



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

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SERVİS ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ TEL DİREKLERİNDEN ODUN  
PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ**

**DOKTORA TEZİ**

**MÜRŞİT TUFAN**

**EYLÜL 2013**

**DÜZCE**

## KABUL VE ONAY BELGESİ

Mürşit TUFAN tarafından hazırlanan Servis Ömrünü Tamamlamış Tel Direklerinden Odun Plastik Kompozit Üretimi isimli Doktora tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/09/2013 tarih ve 2013-370 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Üye  
(Tez Danışmanı)  
Doç. Dr. Cihat TAŞÇIOĞLU  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Doç. Dr. Yalçın ÇÖPÜR  
Düzce Üniversitesi

Üye  
Doç. Dr. Selim ŞEN  
Gümüşhane Üniversitesi

Üye  
Doç. Dr. Hüseyin SİVRİKAYA  
Bartın Üniversitesi

Üye  
Yrd. Doç. Dr. Benan KILBAŞ  
Düzce Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih : 06.09.2013

### ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Mürşit TUFAN'ın Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **BEYAN**

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

06/09/2013

Mürşit TUFAN

## TEŞEKKÜR

Öncelikle Doktora tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarımın her aşamasında bilgilerini ve tavsiyelerini esirgemeyen, konu seçimi ve çalışmaların yönlendirilmesinde bilgisi ve tecrübesi ile yanımda olan sayın danışman hocam Doç. Dr. Cihat TAŞÇIOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmalarım boyunca tavsiyelerinden yararlandığım sayın hocalarım Prof. Dr. Sami İMAMOĞLU, Doç. Dr. Selim ŞEN, Doç. Dr. Yalçın ÇÖPÜR ve Prof. Dr. Mehmet AKGÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında mekanik testlerin yapılmasında yardımlarından dolayı sayın Doç. Dr. Fatih MENGELOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışması boyunca laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç Dr. Kadir KARAKUŞ, Arş. Gör. Selçuk AKBAŞ, Arş. Gör. Türker GÜLEÇ, Arş. Gör. Dr. Mesut YALÇIN ve Uzman Gökhan CEYHAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Beni yaşamım boyunca her konuda destekleyen anne ve babam başta olmak üzere tüm aile fertlerine ve her zaman yanımda olup bana destek olan eşim Nagehan TUFAN'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2012.02.HD.071 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

**Eylül 2013**

**Mürşit TUFAN**

## İÇİNDEKİLER

## Sayfa

TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
ÖZET .....	1
ABSTRACT .....	2
EXTENDED ABSTRACT.....	3
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. AĞAÇ MALZEME.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. EMPRENYE ENDÜSTRİSİ .....</b>	<b>10</b>
1.2.1. Emprenye Maddeleri.....	10
<b>1.3. CCA (BAKIR/KROM/ARSENİK) EMPRENYE MADDESİ.....</b>	<b>11</b>
1.3.1. CCA'lı Emprenye Maddelerinin Oluşturduğu Çevre Sorunları .....	12
1.3.2. Servis Ömrünü Tamamlayan CCA'lı Ağaç Malzemenin Geri Dönüşümü ile İlgili Metotlar.....	16
<b>1.4. TEL DİREKLERİ.....</b>	<b>24</b>
<b>1.5. PLASTİKLER.....</b>	<b>25</b>
1.5.1. Çapraz Bağlı Olmayanlar Plastikler (Termoplastikler) .....	26
1.5.1.1. Polietilen (PE) .....	26
1.5.2. Çapraz Bağlı Olan Plastikler.....	28
<b>1.6. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİ.....</b>	<b>28</b>
1.6.1. Uyum Sağlayıcı Maddeler .....	35
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>40</b>
<b>2.1. MATERYAL .....</b>	<b>40</b>
<b>2.2. YÖNTEM .....</b>	<b>40</b>
2.2.1. Tür Teşhisi .....	40

2.2.2. Tel Direklerindeki CCA Miktarının Belirlenmesi .....	41
2.2.3. Kompozit Üretimi .....	41
2.2.4. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi .....	46
2.2.5. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.....	47
2.2.6.Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM).....	47
2.2.7. Isıl özellikler .....	48
2.2.7.1. Termogravimetrik Analiz (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analiz (DTGA)..	48
2.2.7.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) .....	48
2.2.8. Yıkanma Testi.....	48
2.2.9. Biyolojik Testler .....	50
2.2.9.1.Mantar Testleri .....	50
2.2.9.2.Termit Testleri.....	50
2.2.10. İstatistiksel Analiz.....	52
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1. TÜR TEŞHİSİNE AİT BULGULAR ve TARTIŞMA .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2. TEL DİREKLERİNDEKİ CCA MİKTARINA AİT BULGULAR.....</b>	<b>54</b>
<b>3.3 . FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BULGULAR ve TARTIŞMA .....</b>	<b>54</b>
3.3.1. Kalınlık Artış Oranı .....	54
3.3.2. Su alma Oranı .....	58
<b>3.4.MEKANİK ÖZELLİKLERE AİT BULGULAR ve TARTIŞMA.....</b>	<b>63</b>
3.4.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü .....	63
3.4.2. Çekme Direnci ve Çekmede Elastikiyet Modülü .....	66
3.4.3. Darbe Direnci.....	69
<b>3.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) GÖRÜNTÜLERİNE İLİŞKİN BULGULAR ve TARTIŞMA.....</b>	<b>72</b>
<b>3.6. Isıl Özellikler .....</b>	<b>75</b>
3.6.1. Termogravimetik analiz (TGA) ve türev termogravimetik analiz (DTGA).....	75
3.6.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) .....	78
<b>3.7. Yıkanma Testi .....</b>	<b>80</b>
<b>3.8. BİYOLOJİK TESTLERE İLİŞKİN BULGULAR ve TARTIŞMA.....</b>	<b>84</b>
3.8.1. Mantar Testleri.....	84
3.8.1.1. <i>Trametes versicolor</i> mantarına ait ağırlık kayıpları .....	84
3.8.1.2. <i>Postia placenta</i> mantarına ait ağırlık kayıpları .....	86

3.8.1.3. <i>Coniophora Puteana</i> mantarına ait ağırlık kayıpları.....	88
3.8.2. Termit testleri.....	90
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>95</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>99</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>109</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>123</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 1.1.	1964-2010 yılları arasında TEDAŞ tarafından kullanılan tel direği miktarları.....	15
Şekil 1.2.	Plastik moleküllerin dizilişi .....	26
Şekil 1.3.	Etilenin polimerizasyonu .....	27
Şekil 1.4.	Birleştiricilerin çalışma mekanizması .....	37
Şekil 1.5.	OPK üretiminde birleştiricilerin kullanılma prosesleri.....	38
Şekil 2.1.	Willey değirmeni .....	42
Şekil 2.2.	Sarsak elek .....	42
Şekil 2.3	Laboratuvar tipi mikser .....	43
Şekil 2.4	Ekstruder makinası.....	43
Şekil 2.5.	Pelet kırıcı .....	43
Şekil 2.6.	Sıcak pres .....	43
Şekil 2.7.	%40 Odun unu içeren OPK örnekleri.....	44
Şekil 2.8.	%50 Odun unu içeren OPK örnekleri.....	44
Şekil 2.9.	%60 Odun unu içeren OPK örnekleri.....	44
Şekil 2.10.	Dijital indikatör .....	46
Şekil 2.11.	Çekme direnci örneği.....	49
Şekil 2.12.	Eğilme direnci örneği.....	49
Şekil 2.113.	Çentik açılan numuneler.....	49
Şekil 2.14.	Darbe direnci testi.....	49
Şekil 2.15.	Yıkanma örnekleri.....	49
Şekil 2.16.	ICP cihazı.....	49
Şekil 3.1.	Emrenyeli tel direklerine ait enine (A), radyal (B), teğet (C) kesit görüntüleri.....	53
Şekil 3.2.	1B, 9B ve 12B grup numaralı OPK'ların SEM görüntüleri.....	73
Şekil 3.3.	4B, 8B ve 12B grup numaralı OPK'ların SEM görüntüleri.....	74
Şekil 3.4.	1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A, 12B grup numaralı	



	OPK'ların TGA analizleri.....	76
Şekil 3.5.	1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A, 12B grup numaralı OPK'ların DTGA analizleri.....	77
Şekil 3.6.	1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A, 12B grup numaralı OPK'ların DSC analizleri.....	79
Şekil 3.7.	%40 (A), %50 (B) ve %60 (C) CCA'lı ağaç malzeme içeren levhalardan Bakır (Cu) yıkanma miktarlarını gösteren grafikler .....	81
Şekil 3.8.	%40 (A), %50 (B) ve %60 (C) CCA'lı ağaç malzeme içeren levhalardan Krom (Cr) yıkanma miktarlarını gösteren grafikler.....	82
Şekil 3.9.	%40 (A), %50 (B) ve %60 (C) CCA'lı ağaç malzeme içeren levhalardan Arsenik (As) yıkanma miktarlarını gösteren grafikler .....	83

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa No

Çizelge 1.1.	Lignoselülozik maddelerde meydana gelen bozulma reaksiyonları....	9
Çizelge 1.2.	AWPA Standardına göre CCA tiplerinin bileşimi .....	11
Çizelge 1.3.	Kirlenmemiş topraklarda ve kayalardaki CCA sınır miktarları .....	13
Çizelge 1.4.	CCA ile işlem görmüş yongaların kullanıldığı ortamın hava standardı .....	18
Çizelge 1.5	Demir beton ve ağaç direk tiplerinin maliyet karşılaştırması .....	24
Çizelge 1.6.	Bölgelere göre dünya YYPE üretimi .....	27
Çizelge 1.7.	Odun plastik kompozitleri genel kullanım alanları .....	30
Çizelge 1.8.	Yer döşemesi olarak kullanılan malzemelere olan talep .....	31
Çizelge 1.9.	Uyum sağlayıcı maddeler .....	36
Çizelge 2.1.	Üretilen OPK kompozitlerin formülasyonları .....	45
Çizelge 3.1.	Levhaların 23°C sıcaklıkta 2 saat için kalınlık artışı oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları .....	54
Çizelge 3.2.	Levhaların 23°C sıcaklıkta 2 saat için kalınlık artışı oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları .....	54
Çizelge 3.3.	23°C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama kalınlık artışı ve standart sapma değerleri .....	55
Çizelge 3.4.	Levhaların 40°C sıcaklıkta 2 saat için kalınlık artışı oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları .....	56
Çizelge 3.5.	Levhaların 40°C 24 saat için kalınlık artışı oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları .....	56
Çizelge 3.6.	40°C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama kalınlık artışı ve standart sapma değerleri .....	57
Çizelge 3.7.	Levhaların 23°C sıcaklıkta 2 saat için su alma oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları .....	59
Çizelge 3.8.	Levhaların 23°C sıcaklıkta 24 saat için su alma oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları .....	59

Çizelge 3.9.	23°C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama su alma ve standart sapma değerleri .....	60
Çizelge 3.10.	Levhaların 40°C sıcaklıkta 2 saat için su alma oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları .....	61
Çizelge 3.11.	Levhaların 40°C sıcaklıkta 24 saat için su alma oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları .....	61
Çizelge 3.12.	40°C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama su alma ve standart sapma değerleri .....	62
Çizelge 3.13.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının eğilme direnci üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	64
Çizelge 3.14.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	64
Çizelge 3.15.	Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri .....	65
Çizelge 3.16.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının çekme direnci üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	67
Çizelge 3.17.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının çekmede elastikiyet modülü direnci üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	67
Çizelge 3.18.	Çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü değerleri .....	68
Çizelge 3.19.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının darbe direnci üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	70
Çizelge 3.20.	Darbe direnci değerleri .....	71
Çizelge 3.21.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının <i>Trametes versicolor</i> mantarının meydana getirdiği ağırlık kaybı üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	84
Çizelge 3.22.	<i>Trametes versicolor</i> mantarının levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı ...	85
Çizelge 3.23.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının <i>Postia placenta</i> mantarının meydana getirdiği ağırlık kaybı üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	86
Çizelge 3.24.	<i>Postia placenta</i> mantarının levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı .....	87
Çizelge 3.25.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının <i>Coniophora Puteana</i> mantarının meydana getirdiği ağırlık kaybı üzerindeki etkisine ait	

	ÇVA sonuçları .....	88
Çizelge 3.26.	<i>Coniophora Puteana</i> mantarının levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı .....	89
Çizelge 3.27.	CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının <i>Coptotermes formosanus</i> Shiraki termitinin meydana getirdiği ağırlık kaybı üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	91
Çizelge 3.28.	<i>Coptotermes formosanus</i> Shiraki termitinin levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri .....	91
Çizelge 3.29.	CCA'lı ağaç malzeme ve MAPE kullanımının <i>Coptotermes formosanus</i> Shiraki termitinin meydana getirdiği günlük tüketim oranları üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları .....	92
Çizelge 3.30.	CCA içeren odun unu ve uyumlaştırıcı kullanımının <i>Coptotermes formosanus</i> Shiraki termitine ait günlük tüketim oranları ve standart sapma değerleri .....	93

## SİMGELER VE KISALTMALAR

ASTM	American Society for Testing and Materials
AWPA	American Wood Protection Association
CCA	Bakır/Krom/Arsenik
ÇVA	Çoğul varyans analizi
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
DTG	Türev termogravimetrik analiz
EGMA	Etilen-co-glycidyl metakrilat
EN	European Committee for Standardization
EPR	Etilen-propilen kauçuk
FRM	Fenol Resorsinol Formaldehit
GŞÇ	Güney sarıçamı
GPa	Gigapaskal
HMR	Hidroksimetil Resorsinol
ICP	Inductively coupled plasma emission
LPF	Sıvı fenol-formaldehit
J/m	Joule/metre
JWPS	Japanese Wood Preserving Association Standard
MAPE	Maleikanhidritle kraftlanmış polietilen
MAPP	Maleikanhidritle kraftlanmış polipropilen
MPa	Megapaskal
OPK	Odun plastik kompozit
OSB	Yönlendirilmiş yongalevha
PCP	Pentaklorfenol
pMDI	Polimerik difenilmetan diizosiyenat
POE	Poliefin elastomer
PP	Polipropilen
Ppb	Milyarda bir
Ppm	Milyonda bir
μ	Mikron

SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SPSS	Statistical packages for the social sciences
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demir Yolları
TGA	Termogravimetrik analiz
YYPE	Yüksek yoğunluklu polietilen

## ÖZET

### SERVİS ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ TEL DİREKLERİNDEN ODUN PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİ

Mürşit TUFAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Cihat TAŞÇIOĞLU

Eylül 2013, 124 sayfa

Bu çalışmada, yüksek yoğunluklu polietilen ve servis ömrünü tamamlamış CCA (Bakır/Krom/Arsenik) ile emprenye edilmiş ağaç malzemeden üretilen odun plastik kompozitlerin (OPK) boyutsal stabilitesinin, mekanik ve biyolojik performansının, ısıl özelliklerinin ve yıkanan CCA oranının belirlenmesi amaçlanmıştır. Emprenyesiz sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve farklı oranlarda uyum sağlayıcı madde kullanılarak kontrol numuneleri üretilmiştir. Kompozit levhaların üretiminde farklı oranlarda uyum sağlayıcı madde ve %40, 50 ve 60 oranında servis ömrünü tamamlamış CCA'lı ağaç malzeme kullanılmıştır. Mikolojik testlerde bir adet beyaz çürüklük mantarı *Trametes versicolor* L.Pilat (Mad-697), iki adet esmer çürüklük mantarı *Postia placenta* (Fr.) M.J. Larsen & Lombard (Mad-698-R) ve *Coniophora puteana* (Schumach.: Fr.) P. Karst (Mad-15) kullanılmıştır. Entomolojik testler için ise *Coptotermes formosanus* Shiraki laboratuvar termit kolonisinden yararlanılmıştır. Kompozit malzemeden yıkanan CCA oranının belirlenmesi için ICP cihazı kullanılmıştır. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile malzemenin yüzeyi incelenmiştir. Boyutsal stabilite ve şok direnci dışındaki mekanik özelliklerin servis ömrünü tamamlamış CCA'lı ağaç malzeme ve uyum sağlayıcı madde kullanımı ile iyileştiği belirlenmiştir. % 40 ve 50 oranında servis ömrünü tamamlamış CCA'lı ağaç malzeme ve % 5 uyum sağlayıcı madde kullanılarak üretilen kompozit levhaların eğilme direnci değerleri aynı olduğu tespit edilmiştir. CCA'lı ağaç malzeme kullanımının levhanın bozunma sıcaklık değerinde az bir düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber levha içerisinde servis ömrünü tamamlamış CCA'lı ağaç malzeme kullanılması ile biyolojik dayanıklılığın arttığı tespit edilmiştir. Levhalardan yıkanan arsenik miktarının içme sularında bulunması gereken seviyenin üstünde olduğu fakat toprakta doğal halde bulunan arsenik seviyesinin altında olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Boyutsal stabilite, Emprenyeli ağaç malzeme, Mekanik özellikler, Polimer kompozit, Yıkanma.

## ABSTRACT

### PRODUCTION OF WOOD PLASTIC COMPOSITES FROM TREATED UTILITY POLES REMOVED FROM SERVICE

Mürşit TUFAN  
Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Science, Department of Forest Industrial  
Engineering  
Doctoral Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cihat TAŞÇIOĞLU  
September 2013, 124 pages

The aim of this study was to investigate the dimensional stability, mechanical and biological performance, thermal degradation, leaching amount of CCA (Copper/Chrome/Arsenic) and morphology of wood-plastic composites (WPCs) made from high-density polyethylene and recycled CCA treated wood. Virgin pine wood samples were also prepared with and without a coupling agent and used as the control group. Wood-plastic composite samples of CCA-treated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with 40, 50 and 60% wood content were produced by adding different ratios of the coupling agent. One white rot fungus, *Trametes versicolor* L.Pilat (Mad-697), two brown rot fungi, *Postia placenta* (Fr.) M.J. Larsen & Lombard (Mad-698-R) and *Coniophora puteana* (Schumach.: Fr.) P. Karst (Mad-15) were used for the decay tests. While *Coptotermes formosanus* Shiraki, a laboratory termite colony, was utilized for entomological assays. An ICP spectrometer was used as analytical instrument to determine of leaching amounts of CCA. The surfaces of the WPC samples manufactured were examined with a scanning electron microscope (SEM). The dimensional stability and mechanical performance, excluding the Izod impact, were improved by the recycled CCA wood flour and addition of the coupling agent. Produced from recycled CCA treated wood 40% and 50% with 5% MAPE flexural strength of composites gave the same values. The presence of CCA in the WPC samples resulted in degradation at lower temperatures compared to the untreated controls. However, biological resistance was higher in the CCA groups than in the control groups due to the presence of copper, chromium and arsenic in the formulations. The leaching values of As determined in the CCA samples were higher than the amount allowed for drinking water, while relatively low compared to naturally-occurring soil arsenic levels.

**Keywords:** Dimensional stability, Leaching, Mechanical properties, Polymer composites, Treated wood.



## **EXTENDED ABSTRACT**

### **PRODUCTION OF WOOD PLASTIC COMPOSITES FROM TREATED UTILITY POLES REMOVED FROM SERVICE**

Mürşit TUFAN  
Düzce University  
Graduate School of Natural and Applied Science,  
Department of Forest Industrial Engineering  
Doctoral Thesis  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Cihat TAŞÇIOĞLU  
December 2013, 124 pages

#### **1. INTRODUCTION:**

Although environmentally friendly and renewable wood material has been used extensively in industry, it possess major problems when it is exposed to fungi, insect and termite activity. As a result of these damages, physical life of wood material diminishes significantly. A number of studies to increase the physical life of wood materials has been carried out. Wood material has been treated with several wood preservative chemical. As a result of these studies in 1933, CCA (Copper / Chrome / Arsenic) was discovered. It was determined that wood material impregnated with CCA, can be used in various service areas for considerable long time. Lifecycle of such material varies between 20-30 years. Impregnated wood material are used in a number of areas such as utility poles, fences, ties, construction, mines, packing cases, children playgrounds. Potential harms of preservatives used in wood preservation on human health and environment are still a matter of debate. In recent years, removed treated material became a major problem since the amount of treated wood is increasing substantially. In the USA alone, the treated wood removed from service reached approximately 8 million m<sup>3</sup> in 1994. This amount has increased 10 million m<sup>3</sup> in 2000 and it is estimated to reach 18 million m<sup>3</sup> in 2020. Similar projections have been reported for Europe. Each year nearly 2.1 – 2.4 million tons impregnated wood material removed from service. In this context, it becomes unavoidable to find alternative utilization areas for this material since storing in free land and burning under high pressure and temperature are considered environmentally harmful. Utilization of CCA

treated wood has been regulated by laws after 2004 amendments. Therefore treated wood was banned from children playgrounds, parks and gardens. Similar regulations have been adopted in Canada and Europe. However impregnated wood material are still used in a number of areas such as in utility poles, ties, bridge construction. Surely this ban will reduce the consumption of treated wood material but treated wood removed from service will still pose major problem in the near future. The objectives of this study are;

- to investigate production opportunities of wood plastic composites (WPC) from treated wood removed from service,
- Wood plastic composite (WPC) produce from treated wood flour at several incorporation levels. The effect of wood preservative chemicals (CCA) on trial WPC material test mechanically and physically,
- to investigate optimum encapsulation rate,
- to determine the leaching value of CCA from composite materials.

## **2. MATERIAL AND METHODS:**

Virgin Scots pine (*Pinus Sylvestris*) and recycled CCA-treated Scots pine poles were used to produce the samples. The CCA-treated Scots pine poles taken out of service after 20 years were used as wood flour component of the wood-plastic composites manufactured. The virgin pine wood and the poles were first chipped with a planer until heartwood was reached. The chips were then reduced to wood flour with a Wiley mill. The resulting particles were sifted with a vibration sieve and those that passed through a 20-mesh, but not an 80-mesh screen were used. Virgin high-density polyethylene and the coupling agent, maleated polyethylene (MAPE) were obtained from commercial sources. The selected wood flour was dried for 24 h at  $103 \pm 2$  °C. It was then mixed with the HDPE in a high-intensity laboratory mixer. This mixture was compounded in a single-screw laboratory extruder for 5 min at 175 °C. Pellets were formed by compression molding in a hot press for 3 min at 170 °C. For the water absorption and thickness swelling tests specimens were immersed in water for 2 and 24 h. The water temperatures were 21 and 40 °C. The flexural and tensile properties of all samples were determined according to ASTM D790 and ASTM D683, respectively. The Izod impact strengths were determined according to ASTM D256. The decay tests were carried out according to European standard EN 113. Termite resistance tests were

carried out according to the Japan Wood Preserving Association Standard. JWPS-TW P.1. The amount of copper (Cu), chrome (Cr) and arsenic (As) leaching from the WPCs was determined according to the AWWA 11-97. An analysis of variance (ANOVA) test was applied to evaluate the effects of CCA, MAPE, and different levels wood content using SPSS software (SPSS 19, 2010). Significant differences between variables were determined by Duncan test at  $p < 0.05$  level.

### **3. RESULT AND DISCUSSION:**

With the wood-particle content increase from 40 to 60%, water absorption and thickness swelling values were increased. The higher content of the hydrophilic lignocellulosics in the composite increased the water absorption and thickness swelling values. All composites produced with virgin pine and recycled CCA flour showed higher flexural strength and elasticity modulus and tensile strength and elasticity modulus values using 5% MAPE compared to those WPCs using 3%, 1% and those without a coupling agent. The use of recycled CCA wood flour in WPCs leads to better adhesion between the particles and the polymer matrix. Other side the impact strength was reduced in all groups with recycled CCA and addition of the coupling agent. In the thermal decomposition process volatile compounds such as arsenic oxide are produced and the temperature of decomposition is lower compared to untreated composite material. In general, the mass loss of all WPC groups was shown to be much lower than that of the solid wood. Other side addition of a coupling agent, the leaching values decreased for all composites. However, the amount of As leaching was higher than the 10 ppb allowed for drinking water.

### **4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS:**

The dimensional stability and mechanical performance, excluding the Izod impact, were improved with the recycled CCA wood flour and addition of the coupling agent. Moreover, flexural properties along the sides of all produced WPC samples met the requirements of the ASTM D 6662 for polyolefin-based plastic lumber decking boards. However, biological resistance was higher in the CCA groups than in the control groups due to the presence of copper, chromium and arsenic in the WPCs. The results of this study illustrated that WPC properties were improved by using recycled wood treated with CCA and manufacturing composites from these material can be utilized as an alternative recycling method for chemically treated wood.

## 1. GİRİŞ

Ağaç malzeme yenilenebilir oluşu, estetik ve dekoratif yapısı, kolay temin edilebilirliği, basit el aletleriyle bile şekillendirilebilmesi, ağırlığına oranla yüksek direnç özelliklerine sahip olması gibi özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmakta ve endüstri için önemli bir hammadde kaynağı teşkil etmektedir. Tüm bu üstün özelliklerine rağmen ağaç malzemenin organik yapısı zamanla biyotik (mantar, termit, böcek ve deniz zararlıları gibi) ve abiyotik (rutubet, sıcaklık, UV ışınları gibi) faktörler tarafından tahrip edilerek bozundurulmaktadır. Bu ise malzemenin aktif kullanım ömrünü azaltmakta ve önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Gerek meydana gelen bu ekonomik kaybı en aza indirmek, gerekse kullanım yerindeki ömrünü uzatmak için emprenye endüstrisi oluşmuş ve günümüze kadar bu alanda birçok yöntem ve kimyasal denenmiştir. En genel anlamda emprenye; ağaç malzemenin boşluklarını kimyasalla doldurma işlemi olarak tanımlanabilir. Emprenye işlemi ile ağaç malzemede meydana gelen bozunmaları engellemek ya da en aza indirmek, hızlı gelişen ağaç türlerinin de endüstride aktif bir şekilde kullanımını sağlamak, ağaç malzemenin servis ömrünü uzatarak daha az malzeme tüketimi ile ormanlar üzerindeki baskıyı azaltmak hedeflenmektedir.

Bu kapsamda geliştirilen Kreozot, Pentaklorfenol (PCP) ve CCA (Bakır/Krom/Arsenik) en çok bilinen ve kullanılan emprenye maddeleridir. 1933 yılında formülize edilen ve etkin bir koruma sağlayan CCA, emprenye işleminde ülkemiz ve dünya çapında en çok tüketilen emprenye maddelerinden biridir. 70 yılı aşkın süredir emprenye işleminde kullanılmaktadır.

Son zamanlarda ise dünya genelinde artan çevre ve sağlık sorunlarından dolayı emprenye endüstrisinde kullanılan kimyasalların insan ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri tartışılmaya başlanmıştır. Ayrıca birçok ülke kirletici etkenleri sınırlandırmak ve kontrol altına almak için birçok yeni düzenlemeyi uygulamaya koymuştur. Belirlenen yönetmelikler ve prensipler çerçevesinde CCA'nın çevreye olan olumsuz etkileride göz önüne alınarak, oluşacak emprenyeli atık malzeme miktarının azaltılması için

kullanımına birçok alanda sınırlama getirilmiştir. Tüm bu sınırlamalara rağmen CCA'nın hâlâ kullanımı devam etmektedir. Ayrıca heryıl çok ciddi miktarlarda CCA içeren ağaç malzeme servis ömrünü tamamlayıp atıl hale gelmektedir. İlk aşamada bu malzemenin yok edilmesi için toprağa gömme ve yakma gibi yöntemler akla gelmiştir fakat yakma işleminde ortaya çıkan zehirli gazlar, malzemenin toprağa gömülmesinden sonra CCA'nın yıkanıp içme sularına ve toprağa geçmesi gibi sorunlar ortaya çıkmıştır.

70 yılı aşkın süredir CCA'nın kullanıldığı düşünülduğünde atıl hale gelecek malzemenin değerlendirilmesi ya da yok edilmesi kapsamında yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında enerji nakil ve iletişim hatlarında kullanılıp servis ömrünü tamamlamış CCA'lı tel direklerin yeni dönem mühendislik ürünü olan odun plastik kompozit (OPK) üretiminde kullanım imkânları araştırılmıştır. Bu kapsamda üretilen OPK'ların fiziksel (kalınlık artışı ve su alma oranları), mekanik (eğilme, çekme ve şok direnci, eğilmede elastikiyet ve çekmede elastikiyet modülü değerleri), biyolojik (mantar ve termit testleri) ve termal (TGA ve DSC analizleri) özellikleri incelenmiştir. Mantar testlerinde (*Trametes versicolor* beyaz çürüklük mantarı), (*Postia placenta* ve *Coniophora puteana* esmer çürüklük mantarları), termit testlerinde *Coptotermes formosanus* Shiraki termiti kullanılarak biyolojik dayanıklılık belirlenmiştir. Üretilen OPK levhalardan yıkanan CCA miktarlarının belirlenmesi amacıyla ICP (Inductively coupled plasma emission spectrometry) cihazında analiz yapılmıştır.

Bu çalışmanın amaçları,

- Atıl hale gelen CCA'lı ağaç malzeme miktarının azaltılabilmesi için alternatif kullanım alanı oluşturmak,
- Ağaç malzeme içerisinde bulunan CCA'nın üretilen OPK'ların fiziksel, mekanik, biyolojik ve termal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi,
- Endüstride kullanılacak OPK'lar için en iyi formülasyonun tespit edilmesi olarak sıralanabilir.

Bu çalışma dört bölümden oluşmakta olup, şu şekilde özetlenebilir;

Birinci kısmı olan “Giriş” bölümünde, çalışma kapsamında bahsi geçen konular ve konu ile ilgili ulusal ve uluslar arası ölçekte literatür irdelemesi yapılmıştır. Ayrıca yapılacak çalışma sonunda hedeflenen amaçlar ve bu çıktıların yansımaları hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmını “Materyal ve Yöntem” bölümü oluşturmaktadır. Bu bölümde tüm çalışma boyunca kullanılan materyaller, bu materyallerin kaynakları ve çalışma sırasında bu materyallere uygulanan işlemler sırası ile tanımlanmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında yararlanılan yöntemler hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Üçüncü kısım olan “Bulgular ve Tartışma” bölümünde ise, çalışma kapsamında yapılan fiziksel ve mekanik testler, mikolojik testler, entomolojik testler, termogravimetrik analizler ve yıkanma testleri sonunda elde edilen bulgular ortaya konmuş ve istatistiki açıdan değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu ortaya çıkan sonuçlar konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın son kısmını ise “Sonuç ve Öneriler” bölümü oluşturmaktadır. Bu bölümde, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara dayalı çeşitli öneriler ortaya konmuştur.

## **1.1. AĞAÇ MALZEME**

Ağaç malzeme ve yıllık bitki lifleri insan hayatında oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu materyaller insanlığın ilk dönemlerinden itibaren barınak, silah, el aletleri ve araç gereçlerin yapımında kullanılmıştır. İnsanlık bu malzemenin kolay işlenebilmesini, fonksiyonelliğini ve estetikliğini kısacası kullanım yerinde sağladığı avantajları erken fark etmiştir. Ağaç malzeme gibi lignoselülozik materyaller üç boyutlu polimerik bileşikler olup selüloz, hemiselüloz, lignin ve çok az miktarlarda protein, ekstraktif ve inorganik madde içermektedir (Rowell 2001).

Lignoselülozikler bazen biyokütle terimi ile adlandırılrsa da, biyokütle hayvansal materyalleri de kapsamakta ve daha geniş bir anlam ifade etmektedir. Örneğin hayvansal dokular ve kemikler biyokütle terimi içerisine girmektedir. Lignoselülozik materyaller fotosentez sonucu oluşmaktadır (Rowell 1993).

Lignoselülozik materyallerin yapılarında meydana gelen fotokimyasal, kimyasal, termal ve biyolojik bozunmalar ile doğada sürekli bir şekilde geri dönüşümleri gerçekleşmektedir. Lignoselülozik maddelerde zamanla doğal koşullarda meydana gelen bu bozulma reaksiyonları Çizelge 1.1’de verilmiştir (Rowell 1996). Doğal koşullarda ve kullanım yerinde işlem görmemiş halde bulunan ağaç malzemedeki bu bozunmalar ile her yıl büyük maddi kayıplar oluşmaktadır (Bozkurt ve diğ. 1993). Özellikle malzemenin bir asra yakın bir sürede olgunlaşıp kullanılabilir hale gelmesine rağmen kısa sürede tahrip olması ekonomik açıdan önemli kayıplara neden olmaktadır (Var 2009). Ağaç malzemedeki geniş ölçüde tahribata yol açan bu faktörlere karşı gerekli önlemler alınarak kullanım süresi arttırılabilmektedir (Berkel 1972). Bu kapsamda ağaç malzemenin korunmasına yönelik işlemler, yaklaşık 2000 yıldan beri devam etmektedir. Bu süre zarfında çok çeşitli kimyasal madde denenmiştir. Son zamanlarda dünya genelinde artan sağlık ve çevre sorunlarından dolayı çevre dostu zararsız kimyasallar tercih edilmekte, zarar oluşturanlar ise devreden çıkarılmaktadır (Bozkurt ve diğ. 1993).

**Çizelge 1.1.** Lignoselülozik maddelerde meydana gelen bozulma reaksiyonları (Rowell 1996).

<b>Biyolojik Bozunma</b>	Mantar, bakteri, böcek, termitler
Enzimatik Reaksiyonlar	Oksidasyon, hidroliz, indirgeme
Kimyasal Reaksiyon	Oksidasyon, hidroliz, indirgeme
Mekaniksel	Ezilme
<b>Yanmayla Bozunma</b>	Şimşek, güneş, insan
Piroliz reaksiyonları	Dehidrasyon, hidroliz, oksidasyon
<b>Suyla Bozunma</b>	Yağmur, deniz, buz, asit yağmuru
Suyla temas	Şişme, daralma, donma, çatlama
<b>Havayla Bozunma</b>	UV ışınları, su, sıcaklık, rüzgar
Kimyasal reaksiyonlar	Oksidasyon, hidroliz
Mekaniksel	Erozyon
<b>Kimyasal Bozunma</b>	Asit, Baz, Tuzlar
Kimyasal reaksiyonlar	Oksidasyon, indirgeme, hidroliz
<b>Mekaniksel Bozunma</b>	Toz, rüzgar, dolu, kar, kum
Mekaniksel	Gerilim, çatlak, kırılma, aşınma

## **1.2. EMPRENYE ENDÜSTRİSİ**

Ağaç malzemenin; yukarıda bahsi geçen etmenlerle bozunmasını engellemek ve servis ömrünü arttırmak için malzeme içerisindeki boşluklara kimyasal madde yerleştirilmesine empenye işlemi denilmektedir (Örs ve Keskin 2001). Bu kapsamda günümüze kadar çok sayıda koruma metotları ve empenye maddeleri bulunmuştur. Örneğin; ağaç malzemenin toprakla temas eden yüzeyinin kömürleştirilmesi ya da yüzeye katran, vernik, yağlı boya, bezir yağı gibi maddelerin sürülmesi gibi işlemler uygulanmıştır (Berkel 1972). Eski Roma'lılar ve Mısır'lılar ise Sedir yağı kullanmış, Burma'lılar ise ağaç malzemeyi petrol yağları içinde bekleterek daha uzun süre dayanmasını sağlamışlardır.

Avrupa'da endüstrinin gelişmesi ile ağaç malzemenin korunmasında kimyasal maddeler kullanılmaya başlanmıştır. 1850'li yıllarda kreozot, bakır, çinko, arsenik ve civa bileşiklerinin bu maksatla kullanılabileceği tespit edilmiştir. Daha sonra endüstrideki bazı yan ürünlerin ağaç malzemenin korunmasına yönelik uygunluğu araştırılmıştır. Bu ürünlerden bir kısmı tek başına yeterli koruma sağlarken bazen de birkaçı birlikte kullanılmak suretiyle istenilen koruma sağlanmıştır. Günümüze kadar yaklaşık 2500 çeşit empenye maddesi bulunmuş olmasına rağmen bunlardan çok azı istenilen korumayı sağlayabilmektedir. Son yıllarda ise dünya genelindeki çevresel sorunlardan dolayı ağaç malzemeyi koruma maksatlı kullanılan kimyasallar hakkında yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Çevre kirliliğine neden olmayan kimyasallar uygulamada tercih edilmekte, diğerleri ise kullanımdan kaldırılmakta ya da kullanım alanları kısıtlanmaktadır. Ancak ağaç malzemeye zarar veren organizmalara karşı yüksek zehirlilik derecesine sahip kimyasal maddelerin alternatifleri hala araştırılmaktadır (Bozkurt ve diğ. 1993).

### **1.2.1. Emprenye Maddeleri**

Emprenye maddelerinin sınıflandırılması, çeşitlilik göstermekle beraber en yaygın olarak kullanılan sınıflandırma aşağıdaki gibidir (Yıldız 2005).

- 1- Yağlı Emprenye Maddeleri
- 2- Organik Çözücülü Emprenye Maddeleri
- 3- Suda Çözünen Emprenye Maddeleri
- 4- Özel Amaçlı Emprenye Maddeleri



Suda çözünen emprenye maddelerinden CCA (Bakır/Krom/Arsenik), organik çözücülü emprenye maddelerinden PCP (Pentaklorfenol), yağlı emprenye maddelerinden Kreozot en önemli odun koruma maddelerinin başında gelmektedir. Bu kimyasal maddeler içerisinde CCA hemen hemen bütün kullanım yerlerinde ağaç malzemeye zarar veren organizmalara karşı etkin bir koruma sağladığı bilinmektedir. Bu yüzden birçok ülkede kabul görmüştür. 2004 yılına kadar da dünyada en çok tüketilen emprenye maddesi olmuş ve endüstride geniş kullanım alanı bulmuştur (Akbaş 2011).

### 1.3. CCA (BAKIR/KROM/ARSENİK) EMPRENYE MADDESİ

CCA ilk olarak 1933 yılında formüle edilmiştir. Oksit ve metal tuz esaslı olmak üzere iki tipi bulunmaktadır. Oksit esaslı olan CCA maddesi içerisindeki Bakır, Krom ve Arsenik miktarlarının farklılığına göre Amerika Birleşik Devletleri Odun Korumacılar Birliği (AWPA) tarafından 3 tip şeklinde sınıflandırılmıştır (Richardson 1993). CCA tiplerinin bileşimi Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Bu sınıflamada bakır oranı nispeten eşit tutulmakla birlikte, özellikle arsenik miktarı yüksek, orta ve düşük olmak üzere değişik oranlarda hazırlanmaktadır. Düzenlenen tiplerin karışımındaki bileşenler tuzlar şeklinde değil, aktif oksitler halindedir. Yani Bakır oksit (CuO), Krom oksit (CrO<sub>3</sub>) ve Arsenik pentoksit (As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) şeklinde aktif oksitler olarak bulunmaktadır (Richardson 1993).

**Çizelge 1.2.** AWPA Standardına göre CCA tiplerinin bileşimi (Richardson 1993).

Bileşen	Tip A (%)			Tip B (%)			Tip C (%)		
	En az	En çok	Optimum	En az	En çok	Optimum	En az	En çok	Optimum
Bakır (CuO)	16.0	20.9	18.1	18.0	22.0	19.6	17.0	21.0	18.5
Krom (CrO <sub>3</sub> )	59.4	69.3	65.5	33.0	38.0	35.3	44.5	50.5	47.5
Arsenik (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	14.7	19.7	16.4	42.0	48.0	45.1	30.0	38.0	34.0

CCA içerisinde Bakır fungusit (mantarlara karşı koruyucu), Arsenik bir insektisit (böceklere karşı koruyucu), Krom ise ağaç malzemenin lifleri ile fiksasyonu sağlamaktadır (Arisi 2007). CCA'lı emprenye maddeleri genellikle hava kurusu haldeki ağaç malzemeye dolu hücre metodu ile uygulanmaktadır. Emprenye işleminin ardından ağaç malzemenin kullanım ömrü 20-30 yıla kadar uzamaktadır (Bozkurt ve diğ. 1993).

### **1.3.1. CCA'lı Emprenye Maddelerinin Oluşturduğu Çevre Sorunları**

Tüm olumlu etkilerine rağmen CCA'nın çevre için olumsuz etkileri de son zamanlarda tartışılmakta olan bir konudur. Ağaç malzeme içerisinde bulunan CCA, kullanım sırasında ya da servis ömrünü tamamladıktan sonra yıkanmakta ve yer değiştirmektedir. Yıkanan miktarın insan sağlığı için tehdit oluşturduğu düşünülmektedir. Yıkama mekanizmasında etkili birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler şöyle sıralanabilir:

- Emprenyenin ve fiksasyonun etkisi,
- Ortam koşullarının etkisi,
- Ağaç malzemenin boyutları,
- Odun türü,
- Ağaç malzemenin hizmette bulunma süresi,
- Ortamın pH ve tuzluluk derecesi ile sıcaklık (Gezer 2003).

CCA'lı malzemeden gerek kullanım sırasında gerekse servis ömrünü tamamladıktan sonra devam eden yıkanma, toprak ve su kirliliği için endişe oluşturmaktadır. Çünkü CCA ağaç malzemeyi tahrip eden organizmalara karşı zehirlilik etkisi göstermekte fakat bu etki zararlı organizmalarla sınırlı kalmamaktadır. Diğer canlılar ve insan sağlığı için olumsuz etkileri söz konusudur. Dolayısı ile çevresel baskılar gün geçtikçe artmaktadır (Chirenje ve diğ. 2003, Taşcıoğlu ve Kantay 2005).

Yıkanan maddeler içerisinde kanserojen etkisinden dolayı en çok dikkati Arsenik çekmektedir. Bu element yer kabuğunda, toprakta, suda, bitkilerde ve hayvanlarda çok düşük oranlarda bulunmaktadır. Ayrıca yayılması çok yavaş olmakla birlikte doğal ortamlarda diğer maddelerin molekülleri ile birlikte bulunmaktadır. Arsenik çevresel faktörlerin (erozyon, yangın, doğal afetler vb.) etkisi ile çevreye yayılmaktadır. Tarımsal ilaçlar ve madencilik çevreye yayılmasını sağlayan diğer etmenler olarak gösterilebilir (Anonim 2012a). Arseniğin vücuda girişi genel olarak solunum, deri teması ve yutma yoluyla olmaktadır. Çok yüksek dozda alınması ise ölüme sebebiyet

verebilmektedir. Yapılan çalışmalar ile de deri ve akciğer kanserine neden olabileceği belirlenmiştir (Anonim 2012b). Ağaç malzeme içerisinde bulunan arsenik; CCA ile işlem gören ağaç malzemenin yakılması, mekanik aşınma, doğrudan temas, asitli ortamın etkisi ile açığa çıkmaktadır. Özellikle yakma için yasaklamalar getirilmiştir. Örneğin ABD’de CCA ile işlem görmüş ağaç malzemenin kontrolsüz bir şekilde yakılması kanunlarla bütün eyaletlerde yasaklanmıştır. Çünkü yanma sonucunda arseniğin yoğunluğu artmakta ve yakılma sırasında atmosfere zehirli arsenik oksit gazları yayılmaktadır (Anonim 2012c).

Bununla birlikte kirlenmemiş topraklarda doğal halde bulunabilecek CCA oranları belirlenmiştir. Örneğin ülkemizde Çevre ve Orman Bakanlığı, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğinde pH değeri 5-6 civarında olan topraklar için ağır metallere bakır ve kromun toprakta bulunabilecek sınır değerini sırasıyla 50 mg/kg ve 100 mg/kg olarak, pH değerinin 6’dan yüksek olması durumunda ise 140 mg/kg ve 100 mg/kg olarak belirlemiştir (1 mg/kg=1ppm). Arsenik ise pH göz önüne alınmaksızın sınır değeri 20 mg/kg olarak belirlenmiştir (Bakır 2012). ABD’de ise yerleşim alanlarındaki topraklarda bulunabilecek Arsenik sınırı 0.4 - 40 mg/kg belirlenmiştir (Belluck ve diğ. 2003). Ayrıca kirlenmemiş topraklarda ve kayalardaki CCA sınır miktarları Çizelge 1.3’de verilmiştir (Tüfekçioğlu 2005).

**Çizelge 1.3.** Kirlenmemiş topraklarda ve kayalardaki CCA sınır miktarları (Tüfekçioğlu 2005).

	Yer Kabuğu	Ultra Bazik Kayalar	Bazalt-Gabro	Granit	Kil Taşı	Kum Taşı	Kireç Taşı	Toprak
Bakır (ppm)	35	10	90	13	45	5	4	2-40
Krom (ppm)	80	1600	170	12	90	35	11	5-100
Arsenik (ppm)	3.5	1	1.5	1.5	10	1	2.5	1-15

Yapılan çalışmalarla CCA’nın suda çözündüğü ve zehirli etkisi olduğu kesin olarak belirlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu (EPA) bu elementlerin kirlenmede çok önemli rol oynadığını bildirmiştir (Weis ve Weis 1994). Bununla birlikte Cr +6 değerlikli iken zehirlilik etkisi yüksek, Cr+3’ e indirgendiği durumda çok daha az zehirlilik etkisi vardır (Sanders ve Reidel 1987). Aynı şekilde

Arsenik +5 değerlikli iken +3 değerlikliye göre daha az zararlı olduğu düşünülmektedir (Sanders ve Windom 1980). Tüm bu olumsuz etki ve baskılar sonucunda CCA'lı malzemenin kullanım alanlarına kısıtlamalar getirilmiştir.

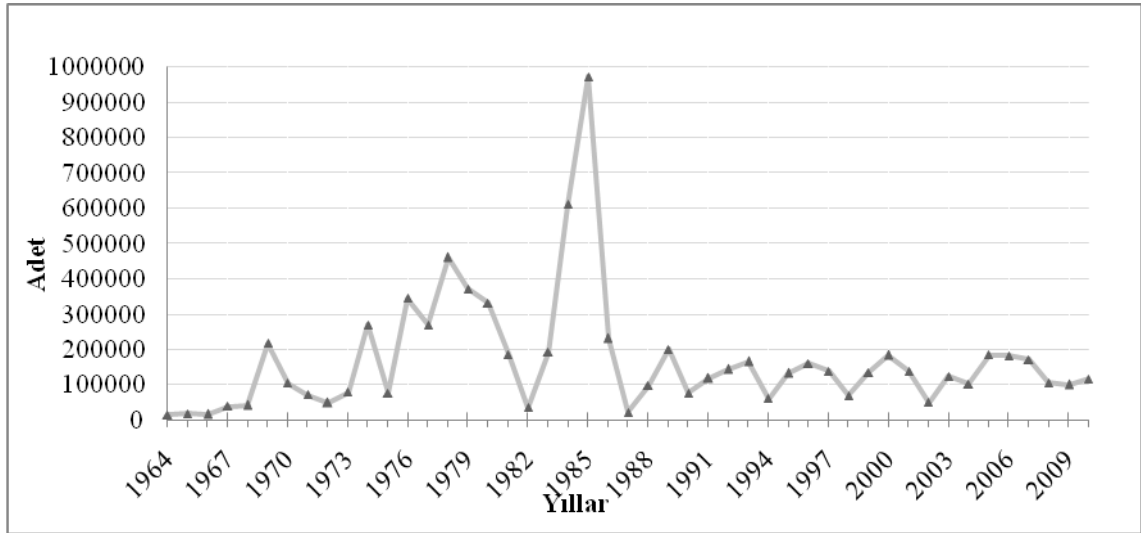
Amerika Birleşik Devletleri'nde 2002 yılında EPA CCA içeren ağaç malzemenin çocuk oyun alanlarında, park ve bahçe alanlarında, peyzaj uygulamalarında ve evlerde kullanımını almış olduğu kararlar yasaklamıştır. Yaşam alanlarından uzak olan yapılarda, telefon ve elektrik direği, köprü elemanlarında, traverslerde kullanımına bir yasak getirilmemiştir. Sadece CCA ile işlem görmüş malzemenin üzerine etiket konulması tavsiye edilmiştir. Alınan bu kararlar aynı yıl Avrupa Birliği Ülkeleri Batı Avrupa Odun Koruma Enstitüsü (WEIWP) ve Kanada Atık Yönetimi ve Düzenleme Kurumu (CPMRA) tarafından da kabul edilmiştir. Uygulama alanlarına getirilen sınırlamalar ile CCA'lı malzeme miktarının kullanımı azaltılsa da servis ömrünü tamamlayan CCA'lı malzemenin depolanması ve değerlendirilmesine yönelik sorunlar devam etmektedir (Gezer 2003). Çünkü kullanım ömrünü dolduran emprenyeli ağaç malzeme miktarları önemli boyutlara ulaşmış ve CCA ile emprenye edilmiş ve kullanım ömrünü doldurmuş ağaç malzemenin yeni yapılan düzenlemelerle atık olarak gömülmesi zorlaştırılmıştır (Felton ve De Groot 1996).

Amerika Birleşik Devletleri Odun Korumacılar Birliği (AWPA) 1997 verilerine göre sadece 1995 yılında emprenye edilen 16.7 milyon metreküp ağaç malzemenin 13.2 milyon metreküp suda çözünen emprenye maddeleri ile emprenye edilmiştir. Yaklaşık olarak 65.3 milyon kg CCA çözeltisi 12 milyon m<sup>3</sup> keresteyi emprenye etmek için kullanılmıştır. Emprenye edilen denizde kullanılacak malzemelerin %95'i CCA ile işlem görmüştür. Ayrıca 1985 yılından günümüze kadar 113 milyon m<sup>3</sup> kereste ve diğer ağaç malzeme CCA ile emprenye edilmiştir (Anonim 2012d). Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde 1990 yılında servis ömrünü tamamlayan CCA'lı ağaç malzeme miktarları 1 milyon m<sup>3</sup>, 2010 yılında 15 milyon m<sup>3</sup> olduğu, bu rakamın 2020 yılında 18 milyon m<sup>3</sup> olacağı tahmin edilmektedir (Cooper 1994, Schultz ve diğ. 2008).

ABD'de yapılan başka bir çalışmada CCA'lı ağaç malzemenin servis ömrünün 25 yıl olduğu kabul edilmiş ve kullanım ömrünü dolduracak olan ağaç malzeme için bir öngörü oluşturulmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda yıllık %2,5 oranında CCA'lı malzemenin servisten alınacağı tespit edilmiştir. %2,5 oranında bir artış ise 5 yıl içerisinde kullanımdan alınan malzemenin miktarında %125 oranında bir artış

oluşturacağı tespit edilmiştir. Dolayısı ile bu malzemenin tekrar kullanılması yada yok edilmesine yönelik işlemlere yeni alternatiflerin eklenmesinin zorunlu olduğu bildirilmiştir (Mcqueen ve Stevens. 1998).

Bununla birlikte Avrupa ülkelerinde her yıl ortalama 2.1-2.4 milyon ton emprenyeli atık malzeme servis ömrünü tamamlayıp atıl hale gelmektedir. Sadece Fransa'da her yıl 500.000 adet emprenyeli direk (50.000 ton) kullanımdan alınıp yok edilmeyi beklemektedir. Kullanımda ise 26 milyon tel direği bulunmaktadır (Helsen 1998). Ülkemizde ise atıl hale gelen CCA'lı malzeme miktarı hakkında herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ), Devlet Demir Yolları (TCDD) gibi resmi kuruluşların kullanmış oldukları emprenyeli ağaç malzeme miktarları bilinmektedir. Ülkemizde emprenye işlemi gördükten sonra gerekli alanlarda kullanılmak üzere 1964 yılından günümüze kadar TEDAŞ tarafından 8 milyon adet (yaklaşık 3 milyon m<sup>3</sup>) ağaç direk satın alınmıştır. Bu rakam 2010 yılı için de 117.000 adet (yaklaşık 38.924 m<sup>3</sup>) olarak bildirilmiştir (TEDAŞ 2011). 1964-2010 yılları arasında TEDAŞ tarafından kullanılan tel direği miktarları yıllar bazında Şekil 1.1de verilmiştir.



**Şekil 1.1.** 1964-2010 yılları arasında TEDAŞ tarafından kullanılan tel direği miktarları (TEDAŞ 2011).

Ayrıca devlet demir yollarından alınan bilgiye göre bakım, onarım ve demiryolu makasları için her yıl 5.000 m<sup>3</sup>'lük emprenyeli traverse ihtiyaç duyulmaktadır (Köse 2010). Bununla birlikte ülkemizde her yıl yaklaşık 30.000 m<sup>3</sup> yapraklı ve iğne yapraklı

türler kullanılarak üretilen travers, 400.000 m<sup>3</sup> iğne yapraklı türler kullanılarak üretilen tel direklerine emprenye işlemi uygulanmaktadır (Bozkurt ve diğ. 1993).

Yıllara göre kullanım miktarları göz önünde alınıp bu malzemenin kullanım süresinin 20 - 30 yıl arasında değiştiği düşünülürse yakın gelecekte, hizmet ömrünü dolduran bu malzemelerin ülkemiz için ciddi sorunlar oluşturacağı düşünülmektedir.

### **1.3.2. Servis Ömrünü Tamamlayan CCA'lı Ağaç Malzemenin Geri Dönüşümü ile İlgili Metotlar**

Servis ömrünü tamamlamış CCA'lı ağaç malzemenin miktarının azaltılması için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu bertaraf etme veya yeniden kullanım metotları Taşçıoğlu ve Tufan (2011) tarafından şu şekilde sıralanmıştır:

- Yeniden yapılandırma
- İyileştirme (Remidasyon)
  - Kimyasal ekstraksiyon
  - Biyolojik yıkama
  - Şelat oluşumu
  - Sıvılaştırma
- Parça küçültme
- Kömürleştirme işlemi (Chartherizasyon)

**Yeniden yapılandırma:** Bu işlem ile servis ömrünü tamamlayan emprenyeli ağaç malzeme mekanik yollarla parçalanarak kompozit üretiminde kullanılmaktadır.

**İyileştirme:** Bu işlem ile kimyasal ekstraksiyon, biyolojik yıkanma, sıvılaştırma ve şelat oluşumu gibi yöntemlerle ağaç malzeme içerisinde bulunan CCA temizlenmektedir. Böylece CCA'nın çevreye verdiği zarar azaltılmaktadır. İşlemin başarısı AWWA tarafından belirlenen A21-00 standardı kullanılarak belirlenmektedir.

**Parça küçültme:** Bu işlem ile servis ömrünü tamamlayan malzemenin CCA'lı kısımları mekanik yöntemler ile soyulmaktadır. Soyma işlemi CCA içermeyen kısma kadar

sürdürülür. İşlem sonunda CCA'sız kısım özel üretimlerde kullanılarak tekrar değerlendirilmektedir.

**Kömürleştirme işlemi:** Bu işlemdeki temel amaç ise servis ömrünü tamamlayan CCA'lı ağaç malzemeden yüksek kaliteli ve temiz odun kömürü ile atık ürünlerin gaz halinde geri kazanımı şeklinde ifade edilebilir. Yöntem öğütme, havasız ortamda yakma ve ayrıştırma olmak üzere üç aşamadan meydana gelmektedir.

Tüm bu metotlara ilave olarak servis ömrünü tamamlayan CCA'lı malzemenin geleneksel yöntemler (yakılma ya da toprağa gömme) uygulanarak yok edilmesi en kolay seçenekler arasında sayılabilir. Fakat çevresel baskılar sonucu bu uygulamalar gün geçtikçe zorlaşmaktadır (Kenderes 2003). Özellikle kullanım ömrünü dolduran CCA'lı ağaç malzemenin yakılmasına karşı artan bir baskı söz konusudur. Yakma işlemi sonucu uçan ve arta kalan küllerin değerlendirmesi yapılmış ve buna göre yakma sonrasında uçan ve arta kalan küllerde Bakır %9, Krom %16, Arsenik %8 oranında tespit edilmiştir. Yapılan karşılaştırma sonucu arta kalan kül içeriğinin %99 oranında Bakır ve Kromdan oluştuğu, uçan kül içeriğinde ise %11 oranında Arsenik olduğu yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir. Bu değerler ise Arseniğin 3 ve 5 değerlikleri için yüksek hava emisyonu göstermektedir (Wassen ve diğ. 2005).

Ayrıca Almanya'da CCA'lı malzemenin gömülmesi yasak olduğu gibi, yakma sonrasında çevre kirliliği oluştuğu ve kalan külden zararlı atıklar bulunmasından dolayı ekstra teçhizat istenmektedir. Tüm bu tartışmalar ve çevreci baskılar sonucunda servis ömrünü tamamlayan CCA'lı ağaç malzemenin bertaraf edilmesi için uygulanan yakma ve toprağa gömme gibi yöntemlerin maliyeti yükselmiştir (Solo ve Gabriele 2002).

Emprenye edilmiş ağaç malzemenin büyük çoğunluğu telefon direği ve masif kereste halinde bulunmaktadır. Boyut ve şekilleri itibariyle kesilmeye ve tekrar işlenmeye uygun durumdadır. Fakat emprenyeli ağaç malzemenin kesilmesi ve işlenmesi sırasında ortamdaki hava şartları için belirlenmiş standartlara uyulmalıdır. Şekil 1.4'de havada bulunabilecek partikül toleransları verilmiştir (Felton ve De Groot 1996).

Bu yöntemler içerisinde malzemenin yeniden yapılandırılıp tekrar kullanılması ekonomik ve uygulanabilir olması ile en uygun seçenek olarak görülmektedir. Ayrıca yeni üretilen malzeme içerisinde bulunan CCA'nın koruyucu etkisi devam etmektedir. Yeniden yapılandırma işleminde termoset tutkallar kullanılarak yapılan çalışmalarda

bağlanma problemleri rapor edilsede, üretilen malzemenin dış ortamlarda ve yer döşemesi olarak kullanılabilceği ifade edilmektedir (Felton ve De Groot 1996, Li ve diğ. 2004a, Taşcıoğlu 2007, Taşcıoğlu ve Budakçı 2009).

**Çizelge 1.4.** CCA ile işlem görmüş yongaların kullanıldığı ortamın hava standardı (Felton ve De Groot 1996).

Bileşenler	Havadaki partikül miktarı (mg/m <sup>3</sup> )*
Kırmızı Ardıç	2.50
Diğer Ağaç Türleri	5.00
Bakır	1.00
Krom III	0.50
Krom VI (Çözülebilir)	0.05
Krom VI (Çözülemez)	0.05
Arsenik (Çözülebilir)	0.20
Arsenik (Gaz)	0.16

**\*8 Saatlik ortalama**

Servis ömrünü tamamlayan CCA'lı malzemenin yeniden yapılandırılmasına yönelik çalışmaların literatür özeti aşağıda verilmiştir.

CCA ile empenye edilmiş Kurşunkalem Ardıcı (*Juniperus virginiana*) kullanılan bir çalışmada yüzey gerilimi ve ıslanabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonunda empenye işlemi gören örneklerin yüzeyi ile fenol formaldehit tutkalı arasında belirlenen temas açısı kontrol örneklerine göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. İşlem görmüş ağaç malzemenin yüzey ıslanabilirliği kontrol örneklerine göre daha düşük olduğu, ayrıca empenye işleminin sonunda ağaç malzemenin yüzeyinin hidrofobik hale geldiği bildirilmiştir (Maldas ve Kamdem 1998).

Güney sarıçam odunlarının (*Pinus paeda*, *Pinus palustris*, *Pinus echinata*, *Pinus elliottii*) (GSC) farklı retensiyon oranlarında CCA ve bakır naftenat (CuN) ile empenye edildiği bir çalışmada yüzey enerjisi değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada CCA retensiyonunun artması ile GSC odunlarının toplam yüzey enerjisini arttığı, CuN retensiyon oranının artması ile azaldığı bildirilmiştir. CuN kullanımı ile yüzey enerjisinin düşmesi yapısının yağ esaslı olmasına bağlanmıştır (Taşcıoğlu ve diğ. 2004).



Servis ömrünü tamamlayan CCA'lı ağaç malzeme, emprenyesiz GŞÇ çamı odunları ve üre formaldehit kullanılarak OSB üretilen bir çalışmada malzemedeki yıkanan CCA miktarı belirlenmiştir. Üretimde levha içerisine CCA'lı malzeme ağırlıkça 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 ve 0:100 olmak üzere farklı oranlarda kullanılmıştır. Çalışma sonunda en fazla yıkanma oranları ilk 14 gün içerisinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Kullanılan tutkalın suya karşı dayanıksız olmasından dolayı yıkanma oranlarının fazla olduğu bildirilmiştir. En fazla yıkanma oranı tamamı CCA'lı malzemedeki üretilen levhalarda elde edilmiş olup yıkanan bakır krom ve arsenik oranları yaklaşık olarak sırası ile 5,7, 3,6, 16,8 ppm olarak belirlenmiştir (Li ve diğ. 2004).

Yer döşemesi olarak kullanılacak ve 6,4 kg/m<sup>3</sup> retensiyon ile emprenye edilmiş GŞÇ çamı örnekleri laboratuvar şartlarında yıkanma koşulları ayarlanarak test edilmiştir. Bunun sonucunda malzemedeki yıkanan CCA'nın yağış miktarına önemli ölçüde bağlı olduğu bildirilmiştir. Ağaç malzeme içerisine su itici kimyasalların konmasının yıkanmayı azaltmadığı tespit edilmiştir. ABD'de toprakta doğal halde bulunan arsenik miktarının 1-40 mg/kg arasında olduğu, malzemedeki yıkanan arsenik miktarının 0,5 ile 1,2 mg/kg olarak tespit edildiği bildirilmiştir. Buna bağlı olarak emprenye işlemi gören ve yer döşemesi olarak kullanılacak ağaç malzemenin iletimi yavaş bazı toprak türlerinde kullanımın sıkıntılar oluşturabileceği bildirilmiştir (Lebow ve diğ. 2004).

Yapılan bir çalışmada Bakır/Krom/Arsenik (CCA) kullanılarak 6 kg/m<sup>3</sup> retensiyon oranı ile emprenye edilmiş ve servis ömrünü tamamlamış CCA içeren Kızılçam, servis ömrünü tamamlamış üre formaldehit içeren yonga levha ve emprenyesiz (bakir) Kızılçam odunları kullanılarak OPK üretilmiştir. Üretimde 30 mesh altına geçen ve 100 meshlik elek üzerinde kalan odunları seçilmiş, plastik olarak saf ve geri kazanılmış Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) kullanılmıştır. Levha taslağı 50:50 oranında YYPE ve odun unundan üretilmiştir. Yapılan mekanik testlerin sonucunda en yüksek eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değeri saf YYPE ve CCA içeren odun unundan üretilen levhalarda olduğu tespit edilmiştir. CCA ile emprenye işlemi gören ağaç malzemenin yüzey enerjisi artmakta ve hidrofilik özellik gösteren ağaç malzeme hidrofobik hale gelmektedir. Dolayısı ile odun unları ile hidrofobik olan plastik malzemenin arasındaki karışım problemi kısmen iyileşmektedir. Bunun sonucu olarak CCA içeren odun unları ile plastik malzemenin yüzeyleri arasında daha iyi bağlanmanın olduğu düşünülmektedir. Yapılan yıkanma testi sonucunda Arsenik 12

ppm, Bakır 7 ppm ve Krom 11 ppm seviyesinde yıkandığı tespit edilmiştir. Ayrıca ilk 400 saat içinde en fazla yıkanma miktarının gerçekleştiği ve bu sürenin sonunda ilerleyen zamanlara doğru yıkanma miktarında azalma meydana geldiği belirtilmiştir. Yıkanma işlemi sonunda belirlenen 12 ppm'lik Arsenik miktarının içme sularında 10 ppb olarak belirtilen Arsenik miktarına göre çok fazla olduğu vurgulanmıştır. Yapılan mantar testlerinin sonucunda ise yonga levha atıklarından ve CCA'lı odun unlarından üretilen levhaların, emprenyesiz kızılçam kullanılan levhalar ve masif ağaç malzemeye göre çok iyi direnç gösterdiği belirtilmiştir. Aynı durum yapılan fiziksel testlerden kalınlık artışı içinde geçerlidir. Bunun nedeni olarak da levha içerisindeki Üre Formaldehit ve CCA'nın varlığı gösterilmiştir (Kamdem ve diğ. 2004).

ACQ (alkaline copper quaternary) ve MCQ (micronized copper quaternary) ile emprenye edilmiş GŞÇ ve YYPE kullanılarak enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen OPK'ların fiziksel, mekanik ve biyolojik özellikleri incelenmiştir. Levhalarda %60 oranında YYPE, %40 odun unu ve %2 oranda MAPE (Maleik anhidritle kraftlanmış polietilen), EPR (etilen-propilen kauçuk), EGMA (etilen-co-glycidyl metakrilat) ve POE (poliefin elastomer) gibi farklı uyum sağlayıcılar kullanılmıştır. Yapılan mekanik testlerin sonucunda en iyi eğilmede elastikiyet ve çekmede elastikiyet modülü değerleri ACQ ve MAPE kullanılan levhalarda belirlenmiştir. Her iki emprenye maddesinde en yüksek eğilme ve çekme direnci değeri uyum sağlayıcı olarak EGMA kullanılan numunelerde elde edilmiştir. ACQ ve MAPE kullanılan levhalarda eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri daha yüksek değer göstermiştir. Termit testlerinde ise en düşük ağırlık kaybı ACQ kullanılan levhalarda elde edilmiş; bunun nedeni olarak ACQ içerisindeki yüksek oranda bulunan bakır ve kuarterner amonyum varlığı gösterilmiştir. Uyum sağlayıcı olarak MAPE ve EGMA kullanılan levhaların fiziksel özelliklerinde iyileşme olduğu belirlenmiş, bunun sebebi olarak bu uyum sağlayıcıların polimer ve odun unu arasında daha iyi bağlanma sağlaması gösterilmiştir (Shang ve diğ. 2012).

Yapılan başka bir çalışmada ise servis ömrünü tamamlayan CCA'lı GŞÇ ve emprenyesiz GŞÇ örneklerinden OSB üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimde fenol formaldehit kullanılmıştır. Kullanılan çam örneklerinin tamamı üretim öncesinde 24 saat suda bekletilmiştir. Emprenye kimyasalının ve suda çözünen ekstraktiflerin suya geçmesi sağlanmıştır. Levha üretiminde kullanılan CCA'lı malzeme ve emprenyesiz

yonga % oranları 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 olarak belirlenmiştir. Yapılan mekanik testler sonucunda en yüksek eğilme ve şok direnci değerlerine, tamamı işlem görmemiş çam yongalarından üretilen levhalarda ulaşılmıştır. Ayrıca CCA içeren yongaların levha içerisindeki oranı arttıkça eğilme ve şok direnci değerlerinde azalma görülmüştür. Örnekler 8 hafta süre ile esmer çürüklük (*Gloeophyllum trabeum*) ve 16 hafta süre ile beyaz çürüklük (*Trametes versicolor*) mantarlarına maruz bırakılmıştır. Levha örnekleri içerisindeki CCA içeren yonga oranının artması ile mantarlara karşı dayanımın arttığı tespit edilmiştir. Kalınlık artış oranları ise CCA'lı yongaların oranının azalması ile artış göstermiştir (Li ve diğ. 2004a).

Kullanım ömrü sona eren CCA'lı ağaç malzemenin atık sorunu oluşturmadan farklı alanlarda kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada odunun ağır metallere temizlenmesinde (remidasyon) *Bacillus licheniformis* CC01 bakterisi ve oksalik asit ekstraksiyonu kullanılmıştır. CCA'dan temizlenen GŞÇ yongalardan ve emprenyesiz GŞÇ sarıçam yongalarından ve CCA'lı yongalardan %10'luk fenol formaldehit tutkalı kullanılarak yonga levha üretilmiştir. En fazla su alma ve kalınlık artış oranı emprenyesiz GŞÇ yongalarından üretilen levhalarda görülürken, bunu sırası ile remidasyon işlemi gören yongalardan üretilen levha ve CCA içeren yongalardan üretilen levhaların izlediği belirtilmiştir (Clausen ve diğ. 2000).

Servis ömrünü tamamlayan CCA'lı malzemenin yeniden yapılandırılması işleminde faydalı olacağı düşüncesi ile CCA ile emprenye işlemi gören Kurşunkalem Ardıcı (*Juniperus virginiana*) yüzeyinde meydana gelen değişiklikler şu şekilde özetlenmiştir:

- Odunun hücre duvarları 1-5 µm kalınlığında CCA'ca zengin bir tabaka ile kaplanmıştır.
- İşlem görmemiş ağaç malzemedede pH 6.6±0.13, emprenye edilmiş ağaç malzemedede pH 5.9±0.17 olarak belirlenmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü önemli oranda değişmiştir. Su ile işlem gören ağaç malzemenin yüzey pürüzlülük 1,72 Ra iken CCA ile işlem gören ağaç malzemenin yüzey pürüzlülük 2,48 Ra olarak tespit edilmiştir.
- Sıvı maddeler emprenyesiz ağaç malzemeye daha hızlı nüfuz etmektedir. Emprenye işlemi sonrasında ağaç malzeme hidrofobik özellik kazanmaktadır.
- Emprenyeli ağaç malzeme işlem görmemiş ağaç malzemededen daha az ıslanmaktadır (Maldas ve Kamdem 1998).

Vick ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada ise servis ömrünü tamamlamış CCA'lı GSC yongaları ve emprenyesiz GSC yongaları kullanılarak OSB (yönlendirilmiş yongalevha) üretilmiştir. Üretimde bağlayıcı olarak fenol-formaldehit kullanılmıştır. Emprenyesiz GSC yongalarından üretilen levhaların mekanik özellikleri CCA'lı yongalardan üretilen levhaların mekanik özelliklerinden daha yüksek değerler gösterdiği bildirilmiştir. Emprenyesiz GSC yongaları kullanılarak üretilen levhaların su alma ve kalınlık artışı değerleri CCA'lı yongalardan üretilen levhalardan elde edilen değerlerden daha düşük olduğu vurgulanmıştır. CCA içeren yongalardan üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme sağlamak için %5 lik hidroksimetil resorsinolün fenol-formaldehit ile birlikte kullanılması tavsiye edilmiştir (Vick ve diğ. 1996).

Servis ömrünü tamamlayan CCA'lı GSC yongaları kullanılarak yapılan bir çalışmada farklı tipte OSB üretimi gerçekleştirilmiş ve polimerik difenilmetan diizosiyenat (pMDI) ve sıvı fenol-formaldehit (LPF) kullanılmıştır. Farklı tipteki yonga tipinin mekanik özellikler üzerinde farklı bir etki oluşturmadığı, CCA içeren yongalardan üretilen tüm levha tiplerinin mekanik özelliklerinin, emprenyesiz GSC yongalarından üretilen levhalara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte tutkal oranlarının artırılması ile levhaların mekanik özelliklerinde iyileşmeler olduğu, %2 pMDI kullanılan levhaların mekanik özelliklerinin %4 LPF kullanılan levhaların mekanik özelliklerinden daha yüksek sonuçlar verdiği dolayısı ile üretimde pMDI kullanımının daha uygun olacağı rapor edilmiştir (Mengeloğlu ve Gardner 2000).

CCA ile emprenye işlemi gören GSC yongaları ve emprenyesiz GSC yongaları kullanılarak OSB üretilen bir çalışmada levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Üretimde bağlayıcı olarak polimerik difenilmetan diizosiyenat (pMDI) ve sıvı fenol-formaldehit (LPF) kullanılmıştır. CCA'lı yongalardan üretilen levhaların kalınlık artışı ve su alma değerleri kontrol örneklerine göre daha düşük değer göstermiştir. LPF ve pMDI kullanılarak oluşturulan tüm levhaların eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü özellikleri benzer değerler göstermiştir. Bununla beraber CCA'lı yongalar ve pMDI kullanılarak üretilen levhaların yüzeyler arası bağlanma ve fiziksel özellikleri oldukça iyi sonuç vermiştir. CCA'lı yongalardan üretilen levhalar için pMDI kullanımının avantaj sağlayacağı rapor edilmiştir (Mengeloğlu ve diğ. 2003).

Ağaç malzeme ile tutkalın arasındaki bağlanma yüzeyler arası mekanik bağlanmaya, elektrostatik ilişkiye, absorpsiyona, ve kovalent bağlarla doğrudan ilişkilidir (Pizzi 1994). Emprenye işlemi görmüş malzemede yapıştırma işlemi için kullanılan fenolik tutkalların bağlanmayı tam olarak sağlayamadığı bilinmektedir. Çalışma ile bağlanmayı olumsuz etkileyen bu faktörler araştırılmıştır. CCA ile emprenye edilen GŞÇ örnekleri kullanılarak taramalı elektron mikroskopunda (SEM) inceleme yapılmıştır. Yapılan incelemelerde emprenye işleminde kullanılan CCA'nın hücre duvarı yüzeyinde yarı halkalı bir yapıda bulunduğu tespit edilmiştir. Fenolik tutkallar oldukça fazla polar hidroksil grupları içermektedir. Bu hidroksil grupları lignoselüloziklerin hücre duvarı ile hidrojen bağı oluşturmaktadır. Hücre duvarının CCA gibi çözünmeyen metalik komplekslerle kaplanması sonucu yüzeyler arası bağlanmanın fenolik reçinelerin kullanılması durumunda istenilen değerlere ulaşamayacağı bildirilmiştir (Vick ve Kuster 1992).

GŞÇ odunlarının  $6.4 \text{ kg/m}^3$  ve  $9.6 \text{ kg/m}^3$  retensiyon ile emprenye edildiği çalışmada laminasyon tekniği uygulanmış ve ASTM D 2559 göre dış ortamda kullanımının uygunluğu araştırılmıştır. Bağlayıcı olarak Fenol Resorsinol Formaldehit (FRM) ve bağlama ajanı olarak da Hidroksimetil Resorsinol (HMR) kullanılmıştır. Yapıştırma ajanı lignoselülozik materyal ile epoksi tutkalları arasında fizikokimyasal bağlar oluşturarak daha iyi yapışma sağladığı bilinmektedir. Çalışmada yapışma öncesi yüzeyler 1 saat önceden ve 24 saat önceden olmak üzere bağlama ajanı ile muamele edilmiştir. Sonuç olarak her iki retensiyon oranında yüzeyler %5'lik HMR sulu çözeltisi ile işlem görürse, %5'lik FRM kullanılması ile standartta istenen maksimum laminasyon sağlandığı bildirilmiştir (Vick 1995).

Farklı tutkallar ve CCA'lı malzeme kullanılarak yapılan bir çalışmada glulam üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan mekanik testler sonucunda en yüksek makaslama direnci değerine resorsinol formaldehit ve modifiye edilmiş resorsinol tutkalı ile ulaşıldığı rapor edilmiştir (Pizzi 1990).

Servis ömrünü tamamlayan CCA'lı ağaç malzemedен çimentolu yonga levha üretilerek mekanik özellikler karşılaştırılmıştır. CCA'lı ağaç malzeme kullanılan levhaların eğilme direnci ve çekme direnci değerleri kontrol örneklerine göre daha yüksek değerler gösterirken; su alma kalınlık artışı değerlerinde azalmaların meydana geldiği bildirilmiştir (Huang ve Cooper 2000).

Servis ömrünü tamamlamış CCA'lı elektrik direkleri ve farklı oranlarda fenol formaldehit kullanılarak yonga levha üretilen bir çalışmada mekanik özellikler incelenerek levha içerisinde kullanılabilir optimum CCA'lı yonga miktarı hesaplanmıştır. Levha içerisinde CCA'lı yongaların kullanım oranları %0, 25, 50, 100 olarak belirlenmiş, fenol formaldehit oranı %4 ve %8 olarak ayarlanmıştır. Çalışma sonucunda %50 oranında CCA'lı malzeme kullanılması durumunda tutkal oranının %4 ya da 8 olmasının istatistik olarak bir fark oluşturmadığı bildirilmiştir. Levha içerisinde CCA'lı malzeme oranını %75 olması durumunda mekanik özelliklerde önemli bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Yapılan yıkanma testi ile 14 gün sonunda %4 fenol formaldehit kullanılan levhalarda %2 oranında As, %8 fenol formaldehit kullanılan levhalarda %3 oranında As yıkandığı tespit edilmiştir (Munson ve Kamdem 1998).

#### 1.4. TEL DİREKLERİ

Tel direkleri elektrik enerjisi ve telefon gibi telekomünikasyon hatlarında kullanılmaktadır. Direkler ağaç, beton ve demirden yapılabilir. Çizelge 1.5'de alçak ve orta gerilim şebekelerinde kullanılan demir, beton ve ağaç direk tipleri ve maliyet karşılaştırması verilmiştir.

**Çizelge 1.5.** Demir beton ve ağaç direk tiplerinin maliyet karşılaştırması (Bakır 2012).

	<b>Direk maliyetleri (1Adet)</b>		
	Demir	Beton (Santrifüj)	Ağaç
Tahmini ömür (yıl)	40	40	20
Maliyet ve bakım masrafı (ömrü boyunca) (TL)	1364	1267	334
1 yıllık masraf bedeli (TL)	34.1	31.6	16.7

Çizelge 1.5'de de görüleceği üzere ağaç direklerinin maliyetleri oldukça düşüktür. Ağaç direklerin kullanım sırasında sağlamış olduğu avantajlar kısaca şu şekilde özetlenebilir:

- Ucuz, hafif ve esnek oluşları,
- Taşınma ve dikilmelerinin kolay oluşu,
- Boyama masraflarının olmaması,

- Kaçak akımlara karşı güvenilir olması,
- Maliyet ve bakım masraflarının düşük oluşu (Bakır 2012).

Tüm bu avantajlı yönlerinden dolayı ağaç tel direkleri telekomünikasyon ve elektrik sektörünün vazgeçilmezleri arasındadır (Bozkurt ve Göker 1981). Türk Standartları Enstitüsü tarafından 1962 yılında TS56 numaralı standartta tel direklerinden istenen özellikler belirlenmiştir.

## 1.5. PLASTİKLER

Plastikler son zamanlarda endüstriye girmiş bir malzeme grubu olmasına rağmen günlük hayatımızda çok fazla kullanılan malzemeler arasında yer almaktadır. Bunun nedeni olarak özelliklerinin ve çeşitlerinin çok geniş bir aralıkta değişmesi gösterilebilir. Diğer malzeme gruplarından daha farklı özelliklere sahip plastiklerin ana özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

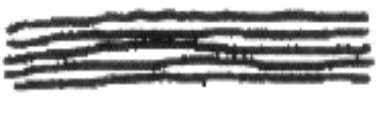
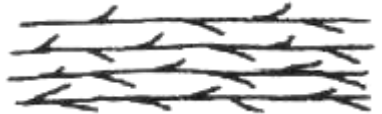
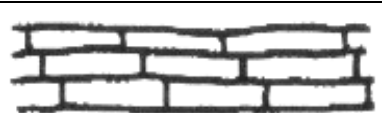
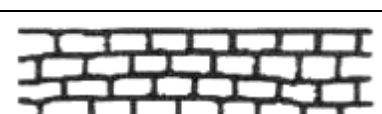
- Özgül ağırlıkları azdır.
- Çok çeşitli mekanik özelliklere sahiptir.
- Kolay şekil verilebilir ve kolay işlenebilir.
- Katkı maddeleri ile özellikleri değiştirilebilir.
- Isı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür.
- Saydamdırlar.
- Korozyona ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdırlar.
- Yeniden işlenip kullanılabilir hale gelebilirler.

Plastikler lineer veya dallanmış çok büyük moleküllerden yani makromoleküllerden oluşurlar. Plastik moleküllerinin dizilişi şekilleri Şekil 1.2'de görülmektedir (Akyüz 2006).

Plastikler genelde kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaktadırlar (Akyüz 2006). Plastikler kimyasal yapılarına göre iki gruba ayrılır:

- 1) Çapraz bağlı olmayanlar (Termoplastikler)
  - a) Amorf (Şekilsiz)
  - b) Yarı kristal
- 2) Çapraz bağlı olanlar

- a) Çapraz bağlı olanlar (Elastomerler)  
b) Kuvvetli çapraz bağlı olanlar (Termosetler).

	Lineer zincir moleküller	Termoplastikler
	Dallanmış zincir moleküller	
	Zayıf çapraz bağlı zincir moleküller	Elastomerler
	Kuvvetli çapraz bağlı zincir moleküller	Termosetler

Şekil 1.2. Plastik moleküllerin dizilişi.

### 1.5.1. Çapraz Bağlı Olmayanlar Plastikler (Termoplastikler)

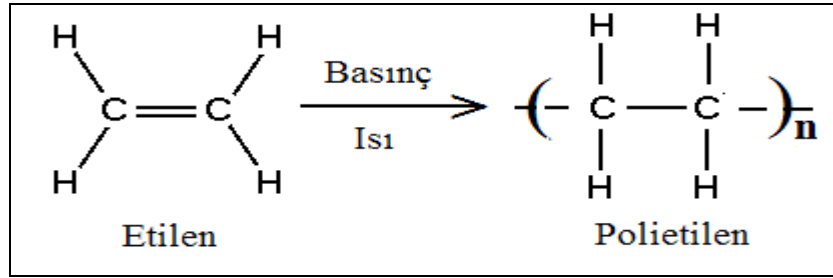
Makromolekülleri arasında kimyasal bağ bulunmamaktadır. Bundan dolayı ısıtıldıklarında yumuşar ve akar dolayısı, ile işlendikten sonra yeniden kullanılabilir. Makromoleküllerin dizilişi rastgele ise malzeme ‘amorf (düzensiz)’ diye adlandırılır. Bu malzemelere katkı maddesi katılmadığı sürece şeffaf görünürler. Bazı bölgelerinde düzgün dizilmiş molekülere sahip plastiklere yarı kristal plastik denir. Katkı maddesi katılsın yada katılmasın bu malzemeler şeffaf görünmezler (Akyüz 2006). Termoplastik malzemeler içerisinde OPK üretiminde yaygın olarak Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polistiren (PS) ve Polivinil Klorür (PVC) yaygın olarak kullanılmaktadır. Tez kapsamında kullanılan Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)’in yapısı ve özellikleri hakkında bilgi aşağıda verilmiştir.

#### 1.5.1.1. Polietilen (PE)

Polietilenler genel anlamda; Alçak Yoğunluklu Polietilen, Yüksek Yoğunluklu Polietilen, Lineer Alçak Yoğunluklu Polietilen ve Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen olmak üzere dört ana başlık altında toplanabilir. Yüksek yoğunluk polietilen (YYPE),



etilenin düşük basınç altında polimerizasyonu ile elde edilirler Şekil 1.3'de etilenin polimerizasyonu görülmektedir.



Şekil 1.3. Etilenin polimerizasyonu.

YYPE Elektrik direnci yüksek, hidrofobik bir polimerdir. En çok kullanılan en ucuz plastik türüdür. Çizelge 1.6'de bölgelere göre Dünya YYPE üretimi verilmiştir. YYPE arı halde saydamdır ve sudan hafiftir. Simetrik moleküler yapı nedeni ile büyük ölçüde kristalleşebilir. Kristallliği arttıkça özgül ağırlık, mukavemet ve yumuşama sıcaklığı yükselmektedir (Onaran 1999).

Çizelge 1.6. Bölgelere göre dünya YYPE üretimi (Anonim 2013e).

Bölgeler	1994 (1000 ton)	2010 (1000 ton)
Kuzey Amerika	5840	7350
Güney Amerika	470	650
Batı Avrupa	2730	3300
Doğu Avrupa	290	360
Afrika/Ortadoğu	270	375
Asya/Okyanusya	3050	4100
Dünya Toplamı	12650	16135

YYPE'nin mekanik mukavemeti çok iyidir. Maliyetinin ucuz oluşu, darbe direncine karşı dayanıklı oluşu ve kolay şekillendirilebildiği için çok geniş bir kullanım alanı vardır. Başlıca kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir; su ve kanalizasyon borularının yapımında, gıda ambalajlamaları ve şeker paketlemelerinde, çeşitli oyuncak ve mutfak eşyası imalatı, şerit, iplik ve halat yapımında, izolasyon malzemesi olarak, kablo

kaplamada; şişe, sebze ve meyve kasası yapımında kullanılmaktadır (Anonim 2013e).

### **1.5.2. Çapraz Bağlı Olan Plastikler**

Bu gruba giren plastik türleri ise zayıf ve kuvvetli çapraz bağlı bileşikler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çapraz bağlı plastikler termoplastiklerin aksine defalarca yeniden kullanılamazlar. Bu malzemelerde kimyasal reaksiyon neticesinde makromoleküller arasında kimyasal bağ meydana geldiği için çapraz bağlı denmektedir. Bu bağların zayıf olduğu malzemelere elastomer denir. Bunlar çözücülerle çözünmezler ama kimyasal olarak şişerler. Makromoleküller arasındaki çapraz bağ sayısı arttıkça, malzeme daha sert ve kırılğan bir hal almakta ve şişme özelliği de azalmaktadır. Bu şekildeki kuvvetli çapraz bağlı malzemelere termoset denir. Bu malzemeler birçok makromolekülün birleşerek tek molekül haline geldiği oldukça karışık çapraz bağ yapısına sahiptir (Akyüz 2006).

### **1.6. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİ**

İki ya da daha fazla materyalin bir araya getirilmesi ile oluşan ve çoğu zaman kendilerini oluşturan materyallerden daha faydalı özelliklere sahip olan malzemelere kompozit malzeme denmektedir (Mengeloğlu ve diğ. 2002). Odun kompozitleri iki ana sınıfa ayrılmakta olup bunlar; termoset tutkallar ile üretilen odun kompozitleri, termoplastik ve çimento gibi materyaller ile üretilen odun kompozitleridir. Termoset esaslı odun kompozitleri odun materyali ve termoset tutkalı kullanılarak bir pres yardımıyla ısı altında birleşmesiyle elde edilmektedir. Bu kompozitlerde odun materyalini birbirine bağlamak için üreformaldehit (UF), fenol formaldehit (PF), polivinil asetat (PVA), polimerik difenil diizosiyanat (pMDI), melamin formaldehit (MF), resorsinol formaldehit (RF) gibi çeşitli yapıştırıcılar kullanılmaktadır (Matuana ve Heiden 2004).

Termoplastik esaslı odun kompozitlerin üretiminde ise polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) gibi plastikler ve odun materyalleri kullanılmaktadır. Odununu ve termoplastik esaslı polimerlerin karışımıyla, plastik içerikli ürünlere benzer yöntemlerle üretilen malzemelere Odun-plastik kompozitleri (OPK) denir (Simonsen 1995). Tanımda kullanılan 'odun unu' sadece odun parçasını değil, lifli yapıda olan tüm yıllık bitkiler, tarımsal atıklar vb. gibi odunsu materyali içermektedir. Bu materyaller un

halinde ya da lifler olarak OPK üretiminde kullanılmaktadır (Mengeloğlu ve Karakuş 2008a, Karakuş 2008). OPK üretiminde genel olarak odun unu ile Poliefinler kullanılmaktadır. Çünkü Poliefinlerin işlenmesi için gerekli olan sıcaklık dolgu maddesi olarak kullanılan odunsu materyallerin bozunma sıcaklığının (190-210 °C) altındadır. Polistiren (PS), polivinil klorür (PVC), polipropilen (PP), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) en çok kullanılan poliefinlerdir (Chowdhury ve Wolcott 2007). Odun plastik kompozitleri iki aşama halinde üretilmektedir. Kompozit malzemeyi oluşturacak olan hammaddeler karıştırıcı vasıtasıyla homojen olarak karıştırılarak birleştirilir. Birleştirilmiş olan bu maddeler ikinci bir işlemde geçer. Bu aşamada ise enjeksiyon, ekstrüzyon veya basınç kalıplama yöntemleriyle malzemeye son şekli verilmektedir. Alternatif olarak ekstrüzyon sonunda ilk işlem sonrası elde edilen karışım daha sonra ısı ve pres altında eritilip şekillendirilerek üretim yapılabilir (Aslan 2008).

Termoset plastikler kullanılarak yapılan ilk OPK üretimi Leo Beakeland tarafından yapılan bakalittir. Bu üretimde odun unu ve fenolik bileşikler kullanılmıştır. Termoplastik malzeme ve odun unu kullanılarak üretilen ilk OPK ise İtalyan'lar tarafından üretilmiştir. Üretimde ekstrüzyon yoluyla odun unları ve polipropilen kullanılmış ve otomobil iç dekorasyon malzemeleri üretilerek 1920 yılında patent alınmıştır.

OPK' nın dayanım ve direnç özelliklerinin iyi oluşu araştırmacıların dikkatini çekmektedir (Aslan 2008).

OPK' ların sağlamış olduğu başlıca avantajlar şunlardır:

- Rutubete karşı yüksek dirençlidir,
- Yüksek boyutsal stabiliteye sahip olup çalışması çok azdır,
- Üretimde kullanılan atık malzemelerden dolayı doğa dostudur,
- İsteğe göre boyutlandırılabilir,
- Daha az bakım gerektirir,
- Mantar ve böceklere karşı dayanıklıdır.

Bununla birlikte üretim kapasitelerinin düşük oluşu, enerji giderlerinin yüksek oluşu, odunsu materyale göre yoğunluklarının yüksek oluşu OPK' nin başlıca dezavantajlarıdır (Principia 2002, Karakuş 2008, Mengeloğlu ve Karakuş 2008).

OPK üretiminde kullanılan ağaç malzemenin avantajları da şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Fiyatlarının uygun oluşu,
- Kullanım yerlerinde sağlık problemleri oluşturmaması,
- Yenilenebilir olmaları,
- Maliyeti düşürmeleri,
- Ses izolasyonu sağlamaları,
- Elektrik dirençlerinin iyi olması,
- Düşük CO<sub>2</sub> salınımı (John ve Thomas 2007).

Kullanılan odunsu materyallerin dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Düşük hacim yoğunluğuna sahip olmaları ve buna bağlı olarak meydana gelen depolama sorunu,
- Hammaddenin depolanması sırasında çıkabilecek yangın riski ve biyolojik bozunmalara maruz kalması,
- Özellikle tarımsal atıkların içerdiği silika'dan dolayı üretim makinelerinde sebep oldukları aşınma (Korucu ve Mengeloğlu 2007).

Bu materyallerin tüm dezavantajlarına rağmen OPK kullanım alanları orman ürünleri sektörüne girdiği günden beri gelişim göstermiş, hızlı gelişen alanlardan bir tanesi haline gelmiş ve birçok kullanım alanı bulmuştur. Çizelge 1.7'de Odun plastik kompozitlerinin genel kullanım alanları gösterilmektedir.

**Çizelge 1.7.** Odun plastik kompozitleri genel kullanım alanları (Karakuş 2008).

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

Fiyatlarının emprenyeli malzeme ve masif oduna göre yüksek olmasına rağmen OPK satışları son zamanlarda şaşırtıcı bir şekilde artmıştır. Dayanıklı olması ve çevre dostu olarak algılanmasından dolayı 1990'lı yıllardan sonra OPK'lar endüstride kendine önemli bir yer edinmiştir. 2003 yılında 400.000 ton Kuzey Amerika'da, 30.000 ton Avrupa'da OPK üretilmiştir. Bununla ilgili olarak 1992-2011 yılları arasında Kuzey Amerika'da ağaç malzeme, saf plastik ve odun plastik kompozitlerinin pazar payı Çizelge 1.8'de verilmiştir (Klyosov 2007).

OPK üzerine yapılan ilk çalışmalar genel olarak, formülasyonu ve üretim süreci ile ilgili olmuştur ve bu malzemenin biyolojik etkenlere karşı dayanıklı olduğu varsayılmıştır. Özellikle üretimin ilk aşamasında plastiğin odun liflerini tamamen kapladığı düşünülmüştür. Bu düşüncede OPK'ları oluşturan poliefinlerin omurgasını oluşturan karbon atomunun abiyotik zararlıların oksidasyonuna karşı oldukça dayanıklı oluşu etkili olmuştur.

**Çizelge 1.8.** Yer döşemesi olarak kullanılan malzemelere olan talep (Klyosov 2007).

Yıl	Pazar (milyar \$)	Pazar payı (%)		
		Ağaç Malzeme	Saf Plastik	Odun Plastik Kompozitleri
1992	2.3	97	1	2
2002	3.4	91	2	7
2005	5.1	77	4	19
2006	5.5	73	5	22
2011	6.5	66	4	30

OPK'ların renk solması ve biyolojik olarak bozunmalarını ilk defa Cooper belirlemiştir. 4 yıl boyunca serviste kalan geri kazanılmış odun ve plastikten yapılan OPK'larda kahverengi ve beyaz çürüklük tespit etmişlerdir (Morris ve Cooper 1998). Bu tespitten sonra OPK içerisinde bulunan odun lifleri ya da doğal lifler bu malzemenin biyolojik olarak bozunabileceği zannı oluşturmuştur (Schirp ve Wolcot 2005).

İlerleyen süreçte yapılan çalışmalarda OPK'ların bozunmaları biyolojik sebeplerden olabileceği gibi güneş ışığı, nem ve sıcaklıkla da meydana gelebileceği belirlenmiştir.

Çoğu zamanda kombine bir şekilde zararın oluştuğu, OPK içerisinde kullanılan ağaç malzemenin biyotik ve abiyotiklere karşı korunması gerekliliği tespit edilmiştir.

Bunun korumanın sağlanması için de farklı teknolojiler geliştirilmiştir. Ayrıca biyotik ve abiyotik zararlılara karşı etkili, nem ve UV ye karşı dirençli materyallerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar halen devam etmektedir (Morrell ve diğ. 2010). Yapılan çalışmalarda ise OPK'lar içerisindeki odun unu oranının %50'nin altında olması durumunda mantarlar tarafından oluşturulan ağırlık kayıplarının hiç olmadığı ya da çok az oranda olduğu, odun unu oranının %50 ve üzeri olması durumunda ise ağırlık kayıplarının arttığı belirlenmiştir. Mantar zararlarının en az seviyeye düşürülmesi için plastik ile ağaç malzeme arasındaki bağın güçlendirilmesi ya da OPK içerisinde bulunan ağaç malzemenin koruyucu kimyasallarla işlem görmesi gerektiği yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Schirp ve diğ. 2008).

Bugüne kadar OPK'ların özelliklerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmaların literatür özeti aşağıda verilmiştir.

Atık Okaliptus odun unları ve YYPE kullanılan bir çalışmada %2 oranında uyumlaştırıcı ve farklı odun unu kullanılarak üretilen OPK'ların mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda levha içerisinde odun unu oranının artması ile eğilme, çekme ve darbe dirençlerinde azalmaların olduğu eğilmede elastikiyet ve çekmede elastikiyet modülü değerlerinde ise artmaların meydana geldiği bildirilmiştir. Direnç özelliklerindeki azalmanın lignosülozik materyal ile plastik arasındaki zayıf bağlanmadan oluştuğu, elastikiyet değerlerindeki artışın ise levha içerisinde bulunan lignosülozik materyalin daha elastik bir yapıya sahip olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. % 2 oranında uyum sağlayıcı madde kullanılması ile şok direnci dışında tüm mekanik özelliklerde artmaların olduğu belirlenmiştir. Uyum sağlayıcı madde kullanımı ile yüzeyler arasındaki bağın kuvvetlendiği, dolayısı ile plastik malzemenin liflerden sıyrılmasının engellediği için liflerin kırıldığı; bunun ise şok direncinde azalmaya neden olduğu rapor edilmiştir (Mengeloğlu ve diğ. 2008).

Ağırlıkça %50 oranında GŞÇ ve %50 YYPE kullanılan bir çalışmada enjeksiyon kalıplama ile OPK üretilmiş ve gerçekleştirilmiştir. Üretilen levhalar 12 hafta süre ile beyaz çürüklük (*Trametes versicolor*) ve esmer çürüklük (*Gloeophyllum trabeum*) mantarlarına maruz bırakılmıştır. 12 hafta sonunda beyaz çürüklük için belirlenen

yaklaşık ağırlık kaybı %2 civarında iken bu değer esmer çürüklük mantarı için %4 olarak tespit edilmiştir (Clemons ve Ibach 1990).

%40 oranında bagasse lifi, PP ve %2 oranında uyum sağlayıcı madde kullanılarak OPK üretimi gerçekleştirilen bir çalışmada 16 hafta süre ile beyaz çürüklük (*Trametes versicolor*) ve esmer çürüklük (*Coniophora puteana*) mantarlarının yapmış olduğu ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca levhaların 2 ve 24 saat sürenin sonunda su alma ve kalınlık değerleri tespit edilmiştir. 16 haftanın sonunda beyaz ve esmer çürüklük mantarlarının meydana getirdiği ağırlık kayıpları sırası ile %7,15 ve %6,32 olarak tespit edilmiştir. 2 ve 24 saat sonunda su alma oranları sırası ile %3,82 ve %7,77 olurken kalınlık artışı için bu değerler %2,45 ve %6,28 olarak tespit edilmiştir. Beyaz çürüklüğün oluşturduğu ağırlık kaybının fazla olmasının nedeni bagasse liflerinin kimyasal içeriğine ve beyaz çürüklük mantarlarının lignini de tahrip edebilmesine bağlanmıştır (Hosseinihashemi ve diğ. 2011).

PP, çinko borat ve %50 ve 70 oranında odun unu kullanılarak OPK üretimi yapılan bir çalışmada levhaların biyolojik dayanıklılığı belirlenmiştir. Üretim aşamasında 30 ve 60 mesh boyutundaki odun unları kullanılmıştır. Beyaz çürüklük (*Trametes versicolor*), esmer çürüklük mantarı (*Fomitopsis Palustris*) ve termitlerin (*Coptotermes formosanus*) meydana getirdiği ağırlık kayıpları belirlenmiştir. 12 hafta sonunda beyaz çürüklük mantarının oluşturduğu ağırlık kaybı plastik oranı %50 olan 60 ve 30 mesh boyutlarında odun unu kullanılan örneklerde sırası ile %0,5 ve 0,1 iken, %30 plastik içeren numuneler bu oran % 1,5 ve 1,1 olarak belirlenmiştir. Esmer çürüklük mantarının oluşturduğu ağırlık kayıpları ise %50 plastik içeren levhalarda %2,3 ve 2,4 iken, %30 plastik içeren levhalarda bu oran %5,8 ve 3,3 olarak tespit edilmiştir. Termit testlerinin sonucunda elde edilen ağırlık kayıpları ise %50 plastik içeren levhalarda %3,6 ve 4,1 iken, %30 plastik içeren levhalarda bu oran %12,1 ve 9,7 olarak tespit edilmiştir. Levhalar içerisine çinko borat ilavesi ile tüm biyolojik dayanıklılığın arttığı bildirilmiştir (Taşçıoğlu ve diğ. 2013).

Farklı oranlarda odun unu ve YYPE ile üretilen OPK'ların fiziksel özellikleri ile beyaz çürüklük mantarı (*Trametes versicolor*) ve esmer çürüklük mantarlarının (*Gloeophyllum trabeum* ve *Postia placenta*) oluşturduğu ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Plastik oranı %30 ve 50 olarak ayarlanmış, %50 plastik içeren numunelerde 1 ve 2 mm boyutlarındaki odun unları kullanılarak iki farklı levha üretilmiştir. Yapılan mantar

testlerinde 12 haftanın sonunda *Trametes versicolor*, *Gloeophyllum trabeum* ve *Postia placente* mantarı tarafından meydana gelen ağırlık kayıpları %30 plastik içeren levhalar için sırası ile %10,2, 20,4 ve 15,8 olarak belirlenmiştir. %50 plastik ve 1mm boyutundaki odun unu kullanılan levhalarda meydana gelen ağırlık kayıpları sırası ile %1,2, 2,7 ve 0,3 olarak belirlenirken, 2mm boyutundaki odun unu kullanılan levhalarda ise % 2,1, 3,1 ve 1,3 olarak tespit edilmiştir (Mankowski ve Morrell 2000).

Kavak odunu ve YYPE kullanılarak yapılan bir çalışmada ise farklı mesh boyutlarının ve odun unu kullanım oranının etkileri araştırılmıştır. Çalışmada uyum sağlayıcı olarak MAPE (Maleik anhidritle kraftlanmış polietilen) %0 ve %3 olarak oranında kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda %3 oranında MAPE kullanılması ile levhaların eğilme ve çekme direnci değerlerinde yükselmeler olduğu bildirilmiştir. Bunun nedeni olarak MAPE kullanımının yüzeyler arası tutunmanın iyileştirdiği belirtilmiş ve SEM fotoğrafları ile bu durum desteklenmiştir. Bununla birlikte levha içerisindeki yonga boyutlarının büyük olması durumunda en iyi mekanik test değerleri elde edilmiştir. Çok küçük partiküllerin kullanımının bu değerleri olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü, eğilme ve çekme direnci değerlerinin odun unu oranı %50 den %80'ne doğru çıkması durumunda azalma gösterdiği bildirilmiştir. Odun unu oranının %50 den %70' e çıkarıldığı durumlarda eğilmede elastikiyet değerinin arttığı, oranın %80'e çıkması ile bu değer azaldığı tespit edilmiştir (Li 2012).

Kenevir (kenaf) bitkisi, MAPE ve geri kazanılmış YYPE'nin kullanıldığı bir çalışmada OPK üretilmiş ve üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Üretilen levhaların içeriklerinde kenevir bitkisi %0-40 arasında farklı oranlarda kullanılmıştır. Bunun sonucunda levha içerisinde kenevir oranı arttıkça çekme direnci ve kopmada uzama değerlerinde azaldığı, çekmede elastikiyet modülü değerinde arttığı bildirilmiştir. Bununla birlikte MAPE kullanım oranının artırılması ile levhaların mekanik özelliklerinin yükseldiği, su alma oranının azaldığı belirtilmiştir (Cao ve diğ. 2011).

PP, %60, 65, 70 oranında odun unu, ve %1, 2, 3, 4 oranında MAPP (Maleik anhidritle kraftlanmış polipropilen) kullanılan bir çalışmada en iyi OPK üretim formülasyonu belirlenmeye çalışılmıştır. En yüksek eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri %65 odun unu, %31 PP ve %4 MAPP kullanılan levha örneklerinden elde edilmiştir. Bununla birlikte tüm levha örneklerinde en yüksek eğilme direnci ve



eğilmede elastikiyet modülü değerleri %4 oranında MAPP kullanılan levhalarda elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak %4 oranda kullanılan MAPP'ın odun unu ile plastik arasında zayıf olan bağı iyileştirdiği, buna bağlı olarak homojen bir yapının oluştuğu bildirilmiştir. SEM görüntüleri ile bu durum desteklenmiştir. En yüksek kalınlık artışı ve su alma oranı %70 odun unu içeren levhalarda görülmüştür. OPK içerisinde odun oranının artması ile PP'nin lignoselülozik materyali tam örtemediği dolayısı ile su alma oranında artışın oluştuğu bildirilmiştir. %4 oranında MAPP kullanılması su alma oranını azaltmıştır. Kısa süreli kalınlık artışı ölçümlerinde MAPP oranının önemli bir etkisi olmadığı bildirilmiştir (San ve diğ. 2008).

Farklı dolgu maddeleri ve %65 oranında YYPE'nin kullanıldığı bir çalışmada üretilen OPK'ların su alma, kalınlık artışı, eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri karşılaştırılmıştır. Dolgu maddesi olarak GSC, Amerikan kavağı ve buğday sapı kullanılmıştır. Levha içeriklerine %0 ve %2 oranında MAPE ilave edilmiştir. Su alma ve kalınlık artış değerleri 30, 45, 60, 75 °C sıcaklıklarda ölçülmüştür. Sıcaklığın yükselmesi ile OPK'ların kalınlık artışı ve su alma oranlarında artmaların meydana geldiği, MAPE'nin kullanımı ile bu oranların azaldığı bildirilmiştir. En fazla su alma oranı buğday sapından üretilen levhalarda, en az su alma oranı ise GSC'den üretilen levhalarda belirlenmiş; dolgu maddesinin kimyasal ve anatomik yapısının buna neden olabileceği belirtilmiştir. En iyi eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri sırası ile kavak, çam ve buğday sapı kullanılan levhalarda elde edilmiştir. %2 oranında kullanılan MAPE levhaların eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde önemli iyileşmelere neden olduğu bildirilmiştir (Zabihzadeh 2010).

Farklı oranlarda kavak lifleri ve PP kullanılan bir çalışmada, kompozit içerisindeki Aspen lifi oranının artması ile su alma oranındaki artış incelenmiştir. OPK'lar içerisinde %30, 40, 50, 60 oranlarında Aspen lifleri kullanılmıştır. Buna göre levha içerisinde lif oranının artması ile su alma oranının da arttığı bildirilmiştir (Rowell ve diğ. 2002).

### **1.6.1. Uyum Sağlayıcı Maddeler**

OPK yapısında bulunan ağaç malzeme ve plastik malzemeler uyumlu olmayan maddelerdir. Çünkü ağaç malzeme polar yapıda olup hidrofil (suyu seven) özellik gösterirken plastik malzeme polar olmayan yapıda olup hidrofobik (suyu iten) özellik göstermektedir. Bu nedenle iki madde arasında zayıf bir bağ oluşmaktadır. Zayıf olan

bağın güçlendirilmesi için üretim sırasında iki madde arasındaki adhezyon ve uyumluluğu geliştirmek amacı ile uyum sağlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Uyum sağlayıcı bu kimyasallar; organik maddeler, inorganik maddeler ve organik ve inorganik maddeler olmak üzere üç grupta toplanmıştır (Lu ve diğ. 2000). Çizelge 1.9'da bu gruplandırmada yer alan uyum sağlayıcı maddeler verilmiştir.

**Çizelge 1.9.** Uyum sağlayıcı maddeler (Lu ve diğ. 2000).

Organik maddeler	Organik ve İnorganik maddeler	İnorganik Maddeler
1.Akrilatlar 2.Amitler ve imitler 3.Anhidritler 4.Epoksitler 5.İzosiyanatlar 6.Organik asitler 7.Monomerler 8.Polimer ve kopolimerler: Maleik anhidritli polietilen (MAPE) Maleik anhidritli polipropilen (MAPP) Polimetakrilik asit (PMAA) Polistiren/polimetakrilik asit (PSPMAA) Polivinil asetat (PVAC) Fenol formaldehit reçinesi (FFR) Stiren/maleik anhidrit (SMA)	1.Silanlar Vinil (2-metoksietoksi) silan (A-172) $\gamma$ -metakriloksipiltrimetoksi silan (A-174) $\beta$ - (3.4-Epoksi sikloheksil) etiltrimetoksil silan (A-186) $\gamma$ -Glicidoksil propiltrimetoksil silan (A-187) $\gamma$ -Aminopropiltrimetok silan (A-1100) 2.Titanlar Titanyum di(dioktilpayrofosfat) aksiasetat (KR 138S)	1.Silikatlar Sodyum silikat (Na <sub>2</sub> SIO <sub>3</sub> )

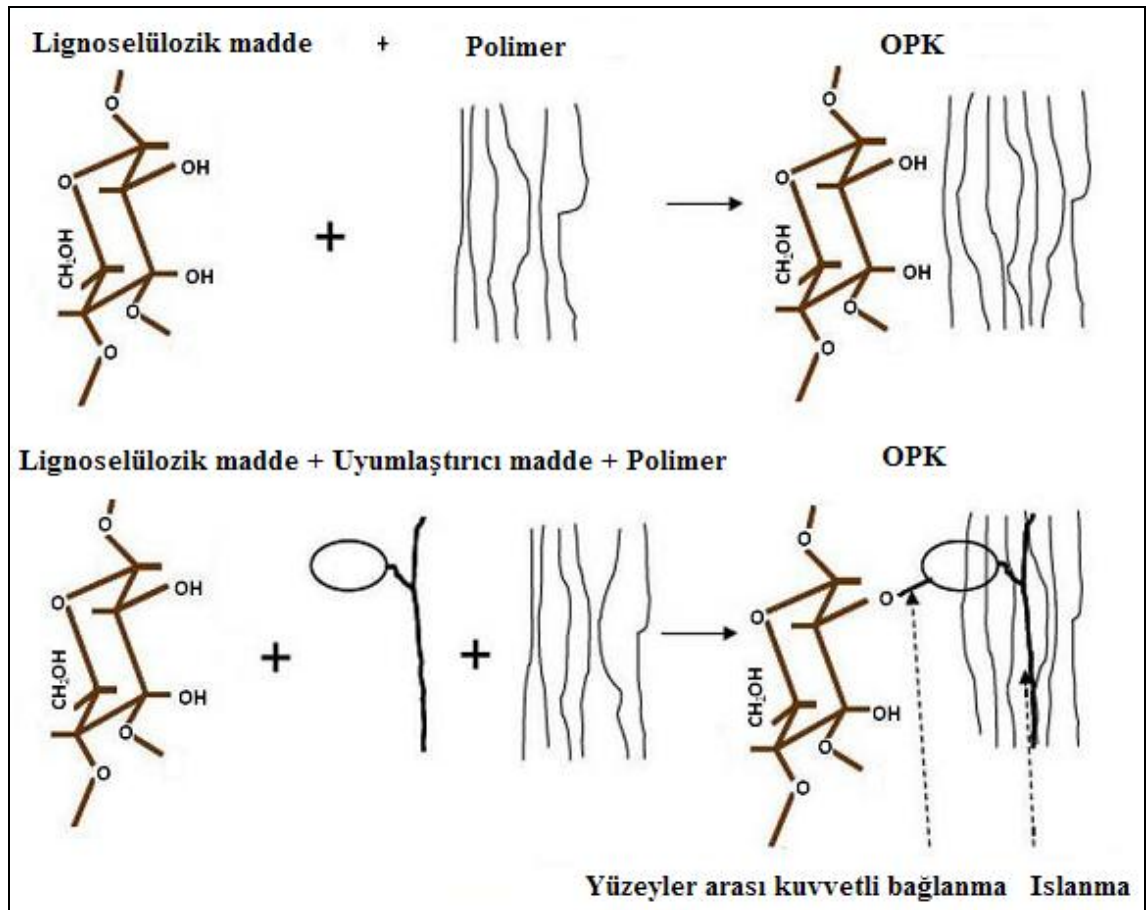
Bu uyum sağlayıcı maddeler arasında poliefinler için (polietilen vd..) en uygun seçimin maleik anhidritler olacağı kabul görmüş bir kanıdır. Daha sonra üretimde sağladığı kolaylıktan dolayı maleik anhidritle kraftlanmış poliolefinler (MAPE ve MAPP) tercih edilmeye başlanmıştır. Çünkü bu durumda odun unları küçük parçalar halinde modifiye

edilip kullanılmaktan ziyade, kopolimer halindeki MAPE'nin OPK formülasyonuna katılarak kullanılması, süreçte kolaylık oluşturmuştur (Karakuş 2008).

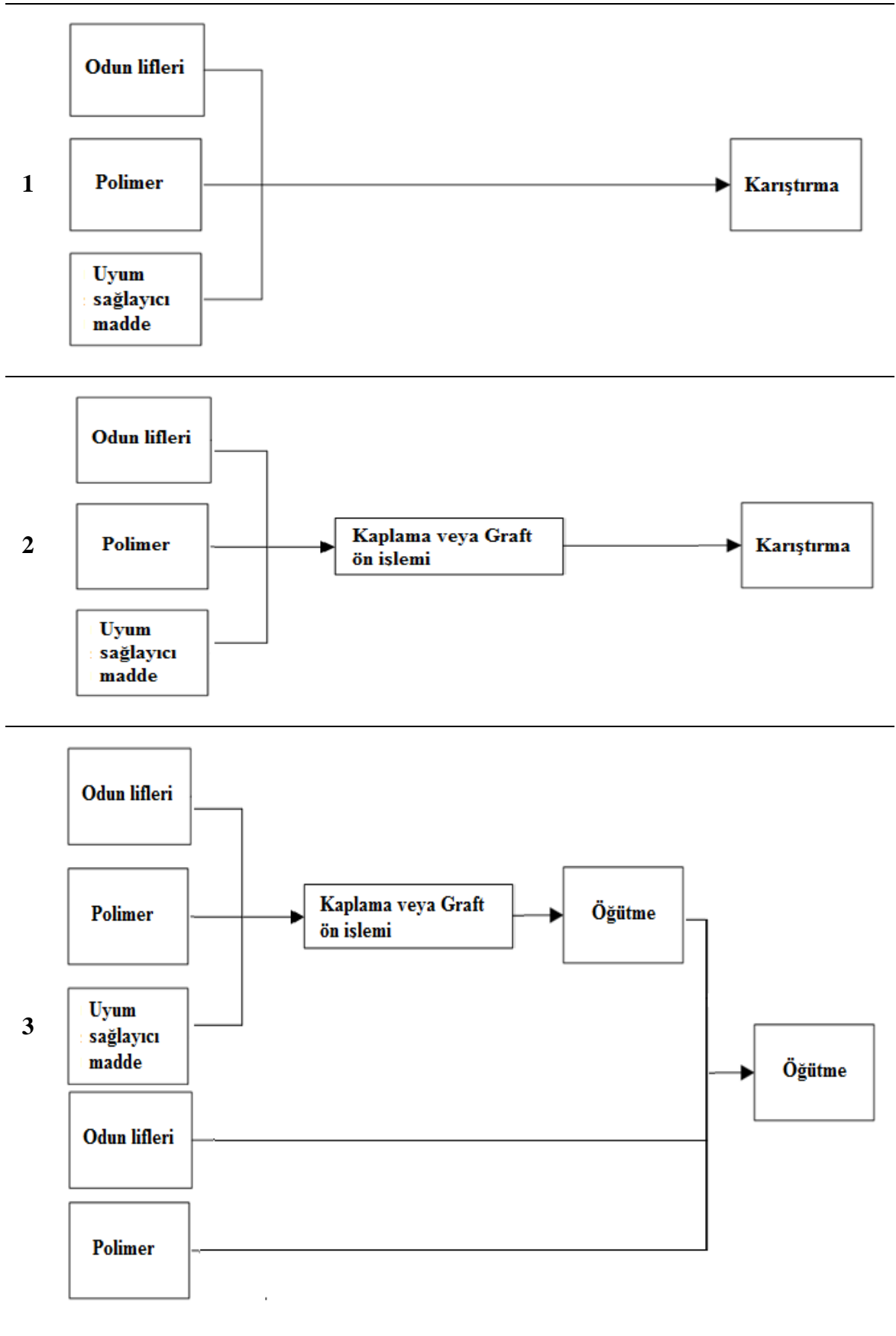
Birleştirici görevi gören bu maddeler ağaç malzeme ile kimyasal bir bağ kurmakta, aynı zamanda plastik madde içindeki polimer zincirini ıslatarak iki maddenin birbirine karışmasını sağlamaktadır.

Başka bir ifade ile liflerin yüzey enerjisini azaltarak yüzeyi polarsızlaştırır ve plastik madde ile uyumlu hale getirir (Yang ve diğ. 2007). Şekil 1.4'de birleştiricilerin çalışma mekanizması gösterilmiştir.

OPK üretiminde kullanılan uyum sağlayıcı maddeler için uygulanan prosesler genel olarak 3 grupta toplanmıştır. Şekil 1.5'te birleştiricilerin OPK üretiminde kullanım metodları verilmiştir (Yang ve diğ. 2007).



Şekil 1.4. Birleştiricilerin çalışma mekanizması (Yang ve diğ. 2007).



Şekil 1.5. OPK üretiminde birleştiricilerin kullanılma prosesleri (Yang ve diğ. 2007).

İlk uygulama tek aşamalı olup oldukça basittir. Burada uyum sağlayıcı madde doğrudan ağaç malzeme ve plastik ile karıştırılıp üretim gerçekleştirilmektedir.

İkinci uygulamada ise ağaç malzeme ve plastik maddenin birinin ya da ikisinin yüzeyleri karıştırmadan önce uyum sağlayıcı madde ile aşılama ya da kaplama yapılmaktadır.

Üçüncü uygulamada ise plastik malzemenin ve ağaç malzemenin bir kısmı uyum sağlayıcı madde ile muamele edilmekte ve ardından ana kütleyle ilave edilip karışım işlemi gerçekleştirilmektedir.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken husus üretim sırasında birleştirici madde oranının tam belirlenmesidir. Çünkü kullanılacak olan birleştiricinin optimum oranı; kullanılan odun unu oranına, üretim prosesine göre farklılık göstermektedir. Genel olarak birleştirici maddenin oranını artması ile belli bir noktaya kadar mekanik özellikler artmaktadır. Yüksek oranlarda uyum sağlayıcı madde kullanımında ise mekanik değerlerde düşüşler görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda bu azalmanın nedenleri olarak:

- Farklı yan ürünlerin oluşması,
- Fazla kullanım sonucu reaksiyona girmemiş birleştirici madde oranının artması,
- Uyumlaştırıcı reaksiyonunun engellenmesi gösterilebilir.

Dolayısı ile birleştirici oranının fazla olması, polimer zincir ile ağaç malzeme arasında gerçekleşmesi beklenen birleşme reaksiyonlarını olumsuz yönde etkileyerek bağlanmada engelleyici rol oynamaktadır (Çetin ve diğ. 2000).

## **2. MATERYAL ve YÖNTEM**

### **2.1. MATERYAL**

Üretimde dolgu maddesi olarak servis ömrünü tamamlamış 5 adet CCA'lı tel direği ve emprenyesiz sarıçam odunları (*Pinus Sylvestris*) kullanılmıştır. Servis ömrünü tamamlayan direkler, 20 yıl kullanımda kaldıktan sonra Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş.'nin deposuna kaldırılan direklerden seçilmiştir. Kompozit üretiminde servis ömrünü tamamlayan tel direklerinden sarıçam türleri kullanılmıştır.

Kontrol numuneleri üretiminde kullanılan emprenyesiz sarıçam örnekleri ise Artvin Orman Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Seçilen ağaçların budaksız, reçinesi az ve yıllık halkalarının düzgün olmasına dikkat edilmiştir.

Bakir polietilen (YYPE SO 464, Petrokimya A.Ş., Aliğa, İzmir, TÜRKİYE) ve maleik anhidritle kraftlanmış polietilen (Priex®12031, ADDCOMP Polymer Additive Solutions, Nijverdal, HOLLANDA) ticari kaynaklardan elde edilmiştir.

Tezin bundan sonraki kısımlarında metin içerisinde anlam bütünlüğünün sağlanması ve gereksiz tekrarların olmaması için, servis ömrünü tamamlamış CCA'lı odununu kullanarak üretilen levhalar için 'CCA'lı ağaç malzemeden üretilen OPK', emprenyesiz sarıçam odunu kullanarak üretilen örnekler için 'kontrol grubu', uyum sağlayıcı madde için 'MAPE' ifadeleri kullanılacaktır.

### **2.2. YÖNTEM**

#### **2.2.1. Tür Teşhisi**

Servis ömrünü tamamlayan emprenyeli tel direklerin tür teşhisi Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Botaniği Anabilim Dalı laboratuvarında yapılmıştır.

25 x 25 x 50 mm (TxRxL) boyutlarındaki örnekler en uygun kesiş bölgesi seçilerek, 10 x 10 x 10 mm ölçülerine getirilmiştir. Örneklerin hava kabarcıklarını yok etmek için kaynayan su içinde bir süre bekletilmiştir. 35 derecelik açı ve 8 x 80 x 0,254 mm

ölçülerinde Leica Mikrotom bıçağıyla enine yönde 20 µm'luk kesitler alınmıştır. 76 x 26 x 1 mm'lik Marienfeld Glassware mikroskop preparatlarıyla, 24 x 40 x 1 mm'lik kaplama camı kullanılmıştır. Alınan kesitlerin bir bölümüne % 1'lik safranin (kırmızı renk maddesi) damlatılarak 3 dakika bekletilmiştir. Fazla renk maddesi saf su damlatılarak alınmıştır. Hazırlanan preparatlar değişik ölçeklerde Olympus marka mikroskopta incelenmiş ve görüntü alınmıştır.

### **2.2.2. Tel Direklerindeki CCA Miktarının Belirlenmesi**

OPK üretiminden önce servis ömrünü tamamlamış tel direklerinde mevcut bulunan CCA miktarı belirlenmiştir. Bu kapsamda OPK üretiminde kullanılacak olan tüm tel direkleri yongalanıp harmanlanmış ve bu harman içerisinden on farklı yerden yonga alınıp toz haline getirilmiştir.

Toz halindeki numuneden 300 mg alınıp teflon tüplere yerleştirilmiş ve üzerine % 65'lik 10 ml nitrik asit ilave edilmiştir. Numunenin asit içerisinde tam olarak çözünmesi için mikrodalga fırında yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yakma işleminin ardından sıvı haldeki numune balon joje içerisine alınıp seyreltilmiş ve bu hali ile ICP cihazında (Perkin emler / Optima 2100 DV) analiz edilmiştir.

### **2.2.3. Kompozit Üretimi**

Kompozit üretiminde farklı boylarda 5 adet tel direği kullanılmıştır. Servis ömrünü tamamlayan CCA'lı tel direkleri bir metre aralıklarla kesilmiş ve dış tarafatan öze doğru emprenye maddesinin ulaştığı yere kadar olan kısım üretimde kullanılmak üzere yongalanmıştır.

Tüm direklerden elde edilen yongalar harmanlanıp karıştırılmak suretiyle homojen bir karışım sağlanmaya çalışılmıştır. Yongalar Şekil 2.1'de görülen Willey değirmeninde öğütülüp un haline getirilmiştir. OPK üretiminde kullanılacak olan odun unlarının partikül büyüklükleri önemli olduğu için öğütülen numuneler sarsak elekte elenmiştir (Şekil 2.2). Aynı işlemler kontrol numunelerinin üretiminde kullanılan emprenyesiz sarıçam odunları için uygulanmış olup üretimde diri odun kısımları kullanılmıştır.

Sarsak elekte eleme işleminden sonra 20 mesh altına geçen ve 80 mesh üzerinde kalan numuneler üretimde kullanılmıştır. Seçilen odun unları 24 saat süre ile 103±2 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Kurutulan odun unları ve YYPE homojen bir karışımın

sağlanabilmesi için Şekil 2.3’de görülen yüksek karıştırma hızına sahip laboratuvar mikserinde karıştırılmıştır (Shini SVM-80U).

Mikserde elde edilen karışım tek burgulu laboratuvar tipi ekstruder makinasından (Rondol linear 30) (Şekil 2.4) 170 °C sıcaklıkta geçirilmiştir. Ekstruder makinasından çıkan 3 mm çapındaki peletler sonra soğuyup sertleşmesi için soğuk su banyosuna konulmuştur. Soğuma işlemi tamamlandıktan sonra peletler Şekil 2.5’de görülen kırıcıdan (Rondol 3212) geçirilmiştir.

Kırma işlemi ile pelet uzunlukları 5 mm altına düşürülmüştür. Elde edilen bu parçacıklar 24 saat süre ile 103±2 °C sıcaklıkta tekrar kurutulmuştur. Kurutma işleminin ardından parçacıklar kalıp içerisine yerleştirilerek sıcak preste (Gulnar Makina) (Şekil 2.6) 175 °C sıcaklıkta 3 dakika süre ile preslenmiştir. Preslemenin ardından kalıp yük altında soğumaya bırakılmıştır.

Üretilen OPK boyutları 130 x 150 x 5 mm olup, Şekil 2.7, 2.8 ve 2.9’da üretilen kompozit levhalar görülmektedir. Üretilen OPK’lar içerisinde odun unu oranı %40, 50 ve 60 olmak üzere üç farklı formülasyon oluşturulmuştur. Her formülasyon içerisine %0, 1, 3, 5 oranında MAPE ilavesi yapılmıştır. Farklı katılım oranlarında üretilen OPK’ların formülasyonları Çizelge 2.1’de verilmiştir.



**Şekil 2.1.** Willey değirmeni.



**Şekil 2.2.** Sarsak elek.





Şekil 2.3. Laboratuvar tipi mikser.



Şekil 2.4. Ekstruder makinası.



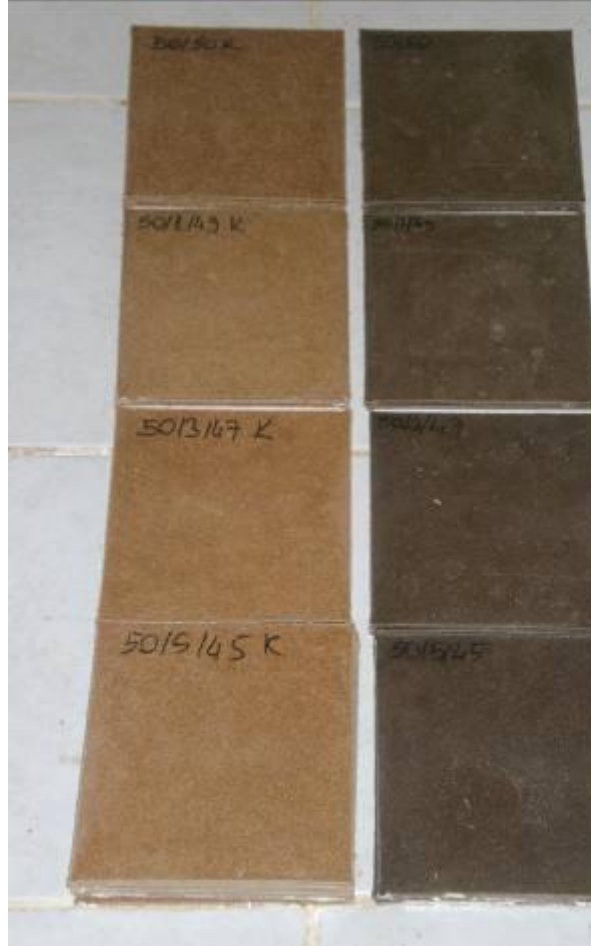
Şekil 2.5. Pelet kırıcı.



Şekil 2.6. Sıcak pres.



**Şekil 2.7.** % 40 Odun unu içeren OPK örnekleri.



**Şekil 2.8.** % 50 Odun unu içeren OPK örnekleri.



**Şekil 2.9.** % 60 Odun unu içeren OPK örnekleri.

**Çizelge 2.1.** Üretilen OPK kompozitlerin formülasyonları.

<b>Grup Numarası</b>	<b>Odun Unu (%)</b>	<b>YYPE (%)**</b>	<b>MAPE (%)***</b>
1 A		60	-
2 A	40	59	1
3 A		57	3
4 A		55	5
1 B		60	-
2 B	40*	59	1
3 B		57	3
4 B		55	5
5 A		50	-
6 A	50	49	1
7 A		47	3
8 A		45	5
5 B		50	-
6 B	50*	49	1
7 B		47	3
8 B		45	5
9 A		40	-
10 A	60	39	1
11 A		37	3
12 A		35	5
9 B		40	-
10 B	60*	39	1
11 B		37	3
12 B		35	5

\* Servis ömrünü tamamlamış CCA'lı ağaç malzeme kullanılan levhalar.

\*\* **YYPE:** Yüksek yoğunluklu polietilen.

\*\*\* **MAPE:** Maleik anhidritle kraftlanmış polietilen.

#### 2.2.4. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Su alma oranı değerleri ASTM D 1037, kalınlık artış oranı değerleri EN 317 standardına göre belirlenmiştir.

Numuneler 50 x 50 x 5 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Seçilen numuneler 24 saat süre ile 103±2 °C kurutulduktan sonra tam kuru ağırlık değerleri ile başlangıç kalınlık değerleri belirlenmiştir.

23 ve 40 °C sıcaklıklarda saf su içerisinde numuneler 2 ve 24 saat bekletildikten sonra ölçümler alınmıştır.

Kalınlık artışı değeri belirlenirken her bir grup için 10 adet numune kullanılmış ve her numune üzerinde 5 nokta belirlenerek ölçümler bu noktalardan 0.0001 mm hassasiyetli Şekil 2.10'da görülen Mitutoyo marka dijital indikatör (Model ID-H0560) ile yapılmıştır. Kalınlık artışı için formül (2.1) kullanılmıştır.



Şekil 2.10. Dijital indikatör.

$$KA (\%) = 100[(K_2 - K_1) / K_1] \quad (2.1)$$

KA = Kalınlık artışı (%)

K<sub>1</sub> = Örnek başlangıç kalınlığı (mm).

K<sub>2</sub> = Örneğin suda bekletildikten sonraki kalınlığı (mm).

Levhaların su alma değerlerinin belirlenmesinde 50 x 50 x 5 mm boyutlarında 5 adet numune kullanılmıştır. Ölçümler sırasında 0,001 g hassasiyetli terazi kullanılmıştır. Su alma değerlerinin belirlenmesinde formül (2.2) kullanılmıştır.

$$SA (\%) = 100[(M_2 - M_1) / M_1] \quad (2.2)$$

SA = Su alma (%)

M<sub>1</sub> = Örnek başlangıç ağırlığı (g).

M<sub>2</sub> = Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g).

### 2.2.5. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Eğilme direnci değerlerinin belirlenmesinde ASTM D 790, çekme direnci değerlerinin belirlenmesinde ASTM D 638, darbe direncinin belirlenmesinde ise ASTM D 256 standardı kullanılmıştır. Testler Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği Anabilim Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerde 10 KN kapasiteli Zwick marka test cihazı kullanılmıştır. Her üç mekanik özellik için 7 örnek ayrı ayrı test edilmiştir. Eğilme direnci testleri için örnekler 5 x 13 x 120 mm olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Test esnasında, dayanaklar arasındaki açıklık 80 mm ve test hızı 2 mm/dak. olarak ayarlanmıştır.

Çekme direnci testleri için 5 x 13 x 165 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır. Test hızı 5 mm/dak. olarak ayarlanmıştır. Şekil 2.11 ve 2.12’de çekme ve eğilme direnci testlerinin ait örneklerin test cihazına yerleştirilmesi görülmektedir.

Darbe direncini belirlenmesinde örneklere çentik açılmıştır. Çentik açma işlemi Polytest RayRan cihazı yardımıyla yapılmıştır (Şekil 2.13). Daha sonra çentikli örnekler Izod darbe direncini belirlemek amacıyla Zwick/Roell HIT 5.5P makinesinde test edilmiştir (Şekil 2.14).

### 2.2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Numunelerin yüzeylerinin görüntülenmesi Zeiss (Model EVO/LS10) marka elektron mikroskobu ile olmuştur. 5 x 13 x 65 mm boyutlarındaki numuneler önce sıvı azot

içerisine batırılmış ve ortadan kırılmıştır. Kırılan yüzey altın ile kaplandıktan sonra yüzey görüntüleri alınmıştır.

## **2.2.7. Isıl özellikler**

### *2.2.7.1. Termogravimetrik Analiz (TGA) ve Türev Termogravimetrik Analiz (DTG)*

TGA analizi için PelkinElmer (Model STA 6000) marka cihaz kullanılmıştır. Test örnekleri 3-5 mg tartıldıktan sonra porselen kroze içerisine konulup cihaza yerleştirilmiştir. Test sırasında sıcaklık oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar 10 °C/dakika oranında arttırılmıştır. Azot gazı akış hızı 20mL/dakika olarak ayarlanmıştır.

Örnek ağırlığında sıcaklıkla meydana gelen değişimin ölçülmesi ile TGA grafikleri elde edilmiştir. DTGA grafikleri ise TGA grafiklerinin sıcaklığa bağlı birinci dereceden türevi alınması ile elde edilmiştir.

### *2.2.7.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)*

DSC analizi için PelkinElmer (Model DSC 4000) marka cihaz kullanılmıştır. Numuneler Alüminyum pan ile kaplandıktan sonra cihaz içerisine yerleştirilmiştir. Test sırasında sıcaklık 250 °C'ye kadar 10 °C/dakika oranında arttırılmıştır. Azot gazı akış hızı 20 mL/min olarak ayarlanmıştır.

## **2.2.8. Yıkama Testi**

Yıkama işlemi AWWA E11-97 standardına göre yapılmıştır. Yıkama işleminde 19 x 19 x 5 mm boyutlarındaki numuneler kullanılmıştır. 500 ml beher içerisine 300 ml deiyonize su konulup her gruptan 6 adet numune beherlere yerleştirilmiştir. Beherler sallantı masasına yerleştirilip hız 250 mm/dakika olarak ayarlanmıştır.

Şekil 2.15'de sallantı masasına yerleştirilen numuneler görülmektedir. Numunelerin beherlere konulmasını izleyen 6, 24,48 ve her 48 saatte bir 10 ml su alınıp aynı miktarda deiyonize su ilave edilmiştir. Bu işleme 14 gün süre ile devam edilmiştir. Bütün deney boyunca toplanan farklı konsantrasyondaki yıkama suları, kaplara konularak 7 °C'deki dolapta her türlü bakteri ve diğer etmenlere karşı korunmuştur.

Yıkama suları içerisindeki CCA miktarı Şekil 2.16'de görülen ICP cihazında yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir.



Şekil 2.11. Çekme direnci örneği.



Şekil 2.12. Eğilme direnci örneği.



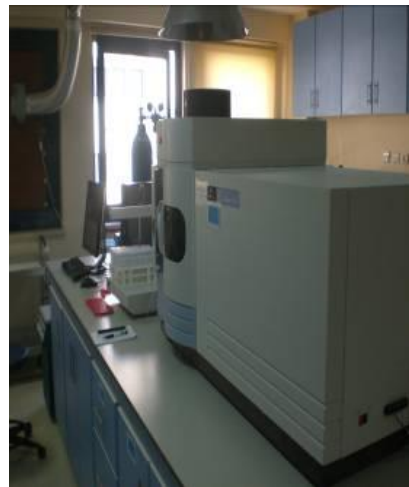
Şekil 2.13. Çentik açılan numuneler.



Şekil 2.14. Darbe direnci testi.



Şekil 2.15. Yıkama örnekleri.



Şekil 2.16. ICP cihazı.

## 2.2.9. Biyolojik Testler

### 2.2.9.1. Mantar Testleri

Mantar testleri EN 113'e göre yapılmıştır. Besi ortamı oluşturmak için 48 gr Malt ekstrakt agar erlen içerisine koyulup saf su ile 1 lt'ye tamamlanmıştır. Karışıma 121 °C de 20 dakika süre ile sterilizasyon işlemi uygulanmıştır. Bunun ardından her bir petri kabı içerisine yaklaşık 17 ml çözelti yerleştirilmiş ve soğumadan sonra mantar miselleri aşılanmıştır. Çürüklük testlerinde *Trametes versicolor* L.Pilat Mad-697 (Beyaz çürüklük mantarı), *Postia placenta* (Fr.) M.J. Larsen & Lombard Mad-698-R ve *Coniophora puteana* (Schumach.:Fr.) P. Karst Mad-15 (Esmer çürüklük mantarları) kullanılmıştır. Çürüklük testi uygulanacak numuneler 20 x 20 x 5 mm boyutlarına getirilip 48 saat boyunca 60±3 °C sıcaklıkta bekletildikten sonra ağırlıkları belirlenmiştir ( $M_{60^{\circ}C-1}$ ). Numuneler petri kaplarına yerleştirilmeden önce misellerin besiy ortamı üzerine tamamen yayılması beklenmiştir. Petri kaplarına yerleştirilecek numunelere 121 °C de 30 dakika sterilizasyon işlemi uygulanmıştır. Her bir grup için 6 örnek kullanılmış olup işlem 4 ay sürmüştür. Petri kaplarından çıkarılan numuneler titizlikle temizlenip nem içeriğinin belirlenmesi için ağırlıkları ölçülmüş ( $M_{60^{\circ}C-3}$ ) ve formül (2.4) ile bu oran belirlenmiştir. Daha sonra 48 saat boyunca 60±3 °C sıcaklıkta bekletilip 0,001 grama duyarlı bir terazide ağırlıkları belirlenerek ( $M_{60^{\circ}C-2}$ ) aşağıdaki formül (2.3) yardımı ile ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Mantarların etkinliğini kontrol etmek için 20 x 20 x 20 mm boyutlarında sarıçam numuneleri petri kaplarına yerleştirilerek mantar tahribatına maruz bırakılmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = [(M_{60^{\circ}C-1} - M_{60^{\circ}C-2}) / M_{60^{\circ}C-1}] \times 100 \quad (2.3)$$

$$\text{Levhaların nem içeriği (\%)} = [(M_{60^{\circ}C-3} - M_{60^{\circ}C-1}) / M_{60^{\circ}C-1}] \times 100 \quad (2.4)$$

### 2.2.9.2. Termit Testleri

Termit deneyi JIS (Japanese Industrial Standard) K 1571 standardına göre yapılmıştır. Testlerde *Coptotermes formosanus* Shiraki termiti kullanılmıştır. Testler Japonya'da Kyoto Üniversitesi'ndeki Sürdürülebilir Hümanosfer Araştırma Enstitüsü'nün'de (RISH) yapılmıştır.



1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A ve 12B grup numaralı levhalardan alınan örnekler teste tabi tutulmuştur. Testlerde 20 x 20 x 5 mm boyutlarındaki 3 adet numune kullanılmıştır. Seçilen levhalar 8 cm çapında ve 6 cm yüksekliğindeki silindirik alt kısmı dış dolgu maddesi ile kaplı nemi geçirebilen plastik kaplara yerleştirilmiştir. Kapların tam ortasına altlık yerleştirilerek örnekler bu altlık üzerine bırakılmıştır. Her kap içerisinde 150 işçi, 15 asker termit laboratuvar kolonisinden seçilip yerleştirilmiştir. Hazırlanan kaplar 28±2 °C sıcaklıkta %80 bağıl nemde 3 hafta boyunca karanlık ortamda bekletilmiştir. Bu süre sonunda levhalarda meydana gelen ağırlık kayıpları ile işçi ve asker termitlerin canlı ve ölü sayıları not edilmiş ve termit ölüm oranları belirlenmiştir.

Termit testinden önce tüm örnekler 60 °C sıcaklık altında 48 saat kurutulmuş ağırlıkları tartılmıştır ( $m_{60^{\circ}\text{C}-1}$ ). Termit deneyi sonunda, bütün örnekler 60°C sıcaklık altında 48 saat kurutulmuş ve yaklaşık 0,01 g hassasiyetteki terazide tartılarak deney sonrası ağırlıkları ( $m_{60^{\circ}\text{C}-2}$ ) tespit edilmiştir. Levhalarda meydana gelen ağırlık kayıpları formül (2.5) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = [(m_{60^{\circ}\text{C}-1} - m_{60^{\circ}\text{C}-2}) / m_{60^{\circ}\text{C}-1}] \times 100 \quad (2.4)$$

$m_{60^{\circ}\text{C}-1}$  = Test öncesi 60°C kurutulmuş ağırlık (g),

$m_{60^{\circ}\text{C}-2}$  = Test sonrası 60°C kurutulmuş ağırlık (g)

Ayrıca deney sonunda termitlerin ortalama tüketim miktarları aşağıdaki formül (2.5) ile hesaplanmıştır.

$$\text{Günlük tüketim oranı ( mg/ termit/gün )} = (m_1 - m_2) / [21 \times (t_1 + t_2) / 2] \times 1000000 \quad (2.5)$$

$m_1$ : Termit deneyinden önce örnek ağırlığı (gr)

$m_2$ : Termit deneyinden sonra örnek ağırlığı (gr)

$t_1$ : Deney öncesi her bir test kabına konulan termit sayısı (150)

$t_2$ : Deney sonrası her bir test kabında kalan canlı termit sayısı

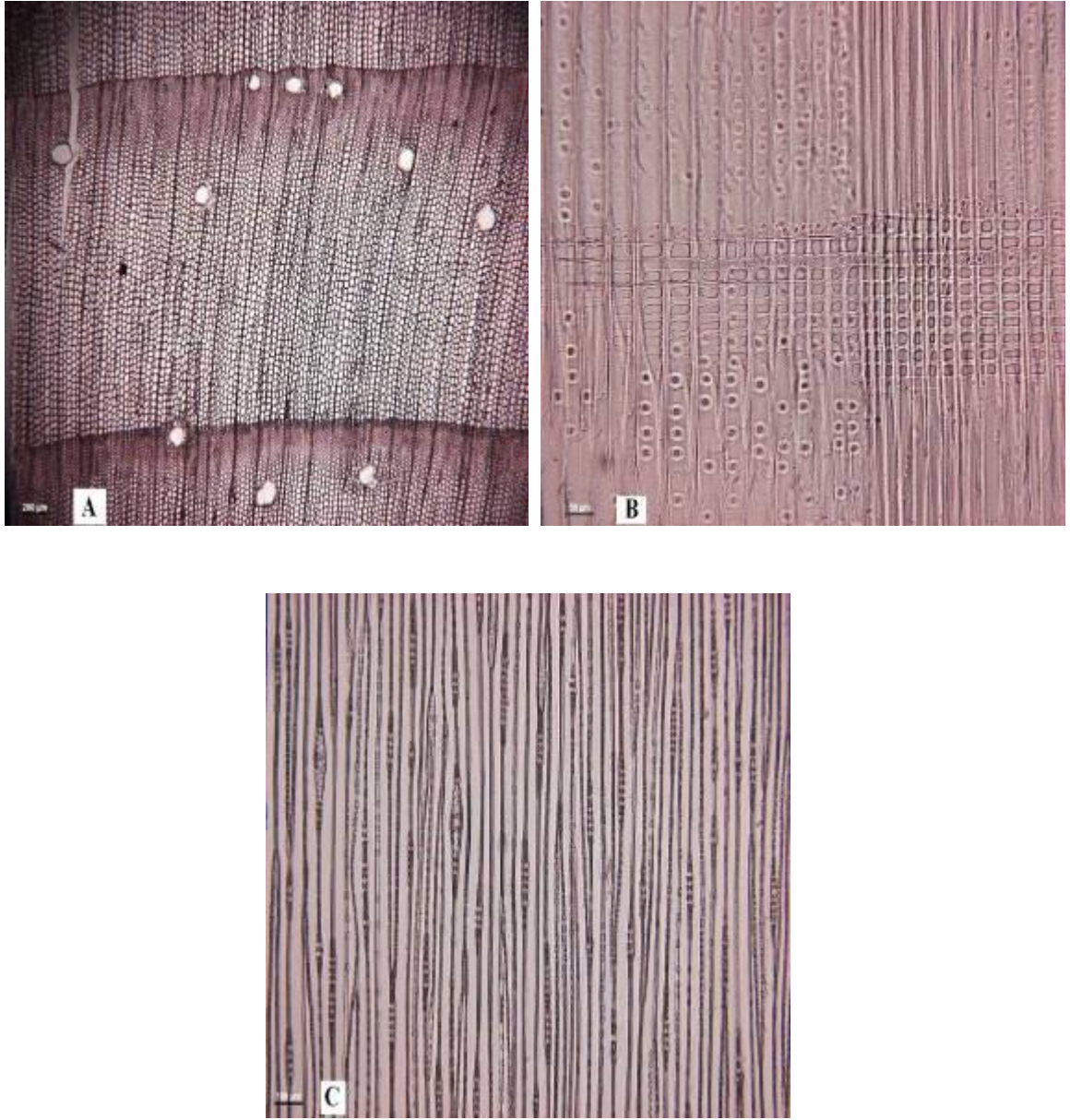
### **2.2.10. İstatistiksel Analiz**

İstatistik analizlerde SPSS (15.0) paket programı kullanılmıştır. ANOVA testi ile değişkenlerin anlamlı olup olmadığı belirlenmiştir. Faktörler arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı bulunduğunda ortalamaların karşılaştırılmasında Duncan testi kullanılmıştır. Analizler %95 güven düzeyinde yapılmıştır.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. TÜR TEŞHİSİNE AİT BULGULAR ve TARTIŞMA

Yapılan anatomik inceleme sonucunda servis ömrünü tamamlayan CCA'lı tel direklerin Sarıçam (*Pinus sylevestris* L.) olduğu tespit edilmiştir. Elektron mikroskobu altında enine, teğet ve radyal yönlerden alınan görüntüler Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Emrenyeli tel direklerine ait enine (A), radyal (B), teğet (C) kesit görüntüleri.

### 3.2. TEL DİREKLERİNDEKİ CCA MİKTARINA AİT BULGULAR

ICP cihazında yapılan analizler sonucunda tel direklerindeki ortalama bakır, krom ve arsenik miktarı sırasıyla 86 ppm, 181 ppm ve 95 ppm olarak belirlenmiştir.

### 3.3 . FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.3.1. Kalınlık Artış Oranı

Üretilen OPK'ların 23 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen kalınlık artışı oranlarının çoğul varyans analiz sonuçları (ÇVA) Çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmiştir. Ayrıca 23 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama kalınlık artışı ve standart sapma değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Levhaların 23°C sıcaklıkta 2 saat için kalınlık artışı oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	12,64	1	12,64	57,55	,000
B	4,57	3	1,52	6,93	,000
Etkileşim A*B	,41	3	,13	,62	,600 <sup>ÖD</sup>
Hata	50,97	232	,22		
Toplam	168,84	240			

\*p<0,05, ÖD: Önemli Değil.

**Çizelge 3.2.** Levhaların 23 °C sıcaklıkta 24 saat için kalınlık artışı oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	8,83	1	8,83	10,15	,002
B	27,97	3	9,32	10,72	,000
Etkileşim A*B	,41	3	,13	,16	,923 <sup>ÖD</sup>
Hata	201,82	232	,87		
Toplam	731,40	240			

\*p<0,05, ÖD: Önemli Değil.

**Çizelge 3.3.** 23 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama kalınlık artışı ve standart sapma değerleri.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Suda Bekleme Süresi	
			2 saat*	24 saat*
1 A	40	0	0,67 (0,47) <i>bcde</i>	1,18 (0,64) <i>abcdefg</i>
1 B		0	0,30 (0,19) <i>ab</i>	0,71 (0,31) <i>abcde</i>
2 A		1	0,57 (0,24) <i>abcde</i>	1,07 (0,61) <i>abcdefg</i>
2 B		1	0,23 (0,14) <i>a</i>	0,54 (0,26) <i>ab</i>
3 A		3	0,38 (0,24) <i>abc</i>	0,75 (0,25) <i>abcde</i>
3 B		3	0,21 (0,18) <i>a</i>	0,56 (0,26) <i>abc</i>
4 A		5	0,40 (0,28) <i>abc</i>	0,59 (0,25) <i>abc</i>
4 B		5	0,21 (0,21) <i>a</i>	0,51 (0,28) <i>a</i>
5 A	50	0	1,08 (0,57) <i>fgh</i>	2,10 (0,52) <i>ijk</i>
5 B		0	0,58 (0,55) <i>abcde</i>	1,54 (0,43) <i>ghi</i>
6 A		1	0,90 (0,42) <i>efg</i>	1,48 (0,43) <i>fghi</i>
6 B		1	0,48 (0,31) <i>abcde</i>	1,35 (0,85) <i>defgh</i>
7 A		3	0,86 (0,49) <i>ef</i>	1,33 (0,61) <i>defgh</i>
7 B		3	0,42 (0,35) <i>abcd</i>	0,81 (0,29) <i>abcdef</i>
8 A		5	0,67 (0,33) <i>bcde</i>	1,22 (0,78) <i>bcdefgh</i>
8 B		5	0,28 (0,19) <i>ab</i>	0,66 (0,36) <i>abcd</i>
9 A	60	0	1,52 (0,94) <i>i</i>	2,92 (1,56) <i>l</i>
9 B		0	0,83 (0,45) <i>def</i>	2,60 (0,63) <i>kl</i>
10 A		1	1,40 (0,66) <i>hi</i>	2,88 (0,82) <i>l</i>
10 B		1	0,59 (0,33) <i>abcde</i>	2,49 (1,18) <i>jkl</i>
11 A		3	1,27 (0,47) <i>ghi</i>	2,58 (1,19) <i>kl</i>
11 B		3	0,47 (0,30) <i>abcde</i>	1,88 (0,71) <i>hij</i>
12 A		5	0,77 (0,32) <i>cdef</i>	1,39 (0,41) <i>efgh</i>
12 B		5	0,40 (0,21) <i>abc</i>	1,24 (0,34) <i>cdefgh</i>

\*Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez üzerindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının kalınlık artışı oranına etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p > 0,05$ )

Tüm levha grupları içerisinde 23 °C sıcaklıkta en yüksek kalınlık artışı değerleri, MAPE kullanılmayan kontrol levhalarında belirlenmiştir. %40, 50, 60 odun unu içeren bu levhalarda 23 °C sıcaklıkta 2 saat sonunda belirlenen kalınlık artışı değerleri sırasıyla 0,67, 1,08, 1,52 olurken bu değerler 24 saat süre sonunda 1,18, 2,10, 2,92 olarak belirlenmiştir.

Üretilen OPK'ların 40 °C sıcaklıkta belirlenen kalınlık artışı oranlarının ÇVA sonuçları Çizelge 3.4 ve 3.5'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının kalınlık artışı oranına etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p > 0,05$ )

**Çizelge 3.4.** Levhaların 40 °C sıcaklıkta 2 saat için kalınlık artışı oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	32,38	1	32,38	73,05	,000
B	6,58	3	2,19	4,95	,002
Etkileşim A*B	1,34	3	,44	1,01	,388 <sup>ÖD</sup>
Hata	102,84	232	,44		
Toplam	408,10	240			

\* $p < 0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

**Çizelge 3.5.** Levhaların 40 °C sıcaklıkta 24saat için kalınlık artışı oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	75,28	1	75,28	30,61	,000
B	110,80	3	36,93	15,01	,000
Etkileşim A*B	12,78	3	4,26	1,73	,161 <sup>ÖD</sup>
Hata	570,57	232	2,45		
Toplam	2429,82	240			

\* $p < 0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

40 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama kalınlık artışı ve standart sapma değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** 40 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama kalınlık artışı ve standart sapma değerleri.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Suda Bekleme Süresi	
			2 saat*	24 saat*
1 A	40	0	0,83 (0,32) <i>ab</i>	1,92 (0,50) <i>def</i>
1 B		0	0,60 (0,27) <i>a</i>	1,95 (0,63) <i>def</i>
2 A		1	0,80 (0,32) <i>ab</i>	1,78 (0,46) <i>bcdef</i>
2 B		1	0,55 (0,34) <i>a</i>	0,94 (0,24) <i>abc</i>
3 A		3	0,82 (0,66) <i>ab</i>	1,42 (0,79) <i>abcde</i>
3 B		3	0,57 (0,57) <i>a</i>	0,86 (0,39) <i>ab</i>
4 A		5	0,67 (0,25) <i>a</i>	1,18 (0,45) <i>abcd</i>
4 B		5	0,44 (0,32) <i>a</i>	0,72 (0,15) <i>a</i>
5 A	50	0	1,50 (0,61) <i>c</i>	3,35 (0,99) <i>h</i>
5 B		0	0,81 (0,60) <i>ab</i>	3,17 (1,81) <i>gh</i>
6 A		1	1,26 (0,24) <i>bc</i>	3,32 (0,60) <i>h</i>
6 B		1	0,67 (0,19) <i>a</i>	1,86 (0,88) <i>cdef</i>
7 A		3	1,27 (0,39) <i>bc</i>	2,43 (0,42) <i>fgh</i>
7 B		3	0,64 (0,24) <i>a</i>	1,57 (0,46) <i>abcdef</i>
8 A		5	1,26 (0,50) <i>bc</i>	2,35 (0,66) <i>efg</i>
8 B		5	0,56 (0,23) <i>a</i>	1,46 (0,46) <i>abcde</i>
9 A	60	0	2,62 (0,88) <i>d</i>	6,72 (1,44) <i>j</i>
9 B		0	1,25 (0,31) <i>bc</i>	4,38 (0,93) <i>i</i>
10 A		1	2,46 (0,93) <i>d</i>	6,15 (1,22) <i>j</i>
10 B		1	0,78 (0,46) <i>ab</i>	3,17 (0,89) <i>gh</i>
11 A		3	2,32 (0,65) <i>d</i>	5,10 (1,33) <i>i</i>
11 B		3	0,64 (0,45) <i>a</i>	2,54 (0,34) <i>fgh</i>
12 A		5	1,20 (0,87) <i>bc</i>	2,55 (2,31) <i>fgh</i>
12 B		5	0,69 (0,33) <i>a</i>	2,21 (0,40) <i>ef</i>

\*Sutunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

Tüm levha grupları içerisinde 40 °C sıcaklıkta en yüksek kalınlık artışı değerleri, MAPE kullanılmayan kontrol levhalarında belirlenmiştir. %40, 50, 60 odun unu içeren bu levhalarda 40°C sıcaklıkta 2 saat sonunda belirlenen kalınlık artışı değerleri sırasıyla 0,83, 1,50, 2,62 olurken bu değerler 24 saat süre sonunda 1,92, 3,35, 6,72 olarak belirlenmiştir.

Genel olarak tüm levha gruplarında odun unu kullanım oranının artması ile kalınlık artışı değerlerinde buna paralel bir artış olduğu belirlenmiştir.

Bilindiği gibi lignoselülozik malzemeler bünyesinde bulunan hidroksil gruplarından dolayı hidrofilik özellik göstermektedir. Bunun için odun unu oranının artması ile levhaların kalınlık artışı değerlerinde yükselmeler olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca odun unu kullanım oranının artması ile plastik malzeme ve lignoselülozik materyal arasındaki bağlanmanın (enkapsülasyon) zayıfladığı dolayısı ile suyun lignoselülozik materyale daha kolay ulaştığı bilinmektedir (Rowell ve diğ. 2002, San ve diğ. 2008).

Levha üretiminde MAPE kullanımı ile kalınlık artışı değerlerin düştüğü belirlenmiştir. MAPE kullanımı ile lignoselülozik malzeme ve plastik arasındaki bağlanma güçlenmektedir. Böylece plastik su ile lignoselülozik malzeme arasında blok oluşturmaktadır (Lu ve ark 2000). Lignoselülozik madde üzerinde meydana gelen bu bloğun kalınlık artışı oranını azalttığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalarda CCA'lı ağaç malzeme kullanılarak üretilen kompozit levhaların kalınlık artışı değerleri kontrol grubu kompozit levhaların kalınlık artışı değerlerinden daha düşük çıktığı belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak da levha ağaç malzeme içerisinde bulunan CCA'nın varlığı gösterilebilir. (Clausen ve diğ. 2000, Kamdem ve diğ. 2004, Li ve diğ. 2004). Belirlenen kalınlık artışı değerleri bu anlamda literatürle paralellik göstermektedir.

### **3.3.2. Su alma Oranı**

Üretilen OPK'ların 23 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen su alma oranlarına ait ÇVA sonuçları Çizelge 3.7 ve 3.8'de, 23 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama su alma ve standart sapma değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının



su alma oranlarına etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

23 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen su alma oranı ve standart sapma değerleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Tüm levha grupları içerisinde en yüksek su alma oranı değerleri MAPE kullanılmayan kontrol levhalarında belirlenmiştir. %40, 50, 60 odun unu içeren bu levhalarda 23°C sıcaklıkta 2 saat sonunda belirlenen en yüksek su alma oranı değerleri sırasıyla 0,32, 0,77, 0,97, olurken bu değerler 24 saat süre sonunda 0,75, 1,58, 2,39 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.7.** Levhaların 23 °C sıcaklıkta 2 saat için su alma oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	,41	1	,41	11,70	,001
B	1,33	3	,44	12,64	,000
Etkileşim A*B	,19	3	,06	1,84	,143 <sup>ÖD</sup>
Hata	3,93	112	,03		
Toplam	24,79	120			

\* $p<0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

**Çizelge 3.8.** Levhaların 23 °C sıcaklıkta 24 saat için su alma oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	,78	1	,78	1,81	,018
B	6,75	3	2,25	5,21	,002
Etkileşim A*B	,64	3	,21	,49	,687 <sup>ÖD</sup>
Hata	48,39	112	,43		
Toplam	231,302	120			

\* $p<0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

**Çizelge 3.9.** 23 °C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama su alma ve standart sapma değerleri.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Suda Bekleme Süresi	
			2 saat*	24 saat*
1 A	40	0	0,32 (0,03) <i>bcd</i>	0,75 (0,18) <i>cd</i>
1 B		0	0,21 (0,06) <i>ab</i>	0,63 (0,16) <i>abcd</i>
2 A		1	0,31 (0,07) <i>bcd</i>	0,63 (0,11) <i>bcd</i>
2 B		1	0,24 (0,02) <i>abc</i>	0,60 (0,04) <i>abcd</i>
3 A		3	0,30 (0,08) <i>abcde</i>	0,45 (0,07) <i>ab</i>
3 B		3	0,25 (0,06) <i>abcd</i>	0,57 (0,09) <i>abc</i>
4 A		5	0,22 (0,01) <i>ab</i>	0,40 (0,09) <i>a</i>
4 B		5	0,17 (0,02) <i>a</i>	0,45 (0,01) <i>ab</i>
5 A	50	0	0,77 (0,01) <i>hi</i>	1,58 (0,06) <i>h</i>
5 B		0	0,30 (0,18) <i>abcde</i>	1,55 (0,09) <i>gh</i>
6 A		1	0,41 (0,04) <i>ef</i>	0,99 (0,13) <i>ef</i>
6 B		1	0,26 (0,04) <i>abcd</i>	0,99 (0,07) <i>ef</i>
7 A		3	0,39 (0,04) <i>ef</i>	1,13 (0,36) <i>f</i>
7 B		3	0,25 (0,06) <i>abcd</i>	0,77 (0,13) <i>cde</i>
8 A		5	0,37 (0,11) <i>def</i>	0,84 (0,10) <i>de</i>
8 B		5	0,18 (0,17) <i>a</i>	0,69 (0,01) <i>cd</i>
9 A	60	0	0,97 (0,03) <i>j</i>	2,39 (0,31) <i>j</i>
9 B		0	0,80 (0,12) <i>i</i>	2,37 (0,26) <i>j</i>
10 A		1	0,54 (0,21) <i>g</i>	2,36 (0,08) <i>j</i>
10 B		1	0,67 (0,16) <i>h</i>	2,12 (0,39) <i>i</i>
11 A		3	0,47 (0,30) <i>fg</i>	2,34 (0,09) <i>j</i>
11 B		3	0,39 (0,04) <i>ef</i>	1,33 (0,19) <i>g</i>
12 A		5	0,40 (0,01) <i>ef</i>	1,58 (0,09) <i>h</i>
12 B		5	0,35 (0,06) <i>cdef</i>	1,43 (0,64) <i>gh</i>

\*Sutunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

Üretilen OPK'ların 40 °C sıcaklıkta belirlenen su alma oranlarına ait ÇVA sonuçları Çizelge 3.10 ve 3.11'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının su alma oranlarına etkisi yüksek güven

düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

40 °C 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama su alma ve standart sapma değerleri Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Tüm levha grupları içerisinde en yüksek su alma oranı değerleri MAPE kullanılmayan kontrol levhalarında belirlenmiştir. %40, 50, 60 odun unu içeren bu levhalarda 40 °C sıcaklıkta 2 saat sonunda belirlenen en yüksek su alma oranı değerleri sırasıyla 0,49, 1,17, 2,40 olurken bu değerler 24 saat süre sonunda 1,38, 3,68, 6,60 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.10.** Levhaların 40°C sıcaklıkta 2 saat için su alma oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları.

<b>Varyans Kaynağı</b>	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>Serbestlik Derecesi</b>	<b>Kareler Ortalaması</b>	<b>F- Oranı</b>	<b>P- Değeri*</b>
A	8,62	1	8,62	26,50	,000
B	3,53	3	1,17	3,61	,005
Etkileşim A*B	,16	3	,05	,17	,917 <sup>ÖD</sup>
Hata	36,44	112	,32		
Toplam	134,73	120			

\* $p<0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

**Çizelge 3.11.** Levhaların 40°C sıcaklıkta 24 saat için su alma oranlarına ait çoğul varyans analiz sonuçları.

<b>Varyans Kaynağı</b>	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>Serbestlik Derecesi</b>	<b>Kareler Ortalaması</b>	<b>F- Oranı</b>	<b>P- Değeri*</b>
A	15,61	1	15,61	4,86	,029
B	53,17	3	17,72	5,52	,001
Etkileşim A*B	3,21	3	1,07	,33	,801 <sup>ÖD</sup>
Hata	359,43	112	3,20		
Toplam	1343,84	120			

\* $p<0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

**Çizelge 3.12.** 40°C sıcaklıkta 2 ve 24 saat sonunda belirlenen ortalama su alma ve standart sapma değerleri.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Suda Bekleme Süresi	
			2 saat*	24 saat*
1 A	40	0	0,49 (0,07) <i>ef</i>	1,38 (0,41) <i>b</i>
1 B		0	0,39 (0,01) <i>cd</i>	1,43 (0,22) <i>bc</i>
2 A		1	0,43 (0,05) <i>de</i>	1,44 (0,26) <i>bc</i>
2 B		1	0,37 (0,14) <i>bcd</i>	0,98 (0,06) <i>a</i>
3 A		3	0,39 (0,04) <i>cd</i>	0,96 (0,08) <i>a</i>
3 B		3	0,29 (0,03) <i>ab</i>	0,94 (0,10) <i>a</i>
4 A		5	0,29 (0,01) <i>ab</i>	0,89 (0,06) <i>a</i>
4 B		5	0,23 (0,06) <i>a</i>	0,84 (0,13) <i>a</i>
5 A	50	0	1,17 (0,01) <i>j</i>	3,68(0,15) <i>h</i>
5 B		0	0,69 (0,01) <i>h</i>	2,91 (0,06) <i>f</i>
6 A		1	0,82 (0,26) <i>i</i>	2,19 (0,29) <i>d</i>
6 B		1	0,53 (0,01) <i>fg</i>	2,10 (0,06) <i>d</i>
7 A		3	0,80 (0,03) <i>i</i>	2,11 (0,01) <i>d</i>
7 B		3	0,42 (0,02) <i>de</i>	1,53 (0,21) <i>bc</i>
8 A		5	0,58 (0,07) <i>g</i>	1,65 (0,53) <i>c</i>
8 B		5	0,32 (0,02) <i>abc</i>	1,35 (0,17) <i>b</i>
9 A	60	0	2,40 (0,05) <i>o</i>	6,60 (0,38) <i>l</i>
9 B		0	1,44 (0,16) <i>k</i>	6,43 (0,29) <i>kl</i>
10 A		1	2,22 (0,04) <i>n</i>	6,23 (0,35) <i>k</i>
10 B		1	0,87 (0,08) <i>i</i>	4,33 (0,34) <i>j</i>
11 A		3	2,10 (0,09) <i>m</i>	6,22 (0,26) <i>k</i>
11 B		3	0,70 (0,04) <i>h</i>	3,24 (0,03) <i>g</i>
12 A		5	1,64 (0,02) <i>l</i>	4,04 (0,03) <i>i</i>
12 B		5	0,68 (0,08) <i>h</i>	2,65 (0,03) <i>e</i>

\*Sutunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (p<0,05), parantez üzerindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

Genel olarak tüm levha gruplarında su alma oranları, kalınlık artışı değerlerinde olduğu gibi odun unu kullanım oranının artması ile artış göstermiştir. Levha üretiminde CCA'lı

ağaç malzeme ve MAPE kullanımı ile su alma oranı değerlerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir.

MAPE kullanımı ile plastik malzeme ve lignoselülozik materyal arasındaki bağlanma güçlenmekte ve buna bağlı olarak su alma oranı değerlerinin azaldığı düşünülmektedir (Clausen ve diğ. 2000, Lu ve diğ. 2000, Li ve diğ. 2004).

Yapılan çalışmalarda CCA emprenye maddesinin bir kısmının ağaç malzemedeki lignin ile reaksiyona girdiği, kalan kısmın ise karbonhidratlarla özellikle selüloz ile zayıfda olsa bağ yaptığı rapor edilmiştir. Su alma değerlerindeki azalmanın bir başka nedeni meydana gelen bu zayıf bağlar olabilir (Pizzi 1983, Pizzi 1990, Pizzi 1990a).

Su alma ve kalınlık artış değerleri sıcaklığın 23°C'den 40 °C'ye çıkarılması ile belirgin bir artış göstermiştir. Yapılan çalışmalarda sıcaklık artışı ile levha yüzeylerinde bulunan mikro ölçekli çatlak ve yarıkların arttığı bildirilmiştir (Stokke ve Gardner 2003, Zabihzadeh 2010). Levha yüzeylerindeki çatlak ve yarıkların sıcaklık artışına paralel olarak artması ile suyun OPK'lar içerisindeki lignoselülozik maddeye daha kolay ulaştığı ve buna bağlı olarak da su alma ve kalınlık artış değerlerinde yükselmeler meydana geldiği düşünülmektedir.

### **3.4.MEKANİK ÖZELLİKLERE AİT BULGULAR ve TARTIŞMA**

#### **3.4.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü**

Üretilen OPK'ların eğilme direnci değerlerine ait ÇVA sonuçları Çizelge 3.13'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A), MAPE (B) kullanımının ve A\*B etkileşiminin eğilme direnci değerlerine etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ).

Üretilen OPK'ların eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait ÇVA sonuçları Çizelge 3.14'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A), MAPE (B) kullanımının eğilmede elastikiyet modülü değerlerine etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

**Çizelge 3.13.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının eğilme direnci üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	80,20	1	80,20	9,47	,002
B	2620,71	3	873,57	103,24	,000
Etkileşim A*B	136,22	3	45,40	5,36	,002
Hata	1353,82	160	8,46		
Toplam	157076,83	168			

\*p<0,05.

**Çizelge 3.14.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	526480,70	1	526480,70	17,62	,000
B	2689271,95	3	896423,98	30,00	,000
Etkileşim A*B	107777,31	3	35925,77	1,20	,311 <sup>ÖD</sup>
Hata	4779663,99	160	29872,90		
Toplam	661656908,6	168			

\*p<0,05, ÖD: Önemli Değil.

Yapılan mekanik testler sonucunda eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri ile bu değerlere ait standart sapma değerleri Çizelge 3.15’de verilmiştir.

Çizelge 3.15’de görüldüğü gibi levha içerisinde lignoselülozik materyal oranının artması ile tüm levha gruplarında eğilme direnci değeri azalma göstermiştir. %40, 50, 60 oranında odun unu kullanılan levha grupları içerisinde en yüksek eğilme direnci değerine, içeriğinde CCA’lı ağaç malzeme ve %5 MAPE bulunan levhalarda ulaşılmıştır. Bu değerler sırası ile 39,08, 38,93, 34,21 MPa olarak belirlenmiştir.

Lignoselülozik materyallerin hidrofik özellikte oluşu, plastik malzemenin hidrofob yapıda olmasından dolayı yüzeyler arasındaki uyumsuzluk, iki malzeme arasındaki bağlanmayı olumsuz etkilemektedir. Dolayısı ile levha içerisindeki lignoselülozik madde oranının artması ile eğilme direnci değeri düşmektedir. Bununla birlikte levha

içerisindeki plastik oranı artışı ile eğilme direncinin doğru orantılı olarak değiştiği bilinmektedir (Klyosov 2007, Mengeloğlu ve Karakuş 2008).

**Çizelge 3.15.** Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Eğilme Direnci (MPa)*	Eğilmede Elastikiyet Modülü (GPa)*
1 A	40	0	28,06 (0,66) <i>f</i>	1,72 (0,09) <i>ab</i>
1 B		0	29,17 (1,63) <i>gh</i>	1,79 (0,11) <i>abc</i>
2 A		1	30,36 (0,52) <i>ij</i>	1,75 (0,04) <i>abc</i>
2 B		1	30,99 (0,85) <i>j</i>	1,81 (0,09) <i>abcd</i>
3 A		3	33,66 (0,33) <i>l</i>	1,82 (0,01) <i>abcd</i>
3 B		3	34,29 (0,96) <i>lm</i>	1,87 (0,11) <i>bcdef</i>
4 A		5	36,49 (0,83) <i>n</i>	1,96 (0,05) <i>efg</i>
4 B		5	39,08 (0,34) <i>o</i>	1,98 (0,06) <i>efg</i>
5 A	50	0	25,08 (0,90) <i>d</i>	1,75 (0,27) <i>abc</i>
5 B		0	25,15 (0,97) <i>d</i>	1,85 (0,13) <i>bcde</i>
6 A		1	28,45 (1,18) <i>fg</i>	1,94 (0,09) <i>defg</i>
6 B		1	30,63 (0,34) <i>ij</i>	1,99 (0,09) <i>efg</i>
7 A		3	32,09 (0,97) <i>k</i>	1,97 (0,08) <i>efg</i>
7 B		3	32,61 (1,46) <i>k</i>	2,06 (0,09) <i>g</i>
8 A		5	34,98 (1,04) <i>m</i>	2,01 (0,19) <i>fg</i>
8 B		5	38,93 (1,51) <i>o</i>	2,23 (0,23) <i>h</i>
9 A	60	0	22,08 (1,30) <i>b</i>	1,88 (0,09) <i>cdef</i>
9 B		0	21,04 (0,97) <i>a</i>	1,86 (0,11) <i>bcdef</i>
10 A		1	23,64 (0,85) <i>c</i>	1,98 (0,19) <i>efg</i>
10 B		1	24,30 (1,39) <i>cd</i>	2,04 (0,07) <i>g</i>
11 A		3	26,32 (1,46) <i>e</i>	1,99 (0,09) <i>efg</i>
11 B		3	32,70 (1,71) <i>k</i>	2,39 (0,19) <i>i</i>
12 A		5	29,61 (1,61) <i>hi</i>	2,24 (0,09) <i>h</i>
12 B		5	34,21 (1,59) <i>lm</i>	2,41 (0,12) <i>i</i>

\*Sutunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez üzerindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

MAPE kullanımı ile eğilme direnci değerlerinde yükselmeler meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda MAPE'nin lignoselülozik materyal üzerindeki hidroksil gruplarına bağlanmak suretiyle yüzeyler arasındaki uyumsuzluğu giderdiği ve buna bağlı olarak da bağlanmanın iyileştiği bilinmektedir (Sanadi ve diğ. 1995, Sanadi ve diğ. 1997, Lu ve diğ. 2000).

CCA'lı ağaç malzemenin üretilen OPK'ların eğilme direnci değerleri kontrol grubu levhalarının eğilme direnci değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Yapılan çalışmalarda CCA ile işlem görmüş ağaç malzeme yüzeyinin hidrofobik hale geldiği bildirilmiştir (Kamdem ve Maldas 1998, Kamdem ve diğ. 2004). Bu durumda yüzeyler arasındaki uyumsuzluk ortadan kalkmakta ve daha güçlü bir bağlanma sağlanmaktadır. Eğilme direnci değerlerindeki artışın bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tüm levha gruplarında eğilmede elastikiyet modülü değeri ise eğilme direncinin tersine levha içerisindeki lignoselülozik materyal oranının artması ile artış göstermiştir. %40, 50, 60 oranında odun unu kullanılan levha grupları içerisinde en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerine içeriğinde CCA'lı ağaç malzeme ve %5 MAPE kullanılan OPK'larda ulaşılmıştır. Bu değerler sırasıyla 1,98, 2,23, 2,41 GPa olarak belirlenmiştir.

Levha içerisindeki lignoselülozik materyal oranının artması ile eğilmede elastikiyet modülü değerinin artması karışım kuralı ile açıklanabilir (Matuana ve Balatinecz 1998). Levha içerisinde kullanılan odun ununun elastikiyet modülü değeri plastik malzemenin elastikiyet modülü değerinden daha yüksektir. Dolayısıyla iki malzemenin karıştırılması ile oluşan levhalarda odun unu oranının artması ile elastikiyet modülü değeri artmıştır. CCA'lı ağaç malzeme ve MAPE'nin kullanımı eğilme direncinde olduğu gibi eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde de artmaya sebep olmuştur.

#### **3.4.2. Çekme Direnci ve Çekmede Elastikiyet Modülü**

Üretilen OPK'ların çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü değerlerine ait ÇVA sonuçları Çizelge 3.16 ve 3.17'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A), MAPE (B) kullanımının ve A\*B etkileşiminin çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü değerlerine etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ).



**Çizelge 3.16.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının çekme direnci üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	19,69	1	19,69	6,12	,014
B	731,22	3	243,74	75,75	,000
Etkileşim A*B	35,70	3	11,90	3,70	,013
Hata	514,77	160	3,21		
Toplam	33475,52	168			

\*p<0,05.

**Çizelge 3.17.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının çekmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	15593,66	1	15593,66	8,06	,005
B	822795,57	3	274265,19	141,87	,000
Etkileşim A*B	18039,03	3	6013,01	3,11	,028
Hata	309308,47	160	1933,17		
Toplam	58334713,44	168			

\*p<0,05.

Yapılan mekanik testler sonucunda çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü değerleri ile bu değerlere ait standart sapma değerleri Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Çizelge 3.18’de görüldüğü gibi levha içerisinde lignoselülozik materyal oranının artması ile tüm levha gruplarında çekme direnci değeri azalma göstermiştir. %40, 50, 60 oranında odun unu kullanılan levha grupları içerisinde en yüksek çekme direnci değerine içeriğinde CCA’lı ağaç malzeme ve %5 MAPE bulunan levhalarda ulaşılmıştır. Bu değerler sırası ile 19,48, 17,38, 15,87 MPa olarak belirlenmiştir.

Lignoselülozik materyal ile plastik yüzeyler arasındaki uyum probleminden dolayı levha içerisinde odun unu oranının artması ile çekme direnci değerlerinde eğilme direncinde olduğu gibi azalmalar görülmüştür.

**Çizelge 3.18.** Çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü değerleri.

Grup İsmi	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Çekme direnci (MPa)*	Çekmede elastikiyet modülü (GPa)*
1 A	40	0	13,09 (0,34) <i>f</i>	0,50 (0,03) <i>c</i>
1 B		0	13,82 (0,57) <i>gh</i>	0,54 (0,03) <i>d</i>
2 A		1	14,18 (0,46) <i>hi</i>	0,59(0,03) <i>ef</i>
2 B		1	15,10 (0,31) <i>k</i>	0,58(0,01) <i>ef</i>
3 A		3	15,91 (0,43) <i>l</i>	0,59(0,02) <i>ef</i>
3 B		3	17,39 (0,46) <i>m</i>	0,60(0,02) <i>fg</i>
4 A		5	17,56 (0,29) <i>m</i>	0,60(0,07) <i>fg</i>
4 B		5	19,48 (0,32) <i>n</i>	0,63 (0,09) <i>gh</i>
5 A	50	0	10,98 (0,19) <i>d</i>	0,44 (0,01) <i>b</i>
5 B		0	11,35 (0,36) <i>d</i>	0,50 (0,01) <i>c</i>
6 A		1	12,13 (0,54) <i>e</i>	0,56 (0,02) <i>de</i>
6 B		1	13,64 (0,25) <i>g</i>	0,59 (0,01) <i>ef</i>
7 A		3	14,86 (0,41) <i>jk</i>	0,60 (0,03) <i>fg</i>
7 B		3	14,78 (0,15) <i>jk</i>	0,62 (0,01) <i>gh</i>
8 A		5	15,96 (0,81) <i>l</i>	0,69 (0,02) <i>i</i>
8 B		5	17,38 (0,80) <i>m</i>	0,69 (0,02) <i>i</i>
9 A	60	0	8,58 (0,91) <i>a</i>	0,40 (0,02) <i>a</i>
9 B		0	9,60 (0,41) <i>b</i>	0,46 (0,02) <i>b</i>
10 A		1	10,13 (0,32) <i>c</i>	0,54 (0,01) <i>d</i>
10 B		1	10,20 (0,66) <i>c</i>	0,54 (0,02) <i>d</i>
11 A		3	11,92 (0,42) <i>e</i>	0,58 (0,02) <i>ef</i>
11 B		3	14,47 (0,29) <i>ij</i>	0,69 (0,01) <i>i</i>
12 A		5	13,67 (0,35) <i>g</i>	0,65 (0,01) <i>h</i>
12 B		5	15,87 (0,96) <i>l</i>	0,72 (0,04) <i>i</i>

\*Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez üzerindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

Farklı ağaç türlerinin kullanıldığı çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Chan ve Balke 1997, Mengeloğlu ve diğ. 2008).

OPK üretiminde MAPE kullanımı ile yüzeyler arasındaki bağlanma probleminin giderildiği yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Sain ve Panthapulakkal 2006, Yang

ve diğ. 2007). Çalışmada elde edilen veriler literatürdeki verilerle paralellik göstermektedir.

Tüm levha gruplarında çekmede elastikiyet modülü değerleri ise çekme direncinin tersine levha içerisindeki lignoselülozik materyal oranının artması ile artış göstermiştir. %40, 50, 60 oranında odun unu kullanılan levha grupları içerisinde en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerine, içeriğinde CCA'lı odun unu ve %5 MAPE bulunan levhalarda ulaşılmıştır. Bu değerler sırası ile 0,63, 0,69, 0,72 GPa olarak belirlenmiştir.

Levha içerisindeki lignoselülozik materyal oranının artması ile eğilmede elastikiyet modülünde olduğu gibi çekmede elastikiyet modülü değerlerini de arttırmıştır. Levha içerisinde kullanılan odun ununun elastikiyet modülü değeri plastik malzemenin elastikiyet modülü değerinden daha yüksektir. Dolayısı ile iki malzemenin karıştırılması ile oluşan levhalarda odun unu oranının artması ile çekmede elastikiyet modülü değeri artmıştır (Matuana ve Balatinecz 1998).

CCA'lı ağaç malzeme ve MAPE kullanılan OPK'ların çekmede elastikiyet modülü değerlerindeki artış kontrol grubu levhalarının çekmede elastikiyet modülü değerlerinde meydana gelen artıştan daha fazladır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen veriler çalışmayı desteklemektedir (Li ve Matuana 2003, Wang ve diğ. 2003).

### **3.4.3. Darbe Direnci**

Üretilen OPK'ların darbe direnci değerlerine ait ÇVA sonuçları Çizelge 3.19'da verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının şok direnci değerlerine etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ).

Levhaların darbe direnci ve standart sapma değerleri Çizelge 3.20'de verilmiştir. Levha içerisinde lignoselülozik materyal oranının artması ile tüm levha gruplarında şok direnci değeri azalma göstermiştir. %40, 50, 60 oranında odun unu kullanılan levha grupları içerisinde en yüksek darbe direnci değerine, MAPE kullanılmayan kontrol grubu OPK'larda ulaşılmıştır. Bu değerler sırası ile 59,35, 44,23, 36,91 J/m olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.19.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının darbe direnci üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	652,38	1	652,38	13,53	,000
B	675,84	3	225,28	4,67	,004
Etkileşim A*B	63,16	3	21,05	,43	,727 <sup>ÖD</sup>
Hata	7712,95	160	48,20		
Toplam	285157,43	168			

\*p<0,05, ÖD: Önemli Değil.

Aynı oranlarda üretilen levha grupları içerisinde en düşük darbe direnci değerlerine, içeriğinde CCA'lı ağaç malzeme ve %5 oranında MAPE kullanılan OPK'da ulaşılmıştır. Bu değerler sırası ile 44,03, 37,55, 29,83 J/m olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda OPK üretiminde uyum sağlayıcı madde kullanımının artırılmasının levhayı daha sert ve gevrek bir hale getirdiği rapor edilmiştir (Matuana ve Balatinecz 1998, Mengeloğlu ve diğ. 2000, Tufan 2008). Dolayısı ile levhalar içerisinde MAPE artması ile hem kontrol grubu hemde CCA'lı ağaç malzemenin üretilen OPK'ların şok direnci değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

Bununla birlikte masif ağaç malzemenin emprenye işlemi sonrasında mekanik özelliklerinin değiştiği bilinmektedir. Mekanik özelliklerdeki bu değişim emprenye maddesinin kimyasal yapısı ve fiksasyon reaksiyonları ile ilgilidir. pH 1,6-2,5 arasında olan emprenye maddeleri odun şekerleri ile hidrolitik azalma tepkisi yaparak hücre çeperi maddeleri ile etkileşime girmektedir. Ayrıca emprenye öncesi ve fiksasyon sırasında uygulanan sıcaklık ağaç malzemedeki meydana gelen bu hidrolitik reaksiyonları hızlandırarak mekanik özelliklerde değişime neden olmaktadır (Barnes 1985, Winandy 1995).

Yapılan çalışmalarda eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin suda çözünen emprenye maddeleri ile emprenye işlemi sonrasında etkilenmediği (Temiz ve diğ. 2004) ya da %5-10 oranında arttığı belirtilmiştir (Burmeister ve Becker 1963, Becker 1966). Fakat darbe direnci değerlerinin genel olarak azaldığı bildirilmiştir. Özellikle belli süre açık alanda kullanımda kalan ağaç malzemenin darbe direnci

değerlerindeki %20'ye varan azalmalar belirlenmiştir (Burmeister ve Becker 1963, Burmeister 1970).

**Çizelge 3.20.** Darbe direnci değerleri

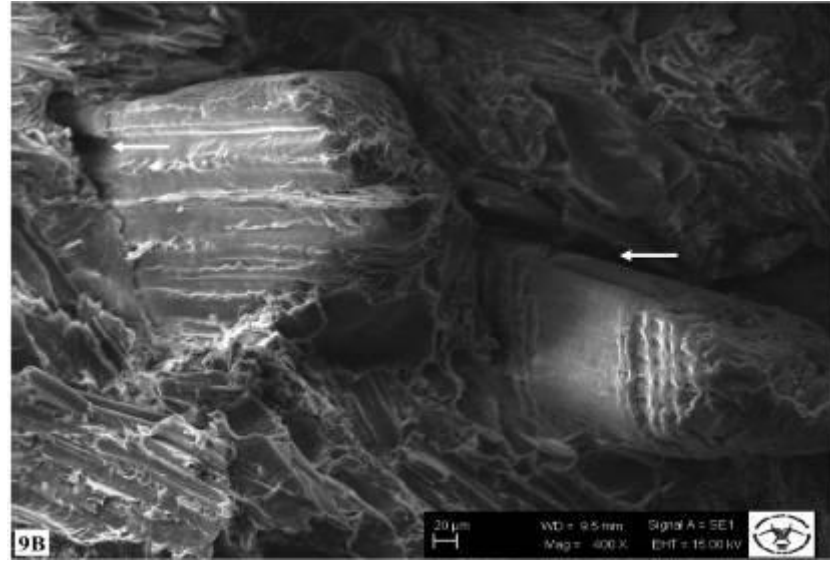
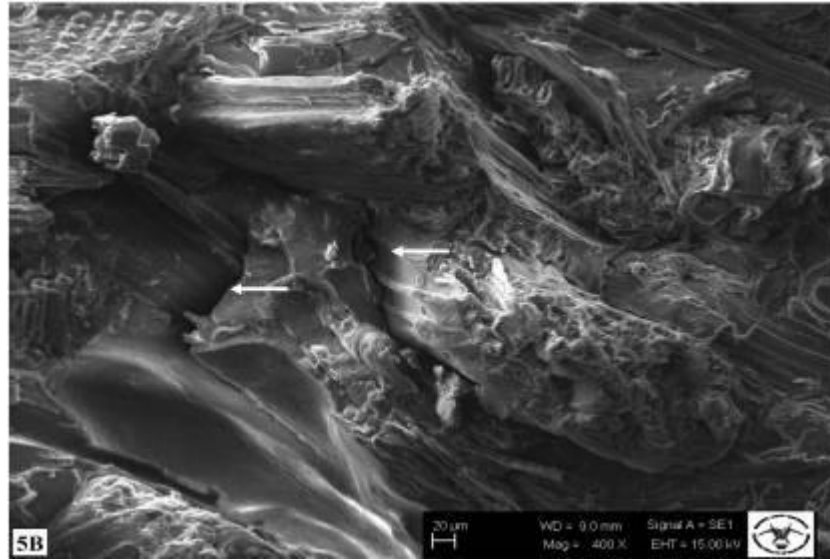
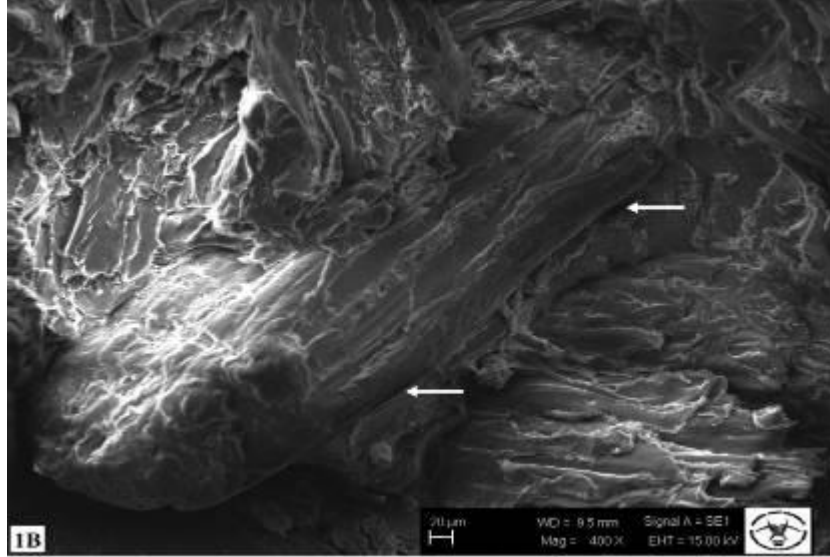
<b>Grup Numarası</b>	<b>Odun Unu (%)</b>	<b>MAPE (%)</b>	<b>Şok direnci (MPa)*</b>
1 A	40	0	59,35 (3,84) <i>k</i>
1 B		0	49,94 (2,94) <i>j</i>
2 A		1	48,35 (2,66) <i>ij</i>
2 B		1	44,29 (2,31) <i>fg</i>
3 A		3	47,82 (1,72) <i>hi</i>
3 B		3	44,99 (1,73) <i>fg</i>
4 A		5	46,12 (2,39) <i>gh</i>
4 B		5	44,93 (0,90) <i>fg</i>
5 A	50	0	44,23 (2,83) <i>fg</i>
5 B		0	38,02 (1,37) <i>e</i>
6 A		1	43,30 (3,31) <i>f</i>
6 B		1	37,27 (2,26) <i>e</i>
7 A		3	43,40 (1,99) <i>f</i>
7 B		3	37,45 (0,75) <i>e</i>
8 A		5	43,95 (2,59) <i>f</i>
8 B		5	37,55 (1,21) <i>e</i>
9 A	60	0	36,91(1,29) <i>e</i>
9 B		0	34,96 (0,35) <i>d</i>
10 A		1	34,13 (2,63) <i>cd</i>
10 B		1	32,55 (1,72) <i>bc</i>
11 A		3	32,53 (1,50) <i>bc</i>
11 B		3	31,01 (1,53) <i>ab</i>
12 A		5	30,51 (1,16) <i>ab</i>
12 B		5	29,83 (3,25) <i>a</i>

\*Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

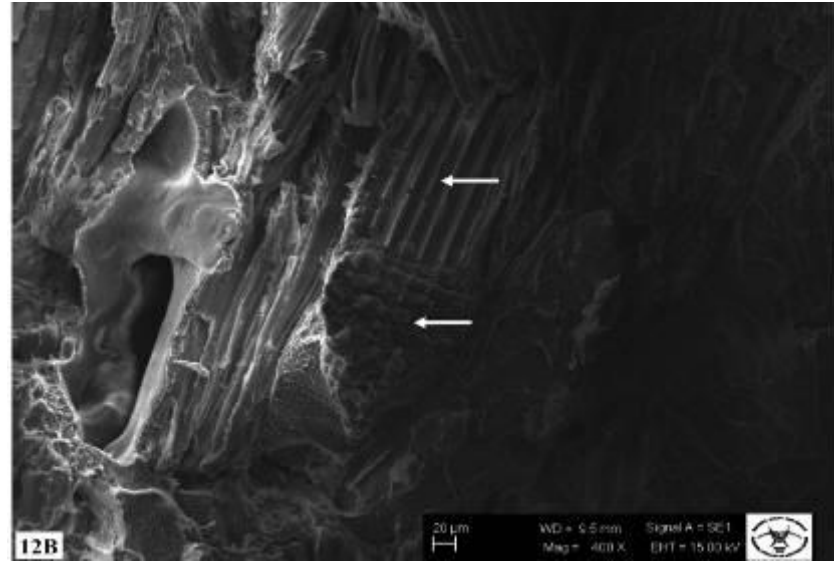
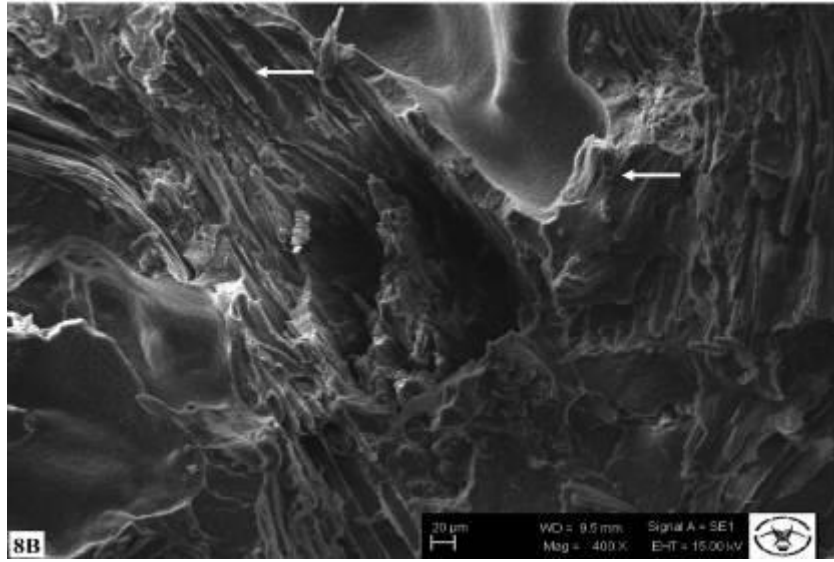
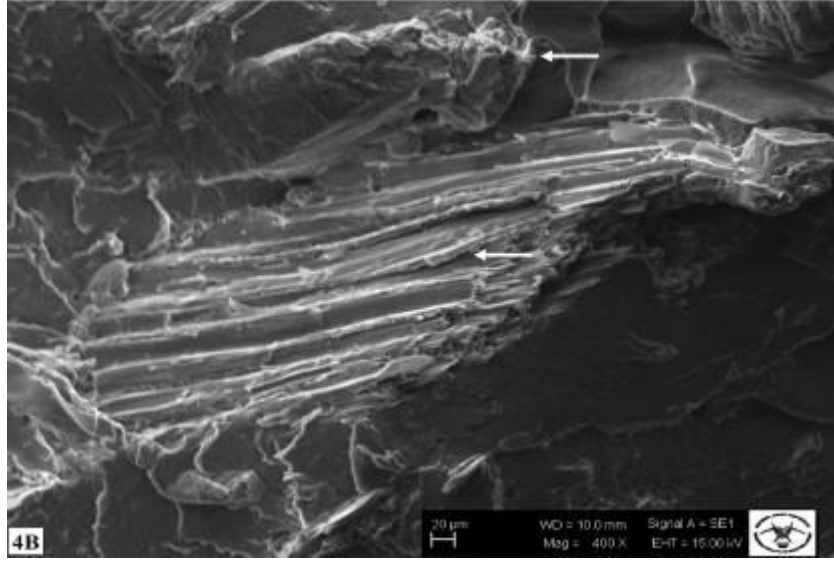
Yapılan çalışmada OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme ve MAPE kullanımı eğilme ve çekme direnci değerlerinde artmaya neden olurken, darbe direnci değerlerinde bunun tam tersine azalmaya neden olmuştur. Literatürde belirlenen emprenye işlemi sonrası masif ağaç malzemenin darbe direncide meydana gelen azalmalardan dolayı CCA'lı ağaç malzemenin üretilen OPK'ların darbe direnci değerlerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

### **3.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) GÖRÜNTÜLERİNE İLİŞKİN BULGULAR ve TARTIŞMA**

Şekil 3.2 ve 3.3'da CCA'lı ağaç malzemenin üretilen kompozitlerin SEM görüntüleri verilmiştir. Emprenye işlemi ile ağaç malzemenin yüzeyi hidrofobik hale geldiği bilinmektedir. Dolayısı ile plastik ile ağaç malzeme arasındaki enkapülasyon emprenyeli ağaç malzeme kullanılması durumunda artış göstermiştir. Bu nedenle içeriğinde MAPE kullanılmayıp CCA'lı ağaç malzemenin üretilen OPK'ların eğilme ve çekme direnci değerlerinin kontrol grubu levhalarının eğilme ve çekme direnci değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Fakat yüzeyler arasındaki bağlanma probleminin emprenye işlemi ile kısmen iyileştiği düşünülmektedir. Çünkü emprenyeli ağaç malzemenin plastik ile tam bağlanmayıp sıyrılmaların meydana geldiği Şekil 3.2'de görülmektedir. Karışıma MAPE ilavesi ile mekanik özelliklerde artmalar meydana gelmiştir. Şekil 3.3'de görülen SEM görüntüsünde sıyrılmalarda meydana gelen azalma ve plastiğin ağaç malzemeyi daha iyi sarması, yüzeyler arasındaki bağlanmayı olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.



Şekil 3.2. 1B, 9B ve 12B grup numaralı OPK'ların SEM görüntüleri.



Şekil 3.3. 4B, 8B ve 12B grup numaralı OPK'ların SEM görüntüleri.



### 3.6. Isıl Özellikler

#### 3.6.1. Termogravimetik analiz (TGA) ve türev termogravimetik analiz (DTGA)

Şekil 3.4, ve 3.5’de 1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A, 12B grup numaralı örneklerin TGA ve DTGA analizleri verilmiştir.

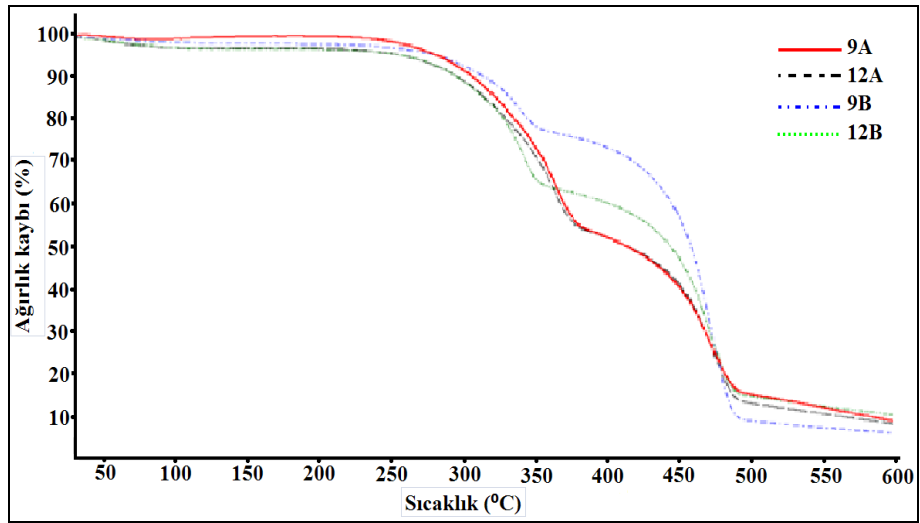
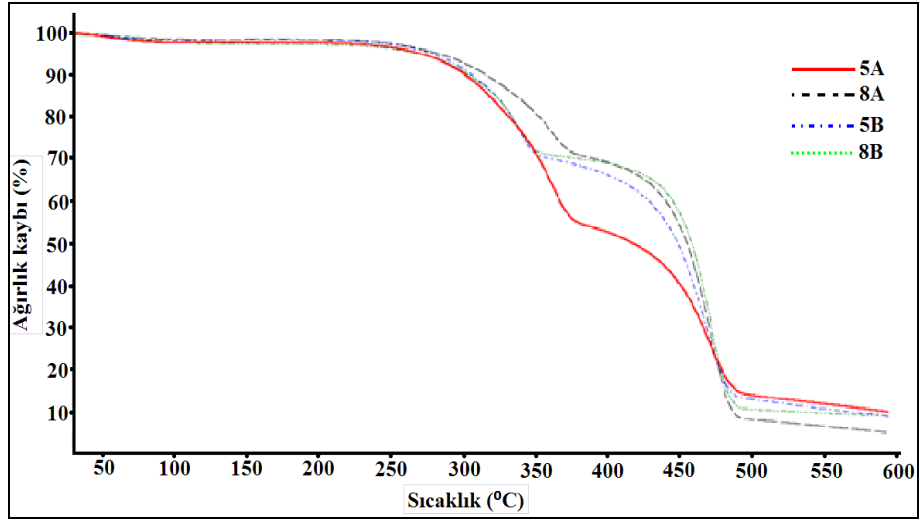
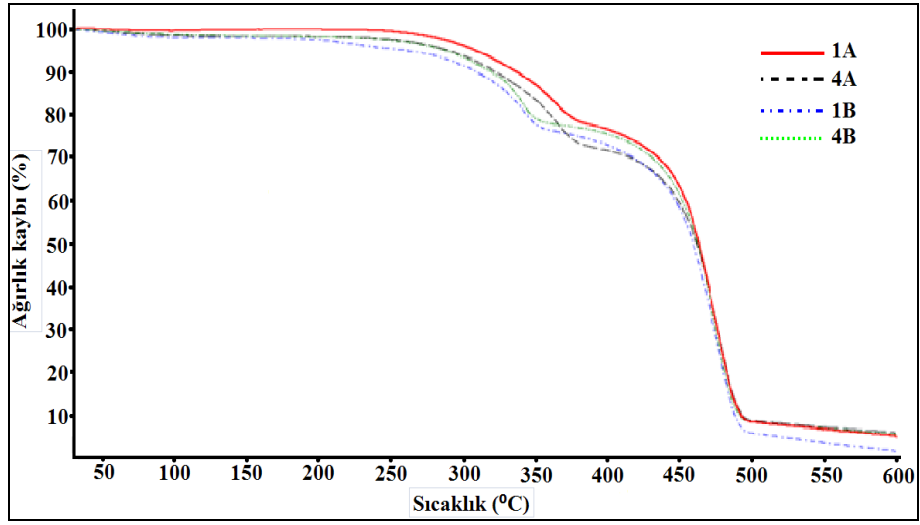
Yapılan TGA çalışması sonucunda tüm levha grupları için bozunma sıcaklığı genel olarak 210-220 °C civarında başladığı tespit edilmiştir. Bilindiği gibi hemiselülozlar 180 °C de, lignin 200 °C de, selüloz 210 °C de bozunmaya başlamaktadır (Li ve diğ. 2002, Xu ve diğ. 2006, Canetti ve diğ. 2006, Sain ve Panthapulakkal 2006).

Elde edilen DTGA grafiklerinden kompozit malzemedeki bozunma seviyesinin en yüksek dereceye ulaştığı iki farklı sıcaklık noktası belirlenmiştir. CCA’lı ağaç malzeme kullanılarak üretilen OPK’larda en fazla degradasyonun gerçekleştiği ilk sıcaklık noktasının değeri ile kontrol grubu levhalarında meydana gelen en fazla degradasyonun gerçekleştiği ilk sıcaklık noktası değerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

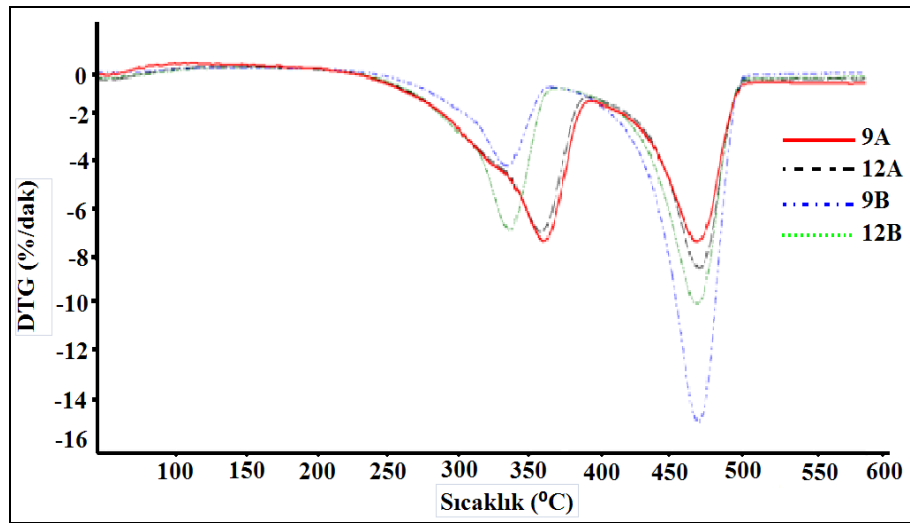
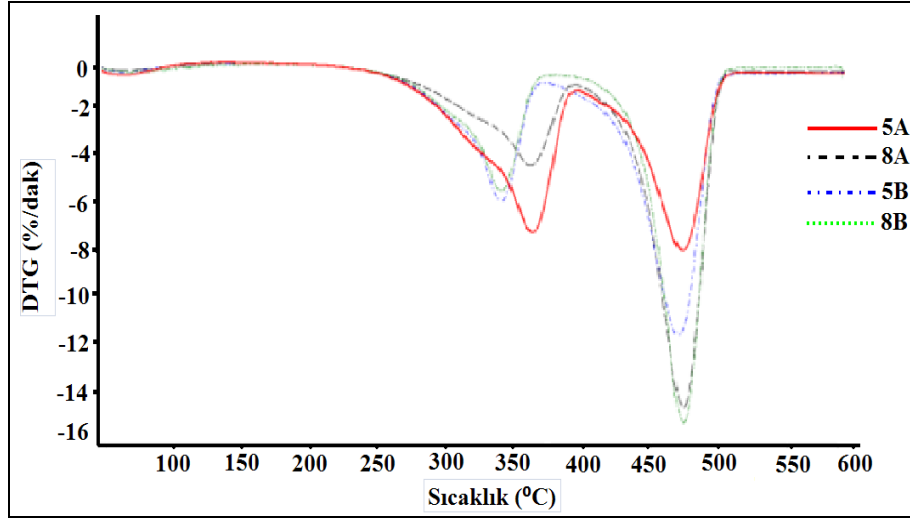
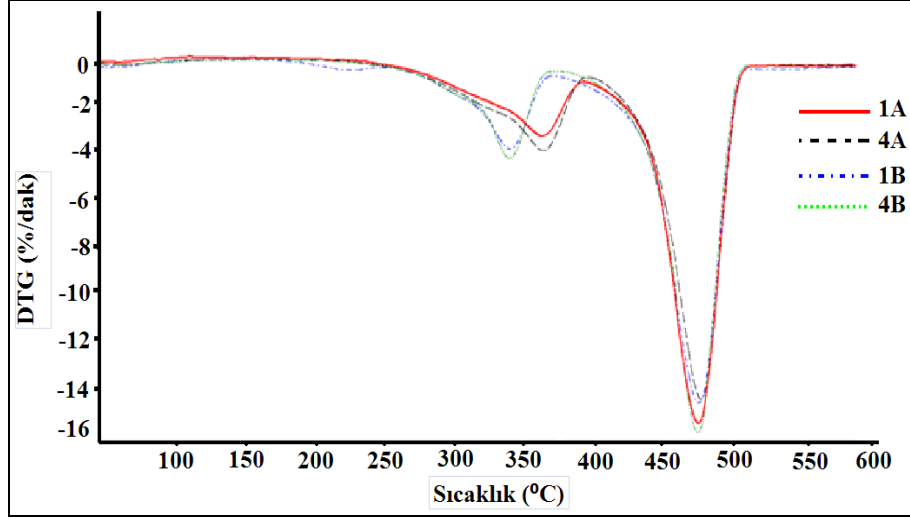
CCA’lı odun unu ile üretilen kompozitlerde bozunmanın en yüksek olduğu ilk sıcaklık 340 °C civarında olduğu, emprenyesiz sarıçam odun unu kullanılan numunelerde ise bu bozunmanın 360 °C civarında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda CCA içeren malzemenin termal bozunmasının tam olarak tanımlanmasının zor olduğu bildirilmiştir. CCA içeren sarıçam odun unları ile yapılan bir çalışmada ortamda bulunan Bakır (II) oksitinin degradasyon sıcaklığını düşürdüğü bildirilmiştir (305 °C). Çalışmada maksimum bozunma sıcaklıklarında belirlenen farkın bu sebepten oluştuğu düşünülmektedir (Kercher ve Nagle 2001, Helsen ve diğ. 2003).

Bozunmanın en yüksek seviyeye ulaştığı ikinci bozunma sıcaklığı ise 480 °C civarında olduğu görülmektedir. Bu sıcaklık noktasında ise YYPE nin bozunduğu bilinmektedir. CCA’lı ağaç malzemenin üretilen OPK’larla kontrol grubu levhalarında bu noktada meydana gelen bozunma sıcaklığı değeri önemli bir fark göstermemiştir.



Şekil 3.4. 1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A, 12B grup numaralı OPK'ların TGA analizleri.



Şekil 3.5. 1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A, 12B grup numaralı OPK'ların DTGA analizleri.

### 3.6.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC)

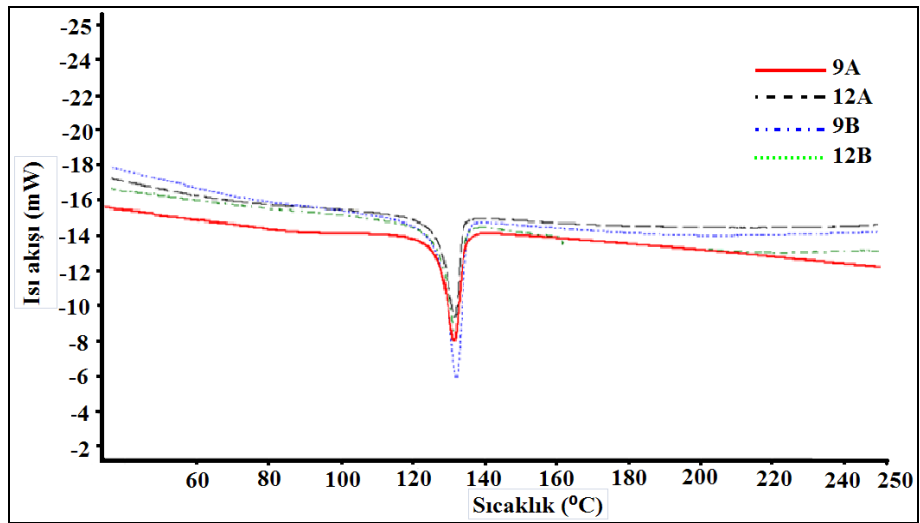
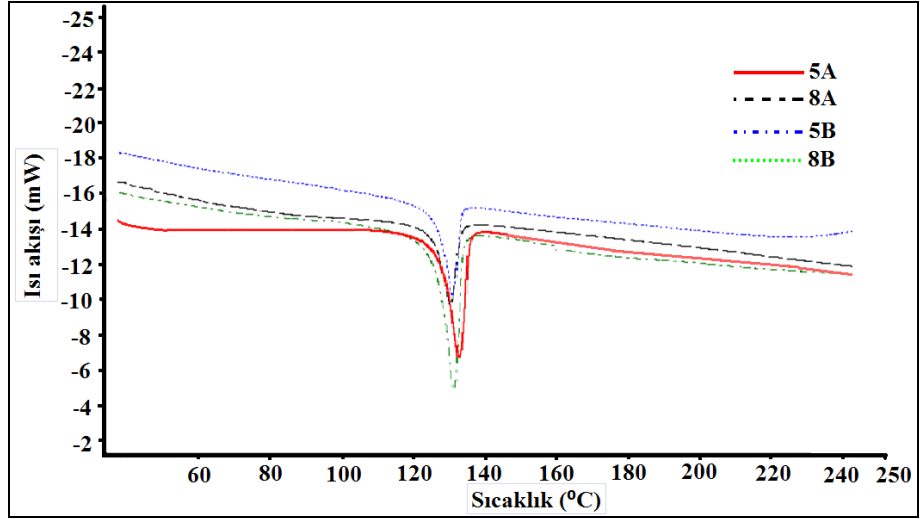
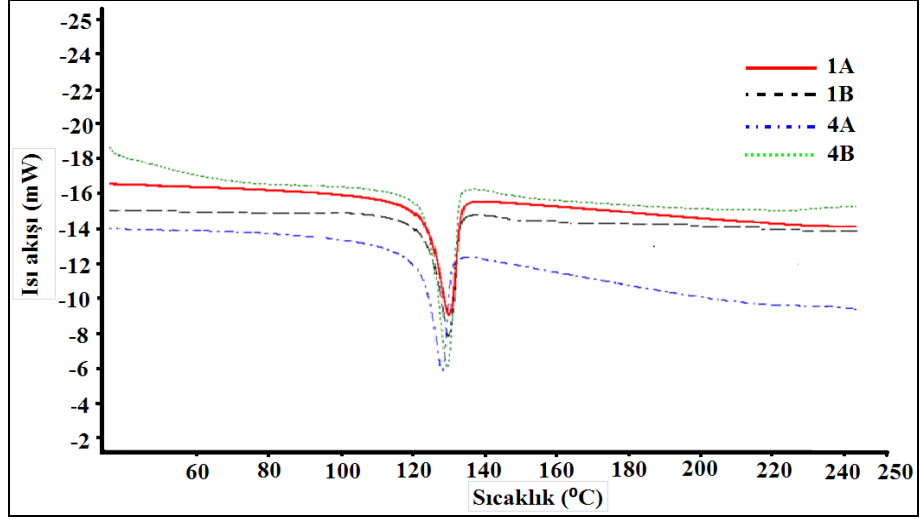
Şekil 3.6'da 1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A, 12B numaralı örneklere ait DSC grafikleri görülmektedir.

Yapılan analizle sonucunda genel olarak OPK kompozitlerin erime sıcaklığı 130-137 °C arasında olduğu görülmüştür. Bu sıcaklık aralıkları kompozitlerin üretiminde önemli eşik noktalarıdır.

Üretim sırasında malzemenin akışkan hale gelebilmesi için sıcaklığın 130-135 °C olan erime noktasının üzerinde olması gerekmektedir. Çıkılabilecek maksimum sıcaklık ise 210-220 °C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklığın üzerine çıkılması durumunda ise kullanılacak lignoselülozik madde degradasyona uğrayacaktır.

Yapılan DSC analizi sonucunda erime sıcaklığı üzerinde farklı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme, emprenyesiz sarıçam ve MAPE kullanımının önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Farklı lignoselülozik materyal ve YYPE kullanılarak yapılan çalışmalarda erime sıcaklığı üzerine uyum sağlayıcı madde ve farklı oranlarda kullanılan dolgu maddesinin önemli bir etkiye sahip olmadığı bildirilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş 2008, Mengeloğlu ve Kabakçı 2008).



Şekil 3.6. 1A, 1B, 4A, 4B, 5A, 5B, 8A, 8B, 9A, 9B, 12A, 12B grup numaralı OPK'ların DSC analizleri.

### 3.7. Yıkanma Testi

Yıkanma işlemi sonucunda Bakır (Cu), Krom (Cr) ve Arsenik (As) elementlerinin yıkanma miktarlarına ait grafikler sırasıyla Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir.

384 saatlik süre sonunda Bakır/Krom/Arsenik için en yüksek yıkanma miktarları %40, 50 ve 60 oranında CCA'lı ağaç malzemenen üretilen ve MAPE kullanılmayan OPK'larda belirlenmiştir. Bu değerler Bakır için 0,64 ppm, 2,47 ppm ve 5,51 ppm, Krom için 0,41 ppm, 1,47 ppm ve 2,91 ppm, Arsenik için 0,35 ppm, 0,45 ppm ve 1,53 ppm olarak tespit edilmiştir.

OPK'lar içerisine MAPE ilavesi ile Bakır/Krom/Arsenik yıkanma miktarlarında azalmalar olmuştur. En düşük yıkanma miktarları ise %5 MAPE kullanılan OPK'larda elde edilmiştir. Bu değerler %40, 50 ve 60 oranında CCA'lı ağaç malzemenen üretilen OPK'larda Bakır için 0,29 ppm, 0,40 ppm ve 1,40 ppm, Krom için 0,11ppm, 0,28 ppm ve 0,67 ppm, Arsenik için 0,15 ppm, 0,19 ppm ve 0,57 ppm olarak tespit edilmiştir.

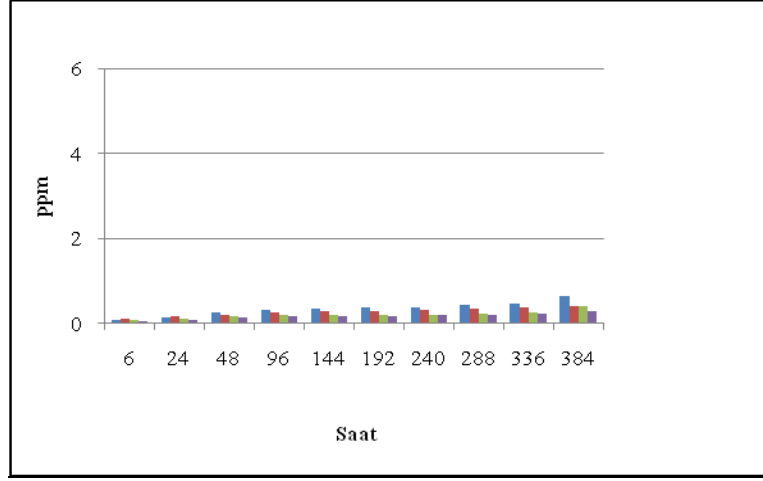
Belirlenen yıkanma değerleri CCA'lı ağaç malzeme kullanılarak üretilen OSB ve yonga levhalardan elde edilen yıkanma değerlerinden daha düşüktür (Munson ve Kamdem 1998, Li ve diğ. 2004).

Bununla birlikte içme suları içerisinde bulunabilecek Arsenik miktarı 10 pbb olarak belirlenmiştir. Üretilen OPK'lardan yıkanma işlemi sonucu belirlenmiş olan Arsenik miktar ise bu değer üzerinde.

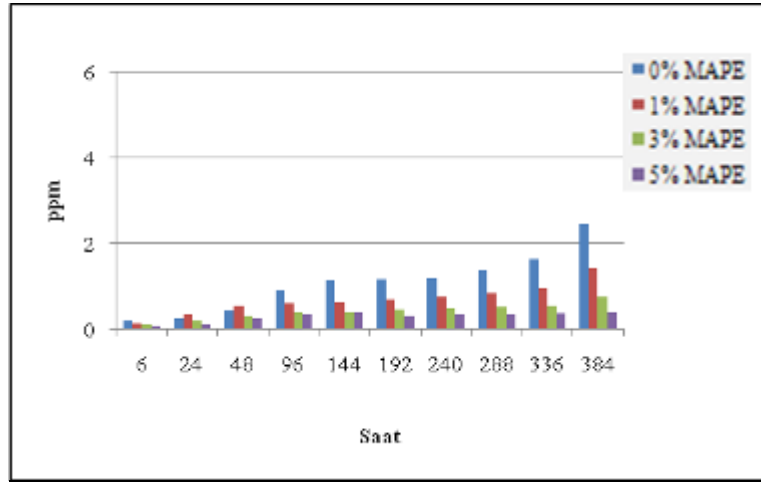
Kanada'da tarımsal alanlarda ya da endüstride kullanılan toprak içerisinde kabul edilebilir en yüksek Arsenik oranı 12 mg/kg olarak belirlenmiştir. ABD'de ise toprak içerisinde doğal halde bulunan arsenik miktarı 1 to 40 mg/kg değerleri arasındadır (Hingston ve diğ. 2001, Lebow ve diğ. 2004, Moghaddam ve Mulligan 2008).

Yıkanan Arsenik miktarı, gerek ülkemiz gerekse ABD ve Kanada'da toprak içerisinde doğal halde bulunan ve kabul edilebilir olan Arsenik seviyenin altındadır.

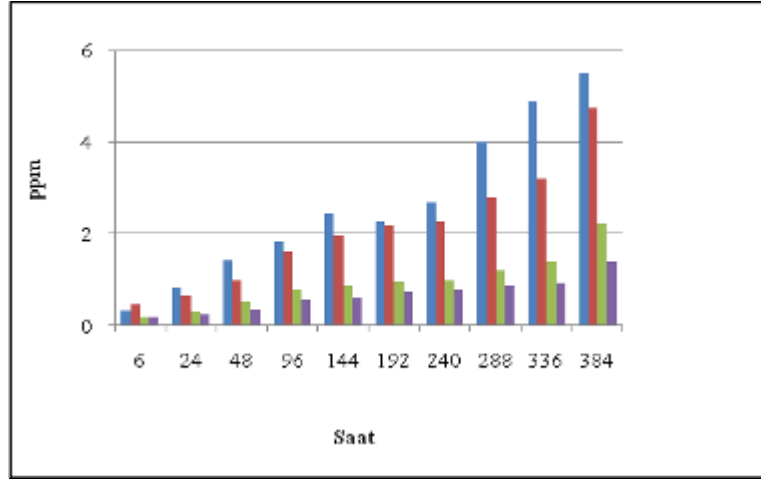
Türkiye'de ise toprakta bulunabilecek en yüksek Bakır, Krom ve Arsenik miktarları sırası ile 40 ppm, 100 ppm ve 15 ppm olarak belirlenmiştir. Üretilen OPK'lardan yıkanan CCA miktarı belirlenen bu sınır değerlerin altındadır.



A

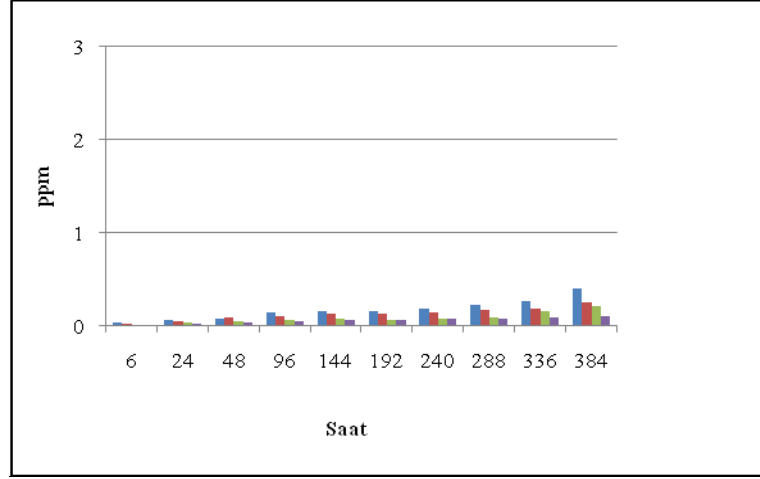


B

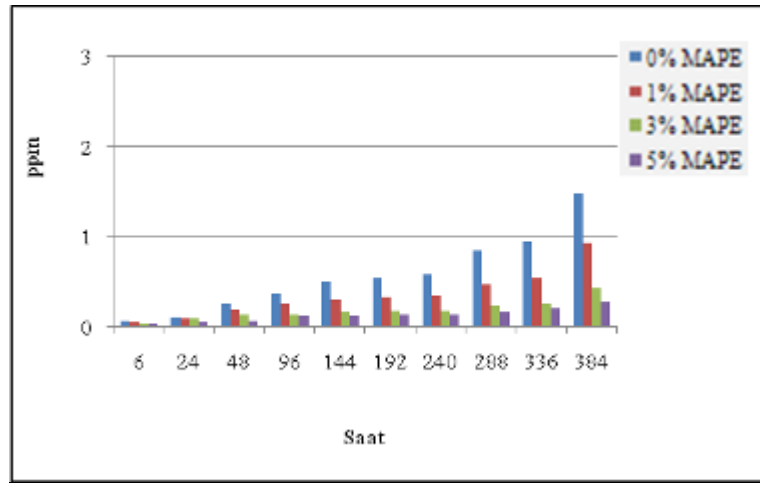


C

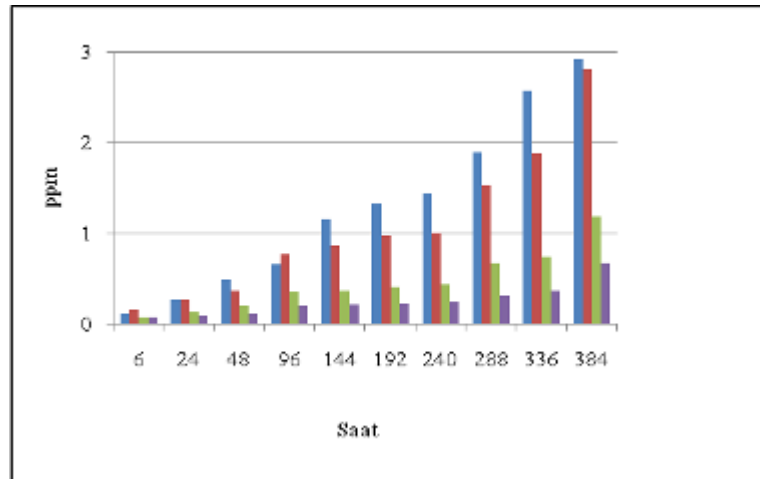
**Şekil 3.7.** %40 (A), %50 (B) ve %60 (C) CCA'lı ağaç malzeme içeren levhalardan Bakır (Cu) yıkanma miktarlarını gösteren grafikler.



A



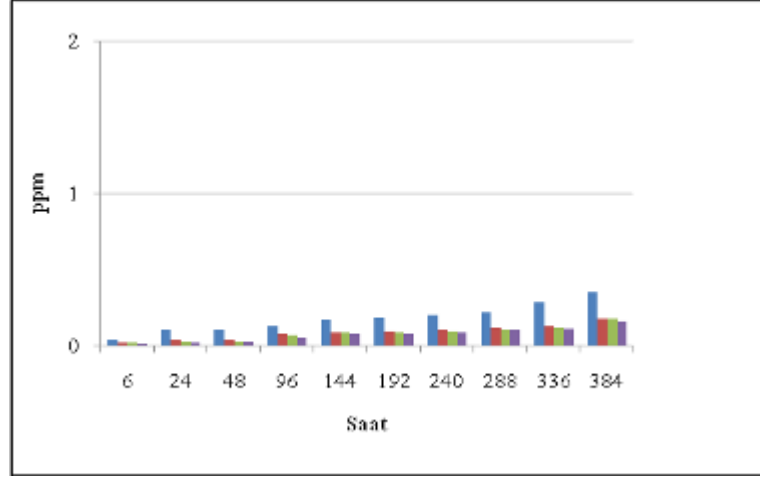
B



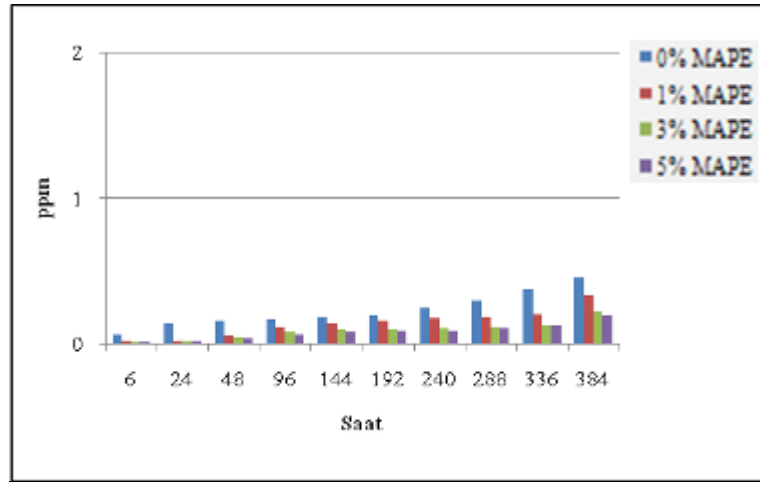
C

Şekil 3.8. %40 (A), %50 (B) ve %60 (C) CCA'lı ağaç malzeme içeren levhalardan Krom (Cr) yıkanma miktarlarını gösteren grafikler.

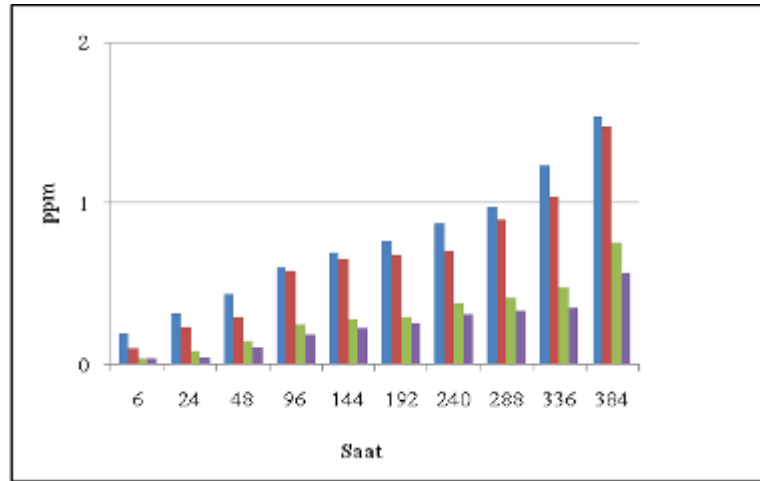




A



B



C

**Şekil 3.9.** %40 (A), %50 (B) ve %60 (C) CCA'lı ağaç malzeme içeren levhalardan Arsenik (As) yıkanma miktarlarını gösteren grafikler.

### 3.8. BİYOLOJİK TESTLERE İLİŞKİN BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.8.1. Mantar Testleri

##### 3.8.1.1. *Trametes versicolor* mantarına ait ağırlık kayıpları

Üretilen OPK'larda *Trametes versicolor* mantarının oluşturduğu ağırlık kayıplarına ilişkin ÇVA sonuçları Çizelge 3.21'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ).

Ayrıca *Trametes versicolor* mantarının OPK'larda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı Çizelge 3.22'de verilmiştir.

**Çizelge 3.21.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının *Trametes versicolor* mantarının meydana getirdiği ağırlık kaybı üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	1,450	1	1,450	4,615	,033
B	9,919	3	3,306	10,524	,000
Etkileşim A*B	,938	3	,313	,995	,397 <sup>ÖD</sup>
Hata	42,727	136	,314		
Toplam	176,823	144			

\* $p < 0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

Çizelge 3.22'de görüldüğü gibi %40, 50 ve 60 odun unu içeren OPK'larda en yüksek ağırlık kayıpları MAPE kullanılmayan kontrol gruplarında %1,84, 1,44 ve 1,83 olarak belirlenmiştir. Aynı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme kullanılan ve MAPE içermeyen OPK'lardaki ortalama ağırlık kayıpları 0,36, 0,91 ve 1,40 olarak tespit edilmiştir. %5 MAPE kullanılan kontrol gruplarında ise ortalama ağırlık kayıpları sırası ile %0,43, 0,83 ve 1,13 olurken, aynı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme ve %5 MAPE kullanılan levhalardaki ağırlık kayıpları 0,29, 0,47 ve 0,72 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.22.** *Trametes versicolor* mantarının levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Ağırlık kaybı (%)*	Post-decay MC (%)
1 A	40	0	1,84 (0,22) <i>f</i>	10,43
1 B		0	0,36 (0,25) <i>a</i>	9,08
2 A		1	1,19 (1,29) <i>bcde</i>	8,31
2 B		1	0,30 (0,13) <i>a</i>	8,40
3 A		3	0,44 (0,13) <i>a</i>	7,95
3 B		3	0,35 (0,35) <i>a</i>	7,24
4 A		5	0,43 (0,26) <i>a</i>	7,76
4 B		5	0,29 (0,20) <i>a</i>	5,44
5 A	50	0	1,44 (0,15) <i>ef</i>	14,41
5 B		0	0,91 (0,31) <i>abcde</i>	12,55
6 A		1	1,22 (0,13) <i>bcde</i>	14,35
6 B		1	0,81 (0,18) <i>abcd</i>	12,37
7 A		3	0,82 (0,13) <i>abcde</i>	12,77
7 B		3	0,62 (0,36) <i>ab</i>	12,02
8 A		5	0,83 (0,37) <i>abcde</i>	11,65
8 B		5	0,47 (0,12) <i>a</i>	11,10
9 A	60	0	1,83 (0,91) <i>f</i>	21,16
9 B		0	1,40 (0,44) <i>def</i>	15,60
10 A		1	1,41 (0,79) <i>def</i>	16,80
10 B		1	1,26 (0,45) <i>cdef</i>	15,19
11 A		3	1,17 (0,51) <i>bcde</i>	16,46
11 B		3	0,85 (0,35) <i>abcde</i>	10,65
12 A		5	1,13 (0,42) <i>bcde</i>	13,32
12 B		5	0,72 (0,06) <i>abc</i>	10,33
Sarıçam**			26.21 (2.84)	135,69

\*Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez üzerindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

\*\*Çam kontrol örnekleri istatistik analize dahil edilmemiştir.

### 3.8.1.2. *Postia placenta* mantarına ait ağırlık kayıpları

Üretilen OPK'larda *Postia placenta* mantarının oluşturduğu ağırlık kayıplarına ilişkin ÇVA sonuçları Çizelge 3.23'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

Ayrıca *Postia placenta* mantarının levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı Çizelge 3.24'de verilmiştir.

**Çizelge 3.23.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının *Postia placenta* mantarının meydana getirdiği ağırlık kaybı üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	13,616	1	13,616	8,174	,005
B	27,736	3	9,245	5,550	,001
Etkileşim A*B	6,703	3	2,234	1,341	,264 <sup>ÖD</sup>
Hata	226,539	136	1,666		
Toplam	874,927	144			

\* $p<0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

Çizelge 3.20'de görüldüğü gibi %40, 50 ve 60 odun unu içeren OPK'larda en yüksek ağırlık kayıpları MAPE kullanılmayan kontrol gruplarında %2,35, 2,51 ve 5,12 olarak belirlenmiştir. Aynı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme kullanılan ve MAPE içermeyen OPK'lardaki ağırlık kayıpları 1,55, 2,17 ve 2,15 olarak tespit edilmiştir. %5 MAPE kullanılan kontrol gruplarında ise ağırlık kayıpları sırası ile %1,32, 2,08 ve 2,46 olurken, aynı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme ve %5 MAPE kullanılan levhalardaki ağırlık kayıpları 0,68, 0,78 ve 1,47 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 3.24.** *Postia placenta* mantarının levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Ağırlık kaybı (%)*	Post-decay MC (%)
1 A	40	0	2,35 (0,99) <i>e</i>	11,84
1 B		0	1,55 (0,58) <i>abcde</i>	8,40
2 A		1	2,14 (0,15) <i>de</i>	9,70
2 B		1	0,91 (0,40) <i>abcde</i>	7,60
3 A		3	1,51 (0,20) <i>abcde</i>	9,46
3 B		3	0,86 (0,35) <i>abc</i>	5,44
4 A		5	1,32 (0,54) <i>abcde</i>	9,36
4 B		5	0,68 (0,17) <i>a</i>	5,21
5 A	50	0	2,51 (1,36) <i>e</i>	14,48
5 B		0	2,17 (0,83) <i>de</i>	13,26
6 A		1	2,35 (1,10) <i>e</i>	13,97
6 B		1	1,38 (0,28) <i>abcde</i>	12,10
7 A		3	2,45 (1,12) <i>e</i>	12,90
7 B		3	0,80 (0,50) <i>ab</i>	11,90
8 A		5	2,08 (0,96) <i>cde</i>	10,44
8 B		5	0,78 (0,14) <i>ab</i>	10,50
9 A	60	0	5,12 (1,75) <i>g</i>	25,63
9 B		0	2,15 (0,55) <i>de</i>	17,56
10 A		1	4,55 (1,38) <i>fg</i>	19,55
10 B		1	2,03 (0,63) <i>bcde</i>	16,54
11 A		3	3,60 (1,80) <i>f</i>	19,37
11 B		3	1,77 (1,44) <i>abcde</i>	15,95
12 A		5	2,46 (1,03) <i>e</i>	18,52
12 B		5	1,47 (0,59) <i>abcde</i>	13,27
Sarıçam**			45,29 (5,35)	148,14

\*Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez üzerindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

\*\*Çam kontrol örnekleri istatistik analize dahil edilmemiştir.

### 3.8.1.3. *Coniophora Puteana* mantarına ait ağırlık kayıpları

Üretilen OPK'larda *Coniophora Puteana* mantarının oluşturduğu ağırlık kayıplarına ilişkin ÇVA sonuçları Çizelge 3.25'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Fakat A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p>0,05$ ).

Ayrıca *Coniophora Puteana* mantarının levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı Çizelge 3.26'da verilmiştir.

**Çizelge 3.25.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının *Coniophora Puteana* mantarının meydana getirdiği ağırlık kaybı üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	,762	1	,762	2,087	,015
B	11,913	3	3,971	10,872	,000
Etkileşim A*B	,792	3	,264	,723	,540 <sup>ÖD</sup>
Hata	49,311	135	,365		
Toplam	239,137	143			

\* $p<0,05$ , ÖD: Önemli Değil.

Çizelge 3.22'de görüldüğü gibi %40, 50 ve 60 odun unu içeren OPK'larda en yüksek ağırlık kayıpları MAPE kullanılmayan kontrol gruplarında %1,97, 1,47 ve 1,94 olarak belirlenmiştir. Aynı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme kullanılan ve MAPE içermeyen OPK'lardaki ağırlık kayıpları 0,85, 1,25 ve 1,64 olarak tespit edilmiştir. %5 MAPE kullanılan kontrol gruplarında ise ağırlık kayıpları sırası ile %0,40, 0,92 ve 1,19 olurken, aynı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme ve %5 MAPE kullanılan levhalardaki ağırlık kayıpları %0,39, 0,71 ve 0,86 olarak belirlenmiştir.

Genel olarak tüm OPK gruplarında ağırlık kayıpları masif malzemeye göre çok düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm levha gruplarında MAPE kullanımı ile nem içeriğinin azaldığı buna bağlı olarak ağırlık kayıplarında azalmalar meydana geldiği görülmektedir. MAPE'nin enkapsülasyonu iyileştirdiği için levhalar içerisindeki

nem oranında azalmalar meydana geldiği düşünülmektedir (Chowdhury ve Wolcott 2007).

**Çizelge 3.26.** *Coniophora Puteana* mantarının levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Ağırlık kaybı (%)*	Post-decay MC (%)
1 A	40	0	1,97 (0,58) <i>i</i>	14,83
1 B		0	0,85 (0,66) <i>abcd</i>	11,36
2 A		1	0,70 (0,33) <i>abc</i>	9,90
2 B		1	0,62 (0,32) <i>abc</i>	8,15
3 A		3	0,59 (0,38) <i>abc</i>	8,29
3 B		3	0,46 (0,50) <i>ab</i>	7,64
4 A		5	0,40 (0,26) <i>a</i>	7,31
4 B		5	0,39 (0,22) <i>a</i>	6,83
5 A	50	0	1,47 (0,28) <i>defghi</i>	19,26
5 B		0	1,25 (0,50) <i>cdefg</i>	15,24
6 A		1	1,43 (0,18) <i>defghi</i>	16,41
6 B		1	1,12 (0,55) <i>bcdef</i>	15,38
7 A		3	1,03 (0,83) <i>abcdef</i>	16,07
7 B		3	0,97 (0,23) <i>abcdef</i>	15,38
8 A		5	0,92 (0,42) <i>abcde</i>	14,89
8 B		5	0,71 (0,31) <i>abc</i>	13,93
9 A	60	0	1,94 (0,32) <i>hi</i>	24,34
9 B		0	1,64 (0,80) <i>fghi</i>	23,30
10 A		1	1,88 (0,50) <i>ghi</i>	21,43
10 B		1	1,56 (0,83) <i>efghi</i>	17,21
11 A		3	1,49 (0,23) <i>defghi</i>	18,73
11 B		3	1,28 (0,90) <i>cdefgh</i>	14,80
12 A		5	1,19 (0,69) <i>cdef</i>	18,26
12 B		5	0,86 (0,24) <i>abcd</i>	11,80
Sarıçam**			40,21 (4,49)	108,23

\*Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez üzerindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

\*\*Çam kontrol örnekleri istatistik analize dahil edilmemiştir.

Nem oranının azalması ile mantarların gelişimi olumsuz etkilenmekte buna bağlı olarak ağırlık kayıpları azalmaktadır. Levha içerisinde bulunan lignoselülozik dolgu maddesinin oranının artması ile ağırlık kayıpları doğru orantılı olduğu bilinmektedir (Mankowski ve Morrell 2000). Fakat CCA içeren odun unları ve %5 MAPE kullanılması durumunda lignoselülozik dolgu maddesi oranı arttırılsa da ağırlık kayıpları aynı homojenlik grubunda yer almıştır.

Genel olarak CCA'lı ağaç malzemedan üretilen OPK'larda oluşan ortalama ağırlık kayıplarının kontrol numunelerinde oluşan ortalama ağırlık kayıplarından daha düşük olduğu görülmektedir. Buna rağmen bazı formülasyonlarda bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. OPK üretiminde kullanılan tel direkleri Artvin ilinden alınmış olup bu bölgenin fazla yağış aldığı ve buna bağlı olarak CCA'nın yıkanmasının hızlı olduğu bilinmektedir. Ayrıca bu bölgede kullanılan tel direklerinin ömrü, CCA'nın tel direklerinden hızlı bir şekilde yıkanmasından dolayı 10-15 yıl ile sınırlı kalmaktadır (Gezer 2003). Bazı formülasyonlarda ağırlık kayıplarında meydana gelen farkların istatistiksel olarak anlamsız oluşu OPK üretiminde kullanılan tel direklerindeki CCA miktarının az olmasından ve buna bağlı olarak koruyucu etkisinin azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bununla birlikte OPK üretimi sırasında ekstruder sıcaklığı 170 °C, pres sıcaklığı ise 175 °C olarak ayarlanmıştır. CCA içerisindeki bakırın fungusit özelliği bulunmaktadır. Fakat yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen sterilizasyon işlemi ile bakır iki değerlikli halden bir değerlikli hale gelmekte ve fungusit özelliğini kaybetmektedir (Taşçıoğlu ve diğ. 2008). Bazı formülasyonlarda ortalama ağırlık kayıplarındaki farkların anlamlı olmamasının başka bir nedeni de bakırın fungusit özelliğini kaybetmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

### **3.8.2. Termit testleri**

Üretilen OPK'larda *Coptotermes formosanus* Shiraki termitinin oluşturduğu ağırlık kayıplarına ilişkin ÇVA sonuçları Çizelge 3.27'de verilmiştir. ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) kullanımı ağırlık kayıpları üzerindeki etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Fakat MAPE (B) kullanımı ve A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ).



Ayrıca *Coptotermes formosanus* Shiraki termitinin OPK’larda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri ile test sonrası numunelerin nem oranı Çizelge 3.28’de verilmiştir.

**Çizelge 3.27.** CCA içeren odun unu ve MAPE kullanımının *Coptotermes formosanus* Shiraki termitinin meydana getirdiği ağırlık kaybı üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	9,965	1	9,965	41,156	,000
B	,325	1	,325	1,342	,255 <sup>ÖD</sup>
Etkileşim A*B	,123	1	,123	,506	,482 <sup>ÖD</sup>
Hata	7,748	32	,242		
Toplam	32,122	36			

\*p<0,05, ÖD: Önemli Değil.

**Çizelge 3.28.** *Coptotermes formosanus* Shiraki termitinin levhalarda oluşturduğu ağırlık kaybı ve standart sapma değerleri.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Ağırlık kaybı (%)*
1 A	40	0	0,73 (0,38) <b>b</b>
1 B		0	0,13 (0,16) <b>a</b>
4 A		5	0,53 (0,41) <b>ab</b>
4 B		5	0,03 (0,16) <b>a</b>
5 A	50	0	1,34 (0,26) <b>c</b>
5 B		0	0,05 (0,01) <b>a</b>
8 A		5	0,51 (0,14) <b>ab</b>
8 B		5	0,05 (0,01) <b>a</b>
9 A	60	0	1,84 (0,42) <b>d</b>
9 B		0	0,22 (0,28) <b>a</b>
12 A		5	1,94 (0,47) <b>d</b>
12 B		5	0,09 (0,01) <b>a</b>

\*Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir (p<0,05), parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

Çizelge 3.28’de görüldüğü gibi %40, 50 ve 60 odun unu içeren OPK’larda en yüksek ağırlık kayıpları MAPE kullanılmayan kontrol gruplarında %0,73, 1,34 ve 1,84 olarak belirlenmiştir. Aynı oranlarda CCA’lı ağaç malzeme kullanılan ve MAPE içermeyen OPK’lardaki ağırlık kayıpları 0,13, 0,05 ve 0,22 olarak tespit edilmiştir. %5 MAPE kullanılan kontrol gruplarında ise ağırlık kayıpları sırası ile %0,53, 0,51 ve 1,94 olurken, aynı oranlarda CCA’lı ağaç malzeme ve %5 MAPE kullanılan OPK’lardaki ağırlık kayıpları %0,03, 0,05 ve 0,09 olarak belirlenmiştir.

OPK’ların genel olarak termitlere karşı oldukça dayanıklı olduğu bilinmektedir. Bu dayanıklılık OPK içerisindeki lignoselülozik madde oranıyla ve kullanılan lignoselülozik malzemenin partikül boyutu ile önemli ölçüde etkilenmektedir. Özellikle OPK’ların içeriğindeki plastik oranı arttıkça enkapsülasyonun arttığı buna bağlı olarak da termit zararının en aza indiği ya da hiç olmadığı bilinmektedir. Çünkü termitler OPK içerisindeki lignoselülozik malzemeyi tahrip etmektedir. Enkapsülasyonun artışı ile lignoselülozik malzemenin büyük bir bölümü plastik ile kaplanmaktadır. Bu durumda termitler sadece OPK yüzeyindeki ağaç malzemeye ulaşabilmektedirler. Dolayısı ile termitlerin OPK’lar oluşturacağı ağırlık kaybı düşük seviyelerde kalmaktadır (Klyosov 2007). Yapılan çalışmada üretilen OPK’ların termit testi sonrasında meydana gelen ağırlık kaybının az oluşunun bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Üretilen OPK’larda CCA’lı ağaç malzeme (A) ve MAPE (B) kullanımının *Coptotermes formosanus* Shiraki termitinin tüketim oranlarına ilişkin ÇVA sonuçları Çizelge 3.29’da verilmiştir.

**Çizelge 3.29.** CCA’lı ağaç malzeme ve MAPE kullanımının *Coptotermes formosanus* Shiraki termitinin meydana getirdiği günlük tüketim oranları üzerindeki etkisine ait ÇVA sonuçları.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F- Oranı	P- Değeri*
A	569,459	1	569,459	37,031	,000
B	18,634	1	18,634	1,212	,279 <sup>ÖD</sup>
Etkileşim A*B	7,747	1	7,747	,504	,483 <sup>ÖD</sup>
Hata	492,093	32	15,378		
Toplam	1878,854	36			

\*p<0,05, ÖD: Önemli Değil.

ÇVA sonuçlarına göre OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme (A) kullanımının günlük tüketim oranı üzerindeki etkisi yüksek güven düzeyinde önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Fakat MAPE (B) kullanımı ve A\*B etkileşimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ). Ayrıca *Coptotermes formosanus* Shiraki termitinin tüketim oranları ve standart sapma değerleri Çizelge 3.30'da verilmiştir.

**Çizelge 3.30.** CCA içeren odun unu ve uyumlaştırıcı kullanımının *Coptotermes formosanus* Shiraki termitine ait günlük tüketim oranları ve standart sapma değerleri.

Grup Numarası	Odun Unu (%)	MAPE (%)	Tüketim oranı (mg/term/gün)*
1 A		0	4,78 (2,50) <i>b</i>
1 B	40	0	1,03 (1,16) <i>a</i>
4 A		5	3,70 (2,88) <i>ab</i>
4 B		5	0,27 (0,23) <i>a</i>
5 A		0	9,68 (1,74) <i>c</i>
5 B	50	0	0,36 (0,01) <i>a</i>
8 A		5	3,82 (0,92) <i>ab</i>
8 B		5	0,36 (0,01) <i>a</i>
9 A		0	15,07 (2,90) <i>d</i>
9 B	60	0	1,50 (1,95) <i>ab</i>
12 A		5	14,91 (3,08) <i>d</i>
12 B		5	0,73 (0,01) <i>a</i>

\*Sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ( $p < 0,05$ ), parantez içerisindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

Çizelge 3.30'da görüldüğü gibi %40, 50 ve 60 odun unu içeren OPK'lardaki en yüksek günlük tüketim oranı MAPE kullanılmayan kontrol gruplarında 4,78, 9,68, 15,07 mg/term/gün olarak belirlenmiştir. Aynı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme kullanılan ve MAPE içermeyen OPK'lardaki günlük tüketim oranı 1,03, 0,36, 1,50 mg/term/gün olarak tespit edilmiştir. %5 MAPE kullanılan kontrol gruplarında ise günlük tüketim oranı sırası ile 3,70, 3,82, 14,91 mg/term/gün olurken, aynı oranlarda CCA'lı ağaç malzeme ve %5 MAPE kullanılan OPK'lardaki günlük tüketim oranı 0,27, 0,36, 0,73 mg/term/gün olarak belirlenmiştir.

Termit başına düşen günlük tüketim oranlarında kontrol grubundaki levhaların içeriğindeki odun unu oranının artması ile belirgin bir artış meydana gelirken OPK içeriğinde CCA'lı ağaç malzeme kullanımı ile tüketim oranları belirgin bir şekilde azalmıştır. Kontrol gruplarında ve CCA'lı ağaç malzemedен üretilen OPK'lar içeriğinde MAPE kullanımı ile termit tüketim oranlarında önemli bir değişiklik olmamıştır. OPK içerisinde bulunan CCA'nın koruyucu etkisinin devam ettiği için termit başına düşen günlük tüketim oranlarının azaldığı düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda OPK üretiminde çinko borat gibi lignoselülozik maddeyi koruyucu kimyasalların kullanılması sonucu benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Hing ve diğ. 2011, Kartal ve diğ. 2012, Taşçıoğlu ve diğ. 2012, Taşçıoğlu ve diğ. 2013).

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada servis ömrünü tamamlamış CCA ile emprenye edilmiş tel direkleri ve farklı oranlarda uyum sağlayıcı madde (MAPE) kullanılarak odun plastik kompozit (OPK) üretimi gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubu OPK'lar da emprenyesiz sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve farklı oranlarda MAPE kullanılarak üretilmiştir. Öncelikli olarak üretilen OPK'ların boyutsal stabilitesi ve mekanik özellikleri incelenmiş ve kontrol grupları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan fiziksel testler sonucunda kontrol örneklerinde belirlenen su alma ve kalınlık artış değerlerinin, CCA içeren ağaç malzeme kullanılan OPK'larda daha düşük değerler gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısı ile OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme kullanımının boyutsal stabilite değerleri üzerinde negatif bir etkisi saptanmamıştır.

Yapılan mekanik testler sonucunda eğilme ve çekme direnci değerleri kontrol ve CCA içeren ağaç malzemedan üretilen OPK'larda levha içersinde odun unu oranı artması ile azalmıştır. Bununla beraber %40, 50 ve 60 odun unu kullanılarak üretilen ve MAPE kullanılmayan OPK'larda CCA'lı ağaç malzeme kullanılması ile eğilme ve çekme direnci değerleri kontrol örneklerinden daha yüksek değer verdiği belirlenmiştir. MAPE kullanılması ile eğilme ve çekme direnci değerleri daha da yüksek değerler göstermiştir. Fakat bu artış CCA'lı ağaç malzemedan üretilen OPK'larda, kontrol örneklerine göre daha fazla olmuştur. Dolayısı ile CCA'nın OPK bileşiminde bulunması eğilme ve çekme direnci değerlerine olumsuz bir etki meydana getirmemiştir. Bununla birlikte %40 ve %50 oranında CCA içeren odun unu kullanılan levhaların eğilme direnci değerleri levhalarda %5 MAPE kullanımı ile aynı değerleri göstermiştir. CCA içeren odun unları kullanılarak üretilen tüm levhaların eğilme direnci değerleri ASTM D 6662 tarafından poliefin bazlı plastik yer döşemeleri için belirlenen değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Eğilmede elastikiyet modülü ve çekmede elastikiyet modülü değerleri kontrol ve CCA içeren ağaç malzemedan üretilen OPK'larda direnç özelliklerinin aksine levha içersinde odun unu oranı artması ile artmıştır. MAPE kullanımı ile bu değerde artış meydana gelmiştir. MAPE kullanımı ile eğilmede elastikiyet modülü ve çekmede elastikiyet

modülü değerlerindeki artış CCA'lı ağaç malzemedden üretilen OPK'larda, kontrol örneklerine göre daha fazla olmuştur.

Yapılan mekanik testler sonucunda darbe direncinde ise OPK üretiminde kullanılan odun unu oranlarının artması ile azalmalar meydana gelmiştir. CCA'lı ağaç malzeme kullanılan OPK'ların darbe direnci değerleri kontrol örneklerinin darbe direnci değerlerinden daha düşük sonuçlar vermiştir. OPK'lar içerisinde MAPE kullanımında darbe direnci değerlerini düşürmüştür. Darbe direnci değerlerindeki azalmaların CCA'lı ağaç malzeme ve MAPE kullanılan OPK'larda kontrol örneklerine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Buda bize OPK bünyesinde CCA'lı odun unu bulunmasının darbe direncini olumsuz olarak etkilediğini göstermektedir.

CCA ile emprenye edilen ağaç malzeme yüzeyinin daha hidrofob hale gelmesi sonucu bu malzemedden üretilen OPK'ların çekme ve eğilme direnci değerleri kontrol örneklerine göre daha yüksek çıkmıştır. Bununla beraber CCA'lı ağaç malzemedden üretilen OPK'larda MAPE kullanımı ile direnç değerleri artış göstermiştir. MAPE kullanımının CCA'lı ağaç malzeme ve plastik matris arasındaki uyumu arttırdığı düşünülmektedir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüzeylerden alınan görüntüler bu kanıyı desteklemektedir.

TGA analizleri sonucunda kontrol ve CCA'lı ağaç malzemedden üretilen OPK'ların en yüksek bozunmanın meydana geldiği iki farklı sıcaklık belirlenmiştir. Bozunmanın en yüksek olduğu ilk sıcaklık noktasının CCA'lı ağaç malzemedden üretilen OPK'larda kontrol örneklerine göre daha düşük olduğu (20 °C civarında) tespit edilmiştir. Bunun nedeninin OPK içerisindeki CCA olduğu düşünülmektedir. OPK'ların bozunmanın başladığı sıcaklık ise 210-220°C olarak belirlenmiştir.

DSC analizlerinde ise kontrol ve CCA'lı ağaç malzemedden üretilen OPK'larda 130-137 °C faz geçişinin olduğu tespit edilmiştir. Dolayısı ile OPK üretiminde CCA'lı ağaç malzeme kullanımı söz konusu sıcaklığı değiştirmemiştir.

CCA'lı ağaç malzemedden üretilen OPK'lardan yıkanan CCA miktarlarının levha içerisindeki odun unu oranının artması ile doğru orantılı, MAPE kullanım oranı ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir. MAPE kullanımının yıkanmayı azalttığı ve alternatif olarak üretilen bu OPK'ların çevre açısından da güvenli olduğunu göstermektedir. Tüm levha gruplarından yıkanan CCA miktarının kirlenmemiş topraklarda bulunan CCA

miktarının altında olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber OPK'lardan yıkanan As miktarının içme suları için belirlenmiş olan sınırın üzerinde olduğu görülmüştür.

Beyaz ve esmer çürüklük mantarlarının oluşturduğu ortalama ağırlık kayıpları, OPK içerisinde CCA'lı ağaç malzeme kullanılması ile genel bir azalma göstermiş olmasına rağmen bazı formülasyonlarda bu düşüş istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır.

Yapılan termit testleri sonucunda mantar testlerinde olduğu gibi CCA'nın koruyucu etkisinin devam ettiği görülmektedir. OPK'larda meydana gelen ağırlık kayıpları ve termit başına düşen günlük tüketim oranı, üretimde CCA'lı ağaç malzeme kullanımı ile düşmüştür. Ağırlık kayıpları ve günlük tüketim oranı üzerinde OPK üretiminde MAPE kullanımının önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu ise CCA'lı odun unu kullanılarak üretilen OPK'lar için ayrıca bir koruma işlemine gerek olmadığını ve bünyelerinde bulunan CCA miktarının odunu tahrip eden termitler için etkin bir koruma sağladığını göstermektedir.

Yukarıda belirtilen sonuçlar ışında aşağıdaki öneriler sıranabilir;

- Heryıl servis ömrünü doldurup kullanımdan alınan ve önemli miktarlarda atıl halde bekeyen CCA'lı ağaç malzemenin OPK üretiminde kullanılması alternatif bir geri dönüşüm yolu olarak önerilebilir.
- Günümüzde atıkların etkin bir şekilde kullanılması zorunlu hale geldiği düşünülürse, servis ömrünü tamamlayan CCA'lı ağaç malzemenin OPK üretiminde kullanılması ile atıkların yeniden değerlendirilmesi sağlanabileceği gibi, ormanlar üzerindeki hammadde baskısını azaltabilir.
- Servis ömrünü tamamlayan CCA'lı ağaç malzemedden üretilen OPK'ların kullanım yeri önem arz etmektedir. Termitlere karşı dayanıklılığı önemli bir avantajdır. Ayrıca CCA içerisinde bulunan ağır metallerin (As hariç) yıkanması problemide MAPE ilavesi ile minimize edilmiştir. Fakat kullanım yerinde içme suları ile doğrudan teması engellenmelidir.
- CCA'nın ağaç malzemedden remidasyonu yapıldıktan sonra OPK üretimi gerçekleştirilerek özellikle içme suları için belirlenen sınır değerin yakalanması ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

- Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda OPK'ların üretiminde geri dnüşürölmüş atık YYPE kullanılabilir. Böylece OPK'yı oluşturan bileşenlerden hem odun unu hemde plastik matriks geri dönüşümlü malzemedен üretilmiş olacak ve atıl hade bekleyen odun ve plastikler için uygun bir alternatif oluşturulmuş olacaktır.



## KAYNAKLAR

- Akbaş S., Kargı (*arundo donax* L.) yıllık bitkisinden elde edilen biyo-yağın odun koruma maddesi olarak etkinliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2011).
- Akyüz, Ö.F., *Plastik ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş*. PAGEV yayınları, (2006) 58-65.
- Anonim, <http://www.epa.gov/pesticides> (Erişim Tarihi 17 Mayıs 2012a).
- Anonim, <http://www.treatedwoodarsenicpoisoning.com> (Erişim Tarihi 21 Temmuz 2012b).
- Anonim, <http://www.origen.net/arsenic.html> (Erişim Tarihi 4 Nisan 2012c)
- Anonim, <http://www.banca.org> (Erişim Tarihi 12 Haziran 2012d).
- Anonim, <http://www.gençbilim.com/search.php> (Erişim Tarihi 15 Mayıs 2013e).
- Engüzel S., Şef., *Kişisel görüşme*, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, 7 Aralık 2009.
- Arisi, J.A., Leaching of Copper, Chromium and Arsenic from utility poles treated with Copper Chromium Arsenic (CCA) in Newfoundland and Labrador, *PhD Thesies*, Canada, (2007).
- Aslan, M., Odun plastik kompozitlerinde geri dönüşüm ve atık malzeme kullanımı, VI. *Ulusal orman fakülteleri öğrencileri kongresi*, Düzce, (2008) 63-67.
- ASTM D 1037, Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, *ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, (1996).
- ASTM D 6662, Standard Specification for Polyolefin-Based Plastic Lumber Decking Boards, *ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, (2001).
- ASTM D 256, Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, *ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, (2002).
- ASTM D 638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, *ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, (2004).
- ASTM D 790, Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, *ASTM International*, West Conshohocken, Philadelphia, Pennsylvania, USA, (2004).

- AWPA E 11-97, Standard Method of Determining the Leachability of Wood Preservatives, *American Wood Protection Association*, USA, (1999).
- Bakır D., Artvin yöresindeki tel direklerinde kusur ve hasarların tespiti, *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2012).
- Barnes H.M., Effects of steaming temperature and CCA retention on mechanical properties of southern pine, *Forest Product Journal*, 35 (6) (1985) 31.
- Becker H., *Chemical and technical properties of modern wood preservative for building construction*, Seifen-Ole-Fette Wachse yayın no: 1200, (1966).
- Belluck D.A., Benjamin S.L., Baveye P., Sampson J., Johnson B., Widespread arsenic contamination of soils in residential areas and public spaces: an emerging regulatory or medical crisis, *Int. Journal of Toxicol*, 22 (2) (2003) 109-128.
- Berkel A., *Ağaç Malzeme Teknolojisi: Ağaç Malzemenin Korunması Ve Emprenye Tekniği*, İ.Ü yayın no: 1745, (1972).
- Bozkurt A.Y., Göker Y., Erdin N., *Emprenye Tekniği*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No 3779, O.F. Yayın No 425, (1993) 429.
- Bozkurt Y., Göker Y., *Orman Ürünlerinden Faydalanma*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No 3402, O.F. Yayın No: 379, İstanbul, (1981) 448.
- BS EN 113, Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes Determination of the toxic values, *European Committee for Standardization*, (1996).
- Burmeister A., Becker G., Investigations on the influence of wood preservatives on the strength of wood, *Holz als Roh und Werkstoff*, 21 (10) (1963) 393-409.
- Canetti M., Bertini F., Chrigo A.D., Audisio G., Thermal degradation behavior of isotactic polypropylene blended with lignin, *Polymer Degrad Stabil*, 91 (2006) 494-498.
- Cao X.V., İsmail H., Rashid A.A., Takeichi T., Vo-Huu T., Mechanical properties and water absorption of kenaf powder filled recycled high density polyethylene/natural rubber biocomposites using mape as acompatibiziler, *BioResources*, 6 (3) (2011) 3260-3271.
- Chirenje T., Reeves M., Sczulczewski M., Ma L.Q., Changes in arsenic, chromium and copper concentrations in soils adjacement to CCA-treated deck, fences and utility poles, *Environnement Pollution*, 124 (407) (2003).

- Chowdhury M.J.A., Wolcott M.P., Compatibilizer selection to improve mechanical and moisture properties of extruded wood-HDPE composites, *Forest Product Journal*, 57 (9) (2007) 46-53
- Clausen C.A., Kartal S.M., Muehl J., Properties of particleboard made from recycled CCA-treated wood, *31<sup>st</sup> Annual Meeting Kona*, Hawaii, USA, (2000) 1-6.
- Clemons C.M., Ibach R.E., Laboratory tests on fungal resistance of wood filled polyethylene composites, *Annual Technical Conference*, San Francisco, (1990) 2219-2223.
- Cooper P.A., Leaching of CCA: is it a problem? In: Environmental Considerations in the Manufacture, Use and Disposal of Pressure-Treated Wood, *Forest Products Journal*, 3 (2) (1994) 45-57.
- Çetin N.S., Alma M.H., Baştürk M.A., Yeni kompozitler üretmek amacıyla doğal lignoselülozik lifler ile sentetik polimerler arasında uyum sağlayan birleştirici maddeler ve metotlar, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3 (2) (2000) 58-68.
- EN 317, Particleboards and fiberboards, determination of swelling in thickness after immersion in water, *CEN*, Brussels. Belgium, (1993).
- Felton C.C., De Groot R.C., The recycling potential of preservative-treated wood, *Forest Product Journal*, 46 (7/8) (1996) 37-46.
- Gezer E D., Kullanım süresini tamamlamış emprenyeli ağaç malzemelerin yeniden değerlendirilmesi olanaklarının araştırılması, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2003).
- Helsen L., Van den Bulck F., The microdistribution of copper, chromium and arsenic in CCA treated wood and its pyrolysis residue using energy dispersive x-ray analysis in scanning electron microscopy. *Holzforschung*, 52 (1998) 607-614.
- Helsen L., Van den Bulck E., Van Bael M.K., Mullens J., Thermal behavior of arsenic oxides ( $As_2O_5$  and  $As_2O_3$ ) and the influence of reducing agents (glucose and activated carbon), *Wood Science and Technology*, 11 (2003) 13-24.
- Hing P.S., Lee A.N., Hang C.M., Lee S.H., Khalina A., Paridah M.T., Biological durability of injection molded wood plastic composite boards, *Journal of Applied Sciences*, 11 (2) (2011) 384-388.
- Hingston J.A., Collins C.D., Murphy R.J., Lester J.N., Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives: a review, *Environmental Pollution*, 111 (2001) 53-66.

- Hosseinihashemi S. K., Modirzare M., Safdari V., Kord B., Decay resistance, hardness, water absorption, and thickness swelling of a bagasse fiber/plastic composite, *BioResources*, 6(3) (2011) 3289-3299.
- Huang, C., Cooper, P.A., Cement-bonded particleboard using CCA-treated wood removed from service, *Forest Product Journal*, 50 (6) (2000) 49-56.
- JIS K 1571, Test methods for determining the effectiveness of wood preservatives and their performance requirements, *Japanese Industrial Standard*, Japan, (2004).
- John M.J., Thomas S., Biofibres and Biocomposites, *Carbohydrate Polymers*, 71 (2007) 343-364.
- Kamdem D.P., Jiang H., Cui W., Freed J., Matuana L.M., Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service, *Composite: Part A*, 35 (2004) 347-355.
- Karakuş K., Üniversitemizdeki polietilen ve polipropilen atıkların polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, (2008).
- Kartal S.N., Aysal S., Terzi E., Yılğör N., Yoshimura T., Tsunoda K., Wood and bamboo-PP composites: fungal and termite resistance and water absorption, *BioResources*, 8 (1) (2012) 34-51.
- Kercher A.K., Nagle D.C., TGA modelling of thermal decomposition of CCA treated lumber waste, *Wood Science and Technology*, 35(4) (2001) 325-341.
- Kenderes A.M., Managing the treated wood resource-II, *Special Seminar*, Boston, (2003) 49-56.
- Korucu T., Mengeloğlu F., Potentials of Agricultural Residues as Raw Materials and Their Alternative Usage Possibilities in Turkey, *24<sup>th</sup> National Agricultural Mechanization Congress*, (2007) 297-307.
- Köse M., Kişisel Görüşme, Ulaştırma Bakanlığı, ANKARA, 15 Kasım 2010.
- Kylosov, A.A., Wood Plastic Composites, *John Wiley&Sons*, (2007) 698.
- Lebow S., Foster D., Lebow P., Rate of CCA leaching from commercially treated decking, *Forest Products Journal*, 54(2) (2004) 81-88.
- Li Q., Matuana L.M., Effectiveness of maleated and acrylic acid-functionalized polyolefin coupling agents for HDPE-wood flour Composites, *Journal of Thermoplastic Composites*, 16 (2003) 551-564.
- Li W., Shupe T.F., Hse C.Y., Leaching of flakeboard produced from recycled CCA-treated wood into deionized water, *Forest Products Journal*, 54(3) (2004a) 38-41.

- Li W., Shupe T.F., Hse C.Y., Physical and mechanical properties of flakeboard properties of flakeboard produced from recycled CCA-treated wood, *Forest Products Journal*, 54(2) (2004) 89-94.
- Li Y., Effect of coupling agent concentration, fiber content, and size on mechanical properties of wood /HDPE composites, *International Journal of Polymeric Materials*, 61 (2012) 882-890.
- Li J., Li B., Zhang X., Comparative studies of thermal degradation between larch lignin and Manchurian ash lignin, *Polymer Degrad Stabil*, 78 (2002) 279-285.
- Lu J.Z., Wu O., McNabb H.S., Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: a review of coupling agents and treatments, *Wood and Fiber Science*, 32 (1) (2000) 88-104.
- Maldas D.C., Kamdem D.P., Surface tension and wettability of CCA-treated red maple, *Wood and Fiber Science*, 30 (4) (1998) 368-373.
- Mankowski M., Morrell J. J., Patterns of fungal attack in wood-plastic composites following exposure in a soil block test, *Wood and Fiber Science*, 32(3) (2000) 340-345.
- Matuana L.M., Balatinecz J.J., Effect of surface properties on the adhesion between PVC and wood veneer laminates, *Polymer Engineering Science*, 38 (4) (1998) 764-771.
- Matuana L.M., Heiden P.A., Wood Composites, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 12 (2004) 521-546.
- McQueen J., Stevens J., Disposal of CCA-treated wood, *Forest Products Journal*, 48 (11/12) (1998) 86-90.
- Mengelöglü F., Gardner D.J., Recycled CCA-treated lumber in flakeboards: evaluation of adhesives and flakes, *Forest Products Journal*, 50(2) (2000) 41-45.
- Mengelöglü F., Matuana L.M., King J.A., Effect of impact modifiers on the properties of rigid PVC wood fiber composites, *Journal of Vinyl Addit Tecnology*, 6 (3) (2000) 153-157.
- Mengelöglü F., Alma, M.H., Çetin, N.S., Plastik endüstrisinde buğday sapı ununun kullanılabilirliği, *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2 (2) (2002) 57-65.
- Mengelöglü F., Kurt R., Karakuş K., Atık okaliptüs unlarıyla doldurulmuş geri dönüşüm yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) polimer kompozitler, *I. Ulusal Okaliptus Sempozyumu*, Tarsus, (2008) 129-133.

- Mengelöglu F., Karakus K., Polymer composites from recycled high density polyethylene and waste lignocellulosic materials, *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (2) (2008) 211-217.
- Mengelöglu F., Karakus K., Thermal Degradation, Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic, *Sensors*, 8 (2008a) 497-516.
- Mengelöglu F., Kabakçı A., Determination of thermal properties and morphology of eucalyptus wood residue filled high density polyethylene composites, *Journal of Molecular Sciences*, 9 (2008) 107-119.
- Mengelöglu F., Kurt R., Özmen N., Çetin N.S., Tutuş A., Karademir A., Recycling of CCA treated lumber in the manufacture of flakeboard, *Wood and Science Technology*, (2003) 129-133.
- Moghaddam A.H., Mulligan C.N., Leaching of heavy metals from chromated copper arsenate (CCA) treated wood after disposal, *Waste Management*, 28 (2008) 628-637.
- Morris P.L., Cooper P.A., Recycled plastic/wood composite lumber attacked by fungi., *Forest Product Journal*, 48(1) (1998) 86-88.
- Munson J.M., Kamdem D.-P., Reconstituted particleboards from CCA-treated red pine utility poles, *Forest Products Journal*, 48 (3) (1998) 55-62.
- Morrell J.J., Stark M.N., Pendleton D.E., McDonald A G., Durability of wood plastic composites, *10th International Conference on Wood Biofiber Plastic Composites*, Madison, (2010) 71-75.
- Onaran K., Malzeme bilimi, *Bilim Teknik Yayınevi*, (1999).
- Örs Y., Keskin H., *Ağaç Malzeme Bilgisi*, Nobel Yayıncılık, (2001).
- Pizzi A., A new approach to the formulation and application of CCA preservatives, *Wood Science and Technology*, 17 (1983) 303-319.
- Pizzi A., Chromium interactions in CCA/CCB wood preservatives. *Part I. Holzforshung*, 44 (5) (1990) 373-380.
- Pizzi A., Chromium interactions in CCA/CCB wood preservatives. *Part I. Holzforshung*, 44 (8) (1990a) 419-424.
- Principia P., Natural & Wood Fiber Composites, *The Principiam Newsletter*, 1(1) (2002).
- Richardson B.A. Wood Preservation. Second Edition. Chapter 1. Preservation Tecnology, *Chapman &Hall Press*, (1993).

- Rowell R.M., Chemical modification of lignocellulosics, *In: Proceedings, International Workshop on Frontiers of Surface Modification and Characterization of Lignocellulosic Fibers*, Sweden, (1996) 31-47.
- Rowell R.M., Cleary B.A., Rowell J.S., Clemons C., Young R.A., Results of chemical modification of lignocellulosic fibers for use in composites, *1st Wood Fiber Plastic Composites Conference*, Madison, (1993) 121-127.
- Rowell R.M., Lange S.E., Jacobson R.E., Effects of moisture on apsen-fiber/polypropylene composites, *In: Progress in Wood Fibre-Plastik Composites, Conference Proceedings*, Canada, (2002) 42-56.
- Rowell R.M., Performance driven composites from lignocellulosic resources, *International Conference on Science and Technology of Composites Materials*, Argentina, (2001) 28-32.
- Sain M., Panthapulakkal S., Bioprocess preparation of wheat straw fibers and their characterization, *Ind. Crops Products*, 23 (2006) 1-8.
- San H.P., Nee L.A., Meng H.C., Physical and bending properties of injection moulded wood plastic composites boards, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (5) (2008) 13-19.
- Sanadi A.R., Caufield D.F., Jacobson R.E., Rowell R.M., Renewable agricultural fibers as reinforcing fillers in plastics: mechanical properties of kenaf fiber polypropylene composites, *Industrial Engineering Chemistry Research*, 34 (5) (1995) 1889-1896.
- Sanadi A.R., Caufield D.F., Jacobson R.E., *CRC Lewis Press Boca Raton*, (1997), 377.
- Sanders J.G., Reidel G.F., Control of trace element toxicity by phytoplankton. In: *Phytochemical Effects of Environmental Compounds*, Pleum Press, (1987).
- Sanders J.G., Windom H.L., The uptake and reduction of arsenic species by marine algae, *Estuarine and Coastal Marine Science*, 10 (1980) 555-567.
- Shang L., Han G., Zhu F., Ding J., Shupe T., Wang Q., Wu Q., High-density polyethylene-based composites with pressure-treated wood fibers, *BioResources*, 7(4) (2012) 5181-5189.
- Schultz T.P., Militz H., Freeman M.H., Goodell B., Nicholas D.D., Development of commercial wood preservatives, efficacy, environmental, and health issues, *Pleum Press*, (2008) 480-504.
- Schirp A., Wolcott M.P., Influence of fungal decay and moisture absorption on mechanical properties of extruded wood plastic composites, *Wood Fiber Science*, 37 (4) (2005) 643-652.

- Schirp A., Ibach R. E., Pendleton D.E., Wolcott M.P., Biological degradation of wood-plastic composites (WPC) and strategies for improving the resistance of WPC Wood polymer composites against biological decay, *BioResources*, 7(4) (2008) 511-523.
- Simonsen, J., The mechanical properties of wood fiber plastic composites: theoretical vs. experimental. In: Proceedings of wood fiber plastic composites, *Forest Products Society*, (1995) 47-55.
- Solo-Gabriele H., Townsend T., Messick B., Calitu V., Characteristics of chromated copper arsenate-treated wood ash, *Journal of Hazardous Materials B*, 89 (2002) 213-232.
- Stokke D.D., Gardner D.J., Fundamental aspects of wood as a component of thermoplastic composites, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 9 (2003) 96-104.
- Taşçıoğlu C., Budakçı M., Adhesion properties of woods treated with copper based wood preservative chemicals, *Wood Research*, 54 (3) (2009) 23-32.
- Taşçıoğlu C., Effects of wood preservatives in adhesive curing and changes in surface characteristics of treated wood, *Wood Research*, 52(4) (2007) 101-108.
- Taşçıoğlu C., Goodell B., Lopez-Anido R., Gardner D., Surface energy characterization of preservative-treated wood and E-glass/phenolic composites, *Forest Products Journal*, 54 (12) (2004) 262-268.
- Taşçıoğlu C., Kantay R., Bazı empenye maddelerinin çevreye etkileri, *1. Çevre ve Ormancılık Şûrası-Tebliğler*, Antalya, (2005) 997-1008.
- Taşçıoğlu C., Cooper P., Ung T., Effects of fization temperature and environment on copper speiation in ACQ treated red pine, *Holzforschung*, 62 (2008) 289-293.
- Taşçıoğlu C., Yoshimura T., Tsunoda K., Biological performance of zinc borate incorporated into wood-plastic composites: laboratory and 3-year field test results, *Composite: Part B*, 51 (2013) 185-190.
- Taşçıoğlu C., Tufan M., Hizmet ömrünü doldurmuş empenyeli ağaç malzemenin geri dönüşüm yöntemleri üzerine genel bir değerlendirme, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (1) (2011) 86-91.
- Taşçıoğlu C., Yalçın M., Tufan M., Akçay Ç., Bazı yerli ağaç türü diri odunlarının *Coptotermes formosanus* termitine karşı doğal dayanıklılığı, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (2) (2012) 197-204.
- TEDAŞ, *Kişisel Görüşme*, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi Bölge Müdürlüğü, Ankara, 25 Eylül 2011.



- Temiz A., Tıldız Ü.C., Gezer E.D., Yıldız S., Dizman E., CCA'nın kızılâğaç odunun mekanik özellikleri üzerine etkisi, *Kafkas Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1 (2004) 18-23.
- Tufan M., Lignoselülozik liflerle takviye edilmiş plastik kompozitlerin hazırlanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, (2008).
- Tüfekçioğlu T., Arhavi ve Fındıklı yörelerinde CCA (Bakır/Krom/Arsenik) uygulanmış tel direklerin toprak ve bitkide oluşturdukları kirlenme üzerine araştırmalar, *Yüksek Lisans Tezi*, Kafkas Üniversitesi, (2005).
- Var A.A., Jeotermal akışkanlarda potansiyel emprenye maddelerinin miktarı ve bunların ahşap emprenye işlemine uygunluğu, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1 (2009) 184-197.
- Vick C.B., Coupling agent improves durability of PRF bonds to CCA-treated southern pine, *Forest Products Journal*, 45 (3) (1995) 78-84.
- Vick C.B., Geimer R.L., Wood J.E., Flakeboards from recycled CCA-treated southern pine lumber, *Forest Products Journal*, 46 (11/12) (1996) 89-91.
- Vick C.B., Kuster T.A., Mechanical interlocking of adhesive bonds to CCA-treated southern pine-a scanning electron microscopic study, *Wood and Fiber Science*, 24 (1) (1992) 36-46.
- Wang Y., Yeh F.C., Lai S.M., Chan H.C., Shen H.F., Effectiveness of functionalized polyolefins as compatibilizers for polyethylene wood flour composites, *Polymer Engineering Science*, 43 (4) (2003) 933-945.
- Wassen S.J., Linak W.P., Gulett B.K., King C.J., Touati A., Higgins F.E., Chen Y., Shah N., Huffman G.P., Emissions of chromium, copper and arsenic and PCDDs/Fs from open burning of CCA-treated wood, *Environmental Science and Technology*, 39 (2005) 8865-8876.
- Weis J.S., Weis P., Effects of contaminants from chromated copper arsenate-treated lumber on benthos, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, (1994) 26, 103-109.
- Winandy J.E., Effects of waterborne preservative treatment on mechanical properties: A review, *Proceedings American Wood Preserver's Association*, 91 (1995) 17-33.
- Yang, H.S., Kim, H.J., Park, H.J., Lee, B.J. ve Hwang, T.S., Effect of Compatibilizing Agents on Rice-husk Flour Reinforced Polypropylene Composites, *Composite Structures*, 77 (2007) 45-55.
- Yıldız Ü.C., Odun koruma, *Ders Notları*, Trabzon, (2005).

Zabihzadeh S.M., Water uptake and flexural properties of natural filler/hdpe composites, *BioResources*, 5(1) (2010) 316-323.

Xu F., Liu C.F., Geng Z.C., Sun J.X., Sun R.C., Hei B.H., Lin L., Wu S.B., Je J., Characterization of degraded organosolv hemicelluloses from wheat straw, *Polymer Degrad Stabil*, 91 (2006) 1880-1886.

## EKLER

**Ek Çizelge 1.** Tez çalışması kapsamında kullanılan OPK'ların kalınlık artışı (%) değerlerine ait veriler.

Grup İsmi	23 °C		40 °C		Grup İsmi	23 °C		40 °C	
	2 Saat	24 Saat	2 Saat	24 Saat		2 Saat	24 Saat	2 Saat	24 Saat
1A	0,52	2,47	1,17	2,33	1B	0,76	0,79	0,61	1,33
	1,27	1,36	0,52	1,11		0,23	1,29	0,51	1,33
	1,27	1,38	1,19	2,21		0,30	0,71	0,53	1,74
	1,26	1,30	1,23	1,94		0,23	0,82	1,25	1,52
	0,46	1,65	0,70	1,18		0,39	0,85	0,30	1,77
	0,82	1,17	0,85	2,52		0,19	0,66	0,52	1,57
	0,43	0,98	0,37	1,50		0,34	0,76	0,71	2,08
	0,05	0,31	0,56	2,35		0,33	0,08	0,28	2,94
	0,08	0,26	0,67	2,20		0,22	0,45	0,66	2,10
	0,54	0,88	1,08	1,86		0,03	0,70	0,61	3,11
2A	0,92	1,00	1,07	2,31	2B	0,36	0,82	0,86	0,90
	0,46	1,04	0,29	1,67		0,09	0,63	0,71	0,87
	0,44	0,59	0,60	1,28		0,40	0,21	0,12	0,52
	0,29	0,74	1,14	1,69		0,36	0,62	0,59	1,22
	0,73	1,43	1,34	2,32		0,22	0,26	0,02	0,87
	0,95	0,96	0,69	1,35		0,09	0,41	0,56	1,11
	0,55	2,61	0,96	2,31		0,01	0,19	1,07	1,18
	0,60	1,16	0,60	1,88		0,34	0,89	0,28	1,12
	0,22	0,42	0,68	1,89		0,18	0,53	0,43	1,05
	0,50	0,77	0,60	1,05		0,21	0,79	0,87	0,58
3A	0,18	0,51	0,28	0,83	3B	0,46	0,45	1,60	0,42
	0,27	0,83	1,57	1,79		0,49	0,57	0,49	1,33
	0,42	0,63	0,30	1,85		0,01	0,54	1,25	1,08
	1,00	0,75	1,56	2,88		0,15	0,37	0,01	0,94
	0,21	0,59	1,84	2,37		0,34	1,06	0,28	0,62
	0,52	1,20	0,54	1,13		0,01	0,55	0,28	1,09
	0,34	0,55	0,33	0,56		0,16	0,90	0,20	0,84
	0,35	0,99	0,32	1,18		0,14	0,28	1,25	1,49
	0,17	0,43	0,17	0,40		0,04	0,26	0,14	0,31
	0,39	1,01	1,28	1,19		0,26	0,62	0,18	0,52

**Ek Çizelge 1 (devam).**

4A	0,39	0,47	0,75	1,48	4B	0,03	0,42	0,83	0,84
	0,54	0,80	0,57	1,19		0,03	0,34	0,46	0,81
	0,86	0,99	0,53	0,92		0,03	1,08	1,02	0,71
	0,02	0,30	0,70	1,38		0,08	0,15	0,39	0,78
	0,68	0,77	0,54	0,74		0,10	0,55	0,27	0,83
	0,63	0,65	0,98	1,95		0,33	0,86	0,33	0,94
	0,18	0,40	0,51	0,65		0,31	0,37	0,31	0,49
	0,34	0,82	0,23	0,58		0,69	0,57	0,70	0,77
	0,01	0,28	0,87	1,37		0,32	0,36	0,08	0,53
	0,36	0,45	1,04	1,56		0,18	0,38	0,01	0,54
5A	0,95	1,64	0,57	1,95	5B	0,93	1,69	0,69	2,29
	1,59	1,62	1,53	2,65		0,44	1,74	0,11	0,78
	1,42	1,64	2,18	4,86		0,12	0,78	0,86	1,25
	2,12	3,25	1,84	3,46		0,32	1,00	0,06	1,77
	1,48	2,43	0,34	1,94		0,30	1,75	0,07	1,65
	0,45	2,39	1,49	3,79		1,88	2,11	1,04	3,91
	0,47	2,02	1,78	3,79		0,05	1,27	1,46	4,83
	0,89	1,62	2,16	4,55		0,82	1,71	1,70	5,41
	1,13	2,22	1,71	2,92		0,23	1,32	1,40	4,39
	0,34	2,21	1,40	3,60		0,75	1,99	0,66	5,45
6A	1,21	1,26	1,42	3,48	6B	0,20	0,91	0,47	1,74
	0,81	1,42	1,78	3,89		1,03	2,19	0,45	1,75
	1,20	1,70	1,04	2,76		0,44	3,24	0,74	0,48
	1,69	2,32	1,09	2,63		0,59	1,32	0,86	1,59
	1,11	2,16	1,17	3,39		0,65	1,69	0,61	2,55
	0,69	1,29	1,37	4,19		0,08	0,28	0,76	1,36
	0,52	1,13	1,07	2,92		0,21	0,71	1,07	1,74
	0,48	1,14	1,15	4,26		0,32	1,04	0,68	3,81
	0,97	1,13	1,07	2,76		0,90	1,21	0,55	2,20
	0,32	1,29	1,42	3,22		0,41	0,93	0,57	1,35
7A	0,42	0,87	0,73	2,89	7B	0,37	1,07	0,68	2,03
	1,17	1,51	0,79	3,03		0,24	0,85	0,27	1,42
	0,99	0,99	1,25	2,11		0,08	0,50	0,36	1,15
	0,19	0,49	0,99	1,94		0,31	0,62	0,94	1,37
	0,19	0,35	1,32	2,69		1,24	1,48	0,77	1,28
	1,50	1,80	1,16	2,06		0,82	0,93	0,90	2,18
	1,36	1,91	1,63	2,95		0,38	0,70	0,35	1,07
	0,57	1,87	1,20	2,09		0,13	0,58	0,76	1,09
	1,34	1,95	1,97	2,29		0,40	0,64	0,82	2,08
	0,86	1,62	1,67	2,26		0,20	0,76	0,54	2,08

**Ek Çizelge 1 (devam).**

8A	0,74	0,77	1,20	3,37	8B	0,02	0,86	0,49	1,33
	0,96	3,23	1,16	2,66		0,20	0,53	0,71	2,02
	0,39	0,84	1,04	2,79		0,19	0,29	0,94	0,61
	0,46	0,41	1,63	2,73		0,42	0,68	0,55	1,56
	0,00	0,73	2,13	2,62		0,22	0,46	0,48	0,92
	1,07	1,57	0,19	1,08		0,64	1,37	0,43	2,01
	0,92	1,26	1,25	1,94		0,41	0,61	0,71	1,58
	0,90	1,23	1,33	2,55		0,28	0,96	0,37	1,53
	0,67	0,97	1,08	1,69		0,33	0,77	0,16	1,86
	0,55	1,17	1,58	2,04		0,04	0,08	0,77	1,19
9A	2,71	3,92	3,70	7,57	9B	1,17	3,72	1,38	4,36
	1,40	3,43	3,08	6,71		1,11	2,41	0,62	4,23
	2,67	4,32	2,93	8,30		1,28	3,59	1,00	2,73
	2,02	3,96	2,98	5,64		1,02	2,35	1,55	3,79
	2,46	5,43	3,53	8,17		1,09	2,17	1,15	3,53
	0,06	2,15	1,46	4,55		0,95	2,61	1,06	5,80
	0,66	1,16	1,00	4,74		0,22	2,43	1,72	4,90
	0,91	1,47	2,66	6,78		0,03	1,65	1,36	4,05
	1,73	0,55	2,94	6,26		1,13	2,75	1,41	5,61
	0,64	2,75	1,92	8,51		0,34	2,26	1,29	4,78
10A	0,81	1,20	1,82	8,06	10B	0,82	1,53	1,24	4,57
	0,81	3,44	1,60	4,52		0,50	3,76	0,75	3,82
	0,53	2,02	1,69	6,92		1,19	1,71	0,19	2,70
	1,51	3,68	1,73	6,93		0,94	1,92	0,24	2,24
	1,13	3,94	2,80	6,49		0,45	2,09	0,30	1,96
	1,07	3,04	1,92	6,61		0,36	1,51	0,83	3,22
	1,79	2,32	3,87	6,52		0,26	4,04	1,06	3,38
	2,00	2,93	3,72	5,58		0,10	4,27	1,64	4,17
	2,68	3,23	3,55	5,90		0,59	1,05	0,87	3,51
	1,70	2,97	1,92	3,92		0,71	3,02	0,70	2,16
11A	1,18	2,79	2,21	3,57	11B	0,49	0,90	0,37	2,57
	1,12	1,97	1,65	5,53		0,37	2,25	1,56	2,12
	1,71	2,31	3,73	7,89		0,18	1,21	0,13	3,07
	0,24	1,24	2,38	5,80		0,22	1,02	0,40	2,24
	0,92	1,31	1,93	4,40		0,25	1,73	0,03	2,57
	1,55	2,17	1,96	4,59		0,41	2,50	0,67	2,67
	1,71	3,31	2,71	3,47		0,96	2,03	0,94	3,10
	1,07	2,20	2,89	6,27		0,99	3,13	0,93	2,49
	1,56	5,34	1,57	4,51		0,22	1,69	0,53	2,19
	1,69	3,15	2,18	4,93		0,65	2,35	0,82	2,40

**Ek Çizelge 1 (devam).**

12A	0,26	0,50	1,55	4,75	12B	0,09	0,69	0,50	2,93
	1,26	1,47	1,77	4,90		0,08	1,07	0,49	2,75
	0,98	2,05	2,12	4,74		0,72	1,13	1,09	2,37
	1,13	1,51	1,42	2,79		0,50	1,62	0,88	1,99
	0,43	1,40	2,77	5,16		0,34	0,91	0,60	2,07
	0,90	1,44	0,85	1,07		0,41	1,46	0,51	1,53
	0,60	1,47	0,47	0,28		0,53	1,50	0,27	2,14
	0,54	1,00	0,07	0,21		0,55	1,32	1,37	1,98
	0,75	1,68	0,79	2,62		0,22	1,74	0,45	2,14
	0,90	1,36	0,22	-1,06		0,54	1,00	0,72	2,14

**Ek Çizelge 2.** Tez çalışması kapsamında kullanılan OPK'ların su alma (%) oranlarına ait veriler.

Grup İsmi	23 °C		40 °C		Grup İsmi	23 °C		40 °C	
	2 Saat	24 Saat	2 Saat	2 Saat		2 Saat	24 Saat	2 Saat	24 Saat
1A	0,35	0,59	0,44	1,73	1B	0,26	0,77	0,38	1,24
	0,30	0,85	0,53	1,15		0,18	0,53	0,40	1,56
	0,35	0,59	0,44	1,73		0,26	0,77	0,38	1,24
	0,30	0,85	0,53	1,15		0,18	0,53	0,40	1,56
	0,30	0,85	0,53	1,15		0,18	0,53	0,40	1,56
2A	0,37	0,73	0,47	1,22	2B	0,26	0,64	0,25	0,93
	0,27	0,57	0,40	1,58		0,22	0,58	0,45	1,02
	0,37	0,73	0,47	1,22		0,26	0,64	0,25	0,93
	0,27	0,57	0,40	1,58		0,22	0,58	0,45	1,02
	0,27	0,57	0,40	1,58		0,22	0,58	0,45	1,02
3A	0,36	0,39	0,36	0,89	3B	0,20	0,50	0,31	0,87
	0,25	0,49	0,41	1,01		0,28	0,62	0,27	1,00
	0,36	0,39	0,36	0,89		0,20	0,50	0,31	0,87
	0,25	0,49	0,41	1,01		0,28	0,62	0,27	1,00
	0,25	0,49	0,41	1,01		0,28	0,62	0,27	1,00
4A	0,23	0,32	0,29	0,94	4B	0,19	0,46	0,29	0,73
	0,21	0,45	0,29	0,86		0,16	0,45	0,20	0,91
	0,23	0,32	0,29	0,94		0,19	0,46	0,29	0,73
	0,21	0,45	0,29	0,86		0,16	0,45	0,20	0,91
	0,21	0,45	0,29	0,86		0,16	0,45	0,20	0,91
5A	0,77	1,53	1,16	3,55	5B	0,14	1,63	0,68	2,96
	0,77	1,62	1,18	3,77		0,40	1,50	0,70	2,88
	0,77	1,53	1,16	3,55		0,14	1,63	0,68	2,96
	0,77	1,62	1,18	3,77		0,40	1,50	0,70	2,88
	0,77	1,62	1,18	3,77		0,40	1,50	0,70	2,88
6A	0,44	1,10	1,05	1,95	6B	0,30	1,05	0,53	2,05
	0,39	0,92	0,68	2,36		0,23	0,95	0,53	2,14
	0,44	1,10	1,05	1,95		0,30	1,05	0,53	2,05
	0,39	0,92	0,68	2,36		0,23	0,95	0,53	2,14
	0,39	0,92	0,68	2,36		0,23	0,95	0,53	2,14
7A	0,35	0,82	0,78	2,12	7B	0,30	0,88	0,44	1,71
	0,42	1,33	0,82	2,11		0,21	0,70	0,41	1,41
	0,35	0,82	0,78	2,12		0,30	0,88	0,44	1,71
	0,42	1,33	0,82	2,11		0,21	0,70	0,41	1,41
	0,42	1,33	0,82	2,11		0,21	0,70	0,41	1,41

**Ek Çizelge 2 (devam).**

8A	0,27	0,92	0,64	2,10	8B	0,32	0,69	0,34	1,50
	0,43	0,78	0,54	1,36		0,08	0,69	0,30	1,26
	0,27	0,92	0,64	2,10		0,32	0,69	0,34	1,50
	0,43	0,78	0,54	1,36		0,08	0,69	0,30	1,26
	0,43	0,78	0,54	1,36		0,08	0,69	0,30	1,26
9A	0,95	2,65	2,36	6,29	9B	0,70	2,15	1,31	6,19
	0,99	2,22	2,44	6,82		0,88	2,51	1,53	6,59
	0,95	2,65	2,36	6,29		0,70	2,15	1,31	6,19
	0,99	2,22	2,44	6,82		0,88	2,51	1,53	6,59
	0,99	2,22	2,44	6,82		0,88	2,51	1,53	6,59
10A	0,72	2,29	2,26	6,53	10B	0,54	1,78	0,94	4,62
	0,42	2,40	2,20	6,03		0,76	2,34	0,82	4,13
	0,72	2,29	2,26	6,53		0,54	1,78	0,94	4,62
	0,42	2,40	2,20	6,03		0,76	2,34	0,82	4,13
	0,42	2,40	2,20	6,03		0,76	2,34	0,82	4,13
11A	0,22	2,42	2,03	6,44	11B	0,35	1,17	0,74	3,27
	0,64	2,30	2,16	6,08		0,41	1,45	0,68	3,23
	0,22	2,42	2,03	6,44		0,35	1,17	0,74	3,27
	0,64	2,30	2,16	6,08		0,41	1,45	0,68	3,23
	0,64	2,30	2,16	6,08		0,41	1,45	0,68	3,23
12A	0,39	1,51	1,63	4,06	12B	0,30	0,89	0,61	2,63
	0,41	1,64	1,66	4,02		0,39	1,79	0,73	2,67
	0,39	1,51	1,63	4,06		0,30	0,89	0,61	2,63
	0,41	1,64	1,66	4,02		0,39	1,79	0,73	2,67
	0,41	1,64	1,66	4,02		0,39	1,79	0,73	2,67



**Ek Çizelge 3.** Tez çalışması kapsamında kullanılan OPK'ların mekanik test değerlerine ait veriler.

Grup İsmi	Direnç (MPa)			Elastikiyet Modülü (GPa)	
	Eğilme	Çekme	Şok	Çekme	Eğilme
1A	27,90	13,81	62,01	0,51	1,69
	28,54	13,98	56,45	0,49	1,66
	28,10	12,25	59,69	0,55	1,72
	28,01	12,54	60,36	0,47	1,80
	27,69	13,11	59,86	0,53	1,85
	27,43	12,05	55,23	0,51	1,57
	28,76	13,95	61,86	0,48	1,78
2A	30,01	13,94	43,55	0,60	1,71
	31,16	13,73	47,36	0,58	1,83
	30,45	14,59	46,75	0,57	1,75
	30,33	13,83	48,91	0,62	1,71
	29,55	13,88	50,51	0,59	1,74
	30,25	14,96	50,76	0,60	1,74
	30,79	14,32	50,63	0,59	1,81
3A	33,34	15,73	47,26	0,62	1,77
	33,38	16,27	47,56	0,61	1,76
	33,86	16,39	46,63	0,53	1,76
	33,91	16,28	47,41	0,60	1,76
	34,09	15,49	46,57	0,61	2,03
	33,25	15,27	47,74	0,61	1,73
	33,79	15,93	51,60	0,57	1,93
4A	36,21	16,96	44,54	0,67	1,99
	36,01	18,07	46,59	0,44	2,03
	36,48	17,24	45,69	0,64	2,00
	36,89	17,75	48,23	0,63	1,94
	36,21	17,99	44,10	0,60	1,97
	36,87	17,93	43,51	0,61	1,89
	36,78	17,01	50,15	0,64	1,96
5A	25,95	10,91	38,89	0,44	1,79
	23,39	10,93	44,40	0,48	1,78
	25,31	10,94	45,74	0,44	1,76
	25,28	11,35	44,06	0,44	1,75
	25,56	11,01	45,48	0,46	1,75
	24,38	10,72	42,98	0,43	1,77
	25,72	11,02	48,71	0,44	1,71

**Ek Çizelge 3 (devam).**

6A	28,51	11,72	41,07	0,55	1,96
	28,99	11,43	41,03	0,53	1,99
	27,21	12,47	43,38	0,57	2,01
	28,71	12,50	43,15	0,58	2,04
	28,45	12,77	43,56	0,54	1,85
	29,72	11,58	50,28	0,60	1,99
	27,53	12,46	40,65	0,57	1,77
7A	31,74	14,74	44,54	0,59	1,92
	31,87	14,69	43,31	0,59	1,94
	31,57	14,79	41,70	0,65	1,92
	30,66	15,43	41,39	0,64	2,09
	33,73	14,16	44,14	0,57	1,92
	32,67	15,00	41,81	0,64	1,96
	32,40	15,19	46,94	0,59	2,10
8A	35,30	15,92	42,01	0,70	2,26
	35,67	15,98	44,30	0,70	2,15
	35,16	16,76	43,39	0,73	2,20
	34,39	16,22	43,45	0,70	1,97
	36,17	15,58	44,56	0,68	1,77
	35,22	15,02	44,85	0,66	1,97
	32,98	16,24	40,59	0,71	1,78
9A	22,52	8,62	36,53	0,38	1,71
	23,70	8,24	36,29	0,40	1,88
	23,12	8,38	36,69	0,37	1,92
	20,25	8,35	37,33	0,42	1,81
	21,96	8,42	36,29	0,39	1,91
	21,09	8,97	37,46	0,45	2,03
	21,94	8,76	37,83	0,40	1,90
10A	24,01	10,45	35,53	0,54	2,31
	23,97	10,04	35,01	0,52	1,82
	22,45	10,03	33,45	0,55	1,75
	23,09	10,28	34,84	0,55	1,95
	24,03	10,22	32,09	0,52	2,05
	24,88	10,16	33,79	0,56	1,88
	23,02	10,25	34,25	0,54	2,15
11A	27,05	12,24	32,96	0,59	1,96
	25,77	11,73	32,96	0,59	1,95
	25,86	11,91	33,13	0,56	2,00
	25,99	11,79	32,06	0,59	1,83
	27,44	11,99	32,09	0,59	2,06

**Ek Çizelge 3 (devam).**

11A	25,77	11,35	32,08	0,56	2,11
	25,75	12,39	32,45	0,63	2,06
12A	30,13	13,59	31,50	0,66	2,16
	27,74	13,85	30,44	0,66	2,36
	29,96	13,78	29,98	0,66	2,24
	29,42	13,36	30,24	0,64	2,26
	30,75	13,91	30,15	0,66	2,26
	30,67	13,44	30,93	0,64	2,34
	29,25	13,73	30,34	0,66	2,07
1B	29,22	13,41	46,02	0,56	1,61
	29,13	13,66	55,20	0,59	1,76
	30,70	13,94	49,37	0,58	1,79
	29,92	13,96	48,05	0,54	1,96
	27,27	13,91	51,74	0,51	1,76
	28,05	13,94	50,51	0,54	1,91
	29,92	13,95	48,66	0,49	1,77
2B	30,10	15,29	46,72	0,59	1,82
	29,92	14,64	42,99	0,58	1,91
	30,37	15,56	46,28	0,60	1,92
	31,60	14,95	43,74	0,59	1,74
	32,33	14,84	43,48	0,57	1,68
	30,93	15,15	40,41	0,58	1,86
	31,68	15,30	46,41	0,59	1,74
3B	34,61	17,86	45,15	0,62	1,92
	35,54	17,88	42,03	0,62	2,07
	34,07	17,02	44,14	0,55	1,83
	33,56	16,57	46,07	0,60	1,76
	32,63	17,46	46,07	0,61	1,82
	34,71	17,50	44,15	0,61	1,96
	34,92	17,47	47,32	0,61	1,74
4B	39,28	19,60	44,37	0,62	2,05
	39,25	19,57	44,37	0,64	2,08
	39,41	19,35	44,14	0,62	1,99
	39,37	19,16	46,50	0,63	2,02
	38,68	19,05	45,48	0,63	1,95
	39,02	19,97	44,14	0,64	1,90
	38,56	19,69	45,48	0,64	1,92
5B	24,17	11,90	37,69	0,49	2,02
	24,66	10,84	38,21	0,52	1,80
	24,75	11,98	39,07	0,50	1,77

**Ek Çizelge 3 (devam).**

5B	25,30	10,98	38,17	0,49	1,88
	25,77	10,76	36,18	0,51	1,84
	26,00	11,97	38,16	0,49	2,02
	25,42	11,02	38,66	0,50	1,63
6B	30,19	13,78	38,62	0,60	2,09
	30,90	13,19	34,17	0,60	1,96
	30,89	13,69	33,90	0,55	2,16
	30,80	13,57	38,76	0,59	1,95
	30,96	13,95	39,25	0,59	1,87
	30,45	13,79	37,59	0,59	1,94
	30,20	13,50	38,61	0,61	1,99
7B	35,53	14,88	36,78	0,62	2,10
	31,16	14,65	36,86	0,63	1,93
	31,91	14,83	38,50	0,62	2,00
	32,81	14,50	38,39	0,64	2,00
	31,63	14,93	36,69	0,61	2,16
	32,96	14,85	37,54	0,63	2,16
	32,29	14,79	37,38	0,63	2,13
8B	40,37	17,29	37,80	0,69	2,63
	38,88	16,87	37,09	0,67	2,40
	37,23	17,85	37,27	0,68	2,29
	39,10	16,55	35,95	0,74	2,06
	39,77	17,38	37,27	0,69	2,09
	38,55	16,81	39,97	0,69	1,94
	38,64	18,92	37,52	0,73	2,26
9B	21,50	9,61	35,53	0,47	2,01
	20,20	9,74	35,15	0,46	1,82
	20,85	9,13	34,29	0,45	1,91
	21,24	9,32	35,69	0,43	1,99
	22,19	9,51	34,33	0,46	1,70
	20,21	10,10	34,29	0,47	1,88
	21,14	9,91	35,46	0,50	1,76
10B	23,42	9,93	33,30	0,58	2,10
	24,58	9,95	33,74	0,52	2,11
	23,94	10,12	32,37	0,53	1,90
	24,07	10,15	32,11	0,53	2,06
	25,54	9,81	31,97	0,56	2,02
	23,27	10,04	31,99	0,56	2,01
	25,47	11,38	32,37	0,56	2,08

**Ek Çizelge 3 (devam).**

11B	34,52	14,42	31,28	0,67	2,48
	34,73	14,61	31,62	0,67	2,50
	31,76	14,56	30,96	0,69	2,24
	31,64	14,41	30,96	0,70	2,31
	32,79	14,41	30,06	0,69	2,31
	31,62	14,44	31,09	0,70	2,18
	31,88	14,60	31,08	0,71	2,76
12B	32,79	16,41	28,77	0,77	2,51
	34,15	16,33	30,44	0,73	2,33
	35,27	14,81	29,69	0,69	2,47
	33,45	16,11	30,24	0,73	2,59
	35,23	16,39	30,93	0,69	2,23
	34,03	15,38	28,50	0,78	2,45
	34,64	15,66	30,25	0,67	2,34

**Ek Çizelge 4.** Tez çalışması kapsamında kullanılan OPK’larda mantarların meydana getirdiği ağırlık kaybı (%) değerlerine ait veriler.

Grup İsmi	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Postia placenta</i>	<i>Coniophora puteana</i>	Grup İsmi	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Postia placenta</i>	<i>Coniophora puteana</i>
1A	1,94	1,16	2,58	1B	0,20	1,79	0,76
	2,16	1,01	2,79		0,65	1,65	1,25
	1,85	2,93	1,45		0,67	1,02	0,26
	1,50	3,16	1,81		0,16	0,87	0,09
	1,75	2,70	1,42		0,38	2,47	1,89
	1,82	3,14	1,76		0,10	1,50	0,87
2A	3,79	2,24	0,82	2B	0,32	0,45	0,60
	0,94	2,19	1,29		0,47	0,84	0,65
	0,72	2,00	0,43		0,18	1,04	0,27
	0,41	2,08	0,40		0,32	0,48	0,26
	0,83	1,98	0,67		0,40	1,42	1,05
	0,42	2,35	0,60		0,11	1,24	0,92
3A	0,37	1,26	0,61	3B	0,12	1,03	0,66
	0,35	1,40	0,41		0,71	0,95	0,62
	0,33	1,48	0,50		0,85	0,45	0,43
	0,43	1,76	0,28		0,10	0,42	0,44
	0,69	1,74	1,33		0,29	1,29	0,35
	0,44	1,40	0,39		0,02	1,04	0,26
4A	0,38	0,45	0,64	4B	0,14	0,74	0,48
	0,22	2,10	0,34		0,62	0,63	0,34
	0,91	1,44	0,26		0,30	0,69	0,53
	0,53	1,53	0,40		0,39	0,40	0,31
	0,26	1,17	0,07		0,19	0,93	0,30
	0,29	1,24	0,70		0,10	0,67	0,39
5A	1,25	1,08	1,64	5B	0,47	1,27	1,41
	1,25	1,08	1,84		1,21	1,41	1,34
	1,55	3,82	1,04		0,98	2,19	0,58
	1,56	3,25	1,46		1,29	1,83	0,85
	1,45	4,04	1,27		0,84	3,00	1,27
	1,57	1,80	1,54		0,69	3,30	2,04
6A	1,11	1,85	1,49	6B	0,72	1,27	1,50
	1,29	1,17	1,71		0,78	0,88	1,50
	1,05	1,20	1,20		1,16	1,58	0,39
	1,19	3,14	1,27		0,77	1,50	0,53
	1,27	2,92	1,50		0,63	1,45	1,13
	1,41	3,81	1,42		0,79	1,63	1,69
7A	0,92	1,16	1,48	7B	1,12	0,26	0,90
	0,91	0,94	1,89		1,02	0,35	1,34
	0,94	3,05	0,20		0,34	1,18	0,64

**Ek Çizelge 4 (devam).**

0,63	3,64	0,25		0,51	0,83	0,85
0,81	2,95	1,96		0,52	0,63	1,02
0,71	2,95	0,41		0,23	1,54	1,05
1,17	0,98	1,30	8B	0,51	0,78	1,07
1,23	1,10	1,16		0,26	0,64	1,03
0,23	1,66	0,58		0,61	0,82	0,64
0,65	2,58	0,35		0,52	0,85	0,65
0,88	3,04	0,74		0,50	0,62	0,66
0,82	3,13	1,37		0,40	0,99	0,21
1,27	2,72	2,48	9B	1,00	1,17	2,43
1,30	4,11	2,01		0,75	2,14	2,39
2,50	4,91	1,94		1,50	2,09	0,99
3,39	5,50	1,71		1,51	2,67	0,59
1,10	5,53	1,98		1,81	2,14	2,19
1,45	7,98	1,55		1,82	2,68	1,24
1,13	2,21	2,46	10B	1,37	1,58	2,44
1,16	4,37	2,48		1,18	1,91	2,41
2,45	4,02	1,84		0,94	2,71	0,83
2,34	4,98	1,78		0,60	2,92	0,71
0,69	5,62	1,32		1,69	1,53	1,41
0,66	6,10	1,41		1,80	1,54	1,56
0,97	1,32	1,73	11B	0,51	0,58	2,42
0,89	1,36	1,71		0,51	0,54	2,22
1,74	4,34	1,34		1,38	2,58	0,39
1,88	5,24	1,31		1,14	1,60	0,27
0,82	4,19	1,64		0,72	4,28	1,34
0,69	5,16	1,20		0,83	1,04	1,07
1,63	1,59	1,88	12B	0,68	0,88	1,13
1,60	1,45	2,24		0,84	0,81	1,01
0,68	2,25	0,64		0,68	1,93	0,71
0,75	3,81	0,81		0,72	1,59	0,96
0,95	3,68	0,78		0,68	1,31	0,88
1,20	2,00	0,77		0,69	2,30	0,47

**Ek Çizelge 5.** Tez çalışması kapsamında kullanılan OPK'larda *Coptotermes formosanus* Shiraki termitine ait ağırlık kaybı, ölüm oranları ve günlük tüketim oranlarına ait veriler.

Grup İsmi	Ağırlık Kaybı (%)	Tüketim oranı (mg/term/gün)	Grup İsmi	Ağırlık Kaybı (%)	Tüketim oranı (mg/term/gün)
1A	0,29	1,92	1B	0,00	0,00
	0,93	6,00		0,31	2,29
	0,96	6,46		0,10	0,81
4A	0,06	0,38	4B	0,00	0,00
	0,78	5,38		0,05	0,37
	0,74	5,36		0,05	0,43
5A	1,10	8,16	5B	0,05	0,38
	1,31	9,30		0,05	0,36
	1,61	11,58		0,05	0,36
8A	0,57	4,26	8B	0,05	0,37
	0,36	2,78		0,05	0,36
	0,62	4,46		0,05	0,35
9A	2,21	17,49	9B	0,05	0,38
	1,93	15,87		0,05	0,36
	1,38	11,85		0,54	3,75
12A	1,42	11,46	12B	0,10	0,74
	2,32	17,38		0,05	0,37
	2,09	15,87		0,14	1,10



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TUFAN, Mürşit  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 19.09.1982 Kınık  
Telefon : 0(466) 215 10 35  
Faks : 0(466) 215 1034  
E-posta : mtufan35@hotmail.com

### Eğitim

<i>Derece</i>	<i>Eğitim Birimi</i>	<i>Mezuniyet tarihi</i>
Yüksek Lisans	K.maraş Sütçü İmam Üniv./O.E.M Bölümü	2008
Lisans	K.maraş Sütçü İmam Üniv./O.E.M Bölümü	2005
Lise	Cumhuriyet Lisesi	1999

### İş Deneyimi

<b>Yıl</b>	<b>Yer</b>	<b>Görev</b>
2006-2008	K.maraş Sütçü İmam Üniv.	Araştırma Görevlisi
2009-Halen	Artvin Çoruh Üniv.	Öğretim Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce (ÜDS:56)

### Yayınlar

1. Taşcıoğlu C., Yalçın M., **Tufan M.**, Akçay Ç., Bazı yerli ağaç türü diri odunlarının *Coptotermes formosanus* termitine karşı doğal dayanıklılığı, *A.Ç.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (2) (2012) 197-204.
2. Taşcıoğlu C., **Tufan M.**, Hizmet ömrünü doldurmuş emprenyeli ağaç malzemenin geri dönüşümü üzerine genel bir değerlendirme, *A.Ç.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (1) (2011) 86-91.

3. **Tufan M.**, Mengeloğlu F., Odun plastik kompozitleri ve ¼lkemizde odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilir olacak hammaddeler ¼zerine genel bir değerlendirme, *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Artvin, (2010) 1658-1664.
4. Taşçıoğlu C., **Tufan M.**, Servis ¼mr¼n¼ doldurmuş emprenyeli ağağ malzemenin odun plastik kompozit üretiminde kullanımı, *1. Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition*, Ankara, (2013) ISPART- 13/1057.
5. Taşçıoğlu C., **Tufan M.**, M. Yalçın, Ç. Akçay,İ.Uygur, Emprenyeli Ağağ Malzemededen ¼retilen Odun Plastik Kompozitlerin Bazı Özellikleri, *1. Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition*, Ankara, (2013) ISPART- 13/1035.
6. G¼leç T., Kaymakçı A., Akbaş S., **Tufan M.**, T¼rkiye’de orman end¼stri atıklarının ve tarımsal atıkların y¼netimi ve ç¼z¼m ¼rnekleri, *T¼rkiye Toplum ve Çevre Sempozyumu*, Karab¼k, (2012) 564-574.
7. **Tufan M.**, S¼zbir T., D¼zkale G., Kenevir liflerinin kimyasal modifikasyonu, *VI. Ulusal Orman Fak¼lterleri ¼đrencileri Kongresi*, D¼zce, (2008) 44-47.