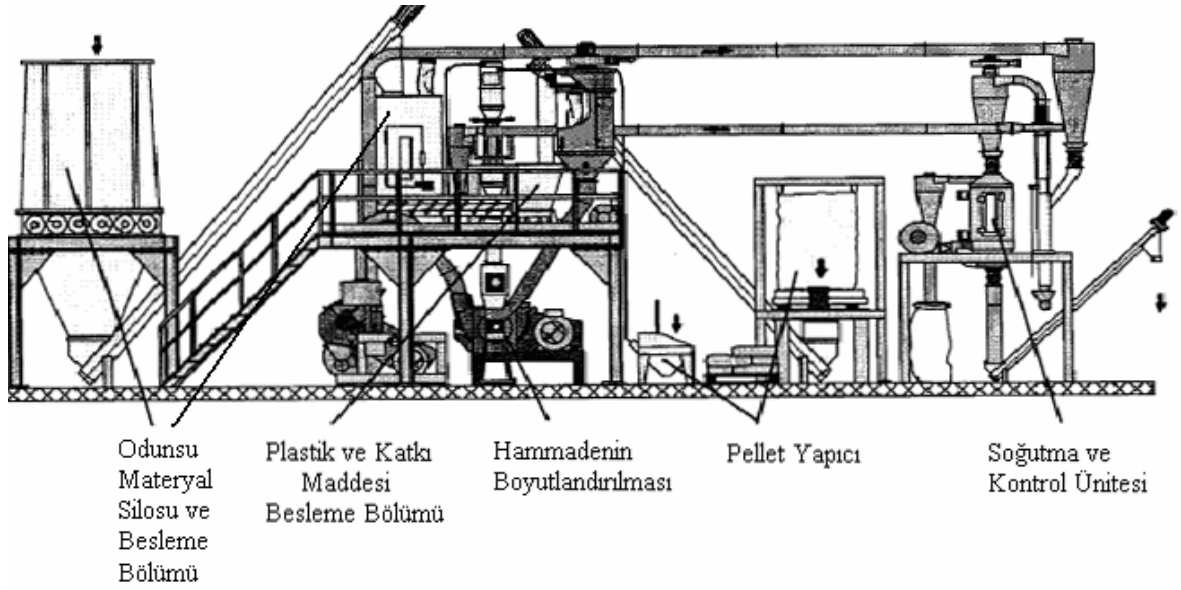
İkiz vidalı ekstruderlar ekstrüzyon işleminde veya kalıba enjekte yöntemlerinde karıştırma görevini yerine getirir.



Park and Balatinecz, çift halkalı döner öğütücü değirmenlerin (Szego ve Gelimat) kullanımını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada kullanılan odun dolgularının dağıtılmasında bu mikserler yeterli karıştırma sağlamıştır. Szego ve Gelimat mikserinin her ikisi de yoğurma ya da parçalama hareketlerini yapar. Yoğun kesicili karıştırıcılara sahip bu değirmenler enjeksiyon kalıplama yönteminden önce odun lifi ve termoplastik karışımlarının hazırlanmasını gerçekleştirebilir [44]. Gelimat mikseri, sıvı LDPE'nin parçalanması için gerekli olan yeterli sıcaklığı üretebilmektedir. Sürekli halkalı döner Szego değirmenlerde yüksek sıcaklıklarda eriyebilen polimerlerin eritilebilmesi için dış ısı kaynağına ihtiyaç vardır. Bu yöntem, sürekli bir metodun üretim faydaları yanında, Gelimat mikseri ile eş değer sonuçlar getirmektedir.

#### **1.5.2.1. Birleştirme ve Kalıba Enjekte Metodu ile OPK Üretimi**

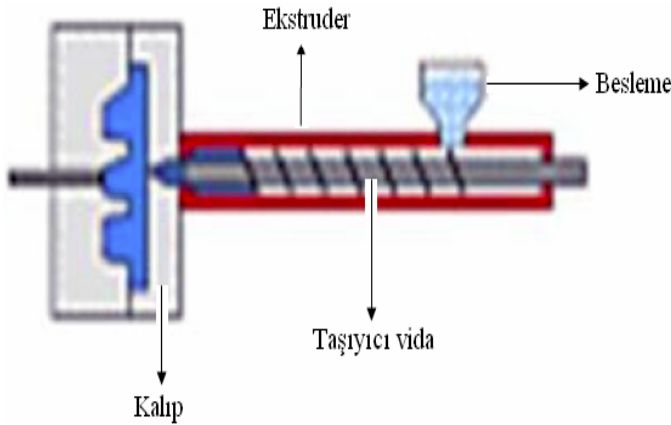
Genellikle, birleştirmenin anlamı; bir polimer ve yararlı katkı maddelerini ya da lifleri homojen bir bileşik olarak eriyik haline getirmektir. Bu birleştirme ikiz vidalı bir ekstruder içinde yapılabilmektedir. Polimerler (polipropilen gibi), katkılar (kararlılaştırıcı, yumuşatıcı gibi), güçlendiriciler ve/veya dolgulardan (odun lifleri) meydana gelen karışım yüksek sıcaklıklarda, özel vida geometrisiyle dizayn edilmiş, birlikte dönen iki vida ya da tek vida bulunduran karıştırma alanında harmanlanmaktadır. Karıştırmadan sonra vidalar, bileşiği “ekstruder” ın dışında açılan metal kalıba doğru bir ip gibi iter. Sonra da soğuyunca tane haline (pellet) getirir. Şekil 7’de OPK’de kullanılan taneciklerin farklı üretim yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 7. OPK üretiminde kullanılan taneciklerin (pellet) farklı üretim yöntemleri [62].

Bu tip üretimlerde odun lifleri karışımın içine ilave edilmeden önce kurutma işlemine tabi tutulmalıdır. Taneleştirilmiş karışım son ürün kalıba enjekte edilmeden önce tekrar kurutma işlemine tabi tutulur. Özellikle termoplastik endüstrisinde büyük miktarda seri üretimlerde, kalıba enjekte yöntemi sıkça kullanılan bir teknolojidir. Bu yöntemde önce

eriyik tekli bir vida (mil) ile iletilir. Sonra basınç ile bir kalıp boşluğuna enjekte edilir. Karışım, kalıp içinde soğuduktan sonra kalıp açılır ve ürün dışarı alınır. Malzeme karmaşık geometriye sahip olmadığı için, makine maliyetini ve büyük seri üretim için gerekli olan teçhizat maliyetini düşürür. Bu yöntem ile birçok parça aynı anda, farklı kalıplarda üretilebilir. Ancak üretim sıcaklıkları özel bir dikkat gerektirmektedir. Çünkü odun lifleri yükseltilmiş sıcaklıklarda bozulmaya eğilimlidir [14]. Şekil 8 ve 9'da kalıba enjekte etme yönteminde kullanılan ekstruzyon ve kalıp cihazı gösterilmektedir.



Şekil 8. Kalıba enjekte yönteminin şematik gösterimi

Şekil 9. Kalıp

### 1.5.2.2. Ekstruzyon Metodu ile OPK Üretimi

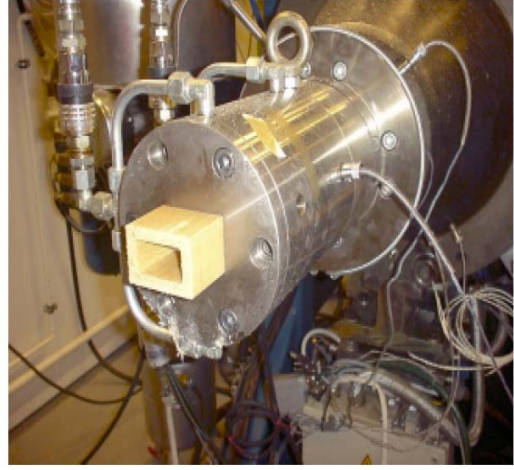
Ekstruzyon yüksek miktarlardaki termoplastik üretimler için çok yaygın kullanılan bir üretim metodudur. Dünyanın her yerindeki üreticiler çok geniş çeşitlilikte üretim gerçekleştirmektedir. Bunlara örnek olarak; plastik borular, filmler, levhalar, profiller ve kablo kaplamaları verilebilir. Bir kısmı hariç neredeyse tüm termoplastik malzemeler; katkı malzemeleri, dolgular dışında sayısız reaksiyon maddeleri de dâhil olmak üzere, birçok ilave madde kullanılarak ekstruzyon metodu ile üretilebilmektedir. Geleneksel bir ekstruder bir (tek vidalı ekstruder) ya da iki adet dönen vidadan oluşur (ikiz vidalı ekstruder) [10].

Bu vidalar malzemeyi vida boğazı bölgesinden ekstruder'ın içine taşımaktadır. Kesintisiz iş akışında ve besleme mekanizmasında sürekli ve homojen besleme yapmanın zorunlu olması nedeniyle malzemeyi çıkışa doğru yönlendirici yer çekimi besleyicileri kullanılmaktadır. Ürünü oluşturan ana eriyik vida boyunca taşınmaya başladığında

ekstruder cidarlarından kaynaklanan bir sürtünme ile karşılaşır. Vidanın bitiminde erimiş haldeki materyal kesintisiz bir akma ile itilir. Eriyik, sertleştirme işlemi için ekstruder'ın önündeki metal kalıp içine doğru gönderilir. Şekil 10 ve 11'de OPK üretiminde kullanılan ekstruder ve bir OPK örneğinin ekstruder'dan çıkışı verilmiştir.



**Şekil 10.** Ekstruder çıkışı



**Şekil 11.** OPK'nin ekstruderden çıkışı

#### 1.5.2.2.1. Tek Vidalı Ekstruder

Modern ekstruderlar hammaddelerin taşınmasında vidalardan yararlanılmaktadır. Vida, bir şaft etrafına sarıllı helezon şeklinde metal paralel halkalar olarak tanımlanabilir. Vida hareketinin gerçekleştiği silindirik duvarlara sahip kanal ise vidanın devirsel hareketiyle makaslama ya da parçalanma etkisine maruz kalan alanı temsil eder. Silindirik duvarlarda meydana gelen sürtünme ve vida hareketi, malzemenin ileri doğru çekilmesini ve malzemenin vida ile birlikte aynı yolda ilerlemesini sağlar [63]. Malzemenin ileri doğru taşınma oranı vida yolu çapı ve açısıyla, kanal derinliği ve vidanın dönme hızı ile orantılıdır.

Tek vidalı ekstruderlar, bitmiş ya da bitmemiş birçok üründe kullanılan termoplastiklerin çok geniş bir bölümü için oldukça kullanışlıdır. Tek vidalı ekstruderlar öncelikli olarak sürükleyici ya da itici bir pompa gibidir. Polimer proseslerinde gerekli olan yüksek basınç ve sıcaklık altında, yüksek akışkanlığa sahip sıvılar ile çalışmak için oldukça uygundur. Ekstrüzyon işlemi esnasında sürüklenme yüzeyini arttırmak için

vidanın hareket ettiği kanal uzunluğu artırılabilir. Kanal boyu ile vida çapı oranı tek vidalı ekstruzyon işlemi için oldukça önemli bir veridir. Boy-çap oranının artması yüksek sürtünme meydana getirmekte ve bu nedenle benzer ekstruzyon koşullarında çok daha fazla ileri doğru taşınım ortaya çıkmaktadır [64].

Ekstruderlar da bulunan kontrol panelleri sayesinde kullanan hammaddeye ya da üretim profiline göre program yapabilir ve üretim bandının hızı ayarlanabilir. Gaz alma ünitesi ile üretim esnasında hammaddedeki fazla rutubet ve gazların neden olduğu hava kabarcıklarının ve lekelerin oluşması engellenir. Tek vidalı ekstruderlarda vidanın içine yerleştirildiği silindir çok bölgeli tasarlanır. Bu sayede farklı bölgelere farklı sıcaklıklar uygulanabilmektedir. Hammaddenin olması gereken sıcaklığın üzerine çıkması halinde problemlerle karşılaşılabilir. Bu nedenle kullanılan soğutma fanları ile sıcaklık sabit tutulabilir [66].

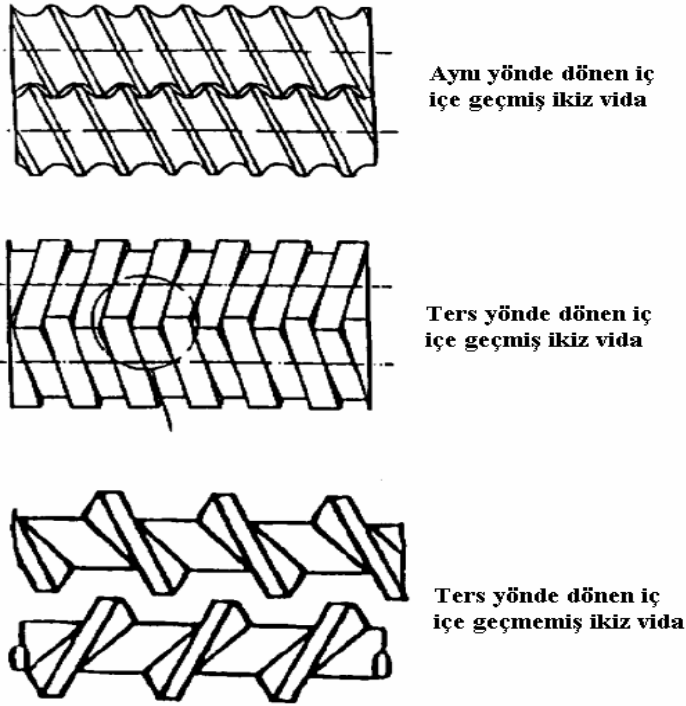
#### **1.5.2.2.2. İkiz Vidalı Ekstruder**

İkiz vidalı ekstruderlar genellikle, basınç ve karıştırmaya ihtiyaç duyulan ve tek vidalı ekstruderların yetersiz kaldığı üretimlerde kullanılır. Çift vidalı ekstruderlar vida dişleri içi içe geçmiş (dişlilere benzer şekilde) vidalı gibi olanlar ve olmayanlar olarak ikiye ayrılır. İç içe geçmemiş vidalı ekstruderlar, tek vidalı ekstruderlara benzer şekilde çalışırlar. Burada ileri doğru akış öncelikli olarak vida ve kanal arasında gelişen sürtünme ile sağlanır. İç içe geçmiş vidalı ekstruderlar ise malzemenin vida adımlarının birinin üzerinden diğerine geçmesi sağlamaktadır. Bu sayede malzeme homojen bir şekilde karışmaktadır. İç içe geçmiş vidalara sahip ikiz vidalı ekstruderlarda malzeme sürtünme gücü olmaksızın ilerlemektedir. Çünkü malzeme bitişik vidalar arasındaki kanallarda taşınmaktadır.

Vidalar, aynı yönde dönenler ve birbirine ters yönde dönenler olmak üzere sınıflandırılabilir. Aynı yönde dönen vidalar, aynı yönde ilerleme sağlarken ters yönde dönen vidalar farklı yönde hareket ederler [63].

Ters yönde dönen vidalı ekstruderlar, özel profil uygulamaları için gerekli olan yüksek basıncı üretme yeteneğine sahip ekstruderlardır. Aynı yönde dönen vidalı ekstruderlar benzer yüksek basıncı sağlayamamakta, fakat sahip olduğu kusursuz vida dizaynı sayesinde çok iyi karıştırma ve kısa zamanlı bir üretim işlemi sağlamaktadır. Çok

kısa üretim zamanı malzemelerin hepsinin aynı parçalanma ve sıcaklığa maruz kalmasını sağlar [24]. Şekil 12’de geleneksel ikiz vidalı ekstruderlara ait vida örnekleri gösterilmiştir.



**Şekil 12.** Geleneksel ikiz vidalı ekstruderlara ait vida örnekleri

Çift vidalı ekstruderların verimi itme basıncı ve hızının tek vidalı ekstruderlara göre azaltılmasına bağlı olarak benzerlik göstermekte, ancak ürün kalitesi iyileşmektedir. Bu ise maliyeti arttırmaktadır.

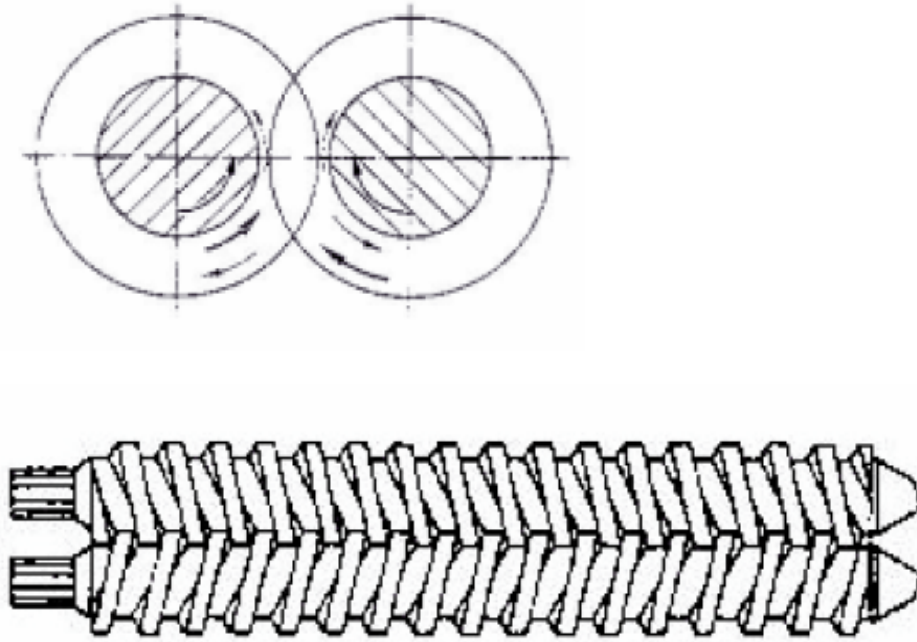
İç içe geçmiş vidalara sahip ikiz vidalı ekstruderlarda malzemenin taşınması sürtünme gücüne bağlı değildir. Çünkü malzeme bitişik vidalar arasındaki kanallarda (dişler arasındaki) taşınmaktadır. İkiz vidalı ekstruderın parçalama etkisi yine iki vida arasında ki etkileşim ile gerçekleşmektedir. Ters yönde dönen vidalara sahip ekstruderler nispeten daha düşük parçalama yapmaktadır. Çünkü iç içe geçen yerlerdeki vida hareket yönü her iki vida için aynıdır.

Bunun tersine aynı yönde dönen vidalı ekstruderlarda, dişlerin iç içe geçtiği alanlarda meydana gelen ters yönlü hareket yüksek parçalamayı sağlamaktadır. İkiz vidalı ekstruderların parçalama özelliğinin düşük olması nedeniyle üretim süresince sıcaklık artışı ve enerji kullanımını azaltmaktadır. Burada önemli olan polipropilen gibi hassas polimerler

için birleştirme sıcaklığının ve parçalanma etkisinin ayarlanması, minimum sıcaklıklarda kimyasal reaksiyonlar ve şekil verme işlemlerinin gerçekleşmesidir [64].

Huber (1996), iç içe geçmiş dişlere sahip ve aynı yönde dönen ikiz vidalı ekstruderların, sıvı termoplastik ve odun liflerinin birleşmesi için gerekli olan bağlar arası homojen dağılımı ve birleştirmeyi gerçekleştirecek özellikte olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca aynı üretim sürecinde ısıl bozunma ve lif kırılmasının minimize edildiği belirlenmiştir [65].

Yam ve arkadaşları, benzer ikiz vidalı ekstruder'ı kullanarak farklı konfigürasyonda vida hareketleri denemiştir. Vida hareketi için 45°den 90° ye kadar değişen açılar incelenmiş ve taşınma kabiliyetinin artan hareket açısıyla azaldığı görülmüştür. 90° gibi yüksek hareket açısı kullanıldığında kompozit oluşturma aşamasında dikkatli olunmalıdır. Zira bu noktada sıcaklık ve parçalanma işleminin çok uzun sürmesi nedeniyle lif kırılması oranında artış meydana gelmektedir [39]. İkiz vidalı ekstruderlar çok kararlı kalitelere ürün sunması yanı sıra, çok zor malzemelerin ekstrude edilmesini sağlamakta ve tek vidalı ekstruder'a göre çok iyi bir karıştırma kapasitesi yanında üretim maliyetini düşürmektedir. Yüksek hızlı ekstruderlarda vidaların dönüş hızları (dev/dak) 4 farklı kademeleri, düşük hızlı ekstruderlarda ise 2 kademeli olarak ayarlanabilir. Şekil 13'de geleneksel ikiz vidalı ekstruder'ın önden ve yandan görünüşü verilmiştir.



**Şekil 13.** Geleneksel ikiz vidalı ekstruder'ın önden ve yandan görünüşü [67].



Geleneksel ekstruderlar vida çapı ya da uzunluğu ile nitelendirilirler. Örneğin 75–30 D diye adlandırılan ekstruder 75 mm vida çapına sahiptir ve  $75 \times 30 = 2250$  mm uzunluğa sahiptir.

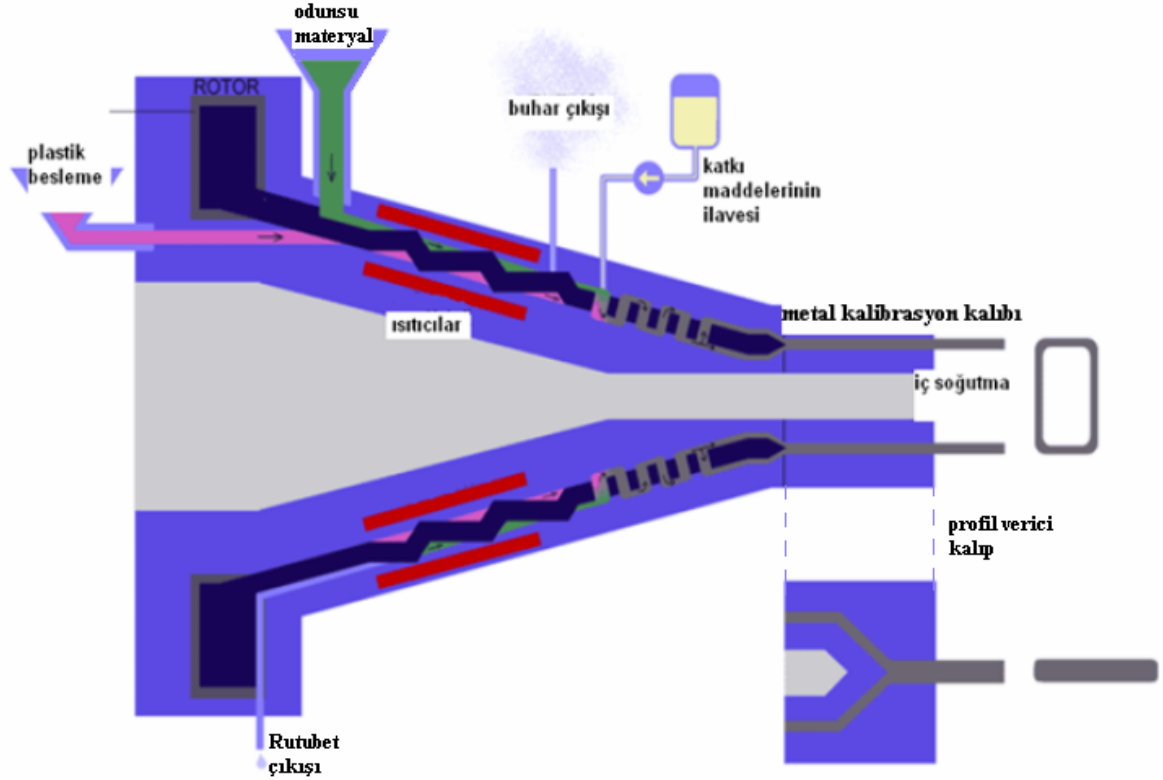
Geleneksel ekstruderlarda üretim esnasında malzemede rutubet istenmemektedir. Malzeme ön kuruluğa sahip olmalı, rutubet %1,5'un altında tutulmalı ve ekstruder bu rutubette beslenmelidir. Bu plastiği olduğu kadar lif malzemesini de kapsamaktadır. Plastik ekstruderları öğütülmüş yongaları işleyememesi nedeniyle odunsu materyal, çekiç değirmenler kullanılarak inceltme işlemine tabi tutulurlar. Kullanılacak lifler istenilen elek açıklığında elenmelidir (Genellikle 40 mesh). Bu işlemlerin ardından ikiz vidalı ekstruderların kuru lifleri ve plastik granülleri aynı anda kullanışlı hale getirilebilmesiyle teknik olarak birçok avantaj sağlamaktadır.

Ekstruzyon yöntemiyle OPK üretiminde, karışımı oluşturan tüm hammaddelerin yuvarlak top (pellet) şekline dönüştürülerek kullanımı yaygındır. Pellet kullanımı OPK ürünlerinde çok kullanılmakla birlikte, maliyeti kg başına 1€'dan fazla arttırmaktadır. Bu durum ekstruzyonun birçok değişik ürün uygulamaları için kullanımını ve uygulama alanlarını sınırlamaktadır [10].

1990'larda Finlandiyalı bir şirket olan Conenor Oy. Main tarafından keşfedilen ve geliştirilen Conex® ekstruderi, konik bir yapıya sahiptir. Bu şirketin ilk amacı plastik boru, telefon ve elektrik kablolarını kaplayıcı plastik üretimi idi. 2000'li yılların başından itibaren şirket bir seri üretim gerçekleştirmiş ve makine geliştirme projesi tasarlamıştır. Bunun sonucunda, odun ve diğer doğal lif kompozitleri için yeni bir yöntem ve ekstruder geliştirmiştir. Bu ürün ilk kez 2003 Eylül'ün de ki fuarda Viyana'da tanıtılmıştır. Avusturya'daki OPK konferansına tek adım yöntemini kullanan Conex® ekstruderları damgasını vurmuş ve bu sayede tüm gerekli üretim adımları tek bir ekipman ile gerçekleştirilebilmiştir.

Özel geometrisi sayesinde, aynı zamanda çok rutubetli ve taze işlenmemiş testere talaşı, kaba lif özelliğindeki hammaddeler %50 rutubet içerse dahi, Conex®'de işlenebilirler. Bu ekstruder ile rutubet serbest hale getirilerek ekstruder ve gövde içerisindeki buhar dışarı atılabilmektedir. Çıkan buhar daha çok ekstruder içindeki odun materyalinin ön ısıtılmasında kullanılmaktadır. Bu da enerji geri dönüşümü sağlamaktadır. Şekil 14'de ekstruder'in şematik görünüşü verilmiştir.





Şekil 14. Ekstruder'in şematik görünüşü [10].

### 1.5.2.3. Kalıba Dökme ve Presleme metodu ile OPK Üretimi

Kalıba dökme ve presleme, OPK'nin ilk üretim yöntemlerindedir. Kalıplamadan önce reçinenin karışımının hazırlanmasında büyük bir özen gösterilmesine ihtiyaç vardır. Reçine ve bütün katkı maddeleri, katalizör eklenmeden önce titizlikle homojen bir şekilde karıştırılmalıdır. Elde edilecek ürünün kalitesinin bozulmaması için karışıma havanın temas etmemesine dikkat edilmelidir. Aynı zamanda, en iyi malzeme özelliğini elde edebilmek için polimerizasyon reaksiyonunu kontrol etmek, hızlandırıcı ve katalizörleri eklerken ölçü ve miktarlarına dikkat etmek çok önemlidir. Çok fazla katalizör çok fazla jelleşmeye neden olurken, çok az katalizör ise başarısız sonuçlara neden olmaktadır. Asıl problem odun lifleri karıştırıldığında jelleşme zamanının çok kısa olmasıdır. Bu problem tam olarak homojen dağılım sağlansa dahi problem yaratabilir. Tam ve dikkatli bir karıştırmadan sonra karışım açık metal kalıp içine (basınç olmayan) ya da kapalı metal kalıp içine (basınç bulunan) dökülmektedir [18].

Termoset reçineler içinde yaygın olarak kullanılan polyesterler, kalıba dökme ile oluşturulan malzemeler olan, fiberglas levha üretiminde, deniz botlarında ve otomobil parçalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Polyesterler genellikle dolgu ve cam gibi dayanıklı lifler içermektedir. Polyester reçineler epoksi reçinelere göre oldukça düşük fiyatlar ve kısa sürede kalıplanabilme zamanlarına sahip formülasyondadırlar. Bunlar iyi su alma direncine, elektriksel özelliklere, yağ ve solvent direncine ve yüksek direnç-ağırlık oranlarına sahiptirler.

Polyester parçalar da büzüşme oranı çok yüksektir. Sertleşmeyi iyileştirme, kalıpta yayılmayı kolaylaştırma ve yüzey parlaklığı için çeşitli türlerde bağlayıcıların ilavesi sonucu polyesterler malzemelerin tutkallar ile bağlanması karmaşık olabilmektedir.

Polyester reçinesi atmosferle temas ettiğinde sertleşmeye başlar. Polyesteri kalıp içerisinde yayılmasını sağlayacak katkı maddeleri reçine içerisinde direkt olarak formüle edilmektedir. Bazen malzemelerin parlak yüzey görünümü için polyester formülasyonlarının içine termoplastik, poliolefinler (polipropilen yada olefin maddesi) ilave edilir. Yüzey tabakası hazırlanırken muhtemel zayıf sınır tabakalarını göz önünde bulundurmamak gerekmektedir. Önerilen yüzey hazırlığı basitçe solvent ile temizleme, vaks sürme ya da zımparalama işlemidir [30].

Kalıba dökme ve presleme yöntemiyle üretilen bir diğer üründe tetrapak levhalarıdır. YEKPAN levhalarının üretiminde Tetrapak (karton içecek) kutuları ve polivinilklorür atıklarından yararlanılmaktadır. Bu amaçla, kumbaralarda toplanılan, süt ve meyve suyu dolumu esnasında oluşan ve çöplerden ayrılan kutular ve pet şişe atıkları fabrikanın atık sahasına getirilmektedir. Ön yıkamadan geçirildikten sonra sıcak yıkama ve kurutma işlemine tabi tutulurlar. Granül makinelerinde 4–6mm boyutlarında parçalanırlar. Üretilen levhanın özelliklerine bağlı olarak harmanlandıktan sonra granül depolarına alınırlar. Karışımı; ortalama %55–60 oranında pet şişe atığı ve %40–45 oranında ise tetrapak kutu içermektedir. Granül depolarının çıkışında levha ağırlığı dikkate alınarak ağırlık dozajlaması yapılır.

Dozajlanmış materyal 225x120cm boyutlarındaki pres kalıplarının içine dökülür. Homojen bir şekilde yayılarak serme yapılır. Bunun ardından taslağın levha haline dönüşebilmesi için sıcak ve soğuk presleme yapılır [68].

Sıcak preslemede pres sıcaklık ve basıncı, prese yerleştirilen taslak rutubet ve kalınlığına bağlı olarak ayarlanmaktadır. Taslakların levha haline dönüşebilmesi için presleme sırasında hem tetrapak kutularında bulunan plastiklerin hem de pet şişelerin

erimesinin sağlanması için; 150–200°C pres sıcaklığı, 5–20 dakika pres süresi ve 200-250kp/cm<sup>2</sup> pres basıncı uygulanmaktadır. Sıcak preslemenin ardından soğuk presleme uygulanmaktadır [68].

Sıcak presten alınan levhaların kontrollü bir şekilde soğutulması, soğuma sırasında şekil değişikliği ve geriye yaylanma oluşumuna fırsat bırakmamak için soğuk preslemeye tabi tutulurlar. Soğuk preste basınç 49–50 kp/cm<sup>2</sup> dir. Soğuk presten alınan levhalar kalıplardan çıkarıldıktan sonra kenarları alınır. Özellikle kalıp tahtası olarak satışa sunulur [68].

### 1.6. OPK'nin Diğer Levha Ürünleriyle Kıyaslanması

Dünya genelinde yüksek maliyet ve temiz kerestenin bulunabilirliğinin azalması, birçok yapı ürünü üreticisini geleneksel olmayan malzemeleri dikkate almaya yönlendirdiği belirlenmiştir. Odun ve diğer doğal lifler ile sağlaştırılmış termoplastikler yapı inşaatında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Özellikle dış ortamlarda kullanılacak ürünler ve pencere ürün pazarında bu durum belirgindir. Plastik içine odun liflerinin ilave edilmesiyle plastiklerde sıcaklık etkisiyle oluşan boyutsal kararsızlıklar önlenmektedir. Bu karmaşık ürün dizaynı için plastiğin kullanılabilirliğine izin vermektedir. Bunlara ilave olarak söz konusu kompozitler çevresel kirlilik açısından da ilgi çekmektedir. Çünkü hem atık odun hem de geri dönüştürülmüş plastik ürün kullanılmaktadır.

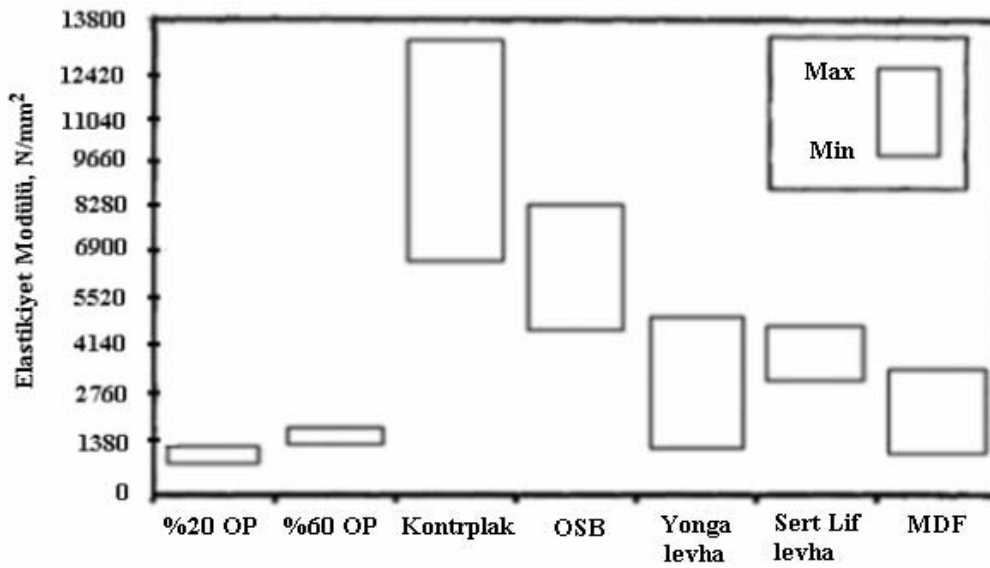
Burada anlatılacak olan karşılaştırma sonuçları Wisconsin üniversitesi doğal kaynaklar bölümü ile North Wood Plastics Inc. arasındaki iş birliği ile USDA (United States Department of Agriculture) Amerikan Orman ürünleri laboratuvarında gerçekleştirilmiş çalışmaların sonuçlarıdır. OPK levhaların kalitesi, beş farklı odun esaslı ürün ile kıyaslanmıştır. Bunlar; kontrplak, OSB (yönlendirilmiş yongalevha), MDF (liflevha), standart sert levha ve yongalevhadan oluşmaktadır.

Bu çalışmada, ikiz vidalı ekstruder kullanılmıştır. Pellet halindeki karışımlar %20 ile %60 oranında odun içermektedir. Bu amaçla 40 Mesh ölçüsünde odun yongaları kullanılmıştır. Polimer malzeme olarak ise, polimer ağırlığın %50/50'si oranında karıştırıldığı düşük yoğunluktaki polietilen ve polipropilen kullanılmıştır [69].

İki bin den fazla test örneği, ASTM D 1037 'nin bildirdiği standarda göre testlere tabi tutulmuştur. Malzemelere; eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme

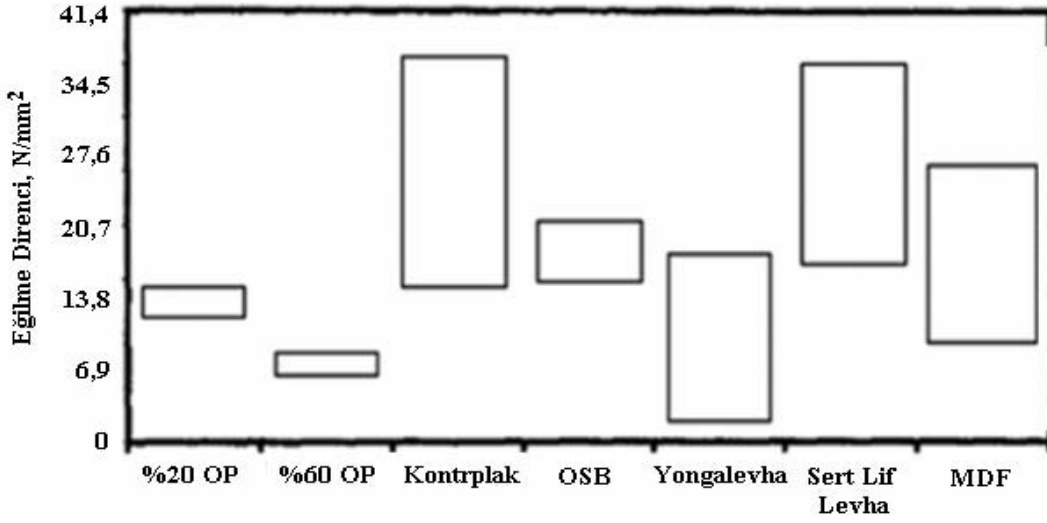
direnci, sertlik direnci, makaslama direnci, rutubet absorbsiyonu, ısıyla genleşme testleri uygulanmıştır [70].

OPK'nin elastikiyet modülü değerleri diğer odun esaslı levhalara oranla önemli oranda düşük olduğu görülmektedir (şekil 15). %60 odun hammaddesi içeren levhalardan elde edilen değerlerin, yongalevha ve MDF için elde edilen değerler ile karşılaştırılabilir olduğu belirlenmiştir. %20 odun hammaddesi içeren levhaların değerleri ise yongalevha ve MDF'lerin değerlerine benzemektedir.



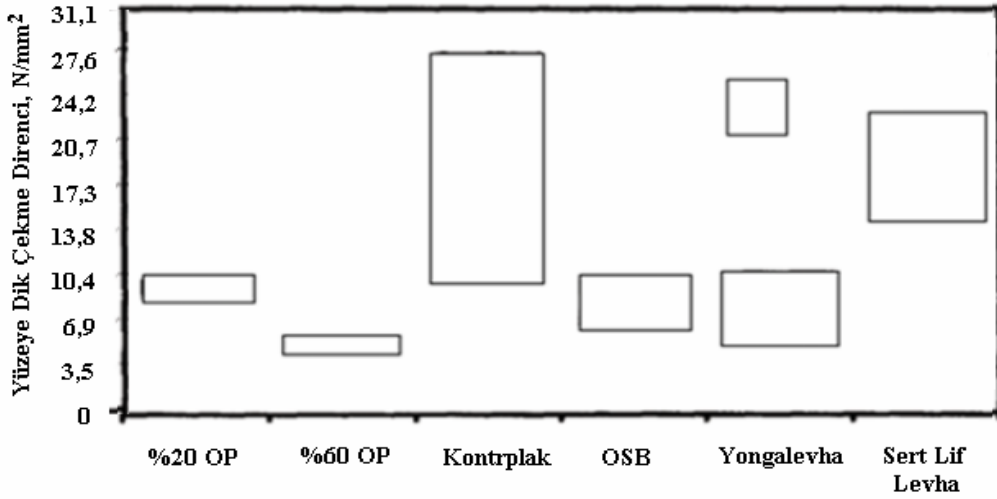
Şekil 15. Elastikiyet modüllerinin karşılaştırılması

OPK'lerinin eğilme direnci değerlerinin, odun esaslı levhalarda bulunan en düşük değerler ile karşılaştırılabilir olduğu belirlenmiştir (Şekil 16). %20 Odun hammaddesi kullanılan OPK'ların, OSB, yongalevha ve MDF'nin sağlamlık derecesiyle mukayese edilebilir olduğu belirlenmiştir.



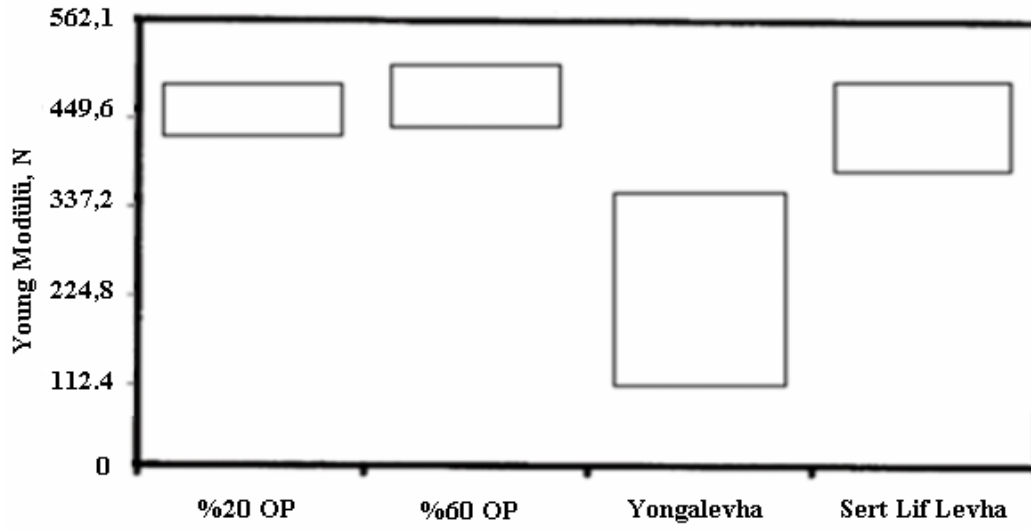
**Şekil 16.** Eğilme direnci değerlerinin karşılaştırılması

Odun hammaddesi ilavesinin OPK'nin yüzeye dik çekme direnci değerlerini önemli miktarda düşüğü görülmüştür (Şekil 17).



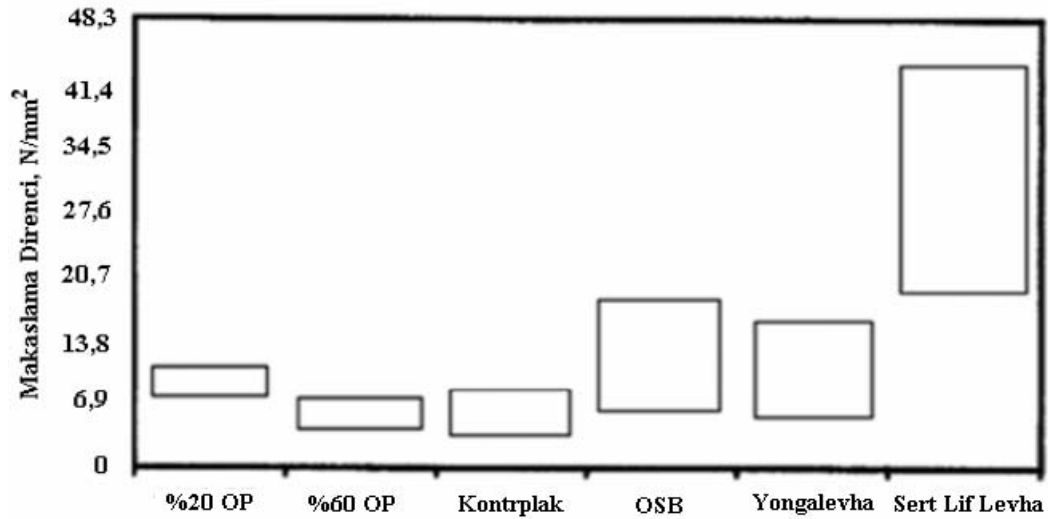
**Şekil 17.** Yüzeye dik çekme direnci değerlerinin karşılaştırılması

OPK levhalarının Young Modülü değerleri diğer kompozit ürünlere oranla çok daha yüksektir (Şekil 18). Yongalevhalar genellikle yer döşeme malzemelerinin alt kısmındaki uygulamalar için kullanılmaktadır. Denemeler sonucunda bu uygulamalar için OPK kullanımının daha uygun olacağı belirlenmiştir.



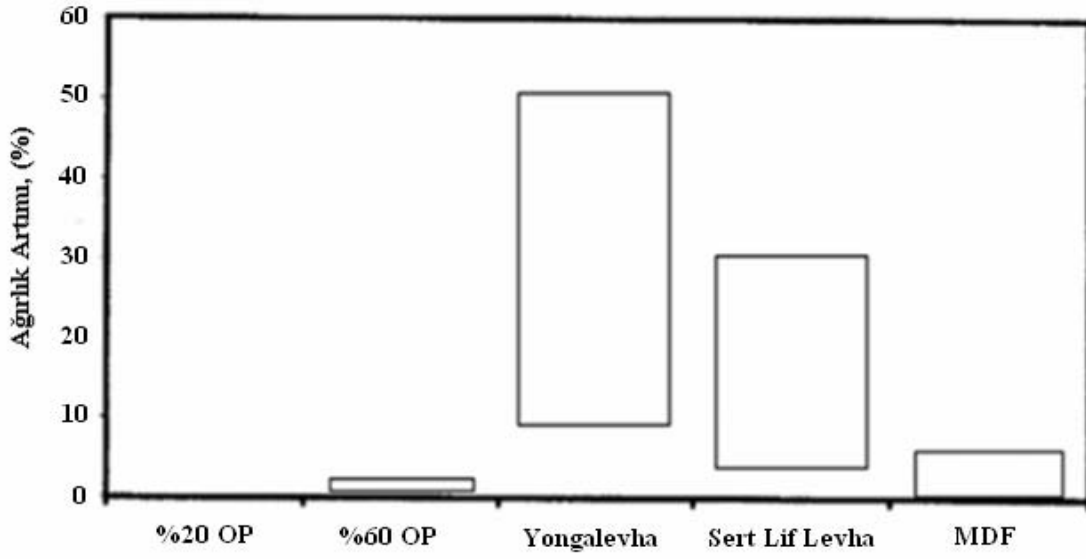
Şekil 18. Young Modülü değerlerinin karşılaştırılması

Makaslama direncinde, OPK'lar odun esaslı levha ile benzer özellikler göstermektedir (Şekil 19). Sadece sert levhaların makaslama direncini belirgin bir şekilde diğerlerinden daha yüksektir.



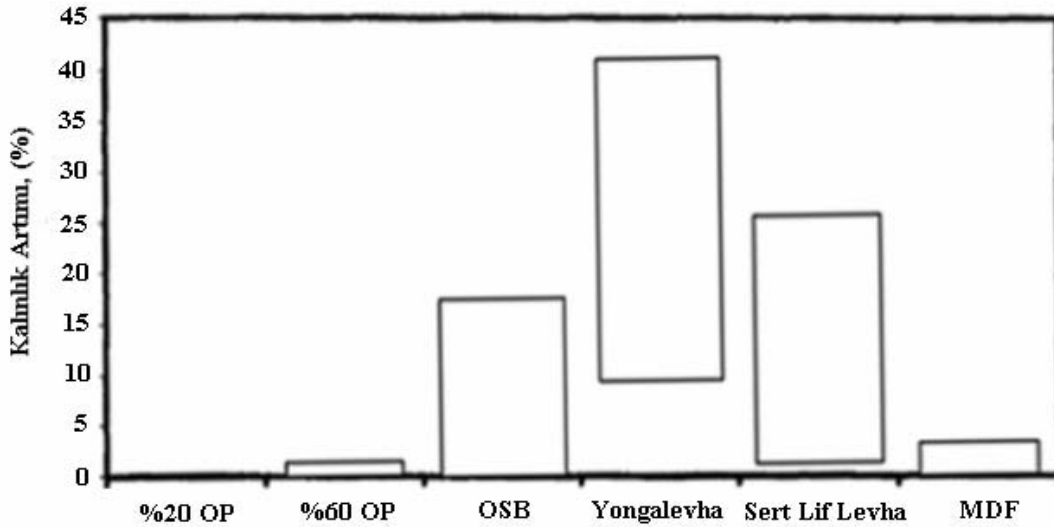
Şekil 19. Makaslama direnci değerlerinin karşılaştırılması

OPK levhalarının rutubet absorpsiyon değeri oldukça düşüktür. 24 saat suda bekletilen örneklerde %60 odunsu materyal içeren panellerin su absorpsiyon değerleri diğer levhalar ile kıyaslandığında ihmal edilebilecek kadar düşüktür (Şekil 20).



**Şekil 20.** 24 saat suda bırakılan örneklerin ağırlık artışı değerlerinin karşılaştırılması

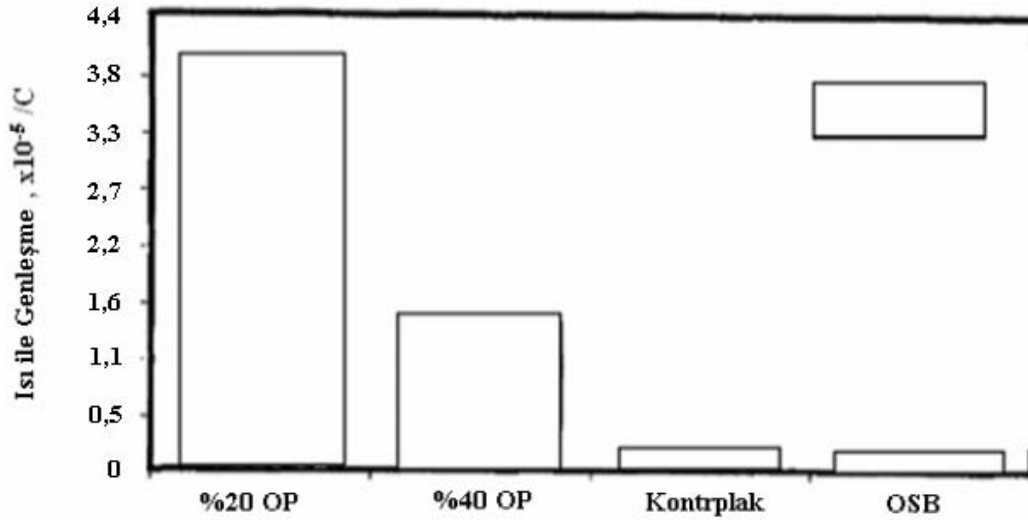
24 saat suda bekletme sonrası OPK levhalarının, kalınlık artışı değerleri odun esaslı levhalar ile kıyaslanamayacak derecede düşüktür (Şekil 21). Sadece MDF'nin özelliklerinin odun plastik kompozitlerine yakın değerler verdiği görülmüştür.



**Şekil 21.** 24 saat suda bırakılan örneklerin kalınlık artışı değerlerinin karşılaştırılması

Plastikle ilgili çok konuşulan önemli bir problem, plastiklerin ısıyla genleşme katsayılarının yüksek olmasıdır. Bu özellik genellikle odun esaslı levhalar için göz ardı

edilebilmektedir. Odun liflerinin eklenmesi plastiğin ısıyla genişmesini büyük oranda azalmaktadır (Şekil 22).



Şekil 22. Isı ile genleşme katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

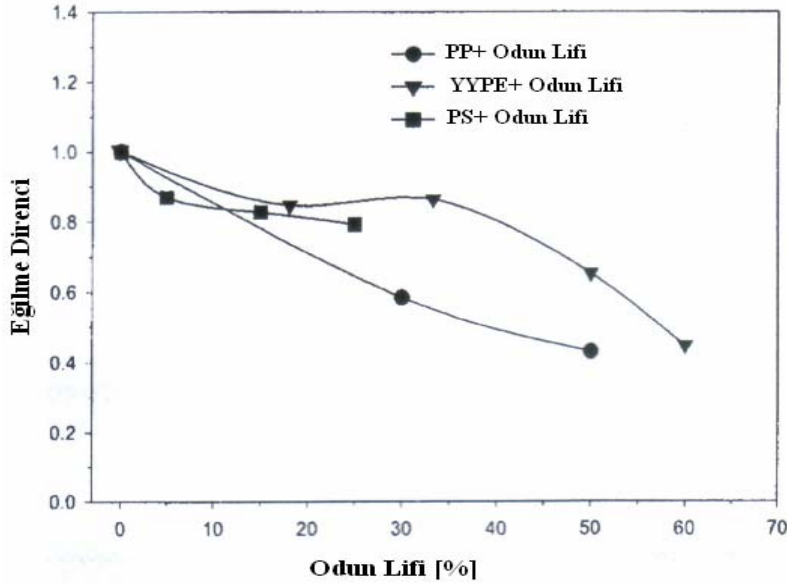
Tablo 8. OPK'nin genel özelliklerinin diğer odun esaslı levhalar ile kıyaslanması

Özellik	Düşük Performans	Benzer Performans	Yüksek Performans
Eğilmeye elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )	X		
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	X		
Gerilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )		X	
Makaslama Direnci(N/mm <sup>2</sup> )		X	
Sertlik Değeri		X	
24 saat suda bekletilen örneklerin su alma oranı (%)			X
24 saat suda bekletilen örneklerin kalınlık artışı (%)			X
Isısal Genleşme Katsayısı $\times 10^{-5} / ^\circ C$	X		

Liang ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada, OPK'ların mekanik özellikleri incelenmiş, termoplastik türü ve odun lifi kullanım oranının malzemenin yüzeye dik çekme direncini etkilediği belirlenmiştir. Özellikle işlenmemiş

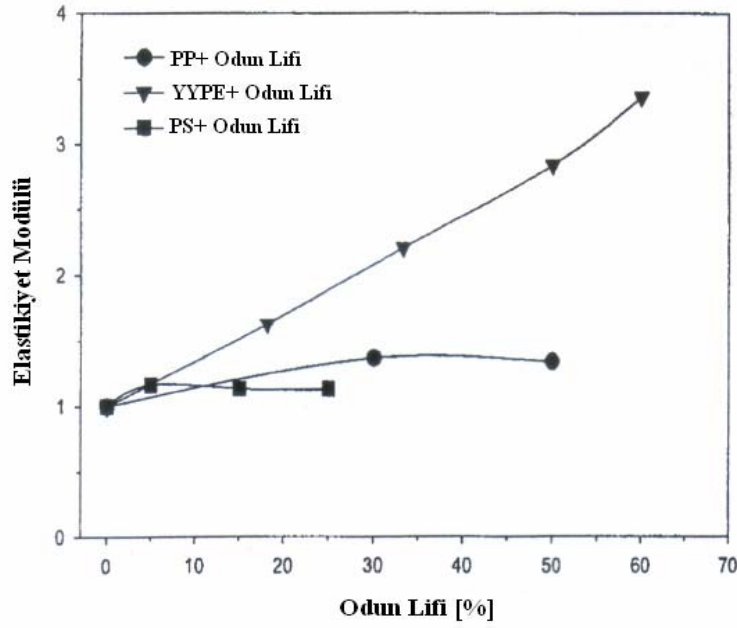


polimerler kullanıldığında mekanik özelliklerin farklılık gösterdiği saptanmıştır. Şekil 23 ve 24’de direnç değerleri verilmiştir.



**Şekil 23.** Odun lifi oranının eğilme direncine etkisi

Propilen, geri dönüşümden elde edilmiş yüksek yoğunluklu polietilen ve polistirenden ikiz vidalı ekstruder ile üretilen örneklerin eğilme direnci değerlerinin odun ilavesiyle birlikte yavaş yavaş azaldığı gözlemlenmiştir. Elastikiyet modülünde ise tersine lif ilavesi oranı arttıkça değer artış göstermiştir (Şekil 24). Lif oranının %5 den büyük olduğu durumlarda polistirenin çapraz bağlarına etkisiz olduğu görülmüştür [71]. Polipropilenin özellikleri polistirene benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir. Odun lifinin oranı %30 olduğunda elastikiyet modülü maksimum değere ulaşmaktadır [40]. %0 ile 60 oranlardaki odun lifinin ilavesi odun-YYPE kompozitlerinin elastikiyet modülü artışında çok fazla etkilidir [39]. Tersine, polipropilen ve polistiren ile üretilen levhalardan elde edilen değerler YYPE ile üretilen levhaların değerine ulaşmamaktadır [72].



Şekil 24. Odun lifi oranının elastikiyet modülüne etkisi

### 1.7. OPK'nin Özellikleri ve Kullanım Yerleri

OPK ürün olarak bazı avantajlı özelliklere sahiptir. Son zamanlarda geleneksel mühendislik odun ürünleri üzerine yapılan başarılı çalışmalara rağmen, odun malzemesinin çevre koşullarına maruz kalması durumunda su absorpsiyonu kalınlık artımı ve biyodegradasyon gibi etkilere karşı gösterdiği hassasiyet nedeniyle kullanımı kısıtlanmaktadır. Odunun higroskopik yapısının üstesinden gelebilmek için plastik kaplamalar (overlay) ve kimyasal müdahaleler gibi bir takım metodlara başvurulabilmektedir. Biyodegradasyonu önleyebilmek için uzun zamandan beri bazı kimyasal maddeler kullanılarak oduna emprenye işlemi uygulanmaktadır. Termoplastiklerin odun kompozitlerine katılması malzemenin su alım miktarı üzerine önemli bir engel oluşturur [73]. Ayrıca odun esaslı malzemelerden üretilen ürünlerin dayanımı ve ürün tasarımına etkisi üzerine çok az çalışma yapılmıştır.

Katı termoplastikler ile kıyaslandığında, OPK'lar farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptirler. Direnç ve sertlik özellikleri genel olarak malzeme, odun miktarı ve üretim metodlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yüksek oranlardaki odun ilavesi ultraviyole ışınlar karşısında dayanımı azaltmaktadır. Bazı koşullar altında odun ilavesi termoplastiklerinin erime ya da yumuşama sıcaklığını arttırabilmektedir.

Odun plastik kompozitleri üretim açısından da bazı olumlu özellikler sergilemektedir. Dökme kalıp yöntemiyle üretilen kapı göbekleri hariç geleneksel odun kompozitlerinden prizmatik malzemeler üretmek için düz presler kullanılmaktadır. Malzemelere herhangi bir biçim verebilmek için ikincil üretim adımları ve tipik biçme ve birleştirme işlemlerine gerek yoktur. Bu üretim Termodin yöntemiyle yongalevha üretimine benzemektedir [36].

Ekstrüzyon yöntemleri OPK üretiminde yüksek özellikli şekillerin verildiği lineer parçaların üretimine yoğunlaşmaktadır [73]. Bu teknik son ürün maliyeti ve birçok üretim adımını azaltacak avantajlara sahiptir. Odun termoplastik kompozitleri sentetik ve mineral dolgulu termoplastik kompozitler ile kıyaslandığında birçok avantajlarına sahiptir. Odun lifleri, sentetik liflerden hem daha düşük maliyette hem de daha düşük yoğunlukta kompozit üretimine imkân tanımaktadır. Odun dolgusu kullanımı yerine sentetik ve mineral lif kullanımı, makine ve diğer üretim ekipmanlarına çok fazla zarar vermektedir.

OPK'lar odun ve plastiğin karma özelliklerine sahiptir. Genel de katı termoplastiklerle kıyaslandığında, odunun termoplastik çapraz bağlara ilavesi ısısal kararlılık ve mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Tersine, termoplastik bileşeni odun elementleri için rutubet engeliyici özellik sergilemektedir. Odun ve geleneksel odun kompozitleri ile kıyaslandığında su absorpsiyonunu ve şişme karakteristiğini azaltmaktadır [6]. Tablo 9'da odun ve plastiğin birbirine göre üstünlükleri verilmiştir.

**Tablo 9.** Odun ve plastiğin birbirine göre üstünlükleri

	Özellikler	Odun	Plastik
	Ürün maliyeti (hammadde ve üretim)	+	
	Amortisman		+
	İşlenebilme	+	
Fiziksel özellikler	Yoğunluk	+	
	Rutubet direnci ve boyutsal kararlılık		+
	Isı ile genleşme	+	
	Elastikiyet modülü	+	
	Mekanik dirençler	+	+
	Yüzey kalitesi	+	
Ekoloji	Serbest karbondioksit		+
	Üretim sırasında enerji kullanımı		+
	Geri dönüştürülebilme	+	

Odun plastik kompozitleri sahip olduğu bu olumlu özellikler yanında bazı olumsuz özellikleri taşımaktadır. Katı termoplastikler ve diğer sentetik ve mineral esaslı kompozitler ile kıyaslandığında bir takım dezavantajlara sahiptir. Su absorpsiyonu ve kalınlık artımı OPK'leri de daha yüksek iken katı termoplastiklerde yok denecek kadar azdır. Odunun polar yapısı ve termoplastiklerin non-polar yapısı bağlanmayı sağlayabilmek için yüzey aktivasyon metotlarını birleştirici katkı maddelerini gerektirir. Diğer liflerin bağlayıcı plastik içinde tamamen dağılması nasıl zor ise, odun dolgularının da plastik içinde dağılımı o derece zordur. Bu yüzden uygun karıştırma teknikleri ve dağıtıcı katkı maddeleri kullanılarak etkili bir karışım elde etmek gerekmektedir [39].

OPK'i başta Amerika ve Avrupa'da olmak üzere dünyada birçok kullanım alanına sahiptir, bunları şöyle sıralayabiliriz [74].

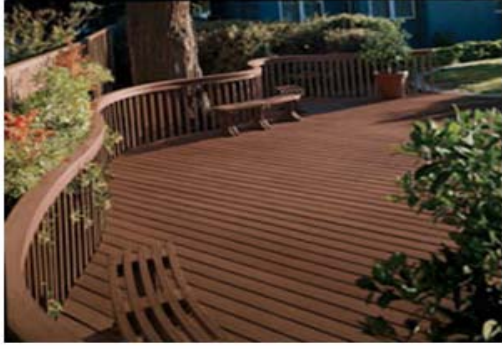
#### Dış Mekân

- Dış cephe kaplamaları
- Gemi döşemelerinin yapımı ve tren yolları
- Bahçe mobilyası ve mimarisi
- Korkuluk ve parmaklık yapımı
- Birinci sınıf işçilikler
- Çit ve çit destekleri
- Kablo döşemesi işlemleri
- Merdiven ve tırabzan yapımı

#### İç Mekân

- Raflarda
- Kapı, pencere çerçeveleri ve elemanları
- Mutfak dolapları
- Süpürgelik yapımı
- Döşeme kaplaması olarak
- Tavan ile duvar veya zemin birleşim yerlerinde
- Ofis mobilyaları
- Ses yalıtımı gereken yerlerde

Şekil 25’de OPK kompozitlerinin çeşitli kullanım yerleri gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 25.** OPK’nin çeşitli kullanım yerleri.

a) Döşeme, bahçe mobilyası ve mimarisinde kullanım. b) Pencere, korkuluk, döşeme olarak kullanım. c) Çit ve çit desteklerinde kullanım. d) Merdiven, trabzan ve su ile temas eden yerler.

OPK’nin polipropilen ile üretilen ürünlerin tipik kullanım alanı otomobil üretim sanayi ve yan sanayi ürünleridir. Ayrıca bu kompozitler inşaat ürünlerinde de kullanılmaya başlanılmıştır. PVC’nin kompozitleri önemli kullanım yerleri bulmuştur.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Ağaç Malzeme

Deneme levhalarının üretiminde ağaç malzeme olarak, Doğu Ladin'i (*Picea orientalis L.*) odunundan Orman Fakültesi, Yongalevha Pilot Tesisi'nde üretilen yonga ve odun tozlarının yanı sıra ÇAMSAN Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin Ordu'daki MDF fabrikasından gelen, %70 Doğu Kayını (*Fagus orientalis L.*) ve %30 Çam odunu (*Pinus silvestris L.*) karışımından hazırlanmış lifler kullanılmıştır.

##### 2.1.1.1. Doğu Ladini (*Picea orientalis L.*) Odunu Hakkında Genel Bilgiler

Gymnospermae'lerin *Coniferae* sınıfının *Pinacea* familyasının *Abitoidae* alt familyasından *Picea* cinsinin bir türü olan doğu ladini, 40–60m boylara ulaşan, 1,5–2m çap yapabilen, dolgun ve düzgün gövdeli, sivri tepeli önemli bir orman ağacıdır. Kabuk genç gövdelerde açık renkli ve düzgün, yaşlı gövdelerde koyu renkli ve çatlaklıdır. Dallar çevresel olarak sık bir halde tüm gövdeye yerleşmiştir. Genç sürgünler ince açık renkli ve çıplaktır. Tomurcuk kahverengi, sivri ve reçinesizdir. İlk yaşlarda yavaş büyüyen doğu ladininde 8 – 10 yaşından sonra büyüme hızlanmakta ve uzun yıllar sürmektedir

Odunu sarımsı beyaz renkte boyuna kesitlerde ipek gibi parlaktır. Diri ve öz odun renk bakımından farksız olup gövdenin iç kısmında diri odun ile aynı renkte ancak su oranı daha az olan olgun odun bulunmaktadır. Yıllık halkalar sınırlı belirgin ve ilkbahar odununda yaz odununa geçiş tedricidir. Yaz odunu kırmızımsı sarı renkte ve çok dar olup, radyal kesitte birbirine paralel şeritler oluşturmaktadır. Dar ve seyrek bir şekilde dağılmış bulunan reçine kanalları genellikle yaz odunu içinde açık renkte noktacıklar halinde ve radyal kesitte ince, fazla belirgin olmayan boyuna çizgiler halinde görülürler. Reçinesi sarı ve kahverengindedir. Çok ince olan özışınları çıplak gözle görülmemekle beraber tam radyal kesilmiş yüzeylerde mat bantlar halinde fark edilebilirler. Budaklar çoğunlukla küçük ve oval şekildedir.

Doğu ladini odununda çok çeşitli alanlarda yararlanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları; kâğıt hamuru ve selüloz üretimi, direk ve kalıp tahtası imalatı, bina, taşıt araçları, uçak sanayi, mobilya, yongalevha, kaplama ve kontrplak üretimidir. Ayrıca akustik özelliğinin iyi olmasından dolayı müzik aletleri yapımında da kullanılmaktadır [75].

### 2.1.1.2. Doğu Kayını (*Fagus orientalis L.*) Odunu Hakkında Genel Bilgiler

*Fagaceae* familyası türlerindedir. 30-40m boy ve 100-150cm kadar çapa ulaşabilmektedir. Odunu kırmızımsı beyaz renktedir. 80 yaşın üzerindeki ağaçlarda kırmızımsı kahverengi renge düzenli olmayan, iç kısımda dalgalı şeritli ve kırmızı yürek oluşumu adı verilen bir öz odun mevcuttur. Yıllık halka sınırları, koyu renkli yaz odununda trahelerin az sayıda olması ile belirgindir. Bu sınırları da kalın öz ışınları genişlemektedir. Traheler yıllık halka içinde dağınık biçimde, genel olarak düzensiz dizilmişlerse de ve bazen genç yaşlarda yarı düzenli (yarı halkalı traheli), yer yer düzenli (halkalı traheli) bir konum gösterirler. Öz ışınları tek ve çok sıralı homoselülerdir. Ancak değişik yapıdaki hücre tiplerinde heteroselüler de rastlanır. Enine kesitte genişliğifazla olan özışınları yıllık halka sınırında genişleyerek bir yay çizer. Teğet kesitte bazen kompakt ve düzgün bir iğ biçimini almaktan uzaklaşmaktadır. Genel dağılım içinde tek sıralı öz ışını oranı diğer iki ve çok sıralı tüm öz ışınlarını toplamın yarısına yakın bir orandadır [76].

Çatlama ve dönmeye eğilimi dolayısı ile dikkatli kurutulur. İşlenmesi kolaydır. Diri odunu iyi emprenye edilirken öz odunu emprenye edilmez.

Geniş bir kullanım alanına sahiptir. Masif ve bükme mobilya, spor aletleri ve alet sapları yapımında, tornacılık, kontrplak, kaplama ve parke üretiminde, fiçı sanayiinde, karoser yapımında, lif, yonga ve kâğıt üretiminde kullanılmaktadır [77].

### 2.1.1.3. Sarıçam (*Pinus silvestris L.*) Hakkında Genel Bilgiler

Sarıçam (*Pinus silvestris L.*) Gymnospermae sınıfından, *Pinaceae* familyasının *Pinus* cinsinin bir türüdür. Yetiştirme ortamlarına göre 20-40m boylarında narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı ya da dolgun ve düzgün gövdeli, yayvan tepeli ve kalın dallı bir her dem yeşil ağaçtır. Aslında bu son özellikler ağacın ileri yaşlarında oluşur. Bazen de fakir topraklarda ve kayalıklarda çalı halinde, bodur biçimde bulunmaktadır.

Önemli bir tanıma özelliği kabuktur. Kabuk genç bireylerde ve yaşlı ağaçların üst kısımlarında tilki sarısı veya kırmızimsı kahverengi bir renktedir. Gövdenin altlarında ve yaşlı ağaçlarda önceleri sarı olan renk koyulaşmakta ve gri kahverengi kalın ve çatlaklı bir biçim almaktadır. Genç sürgünler önceleri yeşilimsi sarı sonraları grimsi sarıdır ve çıplaktır.

Diri odun 5-10cm genişlikte, sarımsı ile kırmızimsı beyaz renkte, öz odun kırmızimsı sarıdır. Reçinelidir. Yıllık halka sınırları belirgin ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş tedrici bazen anidir. Ladin ve melezen daha büyük çapta olan reçine kanalları lup altında görülebilir. Traheidler 1800-4500mm uzunlukta, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş oldukça ani, ilkbahar odununda radyal çeperler üzerinde kenarlı geçitler büyük ve tek sıralıdır. Boyuna paranzim bulunmaz. Öz ışınları heterojen tek sıralı olup reçine kanalı ihtiva eder öz ışınları kısmen 2-5 sıralıdır. Karşılaşma yerlerindeki geçitler pencere tipindedir [78].

Tam kuru yoğunluğu  $0,49 \text{ gr/cm}^3$ , hava kurusu yoğunluğu  $0,52 \text{ gr/cm}^3$  tür. Basınç direnci liflere paralel yönde basınç direnci  $550 \text{ kg/cm}^2$ , liflere dik yönde ise  $77 \text{ kg/cm}^2$  dir. Özellikle yapı malzemesi (kapı, pencere, lambri, tavan ve taban kaplaması) olmak üzere mobilyacılık ve oymacılıkta kullanılır [79].

## 2.1.2. Plastik Malzeme

### 2.1.2.1. Polyester

Deneme levhalarının üretiminde özellikleri Tablo 10'da verilen polyester reçinesi kullanılmıştır. Bu amaçla Boytek ve Eskim firması ürünleri kullanılmıştır [80, 81].

**Tablo 10.** Döküm tipi polyesterlerin fiziksel özellikleri [80]

Görünüm	Berrak
Viskozite( cps)	600-750cps
Monomer (%)	Stiren (35±2)
Asit sayısı	28±2mgKOH/gr
Renk	Açık sarı



Tablo 10'un devamı

Yoğunluk	1,120±0,01gr/cm <sup>3</sup>
20°Cde karanlıkta kap ömrü	6 ay
Akışkanlık	Sıvı

**Tablo 11.** Döküm tipi polyesterlerin jelleşme karakteristikleri

Jelleşme süresi (dakika)	7,0±2,0
Pik sıcaklığı ( °C )	150±5
Pik sıcaklığı süresi (dakika)	12
Toplam pik sıcaklığına erişme süresi (dak)	20

**Tablo 12.** Araştırmada kullanılan döküm tipi polyesterin mekanik ve kimyasal özellikleri [81].

Özellikler	Polyester (BRE-314 EE)
Çekme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	60
Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )	4x10 <sup>3</sup>
Uzama (%)	3.4
Sertlik (Barcol)	45
Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	100
Kimyasal bileşim (mol ve%)	1 mol glikol 1 mol doymamış dibazik asit 1 mol doymuş dibazik asit 1 mol stiren

### 2.1.2.2. Jelkot

Deneme levhalarının üretiminde yüzey kaplayıcı malzeme olarak Jelkot kullanılmıştır. Jelkot, neo pentil glikol esaslı olup, fiziksel ve kimyasal dayanımı çok iyi, parlak, sararmayan, matlaşmayan, aşınmaya dayanıklı, estetik açıdan görünümünün de önemli olduğu alanlarda iyi sonuç veren bir polyesterdir. Küvet, lavabo, polyester mermer, traktör kabini, çatı ve cephe kaplaması polyester ürünlerin üretiminde kullanılır [82].

Tablo 13'de deneme levhalarının üretiminde kullanılan Jelkot özellikleri verilmiştir.

**Tablo 13.** Jelkot'un teknik özellikleri

Görünüm	Berrak olmayan
Viskozite	10500 – 11500 cps
Monomer	% 42 ± 1 Stiren
Renk	Şeffaf
Yoğunluk (20°C)	1.066 ± 0.01 gr/cm <sup>3</sup>
Jelleşme süresi (20°C) (dak.)	10 ± 2
20°C'de karanlıkta kap ömrü	6 ay

### 2.1.2.3. Katkı ve Dolgu Maddeleri

#### 2.1.2.3.1. MEKP (Metil Etil Keton Peroksit)

Deneme levhalarının üretiminde sertleştirici olarak MEKP kullanılmıştır. MEKP polyestere %1,5 oranında katılmıştır. Tablo 14'de MEKP'ye ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir [81].

**Tablo 14.** MEKP'ye ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Görünüm	Renksiz, berrak
Yoğunluk	1.13 +0.01
Aktif haldeki oksijen içeriği	%8.5 ± 0.1
Alevlenme sıcaklığı	100°C
Ekzotermik bozunma sıcaklığı	68-70°C
Doymamış polyester içindeki kritik sıcaklığı	80°C

#### 2.1.2.3.2. Kobalt

Deneme levhalarının üretiminde hızlandırıcı katalizör olarak kobalt kullanılmıştır. Kobalt hızlandırıcıları organik Kobalt tuzlarıdır. Genellikle ya Kobalt oktoat veya Kobalt naftanat şeklinde bulunur. Dozajı ayarlamak maksadıyla Kobalt hızlandırıcılar %1, %6 veya %10 metal ihtiva eden çözeltiler şeklinde piyasaya sürülürler. Kobalt, malzeme

yüzeyinde kurutucu etki yapar. Polyestere %0,5–1 oranında ilave edilmiştir [31, 83]. Tablo 15’de Kobalt’a ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir [84].

**Tablo 15.** Kobalt’a ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Yoğunluğu	8.900g/mL
Erime noktası	1495°C (1768K)
Kaynama noktası	2927 °C (3200K)
Molar hacmi	6.67 ml/ mol
Mineral sertliği	5
Özgül ısı	0.42 J g <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Isı iletkenliği	1W/cmK
Buharlaşma Entalpisi	375kJ mol <sup>-1</sup>
Atomlaşma Entalpisi	426kJ mol <sup>-1</sup>
Atomik yarıçap	135pm

### 2.1.2.3.3. Kalsit

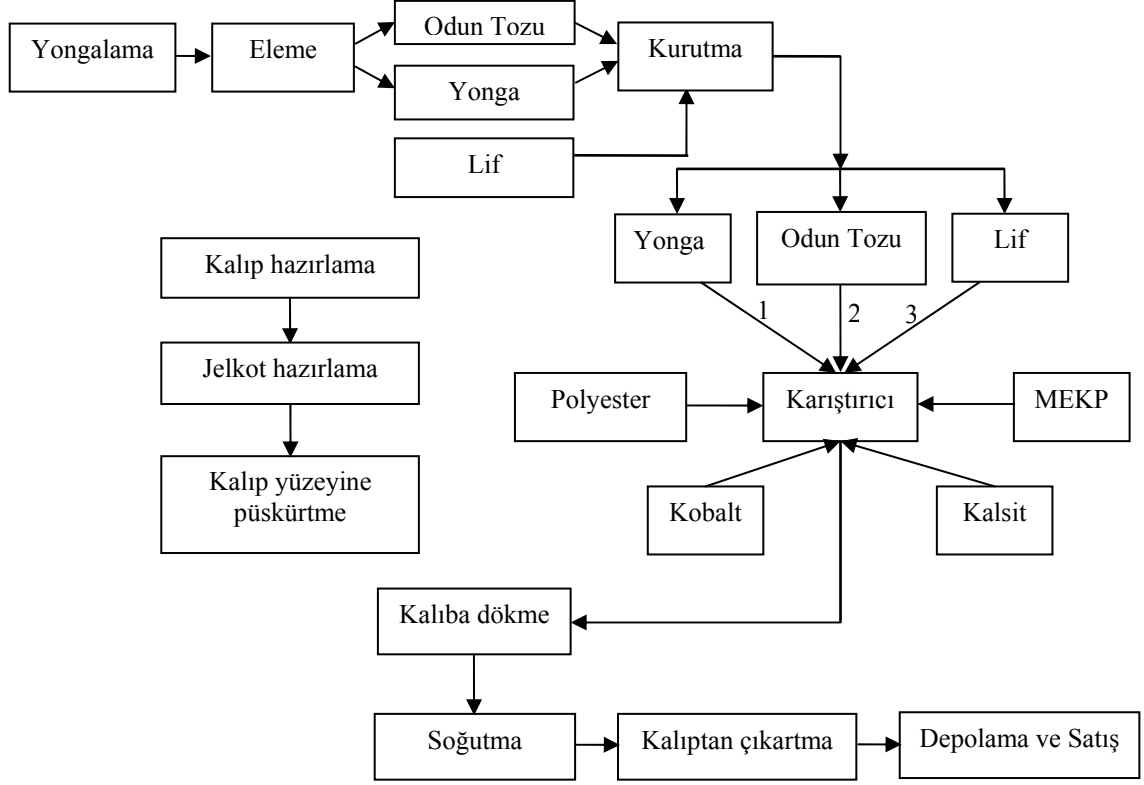
Kalsit hazırlanan deneme levhalarında dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Toz halinde kullanılan kalsit saf polyester levhalar için 2,5 katı oranında, odun polyester kompozit levhaları için ise 2 katı oranında dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır [83]. Tablo 16’da Kalsit’e ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler verilmiştir [85].

**Tablo 16.** Kalsit’e ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler

Görünüm	Camsı parlaklıkta, renksiz
Sertliği (Moh’s skalaya göre)	3
Yoğunluğu	2,6-2.7 gr/cm <sup>3</sup>
Kimyasal yapısı	CaCO <sub>3</sub>

## 2.2. Deneme Levhalarının Üretimi

Deneme levhalarının üretiminde uygulanan iş akışı Şekil 26’de verilmiştir.



Şekil 26. Deneme levhalarının üretim iş akışı

### 2.2.1. Yongalama

Kaba yongalama işlemi, kaba yongalayıcı makinenin kullanım talimatına uygun 2,5cm kalınlıkta biçilmiştir. Kaba yongalama makinesi olarak Robert Hildebrand marka laboratuvar (20/6/2) tipi iki bıçaklı kaba yongalayıcı kullanılmıştır. Üretilen yongaların boyutları 10-60mm arasında değişir. Levha üretimine uygun yongaları doğrudan üretime imkânı olmadığından daha önce kaba yongalama makinesinde elde edilen yongalar R. Hildebrand marka ve 6 çekiç, 16 bıçaktan oluşan bıçak halkalı ince yongalama makinesinde sekonder yongalama ile uygun hale getirilmiştir [47].

### 2.2.2. Eleme

Yongaların tasnif edilmesi için Algemaier marka yatay hareket eden üç kademeli elek kullanılmıştır. 1,5mm gözenekli elek üzerinde kalan yongalar tekrar ince yongalama makinesinde yongalanmışlardır. 1,5mm gözenekli elekten geçen ve 0,5mm gözenekli elek üzerinde kalan yongalar POYL üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca 0,5mm gözenekli elekten geçen odun tozu elekten alınarak POTL üretiminde kullanılmıştır.

### 2.2.3. Kurutma

Yongaların kurutulması konveksiyon kurutma kurallarına bağlı olarak iki kademeli olur [47].

- Kapılar suyun buharlaşması, sabit kuruma hızı ile gerçekleşir.
- Buhar difüzyonu, kuruma hızı yonganın özelliklerine bağlıdır.

Elenen yongalar laboratuvar tipi kurutma fırınında 90°C’de %1 rutubete kadar kurutulmuştur. Çalışma esnasında daha yüksek sıcaklıklar uygulandığında toz halindeki odunsu materyalin yanma eğiliminde olması nedeniyle, kurutma işleminde sıcaklık 90°C seçilmiştir.

### 2.2.4. Lif Üretimi

MDF üretiminde kullanılacak odun hammaddesinin mekanik, fiziksel ve ekonomik yönden üretime uygun olması gerekmektedir. Üretimde hammadde olarak düşük değerli odunlar kullanılır. Bu amaçla sınıflandırma dışı yuvarlak odunlar, aralama kesimlerinden elde edilen odunlar, kereste ve kontrplak endüstrisi atıkları vb. kullanılabilir. Fabrika sahasında odunlar uygun koşullarda tür ve rutubetlerine göre depolanırlar.

Odun hammaddesinde; rutubetin % 40–60 arasında olması, çürüklük ve budak bulunmaması, çapın 8cm den küçük 40cm’den büyük olmaması, boyların 2m’den uzun olmaması, kütük ve kütük odununun bulunmaması, PH’ı düşük odunların alınmaması bir veya iki taraflı eğriliğin % 10’u geçmeyecek şekilde bulunmasına özen gösterilir.

Yongalama makinesi üzerinde iki parçadan oluşan toplam 3 bıçağın bulunduğu tambur tipi bir yongalayıcıdır. Odunlar kör bıçak ile rotor üzerindeki keskin bıçak arasında

yongalanır. Yongalayıcının arka kısmındaki elekten geçen 4\*4cm ebadındaki yongalar üretime gönderilir. Elek üzerinde kalan kaba materyal ise tekrar yongalanır. Yongalar üst şinekede yıkanır. Yaklaşık 2 bar piston basıncıyla oluşan sıkıştırma sonucu hem bir mantarlaştırma işlemi uygulanmış olur. Hem de içerisindeki istenmeyen toz ve kirler temizlenmiş olur. Yongalar pişirme kazanına üst şineke ile gönderilir. Aynı anda karşı taraftan mantarlaştırma pistonu sıkıştırma işlemi yaparak yongalardaki hücre boşluklarında bulunan suyun atılmasını sağlayarak buharın hücre çeperine girişini kolaylaştırmaktadır.

Kazan içindeki yongalar buharla pişirilir. Karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılarak pişen yongalar alt şinekeye gönderilir. Pişmiş yongalar alt şineke ile sabit şinekeye, oradan içerisine parafin ilavesi yapılarak liflendiriciye gönderilir. Parafinin akışkanlığı az olup daha fazla yonganın daha kolay liflenmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle parafinin tutkallama dışında verilmesi daha uygun olmaktadır.

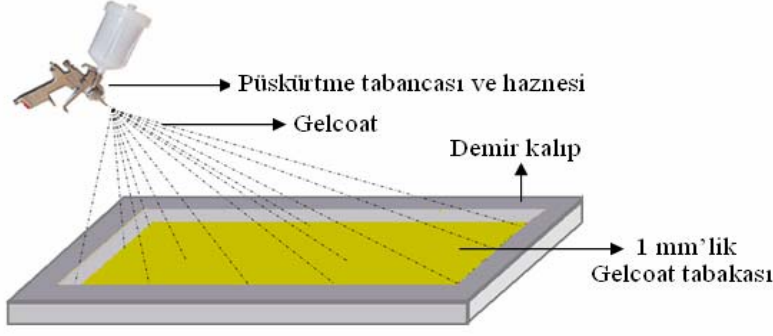
Liflendirici segmentler içerisine alınan yongalar biri sabit diğeri hareketli olan çift yönlü segmentlerle liflendirilir [86].

### **2.2.5. Kalıbın Hazırlanması**

Deneme levhalarının yapılacağı kalıplar 20x20mm kesitli demir çubuklardan 1390mm boyunda ve 450mm genişliğinde dikdörtgen levha oluşturacak şekilde hazırlanmıştır. Bu amaçla demir çubuklar düz ve titreşimli bir masanın üzerine sabitlenmesiyle oluşturulmuştur. Hazırlanan kalıplara yüzey yapışmasını önlemek için vaks sürülmüştür.

### **2.2.6. Jelkot'un Hazırlanması ve Püskürtülmesi**

Jelkot'a, Jelkot miktarının %25'i oranında aseton ilave edilip viskozite düşürüldükten sonra %4 oranında MEKP konularak püskürtmeye hazır hale getirilmiştir. Püskürtme işlemi için, 500ml kapasiteli üstten hazneli tek enjektörlü hava tabancası kullanılmıştır. Püskürtme işlemi vaks sürülen yüzeyde 1mm kalınlık oluşturacak şekilde uygulanmıştır. Şekil 27'de çalışmada kullanılan kalıplara Jelkot püskürtme işleminin uygulanışı verilmiştir.



Şekil 27. Jelkot tabakasının püskürtülmesi

### 2.2.7. Levha Üretimi

Deneme levhalarının üretiminde yedi ayrı varyasyonda levha dökümü yapılmıştır. Birinci varyasyonda kontrol grubu olarak standart saf polyester levha üretilmiştir. Birinci varyasyon levha üretiminde diğer levha üretimleriyle aynı yol izlenmekle beraber odunsu materyal kullanılmamıştır.

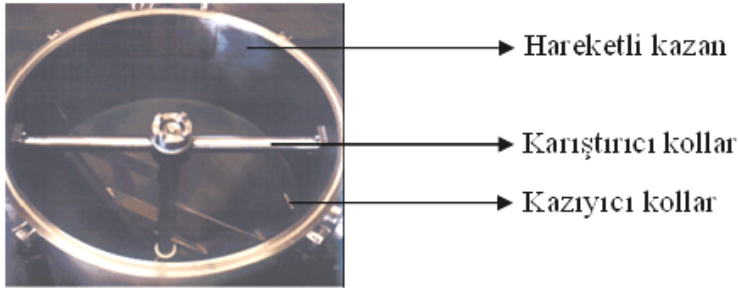
Levha üretimi için karıştırma kazanına ilk önce polyester malzeme konulmuştur. Sonra %1 rutubete kadar kurutulmuş yonga, odun tozu veya lif malzemesi karıştırma kazanına dökülmüştür. Karıştırma işlemi başlatıldıktan sonra, karışıma formülasyonlarına uygun olarak kalsit, kobalt ve MEKP ilave edilmiştir. Homojen hale getirilen karışım kalıp içine dökülmüştür. Masanın titreşimli hareketi ve spatula vasıtasıyla kalıp içerisine homojen bir şekilde yayılan malzeme, silindir şeklinde ağır rulolar yardımıyla düzeltilmiştir. Döküm işlemi gerçekleştirdikten sonra sertleşmenin sağlanması için levha bir gün süreyle kalıpta bırakılmıştır. Bir gün sonra kalıptan çıkarılan kompozit levhalar 20 gün süreyle reaksiyonun tamamlanması için düz bir zeminde istiflenmiştir. Levha dökümü gerçekleştirilirken kullanılan malzemeler ve miktarları Tablo 17’de verilmiştir.

**Tablo 17.** Üretilen levha türleri ve levhalarda kullanılan madde ve madde miktarı

Levha Tipleri	Kullanılan Malzemeler ve Miktarları (gr)						
	Polyester	Odun Tozu	Odun Yongası	Odun Lifi	Kalsit	Kobalt	MEKP
PL	6000	-	-	-	16000	30	90
POTL10	5400	600	-	-	10800	54	81
POTL15	5100	900	-	-	10200	51	76
POYL10	5400	-	600	-	10800	54	81
POYL15	5100	-	900	-	10200	51	76
POLL5	5700	-	-	300	11400	57	84
POLL10	5400	-	-	600	10800	54	81

\* Verilen değerler 1350 x 450 x 18 mm ebatlarında üretilen levhalar için geçerlidir.

Deneme levhalarının üretiminde %15 lif hammaddesi ilavesi ile üretim yapılamamıştır. Bunun nedeni yapılan denemede, %15 lif hammaddesi ilave edildiğinde polyester özelliğini kaybetmiştir. Bu nedenle %15 lif kullanımı ile üretimden vazgeçilmiştir. Şekil 28'de deneme levhalarının üretiminde kullanılan karıştırma kazanı yer almaktadır.

**Şekil 28.** Karıştırma kazanı



### 2.3. Araştırma Yöntemi

Deneme levhalarının teknolojik özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler aşağıda verilmiştir.

#### 2.3.1. Fiziksel Özellikler

##### 2.3.1.1. Şekil Bozukluğu

Deney örnekleri 18–22°C sıcaklık ve bağıl nemi % 65±5 olan klima şartlarında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar 25 gün süreyle bekletilmiştir. Bekletme işleminin sonunda levhalarda şekil bozukluğu olup olmadığı gözlenmiştir.

##### 2.3.1.2. Birim Hacim Ağırlık (Yoğunluk)

Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan hava kurusu birim hacim ağırlık değeri esas alınmıştır. Birim hacim ağırlık değerleri kompozit levhaların fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerini etkileyen en önemli faktör olup, TS EN 323/1 (1999)'de belirlenen esaslara uygun olarak belirlenmiştir [87]. Birim hacim ağırlık değerleri,

$$\delta = \frac{m_r}{a_1 \times a_2 \times t} \text{ (gr / cm}^3\text{)} \quad (1)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Burada;

$\delta$ : Birim hacim ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)

$m_r$ : Hava kurusu ağırlık (gr)

$a_1$ : Örnek genişliği (cm)

$a_2$ : Örnek uzunluğu (cm)

$t$ : Örnek kalınlığı (cm)

### 2.3.1.3. Su Alma Miktarı

Su alma miktarı ASTM D1037 standardına uygun olarak belirlenmiştir [70]. 50 x 50 x levha kalınlığı(mm) boyutlarında hazırlanmış örneklerin ağırlığı  $\pm 0.01$  gr duyarlıklı analitik terazide tartılmıştır. Daha sonra örnekler su yüzünden 25mm aşağıda tutulmak suretiyle 2 ve 24 saat süre ile  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'lik suda bekletilmişlerdir. Bu süreler sonunda sudan çıkarılan örneklerin fazla suları bir bez ile silinmiş ve ağırlıkları aynı hassasiyetle  $\pm 0.01$  gr duyarlıklı terazide tartılmıştır. Su alma miktarlarının belirlenmesinde;

$$\%SA = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır.

Burada;

SA = Su alma miktarı (%)

$m_0$  = Örneğin ilk ağırlığı (gr)

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

### 2.3.1.4. Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı

2 ve 24 saat su içinde bekletilen örneklerin kalınlık artışlarının belirlenmesi için örnekler EN 317 (1993)'de belirtilen esaslara uygun olarak 50x50mm boyutlarında hazırlanmıştır [88]. Kalınlıkları tam orta noktasından  $\pm 0.01$ mm duyarlıklı mikrometreyle ölçülmüş ve  $19-21^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki temiz suda, su yüzeyinden 25mm aşağıda tutulmuştur. 2, 24 saat sonra sudan çıkarılan örneklerin fazla suları bir bez ile alınmış ve kalınlıklar ilk ölçülen noktadan tekrar ölçülmüştür. Kalınlık artışı miktarı,

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

eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

$e_y$  = Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

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

### 2.3.1.5. Kaynar Suyu Daldırmaya Karşı Direnç

Kaynar suya daldırmaya karşı direnç deneyi ISO 4586–2 (1988) standartına uygun olarak yapılmıştır [89].

Bu standart 2 saat boyunca kaynayan suyun içerisinde daldırma sonucunda, bir test örneğinin ağırlık ve kalınlığında artış, yüzeylerinde kabarcıklanma ya da su toplamının meydana gelmesinin belirlenmesine dayanmaktadır. 50x50xlevha kalınlığı (mm)'nda hazırlanan örnekler, 50±2°C sıcaklıktaki fırında 24 saat kurutulup, 23±2°C ye kadar desikatörde soğutulmuştur. Soğutulan örneklerin ağırlıkları terazide 1mg hassasiyet ile tartılmıştır. Daha sonra örneğin köşegenlerle orta noktası belirlenmiş ve kalınlığı 0,001mm hassasiyetteki mikrometre ile ölçülmüştür. Ölçüm işlemlerinin ardından 2 saat kaynar suda bekletilen örnekler, içerisinde 23±2°C'de destile su bulunan kaba konulmuş ve 15±2 dakika soğumaya bırakılmıştır. Bu işlemin ardından sudan alınan örnekler temiz bir bezle kurulanmıştır. Ağırlık ve genişlikleri %0,1 hassasiyetle tekrar ölçülen örneklerin ağırlık ve kalınlık değişimi;

$$(\%)SA \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (4)$$

$$(\%)KA \frac{d_2 - d_1}{d_1} \times 100 \quad (5)$$

eşitliklerinden hesaplanmıştır. Burada;

$m_1$ = Daldırma öncesi örneğin ağırlığı (gr)

$m_2$ = Daldırma sonrası örneğin ağırlığı (gr)

$d_1$ = Daldırma öncesi örneğin kalınlığı (mm)

$d_2$ = Daldırma sonrası örneğin kalınlığı (mm)

## 2.3.2. Mekanik Özellikler

### 2.3.2.1. Eğilme Direnci

Eğilme direnci deneyi EN 310 (1993) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [90]. Bu amaçla örnekler 400x50mm boyutlarında hazırlanmıştır. Sıcaklığı 18–22°C ve bağıl nemi % 65±5 olan klima şartlarında değişmez ağırlığa ulaşincaya kadar bekletilen örneklerde genişlik kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlıklar ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde 2 noktanın ortalaması alınarak 0.01mm duyarlıklı mikrometre ile ölçülmüştür. Üniversal deneme makinesinde yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anında itibaren 1–2 dak. içerisinde gerçekleşmesini sağlayacak şekilde 6 mm/dak hızla çalıştırılmıştır. Şekil 29’da eğilme direnci ve elastikiyet modülü test düzeneği verilmiştir. Eğilme direnci;

$$\sigma_e = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times d^2} \text{ N/mm}^2 \quad (6)$$

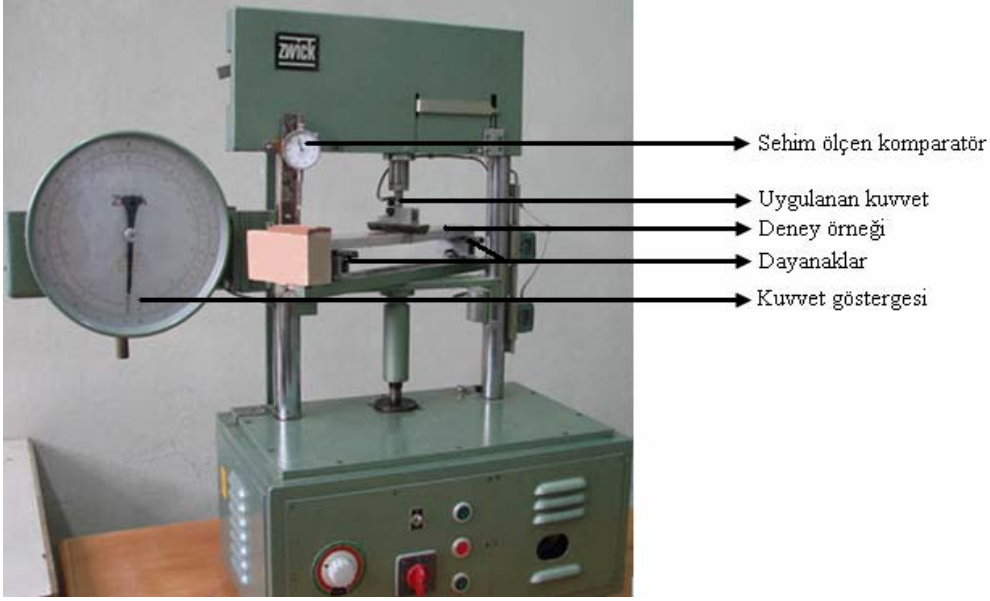
eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

F= Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L= Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

b= Örnek genişliği (mm)



Şekil 29. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü deney düzeneği

### 2.3.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Elastikiyet modülünün belirlenmesinde deney örnekleri ayrı hazırlanmamış eğilme direnci deney örnekleri kullanılmıştır. Bu amaçla TS EN 310 (1993) standardı esas alınmıştır [90]. Klimatize edilen örneklerin eğilme direnci deneyleri yapılırken Zwick Üniversal deneme makinesinin sehim ölçen komparatörü yardımıyla eğilme miktarı belirlenmiş ve çizilen kuvvet-deformasyon eğrisinin elastikiyet sınırı içinde kalan kısmından yararlanılarak elastikiyet modülü,

$$E = \frac{F \times L^3}{4 \times \Delta e \times b \times d^3} \text{ N/mm}^2 \quad (7)$$

eşitliğinden hesaplanmıştır [47].

Burada;

F= Deformasyonu sağlayan kuvvet (N)

L= Dayanaklar arasındaki açıklık (mm)

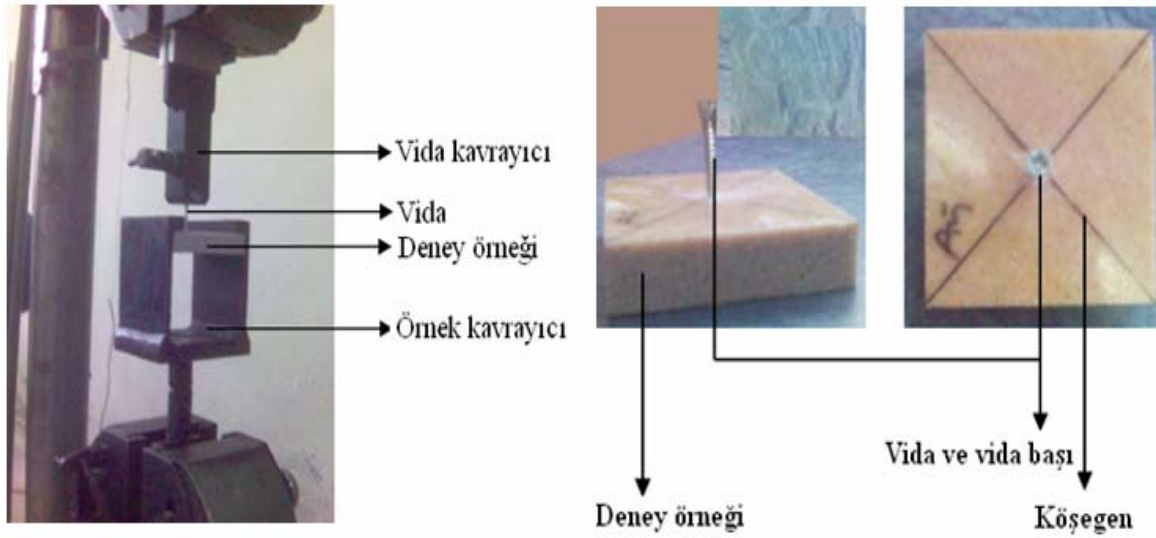
b= Örnek genişliği (mm)

d= Örnek kalınlığı (mm)

$\Delta e$ = Eğilme miktarı (sehim) (mm)

### 2.3.2.3. Vida Tutma Gücü

Vida tutma gücünün belirlenmesinde BS 1811 (1969) ve BS 2604 (1970) standartlarından yararlanılmıştır [91, 92]. Örnek boyutları 70 x 70 x levha kalınlığı (mm) olarak alınmıştır. Örneklerin ön yüzüne köşegenler çizilerek orta noktaları belirlenmiştir. Çizilen köşegenlerin kesişme noktalarına matkapla 1.6mm çapında, 6mm derinliğinde birer delik açılmıştır. Buraya BS 1210 standartlarında öngörülen ve özellikleri 6 numara ile belirtilmiş bulunan iki adet vida (TS'da 19-40) yüzeylere dik gelecek şekilde 13mm derinliğe kadar vidalanmıştır. Vidalanmış örnekler 18-22°C sıcaklık %60-70 bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme dolabında deney anına kadar bekletilmiştir. Bunu takiben Üniuersal test makinesinde, kavrama ve çekme işlemi yeknesak bir şekilde artan ve çıkmanın 30 sn'den uzun bir sürede gerçekleştiği kuvvet ile örneklerin vida tutma gücü değerleri belirlenmiştir. Çıkma anında makine göstergesinden okunan kuvvet kg cinsinden doğrudan kaydedilmiştir. Şekil 30'da vida tutma gücü test örnekleri ve deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 30. Vida tutma gücü deney düzeneği ve deney örneği

### 2.3.3. Yüzey Kalitesi Özellikleri

Deneme levhalarının özellikle mutfak tezgâhı olarak kullanılması planlanmaktadır. Bu nedenle mutfak tezgâhı olarak kullanılacak malzemenin maruz kaldığı lekelenmelerden doğrudan etkilenmektedir. Diğer taraftan tüm levha gruplarının üretiminde üst tabaka Jelkot denilen üründen hazırlanmış olduğu için tüm levhaların yüzey kalitelerinin benzer özellikler göstermesi gerekmektedir. Ancak farklı sonuçlar ile karşılaşılabilmesi özelliği söz konusudur.

#### 2.3.3.1. Kuru Sıcaklığa Karşı Direnç

Kuru sıcaklığa karşı direnç deneyi ISO 4586–2 (1988) standardına benzer olarak gerçekleştirilmiştir [89]. Denemelerde standart test bire bir uygulanmıştır.  $230\pm 5\text{mm}^2$ 'lik, 18-20mm kalınlığında hazırlanan örnekler  $23\pm 2^\circ\text{C}$ 'de bağıl nemi  $\%50\pm 5$  olan klima şartlarında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar 7 gün süreyle bekletilmiştir. Daha sonra  $100\pm 1,5\text{mm}$  çapında tabana sahip olan alüminyum kap,  $180^\circ\text{C}$  sıcaklığa kadar ısıtılmış ve sıcak olarak örnek üzerine bırakılıp soğuması beklenmiştir. Soğuyana kadar deney örneği üzerinde bırakılmıştır. Deney örneklerinin yüzeyinde meydana gelen buruşma, kabartı ve renk değişimi gözlenmiştir.

#### 2.3.3.2. Lekelenmeye Karşı Direnç

Lekelenme testi deneyleri karşı direnç deneyi ISO 4586–2 (1988) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [89].  $50\times 50\times 18\text{mm}$  ebatlarında hazırlanan örnekler üzerine, günlük kullanımda karşılaşılanlara benzer, bir seri lekelenme vasıtaları ile temasta tutulmuştur. Belirli bir temas süresinin sonrasında örnekler etanol ile silinmiş ve su ile yıkanmıştır. Temizleme işleminin ardından yüzeyler gözden geçirilmiş ve herhangi bir lekelenme kalıp kalmadığı gözlenmiştir.

### 2.3.3.3. Sigara Yanıklarına Karşı Direnç

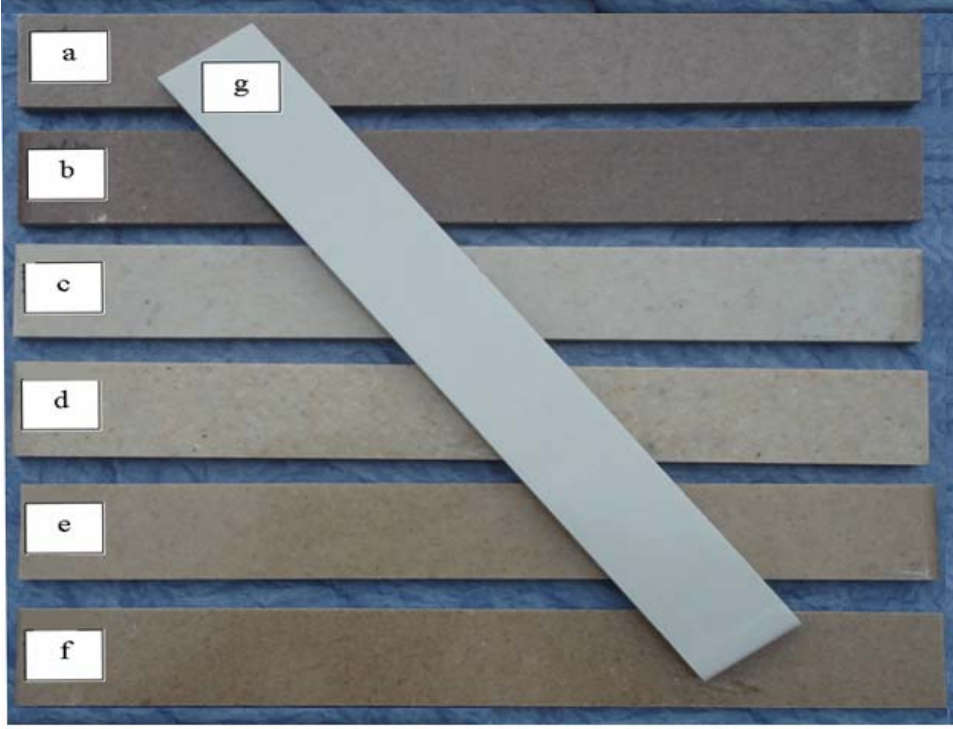
Sigara yanıklarına karşı direnç deneyi ISO 4586–2 (1988) standardına uygun olarak belirlenmiştir [89].  $100\pm 5\text{mm}^2$  ebatlarında hazırlanan deney örnekleri  $18\text{--}22^\circ\text{C}$  sıcaklık ve bağıl nemi  $\% 65\pm 5$  olan klima şartlarında değişmez ağırlığa ulaşınca kadar 7 gün süreyle bekletilmiştir. Deney örnekleri üzerine yakılan ve 10mm'ye kadar içilen sigaralar yatay şekilde yanmaya bırakılmış ve sönme zamanına kadar bekletilmiştir. Sigaralar tamamen bittikten sonra örnek üzerinden alınmış ve örnek yüzeyleri alkol ile temizlenmiştir. Daha sonra deney örneği yüzeyinde renk değişikliği, çizikler ve buruşma olup olmadığı gözlenmiştir.

## 2.4. İstatistik Yöntemler

Yapılan deneyler sonunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amacıyla bir faktör iki örneklemede uygulanan t-testi ile ortalama değerler karşılaştırılmıştır. İki den fazla örnek ve bir faktör söz konusu olunca basit varyans, iki faktör ve ikiden fazla örneklemede ise çoğul varyans analizleri kullanılarak değişkenlerin etkili olup olmadıkları belirlenmiştir. Etkilemenin anlamlı çıkması halinde ortalama değerler Duncan testi ile karşılaştırılmıştır [93].

Şekil 31'de üretilen deneme levhalarından kesilen deney örnekleri gösterilmiştir.





**Şekil 31.** Üretilen deneme levhalarından kesilen deney örnekleri

- a) (POLL5) Polyester + %5 odun lifi levha
- b) (POLL10) Polyester + %10 odun lifi levha
- c) (POYL10) Polyester + %10 odun yongası levha
- d) (POYL15) Polyester + %15 odun yongası levha
- e) (POTL10) Polyester + %10 odun tozu levha
- f) (POTL15) Polyester + %15 odun tozu levha
- g) (PL) Polyester levha

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Fiziksel Özellikler

##### 3.1.1. Şekil Bozukluğu

Yapılan ölçümler sonucu odunsu materyal kullanılmadan saf polyesterden üretilen levhalarda 11mm'lik bir sehim meydana gelmiştir. Diğer levhalarda böyle bir oluklaşma gözlemlenmemiştir.

##### 3.1.2. Birim Hacim Ağırlık

Deneme levhalarının birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 18'de verilmiştir. Denemeler 30 adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

**Tablo 18.** Deneme levhalarının ortalama birim hacim ağırlık değerleri (gr/cm<sup>3</sup>)

Levha tipi	X	S	V
PL	1,949	0,019	0,97
POTL10	1,665	0,024	1,44
POTL15	1,571	0,062	0,039
POYL10	1,635	0,020	1,22
POYL15	1,618	0,034	2,10
POLL5	1,653	0,010	0,60
POLL10	1,675	0,055	3,28

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levha birim hacim ağırlık değerleri üzerine, kullanılan odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 19'da verilmiştir.

**Tablo 19.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levha birim hacim ağırlık değeri üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar arası	2,098	6	0,350	254,157	***
Gruplar içi	0,212	154	0,001		
Toplam	2,310	160			

Elde edilen varyans analizi sonucu ile odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levha birim hacim ağırlığına etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Birim hacim ağırlık değerleri arası farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 20’de verilmiştir.

**Tablo 20.** Deneme levhalarının birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (gr/cm <sup>3</sup> )
PL	1,949 a
POTL10	1,665 b
POTL15	1,571 e
POYL10	1,635 cd
POYL15	1,618 d
POLL5	1,653 bc
POLL10	1,675 b

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

### 3.1.3. Su Alma Miktarı

Deneme levhalarının 2 ve 24 saatlerdeki su alma miktarlarına ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 21’de verilmiştir. Denemeler 30 adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

**Tablo 21.** Deneme levhalarının ortalama su alma miktarları (%)

Levha tipi	Suda bekletme süresi (saat)	X	S	V
PL	2	0,066	0,022	33,33
	24	0,136	0,111	81,61
POTL10	2	0,080	0,011	13,75
	24	0,193	0,033	17,09
POTL15	2	0,108	0,039	36,11
	24	0,260	0,128	49,23
POYL10	2	0,116	0,018	15,51
	24	0,277	0,025	9,02
POYL15	2	0,150	0,022	14,66
	24	0,350	0,026	7,42
POLL5	2	0,074	0,025	33,78
	24	0,192	0,024	12,5
POLL10	2	0,096	0,041	42,7
	24	0,268	0,134	50

Levhaların su alma miktarı üzerine kullanılan odunsu materyal cinsi ve kullanım oranlarının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 22’de verilmiştir.

**Tablo 22.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranlarının su alma miktarı üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ortalaması	F-Hesap	ÖD
Grup	0,679	6	0,113	28,626	***
Süre	1,597	1	1,597	403,82	***
Grup*Süre	0,131	6	0,022	5,50	***
Hata	1,218	308	0,004		
Toplam	12,89	322			

Elde edilen varyans analizi sonucu ile odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların su alma miktarına etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Su alma miktarları arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla basit varyans analizi ve buna bağlı olarak Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 23’de verilmiştir.

**Tablo 23.** Deneme levhalarının su alma miktarlarına ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (%) (2 saat)	X (%) (24 saat)
PL	0,066 a	0,136 a
POTL10	0,080 ab	0,193 b
POTL15	0,108 cd	0,260 c
POYL10	0,116 d	0,277 c
POYL15	0,150 e	0,350 c
POLL5	0,074 a	0,192 b
POLL10	0,096 bc	0,268 c

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

### 3.1.4. Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı

Deneme levhalarının kalınlık artışına ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 24'de verilmiştir. Denemeler 30 adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

**Tablo 24.** Deneme levhalarının ortalama kalınlık artışı oranları (%)

Levha tipi	Suda bekletme süresi (saat)	X	S	V
PL	2	0,075	0,027	36
	24	0,234	0,029	12,39
POTL10	2	0,128	0,053	41,4
	24	0,260	0,057	21,92
POTL15	2	0,132	0,079	59,84
	24	0,267	0,045	16,85
POYL10	2	0,162	0,041	25,30
	24	0,362	0,021	5,8
POYL15	2	0,106	0,071	66,98
	24	0,286	0,023	8,04
POLL5	2	0,062	0,013	20,96
	24	0,208	0,071	34,13
POLL10	2	0,130	0,027	20,76
	24	0,268	0,035	13,05

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levhanın kalınlık artışı üzerine, odunsu materyal cinsi ve kullanım oranlarının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 25’de verilmiştir.

**Tablo 25.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının kalınlık artışı üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ortalaması	F-Hesap	ÖD
Grup	0,387	6	0,065	28,894	***
Süre	1,700	1	1,700	760,87	***
Grup*Süre	0,040	6	0,007	2,956	NS
Hata	0,534	266	0,02		
Toplam	13,01	280			

Elde edilen varyans analizi sonucu ile odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların kalınlık artışı miktarına etkisinin levha grupları ve süre birbirinden ayrı değerlendirildiğinde 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Ancak grup ve sürenin birlikte etkisinin önemli olmadığı belirlenmiştir. Kalınlık artışları arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla, levhalar arasında basit varyans analizi ve buna bağlı olarak Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 26’da verilmiştir.

**Tablo 26.** Deneme levhalarının kalınlık artışına ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (%) (2 saat)	X (%) (24 saat)
PL	0,075 ab	0,234 ab
POTL10	0,128 cd	0,260 bc
POTL15	0,132 cd	0,267 c
POYL10	0,162 d	0,362 d
POYL15	0,106 bc	0,286 c
POLL5	0,062 a	0,208 a
POLL10	0,130 cd	0,268 c

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

### 3.1.5. Kaynar Suya Daldırmaya Karşı Direnç

Deneme levhalarının kaynar suya direçlerine ilişkin ortalama değerler Tablo 27’de verilmiştir. Denemeler 3’er adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 27.** Deneme levhalarının kaynar suya daldırmaya karşı ortalama direnç değerleri

Levha Tipi	Ortalama Kalınlık Artışı (%)	Ortalama Ağırlık Artışı (%)
PL	0,144	0,053
POTL10	0,288	0,227
POTL15	0,312	0,296
POYL10	0.290	0,403
POYL15	0,465	0,621
POLL5	0.048	0,249
POLL10	0.049	0.256

### 3.2. Mekanik Özellikler

#### 3.2.1. Eğilme Direnci

Deneme levhalarının eğilme dirençlerine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 28’de verilmiştir. Denemeler 30 adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

**Tablo 28.** Deneme levhalarının ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>)

Levha tipi	X	S	V
PL	38,66	1,29	3,33
POTL10	31,20	1,33	4,26
POTL15	30,78	1,22	3,96
POYL10	29,42	0,75	2,54
POYL15	28,48	0,86	3,01
POLL5	29,59	1,15	3,88
POLL10	29,69	1,84	6,19

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levha eğilme direnci üzerine kullanılan odunsu materyal cinsi ve kullanım oranlarının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 29’da verilmiştir.

**Tablo 29.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının eğilme direnci üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar arası	1636,592	6	272,765	173,593	***
Gruplar içi	241,979	154	1,571		
Toplam	1878,571	160			

Elde edilen varyans analizi sonucu ile odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların eğilme direnci üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Eğilme dirençleri arası farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 30’da verilmiştir.

**Tablo 30.** Deneme levhalarının eğilme dirençlerine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (N/mm <sup>2</sup> )
PL	38,66 a
POTL10	31,20 b
POTL15	30,78 b
POYL10	29,42 c
POYL15	28,48 d
POLL5	29,59 c
POLL10	29,69 c

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

### 3.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 31’de verilmiştir. Denemeler 30



adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

**Tablo 31.** Deneme levhalarının ortalama eğilme direnci değerleri (N/mm<sup>2</sup>)

Levha tipi	X	S	V
PL	8778,41	448,07	5,10
POTL10	5957,82	221,66	3,72
POTL15	5774,41	525,16	9,09
POYL10	5652,85	343,51	6,07
POYL15	5366,56	252,10	4,69
POLL5	5442,34	306,35	5,62
POLL10	5673,35	329,58	5,80

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levha eğilme direnci üzerine kullanılan odunsu materyal cinsi ve kullanım oranlarının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 32’de verilmiştir.

**Tablo 32.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar arası	198998667,1	6	33166444,516	255,200	***
Gruplar içi	20014208,06	154	129962,397		
Toplam	219012875,2	160			

Elde edilen varyans analizi sonucu ile odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülleri arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 33’de verilmiştir.

**Tablo 33.** Deneme levhalarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ilişkin Duncan test sonuçları

Levha tipi	X (N/mm <sup>2</sup> )
PL	8778,41 a
POTL10	5957,82 b
POTL15	5774,41 cb
POYL10	5652,85 c
POYL15	5366,56 d
POLL5	5442,34 d
POLL10	5673,35 c

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

### 3.2.3. Vida Tutma Gücü

Deneme levhalarının vida tutma gücüne ilişkin ortalama, standart sapma ve varyasyon katsayısı değerleri Tablo 34’de verilmiştir. Denemeler 30 adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Homojenlik göstermeyen örnekler istatistik değerlendirmeye alınmamıştır.

**Tablo 34.** Deneme levhalarının ortalama vida tutma gücü değerleri (kg)

Levha tipi	X	S	V
PL	221,47	14,90	6,72
POTL10	205,08	15,57	7,59
POTL15	193,60	23,27	12,01
POYL10	202,86	14,24	7,01
POYL15	203,04	17,70	8,71
POLL5	200,69	16,21	8,07
POLL10	208,39	13,79	6,61

X: Aritmetik ortalama, S: Standart sapma, V: Varyasyon katsayısı

Levha vida tutma gücü üzerine kullanılan odunsu materyal cinsi ve kullanım oranlarının etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 35’de verilmiştir.

**Tablo 35.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların vida tutma gücüne etkilerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	SD	Kareler ortalaması	F-Hesap	ÖD
Gruplar arası	10112,94	6	1685,49	5,971	***
Gruplar içi	43470,95	154	282,27		
Toplam	53583,90	160			

Elde edilen varyans analizi sonucu ile odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların vida tutma gücü üzerine etkisinin 0,05 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Vida tutma gücü değerleri arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek amacıyla Duncan testi uygulanmış ve sonuçları Tablo 36’da verilmiştir.

**Tablo 36.** Deneme levhalarının vida tutma gücüne ilişkin Duncan testi sonuçları

Levha tipi	X (kg)
PL	221,47 a
POTL10	205,08 b
POTL15	193,60 c
POYL10	202,86 ab
POYL15	203,04 ab
POLL5	200,69 ab
POLL10	208,39 b

Yapılan Duncan testi sonuçlarına göre levha tipleri farklı homojenlik gruplarında yer almıştır.

### 3.3. Yüzey Kalitesi Özellikleri

#### 3.3.1. Kuru Sıcaklığa Karşı Direnç

Deneme levhalarının tümünün yüzeylerinde uygulanan sıcaklığın etkisiyle levha yüzeyinde meydana gelen değişiklikler Tablo 37’de verilmiştir.

**Tablo 37.** Deneme levhalarının yüzeylerinde sıcaklığın etkisiyle meydana gelen değişiklikler

Levha Tipleri	Değişikliğin Derecesi	
	1	3
PL	X	X
POTL10	X	X
POTL15	X	X
POYL10	X	X
POYL15	X	X
POLL5	X	X
POLL10	X	X

(X : Olumsuz)

**3.3.2. Lekelenmeye Karşı Direnç**

Deneme levhalarının lekelenmeye karşı direnç değerleri Tablo 38’de verilmiştir.

**Tablo 38.** Deneme levhalarının lekelenmeye karşı direnç değerleri

Test Numuneleri	Süre	Derece	PL	POTL10	POTL15	POYL10	POYL15	POLL5	POLL10
Amonyak	2dk	5	√	√	√	√	√	√	√
Asitli içecek	16s	5	√	√	√	√	√	√	√
Çay	16s	5	√	√	√	√	√	√	√
Su	16s	5	√	√	√	√	√	√	√
Aseton	24s	5	√	√	√	√	√	√	√
Sıvı yağ	16s	5	√	√	√	√	√	√	√
Tuz	5s	5	√	√	√	√	√	√	√
Ruj	16s	5.	√	√	√	√	√	√	√
Çamaşır suyu	10dk	5	√	√	√	√	√	√	√
Mürekkep	16s	5	√	√	√	√	√	√	√
Temizleme Losyonu	60dk	5	√	√	√	√	√	√	√
Salça	24s	5	√	√	√	√	√	√	√
Kahve	24s	5	√	√	√	√	√	√	√
Limon suyu	24s	5	√	√	√	√	√	√	√

(√ : Olumlu)

### 3.3.3. Sigara Yanıklarına Karşı Direnç

Gözlem yöntemiyle yapılan deneyler sonucu tümünün sigara ateşinden etkilendiği belirlenmiştir. Deneme levhalarının sigara ateşine karşı dayanıklılık değerleri Tablo 39'da verilmiştir.

**Tablo 39.** Deneme levhalarının sigara ateşine dayanıklılık değerleri

Levha tipleri	Yüzey sınıfı	Parlaklık kaybı	Belirgin renk değişimi	Tahribat (Erime, kabarma, kömürleşme)
PL	V	√	X	√
POTL10	V	√	X	√
POTL15	V	√	X	√
POYL10	V	√	X	√
POYL15	V	√	X	√
POLL5	V	√	X	√
POLL10	V	√	X	√

(√ : Olumlu)

(X: Olumsuz)

## 4. İRDELEME

Bu çalışmada; birinci amaç polyester kullanılarak olarak üretilen polyester esaslı mutfak tezgâhı yapı malzemesi üretiminde odunsu materyal kullanarak polyester kullanımını azaltmak ve ekonomiklik sağlamaktır. İkincil amaç; polyester esaslı levha birim hacim ağırlığını azaltmak ve bağlantılı olarak zemin ve inşaat temeline binen yükün oranını azaltmaktır. Yapılan literatür taramasında polyester esaslı mutfak tezgâhı üretiminde daha önce hiçbir şekilde odunsu materyal kullanılmadığı belirlenmiştir. Çalışmanın amaçlarından diğeri de odunsu materyalin böyle bir üretime uygun olup olmadığının belirlenmesidir.

Daha önce gerçekleştirilmiş herhangi bir çalışma bulunmaması nedeniyle deneme sonuçlarının irdelenmesinde literatür ile karşılaştırma imkanı bulunmamaktadır. Bu nedenle sonuçlar; kendi aralarında ve saf polyester ile saf odun esaslı levhalar ve termoplastik esaslı odun plastik kompozitleri ile kıyaslanabilmiştir. Böylece net bir değerlendirme imkânı olmasa da genel bir fikir oluşmuştur.

### 4.1. Fiziksel Özellikler

#### 4.1.1. Şekil Bozukluğu

%65±5 bağıl nem ve 20±2°C sıcaklık şartlarında depolanan levhalardan saf polyester ile üretilen levhanın oluklaştığı gözlenmiştir. Bunu takiben yapılan ölçümünde levhanın 11mm'lik sehim yaptığı belirlenmiştir. Şekil 32'de levhada oluşan sehim görülmektedir.



**Şekil 32.** Odunsu materyal kullanılmadan üretilen polyester (PL) levhada meydana gelen şekil bozukluğu

Levhalar kalıptan alındıktan sonra dış yüzeyinin sıcaklığı hızla ortam sıcaklığına ulaştığı halde orta kısmında rutubet ve dış tabaka tarafından kaplanmış olması nedeniyle sıcaklık biraz daha yüksektir. Buna bağlı olarak dış tabaka hızlı, orta tabaka ise yavaş yavaş soğumaktadır. Öte yandan levhanın üst yüzü jelkot ile kaplıdır. Polyester yapı jelkot'un büzülme değerinden fazla bir büzülme göstermektedir. Bu nedenle levha taslağının soğuması esnasında alt tabakasının daha fazla büzülmesi içbükey bir sehim oluşturmasına neden olmaktadır [86].

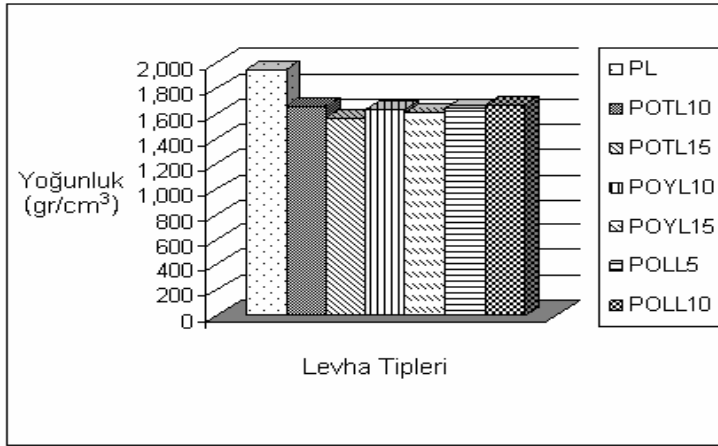
Levhada meydana gelen şekil bozukluğunun diğer bir nedeninin kalsit'in fazla miktarda ve kobalt'ın ise az miktarda kullanılmış olduğu düşünülebilir. Zira şirketin tüm ürünlerinde aynı sorunun gündeme gelmediği bilinmektedir. Zaman zaman karşılaşılan bu sorun için üretim sırasında gerekli reçetelere yeterince bağlı kalınmamış olması olabilir. Fazla kalsit bünyesine daha fazla polyester almış ve üst yüzeydeki jelkot tabakasının az olan daralmasının aksine orta ve alt kısımda daha fazla daralmaya neden olmuş olabilir. Ayrıca hızlandırıcı katalizör olarak kullanılan kobalt kullanım oranının azalması reaksiyonun daha yavaş gerçekleşmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda polyesterin özellikle iç tabakalarda sertleşme ve bağlanmayı yeterince çabuk gerçekleştirememesi kalsit ile olan reaksiyonunun süresini uzatarak levhada eğilme meydana gelmiş olabilir.

#### **4.1.2. Birim Hacim Ağırlık**

Birim hacim ağırlık değerleri fiziksel ve mekanik özellikler için son derece önemli olup, malzemenin kullanım yerindeki dayanımını belirler.

Odun esaslı levhalarda birim hacim ağırlık değerlerinin artmasına paralel olarak fiziksel özelliklerde kötüleşme meydana gelmektedir. Plastik esaslı mutfak tezgâhlarında ise hammadde, plastik yapısı nedeniyle fiziksel özellikler ile ilgili problem nerede ise söz konusu değildir. Her ne kadar odunsu materyal oranının artışı birim hacim ağırlık değerinin azalmasına neden olacak ise de plastik oranının azalması fiziksel özelliklerin iyileşmesi bakımından beklenen etkiyi yapmamaktadır.

Diğer taraftan inşaat sektöründe özellikle çok katlı toplu konutlarda zemin tabanına düşen yük miktarının azaltılması çok önemli bir faktördür. Bu çalışmanın amaçlarından birisi; polyester esaslı mutfak ve banyo tezgâhı üretiminde odun esaslı materyal kullanarak birim hacim ağırlık değerlerinin azaltılmasıdır. Üretilen levhaların birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin grafik Şekil 33'de verilmiştir.



**Şekil 33.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhaların birim hacim ağırlık değerleri üzerine etkisi

Deneme levhalarında en yüksek birim hacim ağırlık değeri saf polyester levhalarda ( $1.949 \text{ gr/cm}^3$ ) belirlenmiştir. En düşük değer ise polyester miktarının %10'u kadar odun tozu kullanılarak üretilen levhalardan ( $1.571 \text{ gr/cm}^3$ ) elde edilmiştir.

İstatistik analizler sonucu, odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının birim hacim ağırlık değerleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Odunsu materyal kullanılarak üretilen levhaların birim hacim ağırlık değerleri saf polyesterle üretilen levhalara oranla ortalama %27 azalmıştır.

%15 odun tozu ( $1.571 \text{ gr/cm}^3$ ) kullanılarak üretilen levhalar, %10 odun tozu ( $1.665 \text{ gr/cm}^3$ ) kullanılarak üretilen levhalara oranla %5,6 daha düşük birim hacim ağırlık değerine sahiptir. %15 odun yongası ( $1.618 \text{ gr/cm}^3$ ) kullanılarak üretilen levhalar, %10 odun yongası ( $1.635 \text{ gr/cm}^3$ ) kullanılarak üretilen levhalara oranla %1 daha düşük değerlere sahiptir.

Değerlerdeki azalmanın nedeni, kullanılan odunsu materyalin birim hacim değerlerinin polyesterin birim hacim ağırlık değerlerinden daha düşük olması ve dolgu maddesi olarak kullanılan kalsit miktarının polyester miktarına orantılı olarak azalması ile doğru orantılı olmasıdır denilebilir [80]. Zira kalsit maddesinin birim hacim ağırlık değeri ( $2,6-2.7 \text{ gr/cm}^3$ ) hem oduna hem de polyestere ( $1,120 \pm 0,01$ ) göre daha yüksektir.

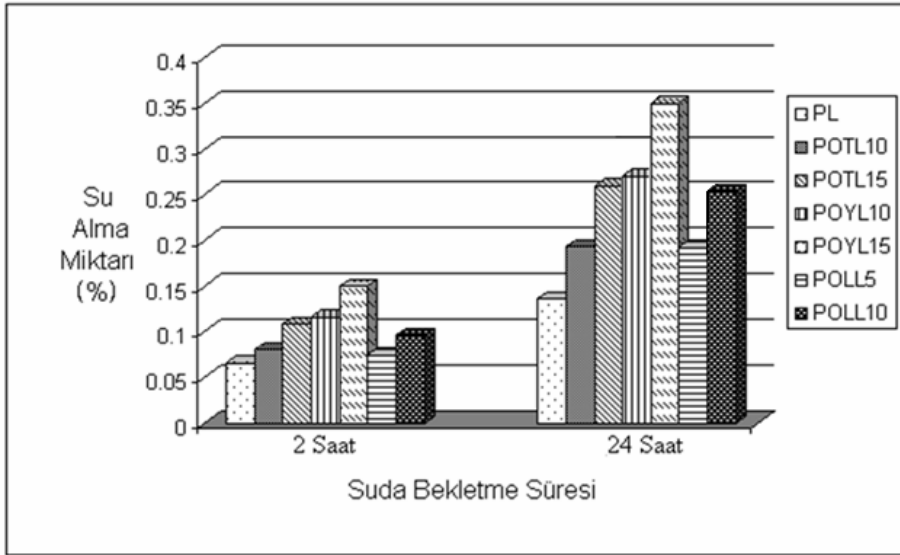
%5 ( $1,665 \text{ gr/cm}^3$ ) ve % 10 odun lifi ( $1,673 \text{ gr/cm}^3$ ) kullanılarak üretilen levhaların saf polyesterden üretilen levhalara oranla düşük birim hacim ağırlık değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak burada diğer levhalardan farklı olarak kullanılan lif oranı %5 den %10'a çıkarıldığında birim hacim ağırlık değeri %0,4 artış göstermiştir. Bunun nedeninin,



odun lifinin diğer odunsu materyallere oranla daha homojen bir karışım oluşturması ve liflerin polysteri bünyesinde hapsederek liflerinde polyster benzeri yapıya dönüşmesi olabilir.

#### 4.1.3. Su Alma Miktarı

Üretilen levhaların su alma miktarları 2 saat ve 24 saat suda bekletilme sürelerine bağlı olarak Şekil 34’de verilmiştir.



**Şekil 34.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının 2 ve 24 saat suda bekletilen levhanın su alma miktarı üzerine etkisi

Su alma miktarlarına ilişkin söylenebilecek ilk şey Odun Plastik Kompozitlerinin su alma miktarlarının oldukça düşük olduğudur. Üretilen Odun Plastik Kompozitleri polyster yapıda oldukları için suya karşı çok dirençlidirler. Su alma miktarı diğer odun esaslı levhalar ile kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeydedir [69]. Bu malzemelerin mutfak tezgâhı üretiminde kullanılma nedenlerin başında bu özelliği gelmektedir. Aksi halde mutfak tezgâhı üretiminde kullanılması imkânı yoktur. Şekilden de anlaşılacağı üzere değerler % 0.05 ile % 0.35 arasında değişim göstermektedir.

İstatistik analizler sonucu, odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın su alma miktarı üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. Üretilen levhaların 2 saatlik su alma değerleri dikkate alındığında en fazla su alma %15 yonga (%0.350) kullanılarak üretilen

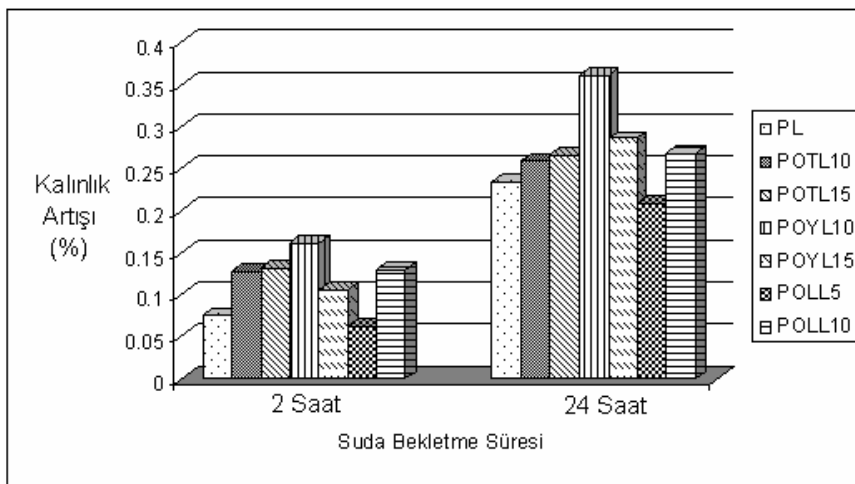
levhalardan elde edilmiştir. En düşük su alma miktarı ise saf polyester (%0.066) grubu levhalarda belirlenmiştir.

24 saatlik su alma değerler dikkate alındığında ise, en yüksek su alma değeri yine %15 yonga (%0.350) kullanılarak üretilen levhalarda, en düşük su alma miktarı ise saf polyester (%0.136) levhalarda görülmüştür. En fazla su almanın %15 yonga kullanılarak üretilen levhalardan elde edilmesinin nedeninin karıştırma esnasında odun tozu ve lif'e oranla daha az homojen bir dağılım göstermesi olduğu söylenilebilir. Yongalar, lif ve odun tozuna oranla daha büyük boyutlu olduklarından levha içerisindeki hava boşluklarının genişlemesine neden olmaktadır. Ayrıca yayılmanın sağlanması için taslağa verilen titreşim ile yongalar levhanın üst dış yüzüne doğru harekete zorlanmakta, odun tozu ve liflere göre nispeten levha yüzeylerine daha yakın yerleşmektedirler. Bu nedenle plastiğin çok az olan su alma miktarı, dışarıya yakın olan yongaların aldığı su miktarı ile birleşince diğer levhalardan daha fazla su alma miktarı değeri ortaya çıkarmaktadır.

2 ve 24 saat suda bekletme sonucu, %15 odun tozu (%0.108–0.260) ve %10 yonga (%0.116–0.277) kullanılarak üretilen levhaların su alma miktarlarının birbirine çok yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4.1.4. Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı

2 saat ve 24 saat suda bekletilme sonucu levhaların kalınlık artımı oranları Şekil 35'de verilmiştir.



**Şekil 35.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının 2 ve 24 saat suda bekletilen levhaların kalınlık artışı miktarı üzerine etkisi

Falk ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, Odun Plastik Kompozitlerin kalınlık artışı değerlerinin odun miktarının artmasına bağlı olarak artış gösterdiği belirtilmiştir. Ancak deneme levhaları diğer kompozit malzemelerle karşılaştırıldığında %90 - %95 oranında daha az kalınlık artışı değeri gösterdiği belirlenmiştir [69].

Deneme levhalarından elde edilen kalınlık artımı oranlarının rutubetli şartlarda yük taşıyıcı olarak kullanılan yongalevhaların standartlarında belirtilen kalınlık artımı %8–10 değerlerinden oldukça düşük olduğu belirlenmiştir [94]. Aslen polyester esaslı levhalarda suda bekletme sonrası kalınlık artışı değerlerinin %0'a yakın olması beklenilmektedir ki, levhaların kullanım yerlerinde doğrudan su ile temasta olmaları söz konusudur.

İstatistik analizler sonucu, odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın kalınlık artışı miktarı üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. 2 saatlik kalınlık artışı değerleri incelendiğinde %10 yonga (%0,162) kullanılarak üretilen levhaların en yüksek kalınlık artışı değerine sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük kalınlık artışı ise; %5 odun lifi (%0,062) kullanılarak üretilen levhalarda görülmüştür. 24 saatlik kalınlık artışı değerleri incelendiğinde %10 yonga (%0,362) kullanılarak üretilen levhaların en yüksek kalınlık artışı değerine sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük kalınlık artışı ise; %5 odun lifi (%0,208) kullanılarak üretilen levhalarda görülmüştür.

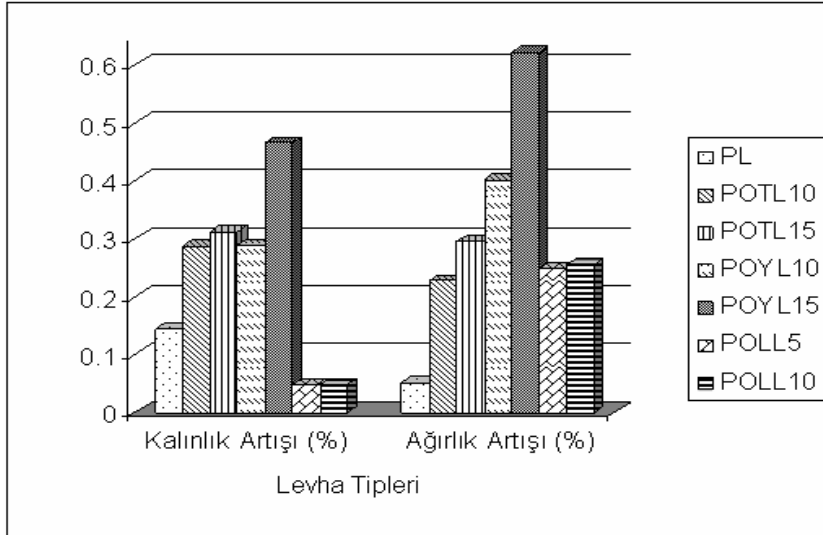
2 saat sonunda saf polyester levhalara oranla sadece %5 lif kullanılarak üretilen levhalar %20 daha az kalınlık artışı göstermiştir. %10 odun tozu (%0,128) kullanılarak üretilen levhaların kalınlık artışı miktarının, %15 odun tozu (%0,132) ile üretilen levhalara oranla %3,1 daha düşük olduğu belirlenmiştir. %10 odun yongası (%0,162) kullanılarak üretilen levhaların kalınlık artışı değerlerinin, %15 yonga (%0,106) kullanılan levhalara oranla %52 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. %5 odun lifi (%0,062) kullanılarak üretilen levhaların kalınlık artışı değerlerinin, %10 odun lifi (%0,130) kullanılarak üretilen levhaların kalınlık artışı değerlerine oranla %50 daha düşük olduğu belirlenmiştir.

24 saatlik suda bekletme sonrası; %10 odun tozu (%0,260) kullanılarak üretilen levhaların kalınlık artışı miktarının, %15 odun tozu (%0,267) kullanılarak üretilen levhalara oranla %2,6 daha az olduğu belirlenmiştir. %10 odun yongası (%0,362) kullanılarak üretilen levhaların kalınlık artışı değerlerinin, %15 yonga (%0,286) kullanılarak üretilen levhalara oranla %26 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. %5 odun lifi (%0,208) kullanılarak üretilen levhaların kalınlık artışı değerlerinin, %10 odun lifi (%0,268) kullanılarak üretilen levhaların kalınlık artışı değerlerine oranla %28 daha düşük olduğu belirlenmiştir.

2 saate oranla 24 saat sonunda en az kalınlık artışı oranı yine %5 odun lifi kullanılarak üretilen levhalarda belirlenmiştir. Bunun nedeni daha % 10'dan düşük odun lifi kullanımının diğer odunsu materyallere oranla daha homojen yapı ve bağlanma göstermesidir. %10 odun tozu ve %15 odun tozu kullanılarak üretilen levhaların birbirine yakın kalınlık artışları gösterdiği belirlenmiştir.

#### 4.1.5. Kaynar Suya Daldırmaya Karşı Direnc

2 Saat süre ile kaynar suya daldırma sonucu levhaların kalınlık ve ağırlıklarındaki değişim Şekil 36'da verilmiştir.



**Şekil 36.** 2 saat kaynar suya daldırma sonrası kalınlık ve ağırlık artışı değerleri (%)

2 saatlik kaynar suya daldırma deneyi sonucunda en düşük kalınlık artışının %5 lif (%0,048) kullanılarak üretilen levhalarda olduğu belirlenmiştir. En yüksek kalınlık artışının ise %15 yonga (%0,465) kullanılarak üretilen levhalarda olduğu belirlenmiştir.

Odun tozu kullanım oranı %10'dan (%0,288), %15'e (%0,312) yükseltildiğinde kalınlık artışı oranı %8 olarak gerçekleşmiştir. Odun yongası kullanım oranı %10'dan (POYL10, %0,290), %15'e (%0,465) yükseltildiğinde kalınlık artışı oranı %60 olarak belirlenmiştir. Odun lifi kullanım oranı %5'den (%0,048), %10'a (%0,052) yükseltildiğinde ise kalınlık artışı oranı %8 olarak belirlenmiştir.

2 saatlik kaynar suya daldırma deneyi sonucunda en düşük ağırlık artışının saf polyester (%0,053) levhalarda, en yüksek ağırlık artışı ise %15 yonga (%0,621) kullanılarak üretilen levhalarda olduğu belirlenmiştir.

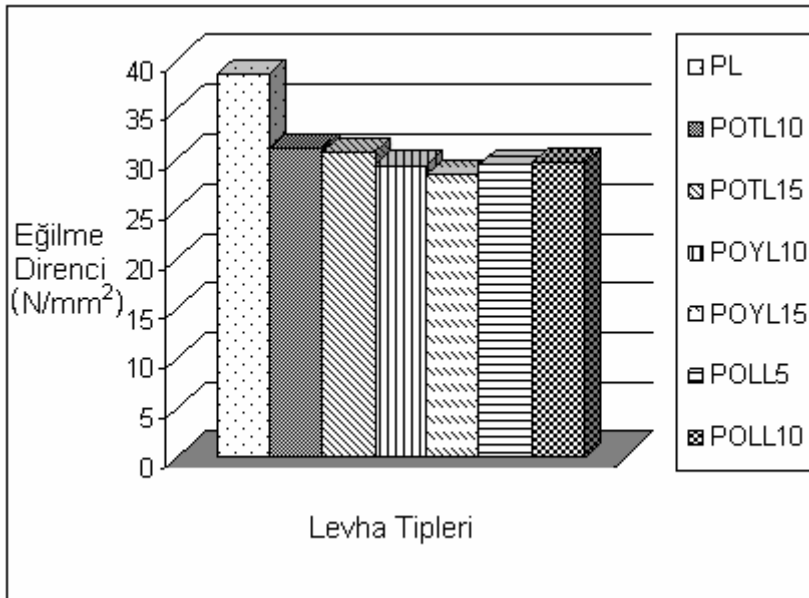
Odun tozu kullanım oranı %10'dan (%0,227), %15'e (%0,296) yükseltildiğinde ağırlık artışı oranı %30 olarak gerçekleşmiştir. Odun yongası kullanım oranı %10'dan (%0,403), %15'e (%0,621) yükseltildiğinde ağırlık artışı oranı %54 olarak belirlenmiştir. Odun lifi kullanım oranı %5'den (%0,249), %10'a (%0,256) yükseltildiğinde ise ağırlık artışı oranı %2 olarak belirlenmiştir.

Odun yongası kullanılarak üretilen levhaların en yüksek kalınlık ve ağırlık artışı değerlerine sahip olmasının nedeni, toz ve lif materyaline oranla daha büyük boyutlu olan odun yongalarının daha fazla su absorbe etmesidir.

## 4.2. Mekanik Özellikler

### 4.2.1. Eğilme Direnci

Üretilen levhaların eğilme direnci değerleri Şekil 37'de verilmiştir.



Şekil 37. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın eğilme direnci üzerine etkisi

Literatüre göre termoplastik malzemelerden üretilen Odun Plastik Kompozit malzemelerin dirençleri, odun esaslı levhalarda bulunan en düşük derecedeki değerler ile karşılaştırılabilir. Kompozitlerdeki odunsu materyal miktarı arttıkça eğilme direnci değeri azalmaktadır [69]. Ancak termoset bir plastik olan polyester ile gerçekleştirilen çalışmada, kalsit ile güçlendirilmiş ve polyester'e odun ilave edilmiş malzemelerin eğilme direnci değerlerinin diğer odun esaslı levhalar ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin, orta sertlikte aşırı yük taşıyabilen lif levhaların eğilme direnci değerleri  $25\text{N/mm}^2$ 'dir. Yongalevha için ise bu değer maksimum  $18\text{N/mm}^2$ 'dir [70, 95].

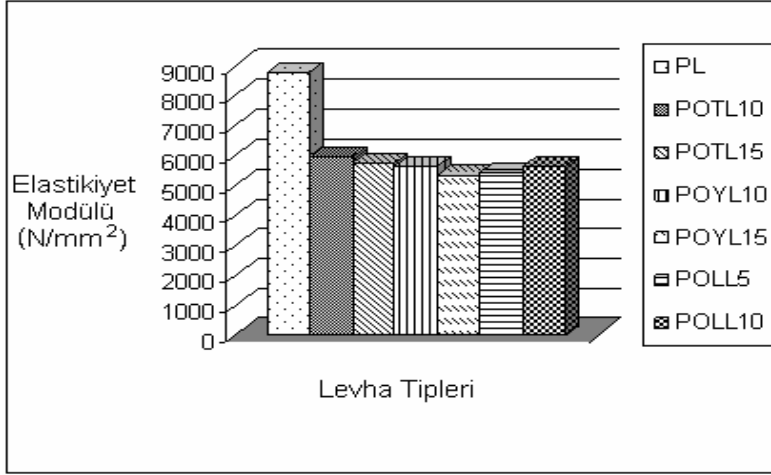
Ayrıca kompozit yapı içinde artan odun tozu ve yonga miktarının eğilme direnci değerlerinde azalma, artan lif oranının ise artış meydana getirdiği görülmektedir.

İstatistik analizler sonucu, odunsu materyalin cinsi ve kullanım oranının levhanın eğilme direnci üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek eğilme direnci değeri saf polyester ( $38.66\text{N/mm}^2$ ) levhalardan elde edilmiştir. En düşük eğilme direnci değeri ise; %15 yonga ( $28.48\text{N/mm}^2$ ) kullanılarak üretilen levhalarda belirlenmiştir. %10 odun tozu ( $31.20\text{N/mm}^2$ ) miktarı, %15'e ( $30.78\text{N/mm}^2$ ) çıkarıldığında eğilme direncinde %1'lik bir azalma meydana getirmiştir. %10 yonga ( $29.42\text{N/mm}^2$ ) miktarı %15'e ( $28.48\text{N/mm}^2$ ) çıkarıldığında levhalarda %1,1'lik bir eğilme direnci azalması meydana getirmiştir. Odun lifi kullanımı %5'ten ( $29.59\text{N/mm}^2$ ), %10'a çıkarıldığında ( $29.69\text{N/mm}^2$ ) eğilme dirençlerinde çok az bir artış meydana getirmiştir. Literatürde, azalan odun yongası boyutunun eğilme direncini arttırdığı ve birim hacim ağırlık değerindeki artmanın eğilme direnci değerlerini yükselttiği belirtilmektedir. Deneme sonuçları literatür ile uyumluluk göstermektedir [38, 96].

Eğilmede elastikiyet modülü, eğilme direnci ve çekme dayanımı gibi mekanik özellikler kompozitin mikroyapısına bağlıdır. Odunsu materyal ve plastik arasında iyi bağlantı olmaması, odunsu materyalin polyester içinde iyi dağılmaması, iç yapıda süreksiz odunsu materyal parçalarının bulunuşu ve plastiğin sertleşme sırasında iç yapısında meydana gelen gerilmeler mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir [97].

#### 4.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü

Üretilen levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 38’de verilmiştir.



**Şekil 38.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın eğilmede elastikiyet modülü üzerine etkisi

Termoplastik reçine kullanılarak üretilen Odun Plastik Kompozitlerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri diğer odun esaslı levhalara oranla önemli oranda düşüktür. Odun Plastik Kompozitlerde odunsu materyal kullanım oranı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerinde azalma görülmektedir [69].

Deneme levhalarının tümünde eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin diğer odun esaslı levhalara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Örneğin bu değer MDF için  $2800\text{N/mm}^2$ , yongalevha için ise maksimum  $5000\text{N/mm}^2$ 'dir [70, 95]. Yapılan denemeler sonrasında termoset malzemeye üretilen OPK malzemelerinde artan yonga ve/veya odun tozu miktarının elastikiyet modülü değerini azalttığı, artan lif miktarının ise eğilmede elastikiyet modülü değeri artırdığı belirlenmiştir.

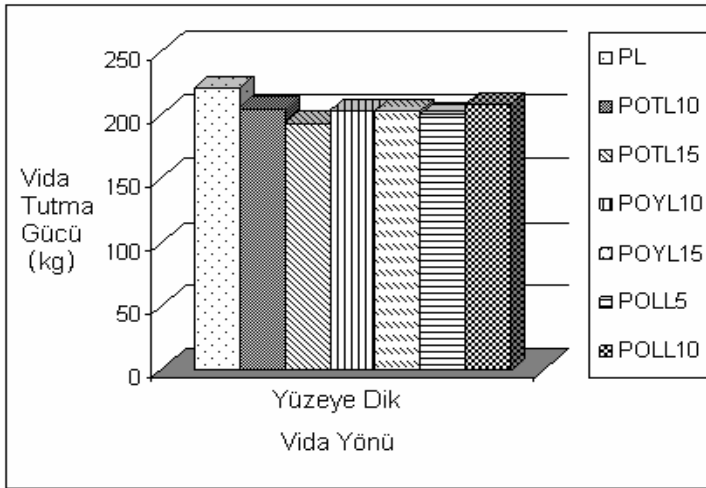
İstatistik analizler sonucu, odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın eğilme direnci üzerine etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek elastikiyet modülü değeri saf polyester ( $8778,41\text{N/mm}^2$ ) levhalardan elde edilmiştir. En düşük değer ise %15 yonga ( $5366,56\text{N/mm}^2$ ) kullanılarak üretilen levhalarda belirlenmiştir. %10 odun tozu ( $5957,82\text{N/mm}^2$ ) oranı, %15'e ( $5774,41\text{N/mm}^2$ ) çıkarıldığında elastikiyet modülü değerinde %1'lik bir azalma meydana getirmiştir. %10 yonga ( $5652,85\text{N/mm}^2$ ) miktarı, %15'e ( $5366,56\text{N/mm}^2$ ) çıkarıldığında levhaların elastikiyet modülü değerinde %1'lik bir

azalma meydana getirmiştir. %5 odun lifi ( $5442,34\text{N/mm}^2$ ) kullanılan levhaların elastikiyet modülü değeri, odun lifi oranı %10'a ( $5673,35\text{N/mm}^2$ ) çıkarıldığında %1'lik artış göstermiştir. Liang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da odun plastik kompozitlerinde lif kullanım oranı artışının elastikiyet modülünü değerini arttırdığı belirtilmiştir [71]. Ayrıca, maiti ve Singh yaptıkları çalışmada azalan yonga boyutunun eğilmede elastikiyet modülü değerini arttırdığını belirtmişlerdir [38].

Literatürde belirtilen özgül ağırlık, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değeri arasındaki doğrusal ilişki, yapılan denemeler sonucunda elde edilen elastikiyet modülü değerleri ile uyumluluk göstermektedir [98, 99].

#### 4.2.3. Vida Tutma Gücü

Her ne kadar polyester esaslı mutfak tezgâhı birleştirmelerinde çok fazla vida kullanımı söz konusu değilse de, tezgâh malzemesinin mutfak dolabı ile bağlanması sırasında vida kullanımı imkânının olup olmadığının belirlenmesi amacıyla denemeler yapılmıştır. Üretilen levhaların vida tutma gücü değerleri Şekil 39'da verilmiştir.



**Şekil 39.** Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın vida tutma gücü üzerine etkisi

Deneme levhalarında; en yüksek vida tutma gücü değeri saf polyester levhalardan ( $221,47\text{kg}$ ) elde edilmiştir. En düşük vida tutma gücü değeri ise %15'i odun yongası ( $193,60\text{kg}$ ) kullanılarak üretilen levhalardan elde edilmiştir.

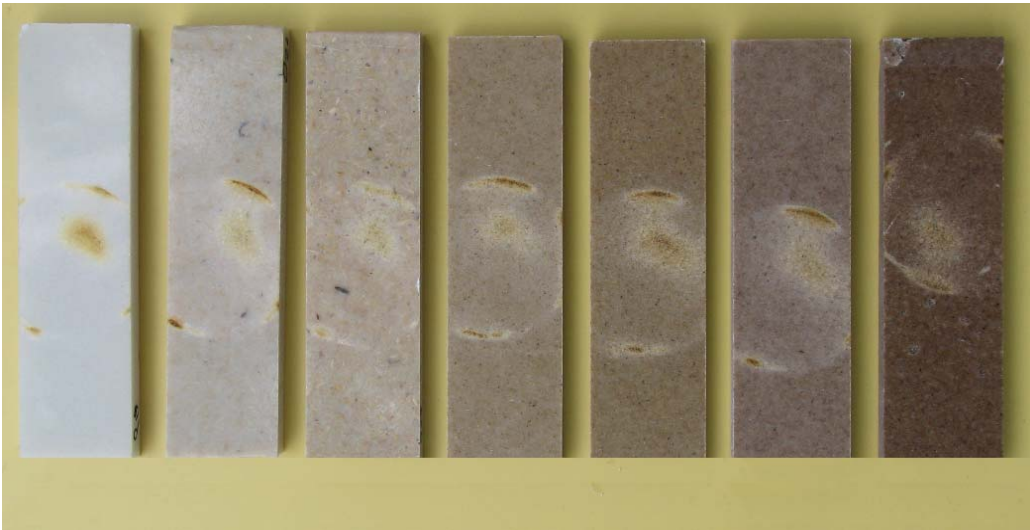


İstatistik analizler sonucu, odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının levhanın vida tutma gücü üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. %10 (202,86kg) ve %15 (203,04kg) yonga kullanılarak üretilen levhaların vida tutma gücü değerleri birbirine çok yakındır. %15 odun tozu kullanılarak üretilen levhalar (193,60kg), %10 odun tozu (205,08kg) kullanılarak üretilen levhalara oranla %5 daha fazla vida tutma gücüne sahiptir. Buna göre odun tozu miktarı artışının levhaların vida tutma gücünü düşürdüğü görülmüştür. %5 odun lifi (200,69kg) kullanılarak üretilen levhalar, %10 odun lifi (208,39kg) kullanılarak üretilen levhalara göre %3 daha fazla vida tutma gücüne sahiptir. Artan lif miktarının levhanın vida tutma gücünü arttırdığı belirlenmiştir. Odunsu materyal kullanılarak üretilen levhalar içinde en yüksek vida tutma gücü değerinin %10 odun lifi kullanılarak üretilen levhalarda olduğu belirlenmiştir.

### 4.3. Yüzey Kalitesi Özellikleri

#### 4.3.1. Kuru Sıcaklığa Karşı Direnç

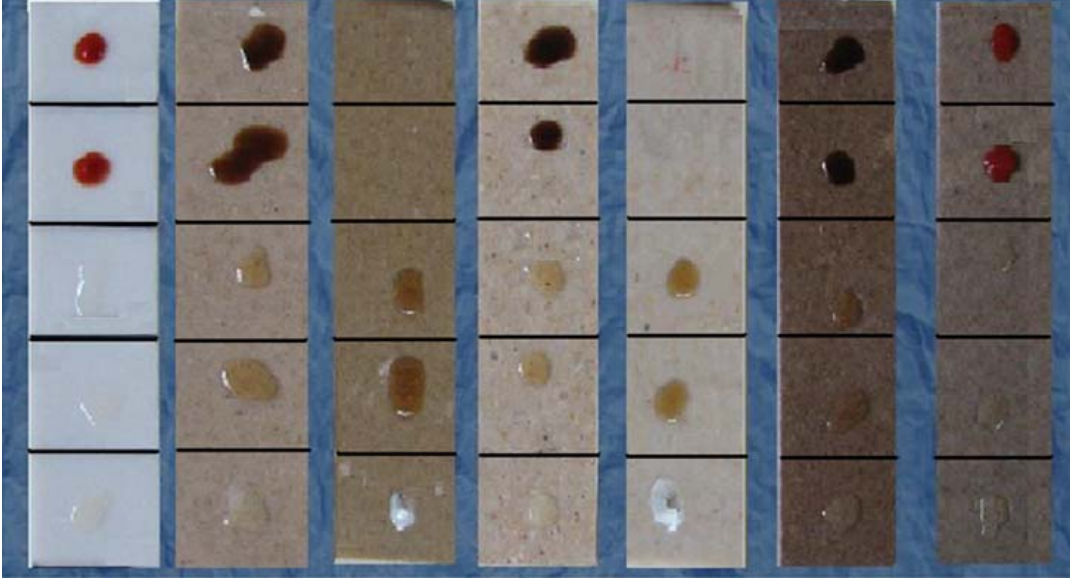
Üretilen levhalarının tümünün yüzeylerinde uygulanan sıcaklıkla birlikte buruşma, kabartı ve renk değişimi olduğu belirlenmiştir. Ancak 100°C sıcaklığa kadar levhalarda herhangi bir bozulma belirlenmemiştir. Şekil 40'da kuru sıcaklık uygulanan levha yüzeylerinde meydana gelen bozulma gösterilmiştir.



Şekil 40. Kuru sıcaklığa karşı direnç testi deney örnekleri

#### 4.3.2. Lekelenmeye Karşı Direnç

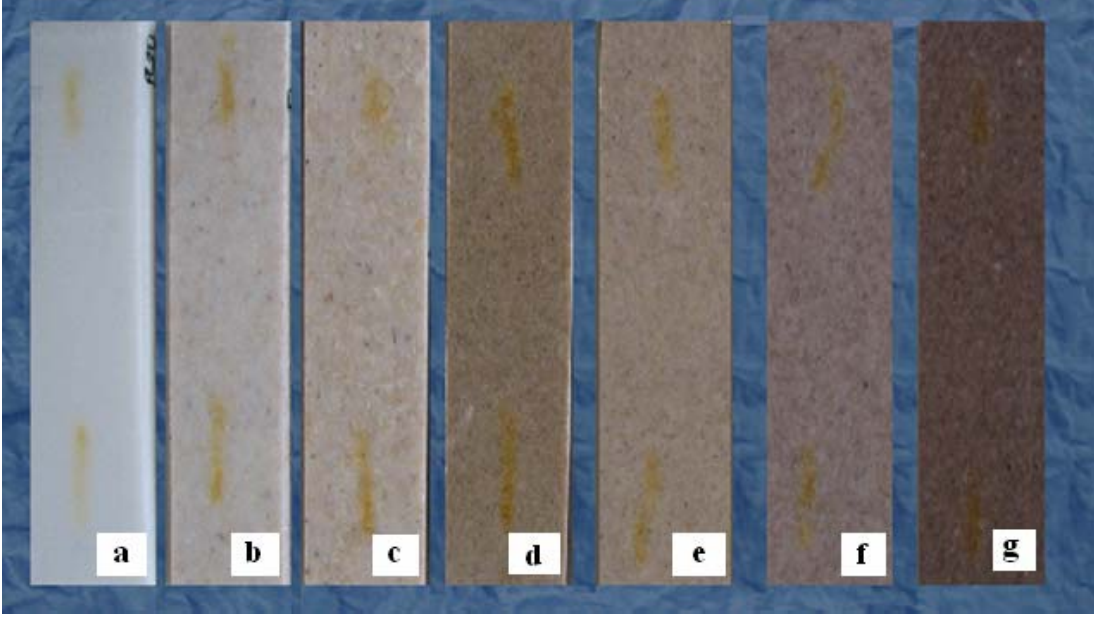
Üretilen levhalarının tümünün uygulanan çeşitli maddelerin lekelerine karşı dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyum göstermektedir [100, 101]. Şekil 41’de çeşitli maddelerin levha yüzeylerine uygulanma yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 41. Çeşitli maddelerin levha yüzeylerine uygulanma yöntemi

#### 4.3.3. Sigara Yanıklarına Karşı Direnç

Üretilen levhaların yüzeylerinde renk değişimi belirlenmiştir. Ancak buruşma veya çizik görülmemiştir. Şekil 42’de sigara yanıklarına karşı direnç testi uygulanan levha yüzeylerinde meydana gelen bozulmalar verilmektedir.



**Şekil 42.** Sigara yanıklarına karşı direnç testi uygulanan levha yüzeylerinde meydana gelen bozulmalar

- a) (PL) Polyester levha
- b) (POYL10) Polyester + %10 odun yongası levha
- c) (POYL15) Polyester + %15 odun yongası levha
- d) (POTL10) Polyester + %10 odun tozu levha
- e) (POTL15) Polyester + %15 odun tozu levha
- f) (POLL5) Polyester + %5 odun lifi levha
- g) (POLL10) Polyester + %10 odun lifi levha

## **5. SONUÇLAR**

### **5.1. Fiziksel Özellikler**

#### **5.1.1. Şekil Bozukluğu**

Üretilen levhalar içinde sadece saf polyester levhalarda şekil bozukluğu (oluklaşma) belirlenmiştir. Bu oluklaşma levha enine yönünde, 11mm'lik sehim meydana getirmiştir.

#### **5.1.2. Birim Hacim Ağırlık**

1. Yapılan çalışmalar sonucu odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının üretilen levhaların birim hacim ağırlık değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

2. Odunsu materyal kullanılarak üretilen levhaların birim hacim ağırlık değerleri planlandığı gibi saf polyester levhalara oranla daha düşük çıkmıştır.

3. En yüksek birim hacim ağırlık değeri saf polyester levhalardan elde edilmiştir. En düşük birim hacim ağırlık değeri ise %10 odun tozu kullanılarak üretilen levhalardan elde edilmiştir.

#### **5.1.3. Su Alma Miktarı**

1. Yapılan çalışmalar sonucu odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının üretilen levhaların su alma miktarları üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

2. Üretilen levhaların 2 saat suda bekletme sonucu, su alma değerleri incelendiğinde en yüksek su alma %15 yonga kullanılarak üretilen levhalarda belirlenmiştir. En düşük su alma ise polyester grubu levhalarda belirlenmiştir.

3. 24 saat suda bekletme sonucu ise en yüksek su alma %15 yonga kullanılarak üretilen levhada, en düşük su alma ise saf polyester levhalarda görülmüştür.

4. Diğer odun esaslı levhalarla kıyaslandığında Levhalarda meydana gelen artışın oldukça düşük olduğu görülmüştür.

#### **5.1.4. Kalınlık Artımı (Şişme) Oranı**

1. Yapılan çalışmalar sonucu odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının üretilen levhaların kalınlık artımı üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

2. 2 saatlik kalınlık artışı değerleri incelendiğinde %10 yonga kullanılarak üretilen levhaların en yüksek kalınlık artışı değerine sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük kalınlık artışı ise; %5 odun lifi kullanılarak üretilen levhalarda görülmüştür.

3. 24 saatlik kalınlık artışı değerleri incelendiğinde %10 yonga kullanılarak üretilen levhaların en yüksek kalınlık artışı değerine sahip olduğu belirlenmiştir. En düşük kalınlık artışı ise; %5 odun lifi kullanılarak üretilen levhalarda görülmüştür.

4. Levhalarda meydana gelen artışın diğer odun esaslı levhalar ile kıyaslandığında oldukça düşük olduğu gözlenmiştir.

#### **5.1.5. Kaynar Suya Daldırmaya Karşı Direnç**

1. 2saatlik kaynar suya daldırma deneyi sonucunda en düşük kalınlık artışının %5 lif kullanılarak üretilen levhalarda gözlenmiştir. En yüksek kalınlık artışının ise %15 yonga ile üretilen levhalarda görülmüştür.

2. 2 saatlik kaynar suya daldırma sonucunda en düşük ağırlık artışının saf polyester levhalarda olduğu belirlenmiştir. En yüksek ağırlık artışı miktarının ise %15 yonga kullanılarak üretilen levhalarda olduğu belirlenmiştir.

3. Odun yongası kullanılarak üretilen levhaların en yüksek kalınlık ve ağırlık artışı değerlerine sahip olmasının nedeni, toz ve lif materyaline oranla daha büyük boyutlu olan odun yongalarının daha fazla su absorbe etmesidir.

### **5.2. Mekanik Özellikler**

#### **5.2.1. Eğilme Direnci**

1. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının üretilen levhaların eğilme direnci değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

2. En yüksek eğilme direnci değeri saf polyester levhalarda, en düşük değer ise %15 yonga kullanılarak üretilen levhalarda gözlenmiştir.

3. Levhalardaki odun tozu miktarı arttırıldığında eğilme direncin değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

4. Levhalardaki yonga miktarı arttırıldığında eğilme direnci değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

5. Levhalardaki odun lifi miktarı arttığında eğilme direnci değerlerinde az da olsa bir artış meydana gelmiştir.

6. Sonuçların literatürde belirtilen özgül ağırlık ve eğilme direnci arasındaki doğru orantılı ilişki ile örtüştüğü belirlenmiştir.

### **5.2.2. Eğilmede Elastikiyet Modülü**

1. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının üretilen levhaların eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

2. En yüksek elastikiyet modülü değeri saf polyester levhalarda, en düşük değer ise %15 yonga kullanılarak üretilen levhalarda gözlenmiştir.

3. Levhalardaki odun tozu miktarı, arttırıldığında elastikiyet modülü değerinde azalma meydana gelmiştir.

4. Levhalardaki yonga miktarı arttırıldığında elastikiyet modülü değerinde bir azalma meydana gelmiştir.

5. Levhalardaki odun lifi miktarı arttırıldığında levhaların elastikiyet modülü değerleri artış göstermiştir.

6. Odun tozu ilaveli levhalar eşit oranda yonga kullanılarak üretilen levhalara oranla daha yüksek elastikiyet modülü değerleri vermiştir.

7. Literatürde belirtilen özgül ağırlık, eğilme direnci ve elastikiyet modülü arasındaki doğrusal ilişki, denemeler sonucunda elde edilen elastikiyet modülü değişimleri ile örtüşmektedir.

### **5.2.3. Vida Tutma Gücü**

1. Odunsu materyal cinsi ve kullanım oranının üretilen levhaların vida tutma gücü değerleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

2. En yüksek vida tutma gücü değeri polyester levhalardan elde edilmiştir. En düşük değeri ise polyesterin %15'i kadar odun yongası kullanılan levhalardan elde edilmiştir.

3. Artan odun tozu miktarı levhaların vida tutma gücünü düşürmektedir.

4. Artan lif miktarı levhaların vida tutma gücünü düşürmektedir.

5. %10 yonga ve %15 yonga kullanılarak üretilmiş levhaların vida tutma gücü değerlerinde çok az bir değişim gerçekleşmiştir.

### **5.3. Yüzey Kalitesi Özellikleri**

#### **5.3.1. Kuru Sıcaklığa Karşı Direnç**

Üretilen levhaların yüzeylerinde, uygulanan sıcaklıkla birlikte buruşma, kabartı ve renk değişimi olduğu belirlenmiştir.

#### **5.3.2. Lekelenmeye Karşı Direnç**

Üretilen levhalarının tümünün, uygulanan tüm maddelerin lekelerinden etkilenmediği gözlenmiştir.

#### **5.3.3. Sigara Yanıklarına Karşı Direnç**

1. Üretilen levhaların tümünün yüzeylerinde renk değişimi belirlenmiştir.

2. Üretilen levhaların tümünün yüzeylerinde buruşma veya çizik görülmemiştir.

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışmada; dünyada kullanımı her geçen gün artmakta olan odun plastik kompozitlerinin tanımı, üretim yöntemleri ve kullanılan malzemeler tanıtılmıştır. Ayrıca, endüstride yaygın olarak kullanılan ve termoset bir plastik olan polyester malzemenin odunsu materyal ile uyumu, mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler ve ekonomikliği araştırılmıştır.

Dünya inşaat ve orman ürünleri sanayinde çok fazla kullanılan OPK ürününün üretimini sağlamak, ülkemizde kullanılan ve üretimi yapılan diğer levha ve kompozit ürünlerine ikame olabilecek özellikte ürünler üretmek diğer hedefler arasında sayılabilir.

Avrupa birliği sürecinde çevresel şartların önem kazanmaya başladığı ülkemizde atık plastik ve orman ürünleri sanayi atıkları değerlendirilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Çünkü atık plastik doğada çok uzun yıllar (200 yıldan çok) kaybolmadan kalabilen bir malzemedir. Ayrıca atık odunların özellikle ülkemizde yakılması çevreye zarar vermektedir. Bu sebeple, geri dönüşümü olabilen bir ürün ortaya çıkarmak önemli bir husustur. Ülkemizde geri dönüşüm sistemleri çalışmadığı için atıklarımız çöp sahalarını doldurmakta, onların kullanım ömrünü azaltmaktadır. Öte taraftan ülkemiz pek çok üretim için yurt dışından atık getirtmektedir. Örneğin; Japonya'dan atık plastik ve kâğıt satın almaktadır. Atık ürünlerin değerlendirilmesinin söz konusu olması durumunda belli gruplar atık işine girecek böylece ülke ekonomisine ve bireysel ekonomiye katkılar sağlanabilecektir.

Denemelerden elde edilen mekanik ve fiziksel özelliklerin sonuçları ışığında, üretilecek levhalar için aşağıdaki öneriler sıralanabilir.

1. Levhaların birim hacim ağırlık değerleri göstermiştir ki, inşaat sanayinde mutfak ve banyo tezgâhı olarak kullanılmakta olan ve mermerit, gramer ya da fiberglas ismi ile satılan malzemelerin birim hacim ağırlık değerleri kullanılan odunsu materyal yardımıyla azalmaktadır. Bu da temel ve zemine olan yüklenmeyi azaltmakta ekonomikliği sağlamaktadır. Çalışmada birim hacim ağırlık değerleri ile ilgili olarak tespit edilen bir diğer husus ise; karışımdaki kalsit kullanımının azaltılmasıyla, %5–15 oranında kullanılan odunsu materyalin miktarının daha da artabileceğidir. Bu sayede hafif ve kullanılabilir levhalar üretilebilecektir.



2. Odunsu materyalin levhaların eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. Bunun en önemli nedenin kalsit maddesi miktarının azalmasıdır. Ancak levhanın kullanım amacı düşünüldüğünde ve diğer odun esaslı levhalar ile kıyaslama yapıldığında yeterli eğilme direnci ve elastikiyet modülü değeri elde edildiği söylenebilir. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda odunsu materyal kullanımını artırılarak eğilme ve elastikiyet değerlerinin hangi sınırlara ulaştığı belirlenebilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, kullanılan kalsit ve polyester miktarını odunsu materyal kullanım oranındaki artışa paralel olarak azaltmaktır.

3. Odunsu materyalin kullanımını levhaların vida tutma gücü değerlerinde farklılık meydana getirmiştir. Odun tozu kullanımının artması levhaların vida tutma gücü değerlerini düşürürken, odun yongası ve lifi miktarında yapılacak artış levhaların vida tutma gücünü arttırmaktadır. Odun yongası ve lifi kullanım oranları üzerinde yapılacak olan çalışmalarda daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

4. Su alma ve kalınlık artışı değerleri irdelendiğinde, plastik malzemenin su ile ilişkisinin üretilen kompozit levhalarda yansıdığı belirlenmiştir. Tüm OPK’de olduğu gibi deneme levhalarında su alma ve kalınlık artışı değerlerinde çok az değişim gözlenmiştir. Odunsu materyal cinsi veya miktarından çok homojen karışım sağlanmasının, su alma ve kalınlık artışı değerlerinin azalmasında etken olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yine kalsit miktarının azalmasıyla su alma ve kalınlık artışı değerlerinde azalma olacağı beklenilmektedir.

5. Üretilen levhaların 2 saat kaynar suya daldırma süresince gösterdiği kalınlık ve ağırlık artımı değerleri irdelendiğinde, levhanın çok uzun süre sıcak su ile temasının önlenmesi gerektiği belirlenmiştir.

6. Üretilen levhaların kuru sıcaklığa karşı direnci incelendiğinde, levha yüzeylerinin; sıcaklığı 100°C’nin üzerindeki cisimler ile temas ettiğinde bozulmaların meydana geldiği belirlenmiştir. Bu nedenle levha yüzeylerinin yüksek sıcaklıklardaki cisimler ile temasının önlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla tezgâhlarda mutlaka nihale kullanılmalıdır.

7. Üretilen levhaların sigara yanıklarına karşı direnci incelendiğinde, sigara ateşine karşı levha yüzeylerinin hassas olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle sigara ateşinin levha yüzeyleri ile teması önlenmelidir.

8. Üretilen levhaların lekelenmeye karşı direnci incelendiğine, levha yüzeylerinin deneyde kullanılan tüm malzemelere karşı dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle

levha yüzeylerinin bu maddeler ile temasında bir sakınca yoktur. Ancak polyester esaslı olan bu tezgâhların kuvvetli asit ve bazlar'dan korunması gerekmektedir.

Bu çalışmada üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi yanında polyester esaslı mutfak tezgâhı üretimindeki maliyetleri nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Sonuç olarak görülmüştür ki, polyesterin belirli oranlarında odunsu materyal kullanılması pahalı bir malzeme olan polyesterin getirdiği maliyeti azaltmıştır. Aynı zamanda polyester oranının azalmasıyla birlikte kalsit maddesinin azaltılması maliyeti biraz daha düşürmüştür. Tablo 40'da yılda 135x45x1,8cm ebatlarında yaklaşık 4000 adet polyester esaslı mutfak tezgâhı üretebilen bir işletmenin kullandığı ve üretilen yeni üründe kullanılacak yıllık polyester, kalsit, MEKP, kobalt miktarları ve ekonomik getirisi verilmiştir.

**Tablo 40.** Yeni üründe kullanılacak yıllık polyester, kalsit, MEKP, kobalt miktarları ve ekonomik getirisi

Kullanılan Malzemeler	Yaklaşık fiyat (1kg)	Yıllık Kullanım Miktarı (kg)	Yeni Üründeki Yıllık Kullanım Miktarı (kg)		
			%5 Odunsu Materyal	%10 Odunsu Materyal	%15 Odunsu Materyal
Polyester	7 YTL	22680	21546	20412	19278
Kalsit	6 YTL	60480	43092	40824	38556
Kobalt	20 YTL	113,4	215,46	204,12	193,4
MEKP	12 YTL	331,2	317,52	306,18	287,28
Toplam Maliyet		527.000 YTL	417.493 YTL	395.718 YTL	373.598 YTL

(\*Üretilen üründeki kusurları önlemek amacıyla kullanılan kobalt miktarında artım, MEKP miktarında ise azaltma yapılmıştır.)

Yapılan denemeler sonucu odunsu materyal türleri arasında fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri açısından çok büyük farklar belirlenmemiştir. Odunsu materyal kullanılarak üretilen levhalar mekanik özellikler bakımından saf polyester kullanılan levhalara göre daha düşük değerler sergilemesine rağmen, kullanım yeri şartlarına uygun olduğu belirlenmiştir. Üretilen levhalar fiziksel özellikler bakımından önemli bir faktör olan birim hacim ağırlık değerlerinde, saf polyester levhalardan daha iyi özellik sergilemiştir. Bu sayede malzemenin taşınması sırasında ve kullanım yerinde şekil bozukluğuna neden olacak durumlar önlenmiştir.

Odunsu materyallerin üretilen levhalarda belli oranlarda kullanılması (tercihen %15 oranında) halinde maliyetler irdelendiğinde, odun tozunun gerek kolay bulunabilirlik

gerekse de fiyat açısından maliyetleri en düşük seviyede tutacağı düşünülmektedir. Bunu odun yongası kullanımı takip etmektedir. Ancak üretilen levhada kullanım oranının sınırlı olması ve üretim maliyetinin yüksek olması nedeniyle, lifsi materyalin kullanımının maliyetleri arttırabileceği düşünülmektedir. Ancak ucuz lif kaynağı olarak atık kâğıtlardan yararlanılabilmek söz konusudur.

Sanayi açısından hangi levha tipi üretiminin yapılacağı belirlenmesinde iki ölçüt söz konusu olabilmektedir.

- Yüksek direnç değerlerinin önem arz ettiği durumlarda, belirtilen kullanım oranlarında en iyi mekanik ve fiziksel sonuçları veren odun tozu ve lifinin kullanımı;
- Üretim maliyetinin ve direncinin birlikte önem arz ettiği durumlarda ise, bulunma kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle odun tozu kullanımı daha uygun olacaktır.

Birçok orman ürünleri pazarında yakın gelecekte daha fazla gelişme tahmin edilmektedir. Daha etkili dizayn, daha iyi yapısal performans ve daha yüksek mühendislik ile odun plastik kompozitlerinin üretimi sağlam adımlarla ilerlemektedir. Sonuç olarak, odun plastik kompozitlerinin geleceği; yeni ürünü tanıma, ürün kalitesi, müşteri reaksiyonu, araştırma başarısı ve geliştirme çabaları gibi birçok faktöre bağlanmaktadır. Başarı, orman ürünleri ve plastik endüstrisi arasında kurulan ilişkinin devamlılığının sağlanmasıyla devam edecektir.

Böylece ülkemizde yeni iş alanları açılacak, istihdam imkânı artacak, çevre kirliliğine olan baskı bağlantılı olarak çöp sahası yatırımları bunun sonucu olarak da ormanlara ve petrol rezervlerine olan talep azalacaktır. Ayrıca ekosistem dengesine olan baskı ve enerji giderleri de azalacaktır.

Ayrıca ülkemiz ve Asya kıtasında hiç üretilmeyen bir ürün üretimi ile ülkemiz yeni bir pazarda yerini alacak belki de ilerde odun plastik kompoziti ihraç eden ülke durumuna gelecektir.

Bu konuda yeni çalışmaların yapılmasına ve yeni ürünlerin üretilmesine imkân sağlaması ümidiyle.

## 7. KAYNAKLAR

1. Çehrelî, T. H., Yönlendirilmiş Yongalı Levhaların Üretimi, teknolojik özellikleri ve kullanma Yerleri. K.T.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 4(1), 1981, 98-120.
2. Baysal, E., Bazı Borlu Bileşiklerin ve WR Maddelerin Kızılçam Odunun Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri”, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 1994.
3. Örs, Y., Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, I. Kısım Odunun Fiziksel Özellikleri Ders Notları, K.Ü. Basımevi, Trabzon, 1985- Bozkurt, A., Göker, Y., Erdin, N., Emprenye Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 3779/425, 1993.
4. Berkel, A., Ağaç Malzeme Teknolojisi, I. Cilt, İ.Ü. Yayın No: 1448, İstanbul, 1970- Kollman, F. P., Wiltfred Cote, A., Solid Wood, Principles of Wood Science and Technology, New York, (1), 1968.
5. Crawford, R.J., Plastic and Rubbers; Engineering Desing and Applications, MEP, London, 1985.
6. Anonim, Türkiye plastik sektörü raporu. PAGEV, Türkiye, 2004.
7. Callister, W. D., Materials Science and Engineering, second Edition, John Wiley & Sons Inc., Singapore, 1990.
8. Broutman, L. J., Krock, R. H., “Modern Composite Materials”, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1967.
9. Jones, M. J., “Mechanics of Composite Materials”, Scripta Book Company, Washington D.C., McGraw-Hill Book Company New York, 1980.
10. Robbins and Alan E., The state of the recycled plastics industry, Plastic Lumber Tread Asso., (PLTA), (1996), 3.
11. Lipinski, E. R., Homeowners looking for less maintenance, Greensboro News Company, August 31,1997.
12. Powell, J., The recycled plastic lumber industry: Moving toward adulthood, Resource Recycling and Compositing Journal, 15(2), (1996), 20–29.
13. Wolcott, M., P., and Englund, K., A Technology Review for wood plastic composites, 33. International Particleboard /Composite Materials Symposium, Washington State University, Pulman, Washington, 1999, 103–111.
14. Mali, J., Sarsama, P., Suomi, L. and Lindberg, Metsa, S., Kortelainen, Woodfiber-plastic composites, VTT Technical Research Centre, Finland, 2003.

15. Metsateollinen, V., Woodfiber-plastic composites, VTT Technical Research Centre, Finland, 2002.
16. URL-1, [www.fpl.fs.fed.us](http://www.fpl.fs.fed.us), Forest Products Laboratory, Performance Engineered Composites, 15 Mayıs 2005.
17. Karus M., Woodfiber-plastic composites, VTT Technical Research Centre, Finland, 2005.
18. Clemons, Craig., Plastic Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries, Forest Prod. J., 52(6), (2002), 10–18.
19. Eckert, C. Opportunities for Natural Fibers in Plastic Composites *In: Proc. Progress in Woodfibre-Plastic Composites*, Toronto, ON, 2000.
20. Youngquist, J.A., Unlikely Partners?, The Marriage Of Wood And Nonwood Materials. Forest Prod. Journal, 45(10), (1995), 25-30.
21. Manson J.A., Sperling L.H., Polymer blends and composites, Plenum Pres, New York, NY., 1976.
22. Matthews, F.L., and Rawlings, R.D., Composite materials: engineering and science, Chapman and Hall, New York, NY., 1994.
23. Akkurt, S., Plastik Malzeme bilgisi, İ.T.Ü., baskı no:1, Birsen Yayınevi, Makine Fakültesi, İstanbul, 1991.
24. Rosen, S., L., Fundamental principles of polymeric materials, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY., 1993.
25. Sperling, L.H., Introduction to physical polymer science, John Willey and Sons, New York, NY., 1986.
26. Mustafa, N. and Balatinecz J.J., Plastic recycling issues, *In: Proc., Wood fiber-plastic composites: virgin and recycled wood fiber and polymers for composites*, Forest Product Society, Madison, WI., (1996), 157-160.
27. Wily, J., and Sons, encyclopedia of polimer science and technology, 1969.
28. Anonim, PVC Üretim Teknolojisi Broşürü, PAGEV, Türkiye, 2004.
29. URL-2, [www.netcomposites.com](http://www.netcomposites.com), Wood Plastic Composites, 12 Nisan 2006
30. URL-3, Sangeeta, N., Soumitra B., Jute Composite: Technology & business opportunities, 29 Nisan 2006, <http://www.tifac.org.in/news/jute.htm>.
31. Anonim, CTP Teknolojisi, Cam elyaf Sanaayii A.Ş., İstanbul, 1984.

32. Aran, A., Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
33. Gassan, J. and Bledzki, A. K., Correlation between structure and properties of cellulose-based fibers and their effects on composite properties, The Fifth International Conference on Woodfiber- Plastic Composites, 1999.
34. Metsäteollinen, V., Maa-, metsä- ja katalaous 2002:45., Vammalan kirjapaino oy., 2002.
35. Bozkurt, Y. ve Göker, Y, Yonga Levha Endüstrisi Ders Kitabı, İ.Ü Orman Fakültesi Yayın No: 3311/372. İstanbul, 1990.
36. Bozkurt, Y. ve Göker, Y., Yongalevha Endüstrisi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No: 3311/372, İstanbul, 1985.
37. Törmälä, P., Pääkkonen and Luoto, K., Injection molding and extrusion of composites of low-density polyethylene and plywood grindlins, Journal of Applied Polymer Science, 30, (1985), 423-427.
38. Maiti, S.N., and Singh K., Influence of wood flour on the mechanical properties of polyethylene, J. of Applied Polymer Sci., 32, (1986), 4285-4289.
39. Yam, K.I., Gogoi, C.C., Lai, and Sekle, S.E., composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene, Polymer Engineering and Sci., 30(11), (1990), 693-699.
40. Takase, S. and Shiraishi, N., Studies on composites from wood and polypropylenes. II. J. of Applied Polymer Sci, 37, (1989), 645–659.
41. Chiu et al., Relationship between extrusion condition and mechanical properties of FRPP. J. of Applied Polymer Sci., 43, (1991), 1335-1341.
42. Woodhams, R.T., Thomas, G., and Rodgers, D.K., Wood fibers as reinforcing fillers for polyolefins, Polymer Engineering and Sci., 24(15), (1984), 1166-1171.
43. Woodhams, R.T., Law S. and Balatinez, J.J., Intensive mixing of wood fibers with thermoplastics for injection-molded composites, In: Proc. Wood fiber/polymer composites: fundamental concepts, processes, and material options. Wolcott, M.P. Forest Products Society, Madison, WI., (1993), 75-78.
44. Park, B.D. and Balatinez, J.J., A comparasion of compounding processes for wood-fiber/thermoplastic composites, Polymer composites, 18(3), (1997), 425-431.
45. Karmaker, A.C. and Youngquist, Fiber attrition during injection molding and its effect on the mechanical performance of natural fiber-reinforced polypropylene composite. In Proc. Wood-fiber-plastic composites: virgin and recycled wood fiber and polymers for composites, Forest Products Society, Madison, WI., (1996), 96–98.

46. Pabedinskas, A. D., Swanda, J., Yang, V., Zhou, J.J., Balatinecz, and Woodhams, R.T., *Advanced cellulosic composites*, (1993), 1–14.
47. Kalaycıoğlu, H., *Sahil Çamı (Pinus pinaster Ait) Odunlarının Yongalevha Üretiminde Kullanılması İmkanları*, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 1991.
48. Chtourou, H., Riedl, B. and Ait-Kadi, A., Reinforcement of recycled polyolefins with wood fibers, *J. Reinforced Plastic Composites*, 11, (1992), 372.
49. Raj, R.G., Kokta BV., Maldas, D and Danneault, C., Use of wood fibers in thermoplastics VII, The effect in coupling agents in polyethylene-wood fiber composites, *J. Appl. Polym. Science*, 37, (1989), 1089.
50. Feliks and Gatenholm, P., The nature of adhesion in composites of Modified Cellulose Fibers and Polypropylene, *J. Appl. Polym. Science*, 42, (1991), 609.
51. Sanadi et al., Renewable agricultural fiber as reinforcing fillers in plastic: Mechanical properties of Kenaf fiber-polypropylene composites, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 34, (1995), 1889.
52. Gatenholm, P., Bertilsson, H. and Mathiasson, A., The effect of chemical composition of interphase on dispersion of cellulose fibers in polymers I. PVC-coated cellulose in polystyrene, *J. Appl. Polym. Science*, 49, (1993), 197.
53. Yano, S., Hirose, S., Hatakeyama, H., Westerlind B. and Riggdahl, M., Mechanical properties of rubber composites reinforced with short cellulosic fibers. From. *Engineering Applications of new composites*, S.S. Paipetis & G.C. Papanicolau Editors, Omega Scientific, 1988.
54. Han et al., Mori, A., Yoshioka, M. and Shiraishi, N., Composites of wood and unsaturated polyesters, *Mokuzai Gakkaishi*, 37, (1991), 44.
55. Aranguren M.I., Reboredo, M., Demma G., Kenny, Oak sawdust and hazelnut shells as fillers for a polyester thermoset, *Holz als Roh J. und Werkstoff*, © Springer-Verlag, (1999), 325–330.
56. Hon, DNS. and San Luis, J., Thermoplasticization of wood II, Cyanoethylation, *J. Polym. Science*, part A, *Polym. Chem.*, 27, (1989), 4143.
57. Klason et al., The efficiency of cellulosic fillers in common thermoplastics, Part I, Filling without processing aids or coupling agents, *International J. of Polymeric Materials*, 10, (1984), 159-187.
58. Liang, B.H., Properties of recycled wood fiber and polystyrene multiphase composites, Ph. D. Dissertation, University of Maine, Orano, ME., 1995.

59. Gramann, P.J. and Osswald, T.A., Simulation of the melt mixing process of natural fiber-filled polyolefin composites: a boundary element approach. In: Proc. Wood fiber-polymer composites: fundamental concepts, processes and material options, M.P., ed. Forest Products Society, Madison, WI., (1993), 60.
60. Turkovich, R. and Ervin L., Fiber fracture in reinforced thermoplastic processing, Polymer engineering and Science, 23(13), (1983), 743-749.
61. Morton – Jones, D.H., Polymer processing, Chapman and Hall, London, UK, 1989.
62. Martin, C., using twin-screw extruders to manufacture woodfiber-plastic pellets or parts, The Fifth International Conference on Woodfiber- Plastic Composites, 1999, 226.
63. Martelli, F.G., Twin-screw extruders: A basic understanding, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY., 1983.
64. Stevens, M.J., Extruder principles and operation, Elsevier Applied Science Publisher, New York, NY., 1985.
65. Huber, K.A., Twin screw extruder processing of wood fiber-plastic composites. In: Proc. Wood fiber-plastic composites: virgin and recycled wood fiber and polymers for composites, Forest products Society, Madison, WI., (1996), 60.
66. URL-4, <http://www.mikrosanmak.com.tr/products/tekvidali>, 3 Temmuz 2006.
67. Schwarz, O., et al., Kunststoffverarbeitung, 3. edition, Vogel-Buchverlag , Würzburg, 1985.
68. Kalaycıoğlu, H., Levha Endüstrisinde Yeni Gelişmeler, KTÜ OF, Seminer Serisi No: 6, Bahar Yarıyılı Seminerleri, Trabzon, 108-112, 1998.
69. Falk, H., R., Vos, D. and Cramer, M., S., The comparative performance of woodfiber- plastic and wood- based panels, The Fifth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, 1999.
70. ASTM D 1037, Standard methods of evaluating the properties of wood base fiber and particle panel materials, American Society for testing and materials, Philadelphia, Pa., 1987.
71. Liang et al. Properties of transfer-molded wood fiber/polystyrene composites, Wood and Fiber Science, 26(3), (1994), 382–389.
72. Deaner et al., Advanced polymer/wood composite structural member, U.S. Patent no.5486553, 1996; Laver, T.C., Extruded synthetic wood composition and method for making same. U.S. Patent No. 5516472, 1996.



73. Puppın, G., Resin and wood fiber composite profile extrusion method, U.S. Patent no. 5882564, 1999; Laver, T.C., Extruded synthetic wood composition and method for making same. U.S. Patent No. 5516472, 1996.
74. URL-5, [www.tangram.co.uk](http://www.tangram.co.uk), 05.05.2006, Wood-Plastic Composites, A technical review of materials, processes and applications, 2002.
75. Anşın, R., Tohumlu Bitkiler, Gymnospermae (Açık Tohumlular), Cilt I, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No:112/15, Trabzon, 1988.
76. Malkoçoğlu, A., Doğu Kayını Odunun Teknolojik Özellikleri, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 1994.
77. Bozkurt, A.Y., Odun Anatomisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 415, İstanbul, 1992.
78. Bozkurt, A.Y. ve Erdin, N. 1989. Ticarete Önemli Yabancı Ağaçlar, İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İ.Ü. Yayın No:3572, O.F. Yayın No:4 İstanbul, 180,182.
79. Örs, Y. ve Keskin, H., ağaç malzeme bilgisi, atlas yayıncılık, s.157, İstanbul, 2001.
80. URL-6, [www.eskimpolyester.com.tr](http://www.eskimpolyester.com.tr), Polyester ve Gelcoat, 10.05.2006.
81. URL-7, [www.boytek.com.tr](http://www.boytek.com.tr), Polyester ve Gelcoat, 10.05.2006.
82. URL-8, <http://www.aurumchem.com/mekp.html>, 12 Temmuz 2006.
83. Arslan, F. ve Yaşar, İ., Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerde Elyaf Hacim Oran ve Elyaf Doğrultusunun Tribolojik Özelliklere Etkisi,Turk J Engin Environ Sci. Tübitak, 24, (2000), s.181- 191.
84. URL-9, <http://www.kimyaevi.org/elementler/kobalt/fiziksel.asp>, 12 Temmuz 2006.
85. URL-10, <http://www.ihracatdunyasi.com/kalsit.html>, 13 Temmuz 2006.
86. Kalaycıoğlu, H., Basılmamış Yongalevha Ders Notları, K.T.Ü Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2006.
87. TS EN 323/1, Ahşap Esaslı Levhalar, Birim Hacim Ağırlığın Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1999.
88. EN 317, Particleboard and Fiberboards, Determination of Swelling in the Thickness After Immersion, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1993.
89. ISO 4586-2, Dekoratif Yüksek - Basınçlı Laminantlar (HPL) - Termo-Ayarlamalı Reçine İçerikli Levhalar, Özelliklerin Belirlenmesi, ©Standadizasyon İçin Uluslar Arası Organizasyon, İsviçre,1988.

90. EN 310, Wood Based Panels, Determination of Modulus of Elasticity In Bending and Bending Strength, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 1993.
91. BS 1604, Resin Bond Wood Chipboard, British Standarts Institution, London, 1970.
92. BS 1811, Methods of Test for Wood Chipboards and Other Particleboards, British Standarts Institution, London, 1969.
93. Batu, F., Varyans Analizi, K.T.Ü Orman Fakültesi Dergisi, 1, 2, (1978), 234-235.
94. TS EN 312-5,7 Nemli Şartlarda Yük Taşıyıcı Olarak Kullanılan Yongalevhaların Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1999.
95. TS 64-3, Lif Levhalar- orta sert levhaların özellikleri, Türk Standartları enstitüsü, Ankara,1999.
96. Stegman, G., Drust, J., Particalboard from Beech Wood, Holz-Zentralbl., 90(153):313-318, 1964.
97. Yaşar, İ., Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Ve Polyester Matrisli Kompozit Malzemelerde Elyaf Hacim Oranı Ve Elyaf Yönlenmesinin Mekanik Ve Tribolojik Özelliklere Etkisi, K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 1996.
98. Lehmann, W. F., Properties of Structural Particalboard, For. Prod. J., 1974, 24(1):19-26.
99. Shuler, C. E., Pilot Study of The Use of Pulpwood Chipping Residue for Producing Particalboard in Maine, Tech. Bull. No.67, Life Sci. and Agr. Exp. Sta., Univ. of Maine, Orono, 1974.
100. URL-11, [http://www.mermerit.com.tr/u\\_dokum\\_granit.html](http://www.mermerit.com.tr/u_dokum_granit.html), 18 Temmuz 2006.
101. URL-12, <http://www.sehribanoglu.com>, 18 Temmuz 2006.

## **ÖZGEÇMİŞ**

**1980 yılında Erzincan'da doğdu. Lise eğitimini Erzincan'da tamamladı. 1999 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümüne girdi, 2003 yılında mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yabancı dili İngilizcedir.**