

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HİZMET ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ KREOZOT İÇEREN EMPRENYELİ
ÜRÜNLERİN ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİNDE (OPK)
DEĞERLENDİRME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Orm. End. Yük. Müh. Selçuk AKBAŞ

**KASIM 2015
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Selçuk AKBAŞ Tarafından Hazırlanan**

**HİZMET ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ KREOZOT İÇEREN EMPRENYELİ
ÜRÜNLERİN ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİNDE (OPK) DEĞERLENDİRME
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 03 /11 /2015 gün ve 1625 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali Temiz

Üye : Prof. Dr. İlhan DENİZ

Üye : Prof. Dr. M. Hakkı ALMA

Üye : Prof. Dr. Cihat TAŞÇIOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin Derya GEZER

Ali Temiz
İlhan Deniz
M. Hakkı Alma
Cihat Taşcıoğlu
Engin Derya Gezer

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Hizmet Ömrünü Tamamlamış Kreozot İçeren Emprenyeli Ürünlerin Odun Plastik Kompozitlerinde (OPK) Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, tez konusunun seçiminden sonuçlandırılmasına kadar her aşamada desteğini ve yakın ilgisini esirgemeyen, bilgi ve deneyimi ile beni yalnız bırakmayıp sabırla yol gösteren, akademik ve insani değer olarak her zaman örnek alacağım sayın hocam Prof. Dr. Ali TEMİZ'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışma sürecini sürekli olarak izleyen, değerli görüşlerini esirgemeyen laboratuvar çalışmalarındaki ciddiyetin önemini her zaman vurgulayan sayın hocam Prof. Dr. İlhan DENİZ'e ve doktora eğitimimde birçok ders aldığım ayrıca tezin yürütülmesinde önemli katkılarda bulunan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Engin D. GEZER'e teşekkürlerimi sunarım. Tez kapsamında yapılan analizlerde laboratuvar imkânlarını hizmetime açan ve her zaman görüşlerine başvurduğum Prof. Dr. M. Hakkı ALMA'ya ve Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mürşit TUFAN'a, istatistik analizlerin yapılmasında bana yol gösteren Yrd. Doç. Dr. İbrahim YILDIRIM'a, tür teşhisinde laboratuvarını bana açan Yrd. Doç. Dr. Funda Erşen BAK'a ve değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Gaye Köse'ye, Arş. Gör. Bünyamin SARI'ya, Arş. Gör. Musa AKBAŞ'a, Arş. Gör. Türker Güleç'e, KTÜ ve AÇÜ Orman Fakültelerindeki hocalarıma ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, çalışmalarım süresince maddi manevi desteklerini her zaman hissettiğim, eşim Fatma AKBAŞ'a ve Aileme en içten dileklerle şükranlarımı sunarım.

Selçuk AKBAŞ

Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum ‘‘Hizmet mrünü Tamamlamış Kreozot İçeren Emprenyeli rnlerin Odun Plastik Kompozitlerinde (OPK) Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması’’ başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ali TEMİZ’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/10/2015

Selçuk AKBAş

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	XI
SUMMARY	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
TABLolar DİZİNİ.....	XVI
SEMBOLLER DİZİNİ	XXI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Odun Koruma Disiplini	5
1.3. Emprenye.....	7
1.3.1. Emprenye Maddeleri	8
1.3.1.1. Organik Çözücülü Emprenye Maddeleri (OÇEM).....	10
1.3.1.1.1. Pentaklorofenol (PCP).....	10
1.3.1.2. Suda Çözünen Emprenye Maddeleri (SÇE).....	11
1.3.1.2.1. CCA (Bakır/Krom/Arsenik)	14
1.3.1.3. Yağlı Emprenye Maddeleri	15
1.3.1.3.1. Kreozot	15
1.3.1.3.1.1. Kreozotun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	19
1.3.1.3.1.2. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)	22
1.3.1.3.1.3. PAH'ların Çevre ve İnsan Sağlığına Etkileri	24
1.4. Emprenye Maddelerinin Sınırlandırılması, Kullanım Zorunluluğu ve Bertarafı Konularına Farklı Yaklaşımlar	26
1.4.1. Kreozot, PCP ve CCA'nın Sınırlandırılması	26
1.4.2. Kreozot, PCP ve CCA'nın Kullanılma Zorunluluğu.....	28
1.4.3. Kreozot, PCP ve CCA'nın Bertarafı.....	30
1.5. Atıl Haldeki Malzemelerin Yönetim Stratejisi.....	31
1.5.1. Emprenyeli Ürünlerin Bertarafı.....	32
1.5.1.1. Emprenyeli Ahşap Ürünlerin Bertarafında Yapılan İşlemler	32

1.5.1.1.1.	Alt Yapı ve Genel İşlemler	32
1.5.1.1.2.	Ana İşlemler	34
1.5.1.1.2.1.	Toprağa Gömme İşlemi	34
1.5.1.1.2.2.	Yakma ve Isı Eldesi (Piroliz).....	35
1.5.1.1.2.3.	Biyoremidasyon.....	36
1.5.1.1.2.4.	Yeniden Kullanma ve Geri Dönüşüm	36
1.5.1.1.3.	İyileştirme Çalışmaları	37
1.5.1.1.3.1.	Kimyasal, Biyolojik ve Termal Ekstraksiyon	37
1.5.1.1.3.2.	Sıvılaştırma.....	38
1.5.1.1.3.3.	Çelatlaştırma.....	39
1.6.	Emprenyeli Ahşap Ürünlerin Bertarafı ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	40
1.7.	Odun Plastik Kompozitleri (OPK)	48
1.7.1.	Tanımı.....	48
1.7.2.	Endüstrideki Gelişim Süreci ve Yeni Kullanım Alanları	49
1.7.3.	OPK Üretiminde Kullanılan Materyaller	51
1.7.3.1.	Odun, Odun Kaynaklı Lifler ve Tarımsal Atıklar	51
1.7.3.2.	Plastikler	52
1.7.3.2.1.	Termoplastik Malzemeler.....	52
1.7.3.2.1.1.	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)	53
1.7.3.2.1.2.	Polipropilen (PP)	53
1.7.3.3.	Katkı Maddeleri.....	54
1.7.3.3.1.	Uyumlaştırıcılar	55
1.7.3.3.2.	Kullanım Yerlerine Göre İlave Katkı Maddeleri.....	55
1.7.4.	Odun Plastik Kompozit Üretim Sistemleri.....	56
1.7.4.1.	Basınçlı Kalıplama Sistemi	57
1.7.4.2.	Enjeksiyon Sistemi	57
1.7.4.3.	Ekstrüzyon Sistemi	58
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	59
2.1.	Materyal.....	59
2.1.1.	Ağaç Malzeme	59
2.1.2.	Termoplastik Polimerler	59
2.2.	Yöntem	60
2.2.1.	Tür Teşhisi ve Ana Materyal Görüntüleri	61

2.2.2.	Kreozot İçeren Odun Örneklerinin Yapı Aydınlatması.....	62
2.2.2.1.	Kreozot İçeriğinin Belirlenmesi	62
2.2.2.2.	TGA-FTIR Seri Analizi.....	63
2.2.2.3.	Gaz Kromatografisi - Kütle Spektrometresi (GC/MS) Analizi	64
2.2.2.4.	Kreozotun Sokslet Ekstraksiyonu (Remidasyon).....	65
2.2.2.5.	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH-18) Belirlenmesi	65
2.2.3.	Odun Plastik Kompozit (OPK) Üretimi	67
2.2.4.	Levha Özelliklerinin Belirlenmesi.....	70
2.2.4.1.	Benzetilmiş Dış Ortam Testi	70
2.2.4.2.	Dış Ortam Testleri	71
2.2.4.2.1.	Toprak Üstü Testi	71
2.2.4.2.2.	Toprakla Temas Testi	72
2.2.4.2.3.	Deniz Testi.....	73
2.2.4.3.	Dış Ortam Testleri Kapsamında Elde Edilen Parametreler	74
2.2.4.3.1.	Levhaların Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı	74
2.2.4.3.2.	Levhaların Yüzey Pürüzlülük Değişimi	75
2.2.4.3.3.	Levhaların Renk Değişimi.....	75
2.2.4.3.4.	Levhaların Sertlik ve Parlaklık Değişimleri	76
2.2.4.3.5.	Levhaların Yüzey Kimyası Analizi	77
2.2.4.3.6.	Levhaların Dayanıklılık Sınıflandırması	78
2.2.4.4.	Çürüklük Testleri.....	80
2.2.4.4.1.	Beyaz ve Esmer Çürüklük Testi	81
2.2.4.4.2.	Yumuşak Çürüklük Testi.....	82
2.2.4.4.3.	Çürüklük Testleri Sonrası Dayanıklılık Sınıflandırması	83
2.2.4.5.	Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	84
2.2.4.6.	Mekaniksel Özelliklerin Belirlenmesi	85
2.2.4.6.1.	Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü	86
2.2.4.6.2.	Çekme Direnci ve Elastikiyet Modülü	87
2.2.4.6.3.	Darbe Direnci	88
2.2.4.6.4.	Vida Tutma Direnci	89
2.2.4.7.	Termal Özellikler.....	90
2.2.4.7.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA)	90
2.2.4.7.2.	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)	91

2.2.4.7.3.	Limit Oksijen İndeksi (LOİ) ve Alevin Lineer Yayılma Hızı Testleri.....	92
2.2.4.8.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Yardımıyla OPK Ürünlerin Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi	93
2.2.4.9.	İstatistiksel Yöntemler	94
3.	BULGULAR	95
3.1.	Tür Teşhisi ve Ana Materyal Görüntüleri	95
3.2.	Kreozot İçeren Odun Örneklerinin Yapı Aydınlatmasına Ait Bulgular.....	96
3.2.1.	Kreozot İçeriğinin Belirlenmesi	96
3.2.2.	TGA-FTIR Seri Analizi.....	97
3.2.3.	Genel GC/MS Analizi	98
3.2.4.	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH-18) Belirlenmesi	98
3.3.	Levha Özelliklerinin Belirlenmesine Ait Bulgular.....	100
3.3.1.	Benzetilmiş Dış Ortam Testine Ait Bulgular	100
3.3.1.1.	Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı.....	100
3.3.1.2.	Pürüzlülük Değişimi	103
3.3.1.3.	Renk Değişimi	106
3.3.1.4.	Sertlik Değişimi.....	107
3.3.1.5.	Parlaklık Değişimi	109
3.3.1.6.	Levhaların Yüzey Kimyası Analizine Ait Bulgular	111
3.3.2.	Dış Ortam Testlerine Ait Bulgular	113
3.3.2.1.	Toprak Üstü Testine Ait Bulgular	113
3.3.2.1.1.	Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı	113
3.3.2.1.2.	Pürüzlülük Değişimi	116
3.3.2.1.3.	Renk Değişimi	119
3.3.2.1.4.	Levhaların Yüzey Kimyası Analizine Ait Bulgular	120
3.3.2.2.	Toprakla Temas Testine Ait Bulgular	122
3.3.2.2.1.	Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı.....	122
3.3.2.2.2.	Pürüzlülük Değişimi	125
3.3.2.2.3.	Renk Değişimi	128
3.3.2.3.	Deniz Testi.....	129
3.3.2.4.	Levhaların Dayanıklılık Sınıflandırması	131
3.3.3.	Çürüklük Testlerine Ait Bulgular	134
3.3.3.1.	Beyaz ve Esmer Çürüklük Testi	134

3.3.3.1.1.	Beyaz Çürüklük	134
3.3.3.1.2.	Esmer Çürüklük	137
3.3.3.2.	Yumuşak Çürüklük Testi	141
3.3.3.2.1.	Darbe Direnci Kaybı	143
3.3.3.3.	Çürüklük Testleri Sonrası Dayanıklılık Sınıflandırması	144
3.3.4.	Fiziksel Testlere Ait Bulgular	147
3.3.4.1.	Su Alma Oranı ve Levha Yoğunlukları	147
3.3.4.2.	Kalınlık Artışı Oranı	149
3.3.5.	Mekaniksel Özelliklere Ait Bulgular	152
3.3.5.1.	Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü	152
3.3.5.2.	Çekme Direnci ve Elastikiyet Modülü	155
3.3.5.3.	Darbe Direnci	157
3.3.5.4.	Vida Tutma Direnci	158
3.3.6.	Termal Özelliklere Ait Bulgular	160
3.3.6.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA)	160
3.3.6.2.	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)	161
3.3.6.3.	Limit Oksijen İndeksi (LOİ)	162
3.3.6.4.	Alevin Lineer Yayılma Hızı	163
3.3.7.	Levhaların Morfolojik (SEM) Özelliklerinin Belirlenmesi	164
4.	İRDELEME	165
4.1.	Tür Teşhisi	165
4.2.	Kreozot İçeren Odun Örneklerinin Yapı Aydınlatması	166
4.2.1.	Kreozot İçeriğinin Belirlenmesi	166
4.2.2.	TGA-FTIR Seri Analizi (FTIR Bağlantılı TGA Analizi)	167
4.2.3.	Genel GC/MS Analizi	168
4.2.4.	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH-18) Belirlenmesi	169
4.3.	Levha Özelliklerinin Belirlenmesi	172
4.3.1.	Dış Ortam Testleri	172
4.3.1.1.	Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı	172
4.3.1.2.	Pürüzlülük Değişimi	177
4.3.1.3.	Renk Değişimi	181
4.3.1.4.	Sertlik Değişimi	189
4.3.1.5.	Parlaklık Değişimi	191

4.3.1.6.	Levhaların Yüzey Kimyası Analizi	192
4.3.1.7.	Deniz Testi.....	202
4.3.1.8.	Levhaların Dayanıklılık Sınıflandırması	205
4.3.2.	Çürüklük Testleri.....	207
4.3.3.	Fiziksel Özellikler.....	216
4.3.3.1.	Levha Yoğunlukları.....	216
4.3.3.2.	Su Alma ve Kalınlık Artışı Oranı	217
4.3.4.	Mekaniksel Özellikler	219
4.3.4.1.	Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü	219
4.3.4.2.	Çekme Direnci ve Elastikiyet Modülü	221
4.3.4.3.	Darbe Direnci	223
4.3.4.4.	Vida Tutma Direnci	224
4.3.5.	Termal Özellikler.....	227
4.3.5.1.	Termogravimetrik Analiz (TGA)	227
4.3.5.2.	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)	229
4.3.5.3.	Limit Oksijen İndeksi (LOİ).....	231
4.3.5.4.	Alevin Lineer Yayılma Hızı	232
4.3.6.	Morfolojik Özelliklerin Belirlenmesi	234
5.	SONUÇLAR.....	238
5.1.	Kreozotun Yapı Aydınlatması	238
5.2.	Levha Özelliklerinin Belirlenmesi.....	239
5.2.1.	Dış Ortam Testleri	239
5.2.2.	Çürüklük Testleri.....	244
5.2.3.	Fiziksel Özellikler.....	244
5.2.4.	Mekaniksel Özellikler	245
5.2.5.	Termal Özellikler.....	246
5.2.6.	Morfolojik Özellikler.....	248
6.	ÖNERİLER	249
7.	KAYNAKLAR.....	253
8.	EKLER (1 ADET CD)	
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

HİZMET ÖMRÜNÜ TAMAMLAMIŞ KREOZOT İÇEREN EMPRENYELİ
ÜRÜNLERİN ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİNDE (OPK) DEĞERLENDİRME
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Selçuk AKBAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ali TEMİZ
2015, 285 Sayfa, 1 CD Ek

Bu çalışmada, hizmet süresi sona ermiş kreozot içeren tel direklerinin geri dönüşümü ve remidasyonu amacıyla üretilen OPK'ların; benzetilmiş ve doğal dış ortam performansları, biyolojik dirençleri, fiziksel, mekanik, termal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca GC/MS yardımıyla kreozotun yapısı aydınlatılmıştır. Sonuç olarak; belirlenen 250 bileşikten %40'ı PAH bileşenlerini temsil ettiği saptanmıştır. Remidasyon işlemi ile Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)'lar, önemli oranda uzaklaştırılmıştır. OPK'ların dış ortam testlerinde, elde edilen parametrelere göre (FTIR, renk, yüzey pürüzlülüğü gibi) en iyi sonuçlar kreozot içeren gruplarda olmuştur. Söz konusu parametreler, odun oranı artmasıyla artmış, uyumlaştırıcı kullanımı ile düşmüştür. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE), dış ortam performansları bakımından Polipropilen (PP)'e göre üstünlük göstermiştir. Toprakla temas testinde; beyaz çürüklük mantarı, kontrol grupları ve referans sarıçam örnekleri üzerinde saptanmış olup sarıçam örneklerinde termit zararı da söz konusu olmuştur. Deniz testinde; kontrol grupların yüzeysel zarara maruz kalırken masif sarıçam örnekleri *T. navalis* tarafından tamamen tahrip edilmiştir. Çürüklük testleri sonrası kreozot gruplarında ağırlık kayıpları çok düşük olmuştur. Remidasyon gruplarında su alma ve kalınlık artışı yüksek bulunmuştur. Kreozot gruplarında eğilme ve çekme dirençleri kontrole göre daha düşük olurken darbe direnci hariç eğilme, çekme ve vida tutma dirençleri bakımdan PP grupları daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kreozot, PAH, Remidasyon, OPK, Dış ortam testleri, FTIR, Fiziksel ve mekaniksel özellikler

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION ON EVALUATION OPPORTUNITIES OF IMPREGNATED
PRODUCTS CONTAINING CREOSOTE THAT COMPLETED THE SERVICE LIFE IN
WOOD PLASTIC COMPOSITES (WPCs)

Selçuk AKBAŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industrial Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ali TEMİZ
2015, 285 Pages, 1 CD Appendix

In this study, accelerated and natural outdoor performances, biological resistances, physical, mechanical, thermal and morphological properties of WPCs produced in order to the recycle and remediate of out of service creosote treated utility poles were investigated. In addition, structure of creosote was illuminated by the help of GC/MS. As a result, it was observed that 40% of the designated 250 compounds represented the PAHs. A large part of the PAHs were removed through remediation process. According to the parameters obtained in weathering tests (such as FTIR, discoloration, roughness) the WPCs produced from creosote treated wood powder showed the best performance. The parameters mentioned above increased with the increase in wood ratio, and decreased with the use of coupling agents. YYPE demonstrated superiority in terms of outdoor performances compared to PP. In ground contact test, white rot fungus was isolated and identified in control and Scotch pine samples. Termite damage was also observed in Scotch pine samples. In marine test, while superficial damage occurred in control groups, solid Scotch pine samples were completely destroyed by *T. navalis*. The weight losses in creosote groups were at very low level after the decay tests. The water intake and increase in thickness were observed to be high in remediation groups. While bending and tensile strengths were lower in creosote treated WPCs compared to control, PP groups gave better results in terms of bending, tensile and screw withdrawal strengths except for the impact resistance.

Key Words: Creosote, PAH, Remediation, WPCs, Weathering tests, FTIR, Physical and mechanical properties

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Ahşap malzemeyi bozunduran faktörler	6
Şekil 2.	Emprenyeli (Kreozot, PCP ve CCA) ahşap malzemenin ürün tipine göre kullanım hacmi	33
Şekil 3.	Çelatlama mekanizması ve çelat ajanları.....	39
Şekil 4.	Etilenin polimerizasyonu	53
Şekil 5.	Propilenin polimerizasyonu	54
Şekil 6.	Uyumlaştırıcı ajanların çalışma mekanizması	55
Şekil 7.	Örneklerden kesit alınması ve tür teşhisi.....	61
Şekil 8.	Tez çalışmasında kullanılan ana materyallerin stereo-mikroskopta resimlendirilmesi	62
Şekil 9.	Kreozot içeriğinin belirlenmesi	63
Şekil 10.	TGA-FTIR seri analiz cihazı (Perkin Elmer)	64
Şekil 11.	Kreozotun Hekzan ile sokslet ekstraksiyonu	65
Şekil 12.	OPK üretimi akış diyagramı	67
Şekil 13.	Willey değirmeninde örneklerin öğütülmesi ve eleme işlemi	67
Şekil 14.	Karıştırıcı ve ekstrüder makine sistemi	69
Şekil 15.	Üretim reçetesine göre karışımların hazırlanarak preslenmesi.....	69
Şekil 16.	Benzetilmiş dış ortam test kabının çalışma sistemi.....	71
Şekil 17.	Dış ortam testlerinin yapıldığı alanın uydu görüntüsü	71
Şekil 18.	Toprak üstü testinin görünüşü	72
Şekil 19.	Toprakla temas testinin görünüşü.....	73
Şekil 20.	Deniz testinin yapıldığı alanın uydu görüntüsü.....	73
Şekil 21.	Deniz testi için örneklerin hazırlanması ve test yerinden bir görünüş	74
Şekil 22.	Levhaların ağırlık ölçümleri	75
Şekil 23.	Levhaların yüzey pürüzlülük ölçümleri	75
Şekil 24.	CIELab renk sisteminin gösterimi ve levhaların renk ölçümleri	76
Şekil 25.	Levhaların Sertlik ve Parlaklık ölçümleri	77
Şekil 26.	Dış ortam testleri sonrası FTIR-ATR yardımı ile yüzeylerde meydana gelen kimyasal değişimin belirlenmesi.....	78
Şekil 27.	Çürüklük testinin yapılması.....	82

Şekil 28.	ENV 807 standardına göre yumuşak çürüklük testinin yapılması.....	83
Şekil 29.	Levhaların periyodik su alma testi ve kalınlık ölçümleri	85
Şekil 30.	Levhaların eğilme özelliklerinin belirlenmesi.....	87
Şekil 31.	Levhaların çekme özelliklerinin belirlenmesi	88
Şekil 32.	Levhalara çentik açılması ve darbe direncinin belirlenmesi	88
Şekil 33.	Levhaların vida tutma dirençlerinin belirlenmesi	89
Şekil 34.	TGA analizinin yapılması	90
Şekil 35.	DSC analizinin yapılması.....	92
Şekil 36.	Levhaların Limit Oksijen İndeksi (LOİ) ve Alevin Yayılma Hızı Testleri.....	93
Şekil 37.	Levhalara sıvı azot muamelesi sonrası altın kaplama uygulaması ve SEM analizi	94
Şekil 38.	<i>Pinus Sylvestris</i> L.	95
Şekil 39.	Kullanılan materyallerin 1 mm ölçekteki görüntüleri	96
Şekil 40.	Ekstraksiyon işlemi sonrası FTIR spektrumları	97
Şekil 41.	Kreozotun TGA-FTIR seri analizindeki termogramı	97
Şekil 42.	Kreozotun TGA-FTIR seri analizinde çıkan gaz ürünlere ait spektrum	98
Şekil 43.	Toplam PAH bileşikleri ve benzo(α)piren oranlarındaki değişim	169
Şekil 44.	Benzetilmiş dış ortam testi; % rutubet değişimi ve % ağırlık kaybı	172
Şekil 45.	Toprak üstü testi; % rutubet değişimi ve % ağırlık kaybı oranları.....	173
Şekil 46.	Toprakla temas testi; % rutubet değişimi ve % ağırlık kaybı oranları	174
Şekil 47.	Benzetilmiş dış ortam testi; Ra ve Rz oranları	177
Şekil 48.	Toprak üstü testi; Ra ve Rz oranları	178
Şekil 49.	Toprakla temas testi; Ra ve Rz oranları	179
Şekil 50.	Benzetilmiş dış ortam testi; renk değişimi (ΔE^*) oranları	182
Şekil 51.	Toprak üstü testi; renk değişimi (ΔE^*) oranları	183
Şekil 52.	Toprakla temas testi; renk değişimi (ΔE^*) oranları.....	184
Şekil 53.	Benzetilmiş dış ortam testi; sertlik değişimi oranları	189
Şekil 54.	Benzetilmiş dış ortam testi; parlaklık değişimi oranları.....	191
Şekil 55.	Karbonil ve vinil indeks değişimi	193
Şekil 56.	Polimer ve odun indeks değişimi	195
Şekil 57.	Lignin ve hidroksil indeks değişimi	196
Şekil 58.	Deniz testi; % ağırlık kaybı değerleri.....	203
Şekil 59.	<i>Teredo navalis</i>	204

Şekil 60.	Deniz zararlıları tarafından tahrip olan sarıçam örnekleri.....	205
Şekil 61.	OPK üzerindeki <i>L. tripunctata</i> (1), <i>Bivalvia</i> sp.(2) ve radyal kesitte <i>T. navalis</i> (3).....	205
Şekil 62.	<i>T. versicolor</i> mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri.....	209
Şekil 63.	<i>P. placenta</i> mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri.....	210
Şekil 64.	<i>C. puteana</i> mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri.....	210
Şekil 65.	<i>C. globosum</i> mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri.....	211
Şekil 66.	Yumuşak çürüklük sonrası levhalardaki direnç kaybı	212
Şekil 67.	Levha yoğunluk değerleri.....	216
Şekil 68.	YYPE gruplarına ait su alma ve kalınlık artışı oranları.....	217
Şekil 69.	PP gruplarına ait su alma ve kalınlık artışı oranları	218
Şekil 70.	YYPE ve PP gruplarına ait eğilme özellikleri.....	220
Şekil 71.	YYPE ve PP gruplarına ait çekme özellikleri	222
Şekil 72.	YYPE ve PP gruplarına ait darbe direnci özellikleri.....	223
Şekil 73.	YYPE ve PP gruplarına ait vida tutma direnç özellikleri.....	225
Şekil 74.	YYPE ve PP gruplarının TGA analizi.....	228
Şekil 75.	Levha gruplarına ait kristallenme entalpileri ve % kristallenme oranları	230
Şekil 76.	YYPE ve PP gruplarına ait LOİ değerleri	231
Şekil 77.	YYPE ve PP gruplarına ait alevin yayılma hızları	233
Şekil 78.	%50 odun içeren kreozot gruplarının SEM görüntüleri	235
Şekil 79.	%50 odun içeren kontrol gruplarının SEM görüntüleri.....	236
Şekil 80.	%50 odun içeren remidasyon gruplarının SEM görüntüleri	237

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Günümüzde kullanılan başlıca emprenye maddeleri	9
Tablo 2. CCA emprenye maddesinin üretim tipleri	14
Tablo 3. Kreozotun genel özellikleri	18
Tablo 4. Kreozot tiplerine göre ana bileşiklerin % ağırlık oranları	21
Tablo 5. Farklı tip kreozotların bazı teknik bilgileri	22
Tablo 6. Bazı önemli PAH bileşiklerinin eşik değerleri	23
Tablo 7. Bazı önemli PAH bileşiklerinin özellikleri	24
Tablo 8. Geri dönüştürülmüş emprenye maddesi içeren ürünler	37
Tablo 9. Atıl haldeki malzemelerin yönetim stratejisi	41
Tablo 10. Tez kapsamında yürütülen çalışma paketleri	60
Tablo 11. Sokslet ekstraksiyonunda kullanılan kimyasallar	65
Tablo 12. Malzemelerin PAH oranlarına göre sınıflandırılması.....	66
Tablo 13. Tez kapsamında üretilen OPK kompozitlerin formülasyonları	68
Tablo 14. AWP A E7 standardına göre çürüklük dereceleri.....	79
Tablo 15. Levhaların dayanıklılık sınıflarının belirlenmesi	80
Tablo 16. Levhaların TS EN 275'e göre tahribat miktarı oranları ve sınıflandırması	80
Tablo 17. Çürüklük bakımından EN 350-1'e göre levhaların dayanıklılık sınıflandırması	84
Tablo 18. Kristallenme derecelerinin belirlenmesinde uygulanan adımlar	91
Tablo 19. % Kreozot oranları ve ekstraksiyon verimi	96
Tablo 20. Odun örneklerinde ve remidasyona uğratılmamış/uğratılmış levhalarda PAH-18 oranları.....	99
Tablo 21. PAH-18 bileşenlerinin % azalış oranları	100
Tablo 22. Benzetilmiş dış ortam testi; % rutubet değişimi (R) ve % ağırlık kaybı (AK).....	101
Tablo 23. OPK içeriğinin % rutubeti değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi, ÇVA sonuçları	102
Tablo 24. % Rutubet değişimi ve % ağırlık kaybı oranına ait homojenlik grupları	102
Tablo 25. Benzetilmiş dış ortam testi; Ra oranlarına ait veriler	103
Tablo 26. Benzetilmiş dış ortam testi; Rz oranlarına ait veriler	104
Tablo 27. OPK içeriğinin pürüzlülük oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	105

Tablo 28.	Pürüzlülük oranlarına ait homojenlik grupları	105
Tablo 29.	Benzetilmiş dış ortam testi; renk değişimine ait veriler	106
Tablo 30.	OPK içeriğinin renk değişimine (ΔE^*) etkisi, ÇVA sonuçları	107
Tablo 31.	Renk değişimi (ΔE^*) oranlarına ait homojenlik grupları	107
Tablo 32.	Benzetilmiş dış ortam testi; sertlik değişimi oranlarına ait veriler	108
Tablo 33.	OPK içeriğinin sertlik oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	109
Tablo 34.	Sertlik oranlarına ait homojenlik grupları	109
Tablo 35.	Benzetilmiş dış ortam testi; 60° açıda parlaklık değişimi oranlarına ait veriler	110
Tablo 36.	OPK içeriğinin parlaklık oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	111
Tablo 37.	Parlaklık oranına ait homojenlik grupları	111
Tablo 38.	Benzetilmiş dış ortam testi; yüzey kimyası değişimi	112
Tablo 39.	Toprak üstü testi; % rutubet değişimi (R).....	113
Tablo 40.	Toprak üstü testi; % rutubet değişimi (devamı) ve % ağırlık kaybı (AK) oranlarına ait veriler.....	114
Tablo 41.	OPK içeriğinin % rutubeti değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi, ÇVA sonuçları	115
Tablo 42.	% Rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına ait homojenlik grupları	115
Tablo 43.	Toprak üstü testi; Ra oranlarına ait veriler	116
Tablo 44.	Toprak üstü testi; Rz oranlarına ait veriler	117
Tablo 45.	OPK içeriğinin pürüzlülük oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	118
Tablo 46.	Pürüzlülük oranlarına ait homojenlik grupları	118
Tablo 47.	Toprak üstü testi; renk değişimine ait veriler	119
Tablo 48.	OPK içeriğinin renk değişimine (ΔE^*) etkisi, ÇVA sonuçları	120
Tablo 49.	Renk değişimi (ΔE^*) oranlarına ait homojenlik grupları	120
Tablo 50.	Toprak üstü testi; yüzey kimyası değişimi	121
Tablo 51.	Toprakla temas testi; % rutubet değişimi (R).....	122
Tablo 52.	Toprakla temas testi; % rutubet değişimi (devamı) ve % ağırlık kaybı (AK) oranlarına ait veriler.....	123
Tablo 53.	OPK içeriğinin % rutubeti değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi, ÇVA sonuçları	124
Tablo 54.	% Rutubet değişimi ve % ağırlık kaybı oranına ait homojenlik grupları	124
Tablo 55.	Toprakla temas testi; Ra oranlarına ait veriler	125
Tablo 56.	Toprakla temas testi; Rz oranlarına ait veriler	126

Tablo 57.	OPK içeriğinin pürüzlülük oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	127
Tablo 58.	Ra ve Rz oranlarına ait homojenlik grupları	127
Tablo 59.	Toprakla temas testi; renk değişimine ait veriler	128
Tablo 60.	OPK içeriğinin renk değişimine (ΔE^*) etkisi, ÇVA sonuçları	129
Tablo 61.	Renk değişimi (ΔE^*) oranlarına ait homojenlik grupları	129
Tablo 62.	Tespit edilen deniz zararlıları	130
Tablo 63.	Deniz testi; % ağırlık kaybı oranlarına ait veriler	130
Tablo 64.	OPK içeriğinin % ağırlık kaybına etkisi, ÇVA sonuçları	131
Tablo 65.	Deniz testi % ağırlık kaybı oranlarına ait homojenlik grupları	131
Tablo 66.	2013-2014 yıllarında ortalama dönemsel meteorolojik verilerin dağılımı	132
Tablo 67.	Toprakla üstü testi; dayanıklılık sınıflandırması	132
Tablo 68.	Toprakla temas testi; dayanıklılık sınıflandırması	133
Tablo 69.	Deniz testi; dayanıklılık sınıflandırması	134
Tablo 70.	<i>T. versicolor</i> mantarına maruz bırakılan gruplarda % ağırlık kayıpları ve % rutubet değerleri	135
Tablo 71.	OPK içeriğinin % ağırlık kaybı ve % rutubet oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	136
Tablo 72.	<i>T. versicolor</i> mantarına ait homojenlik grupları	136
Tablo 73.	<i>P. placenta</i> mantarına maruz bırakılan gruplarda % ağırlık kayıpları ve % rutubet değerleri	137
Tablo 74.	OPK içeriğinin % ağırlık kaybı ve % rutubet oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	138
Tablo 75.	<i>P. placenta</i> mantarına ait homojenlik grupları	138
Tablo 76.	<i>C. puteana</i> mantarına maruz bırakılan gruplarda % ağırlık kayıpları ve % rutubet değerleri	139
Tablo 77.	OPK içeriğinin % ağırlık kaybı ve % rutubet oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	140
Tablo 78.	<i>C. puteana</i> mantarına ait homojenlik grupları	140
Tablo 79.	<i>C. globosum</i> mantarına maruz bırakılan gruplarda % ağırlık kayıpları ve % rutubet değerleri	141
Tablo 80.	OPK içeriğinin % ağırlık kaybı ve % rutubet oranları etkisi, ÇVA sonuçları	142
Tablo 81.	<i>C. globosum</i> mantarına ait homojenlik grupları	142
Tablo 82.	Yumuşak çürüklük sonrası % darbe direnci kaybı	143
Tablo 83.	OPK içeriğinin darbe direnci kaybına etkisi, ÇVA sonuçları	144
Tablo 84.	Direnç kaybına ait homojenlik grupları	144

Tablo 85.	OPK grupların <i>T. versicolor</i> mantarı için dayanıklılık sınıfları	145
Tablo 86.	OPK grupların <i>P. placenta</i> mantarı için dayanıklılık sınıfları	145
Tablo 87.	OPK grupların <i>C. puteana</i> mantarı için dayanıklılık sınıfları	146
Tablo 88.	OPK grupların <i>C. globosum</i> mantarı için dayanıklılık sınıfları	146
Tablo 89.	Laboratuar ortamında levhaların su alma oranları (%).....	147
Tablo 90.	Laboratuar ortamında levhaların su alma oranları (%) (devamı) ve yoğunluk değerleri	148
Tablo 91.	OPK içeriğinin su alma oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	149
Tablo 92.	Su alma oranına ait homojenlik grupları	149
Tablo 93.	Laboratuar ortamında levhaların kalınlık artışı oranları (%)	150
Tablo 94.	Laboratuar ortamında Levhaların kalınlık artışı oranları (%) (devamı).....	151
Tablo 95.	OPK içeriğinin kalınlık artışı oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları	152
Tablo 96.	Kalınlık artışı oranına ait homojenlik grupları	152
Tablo 97.	Eğilme direnci (ED) ve eğilmede elastikiyet modülü (EM) değerleri	153
Tablo 98.	OPK içeriğinin eğilme özelliklerine etkisi, ÇVA sonuçları	154
Tablo 99.	Eğilme özelliklerine ait homojenlik grupları	154
Tablo 100.	Çekme direnci (ÇD) ve çekmede elastikiyet modülü (ÇM) değerleri	155
Tablo 101.	OPK içeriğinin çekme özelliklerine etkisi, ÇVA sonuçları	156
Tablo 102.	Çekme özelliklerine ait homojenlik grupları	156
Tablo 103.	Darbe direnci (DE) değerleri	157
Tablo 104.	OPK içeriğinin darbe özelliklerine etkisi, ÇVA sonuçları	158
Tablo 105.	Darbe özelliklerine ait homojenlik grupları	158
Tablo 106.	Levhaların vida tutma direnci (W) değerleri	159
Tablo 107.	OPK içeriğinin vida tutma direncine etkisi, ÇVA sonuçları	159
Tablo 108.	Vida tutma özelliklerine ait homojenlik grupları	160
Tablo 109.	Kreozot içeren levhaların bozunma basamaklarında % ağırlık kayıpları ve % kalıntı miktarları	160
Tablo 110.	Kontrol levhaların bozunma basamaklarında % ağırlık kayıpları ve % kalıntı miktarları	161
Tablo 111.	Remidasyon gruplarının ve ana materyallerin bozunma basamaklarında % ağırlık kayıpları ve % kalıntı miktarları	161
Tablo 112.	DSC analizi sonucu elde edilen entalpi ve kristallenme dereceleri	162
Tablo 113.	Limit oksijen indeksi (LOİ) değerleri	162
Tablo 114.	OPK grupların alevin yayılma hızı (FV) değerleri	163

Tablo 115. OPK içeriğinin alevin yayılma hızı etkisi, ÇVA sonuçları	164
Tablo 116. Alevin yayılma hızına ait homojenlik grupları	164
Tablo 117. FTIR spektrumunda elde edilen absorpsiyon pikleri	198

SEMBOLLER DİZİNİ

AD	: Az Dayanıklı
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
AWPA	: Amerikan Odun Koruma Birliği
CCA	: Bakır Krom Arsenik
C-EPA	: Çevre Koruma Ajansı (Kanada)
ÇD	: Çok Dayanıklı
ÇVA	: Çoğul Varyans Analizi
D	: Dayanıklı
D'sız	: Dayanıksız
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi
DTG	: Türev Termogravimetrik Analiz
EN	: Avrupa Standardı
ETNO	: Avrupa Telefon Komünikasyon Birliği
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda Ve Tarım Örgütü
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GC/MS	: Gaz Kromatografisi/ Kütle Spektrometresi
HAC	: Heterosiklik Aromatik Hidrokarbonlar
HMW	: Yüksek Molekül Ağırlığı
HPLC	: Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
LMW	: Düşük Molekül Ağırlığı
Log K _{OC}	: Toprak Adsorpsiyon Katsayısı
Log K _{OW}	: Suda Dağılım Katsayısı
LOİ	: Limit Oksijen İndeksi
LPF	: Sıvı Fenol Formaldehit
MAPE	: Maleik Anhidrit İle Muamele Edilmiş Polietilen
MAPP	: Maleik Anhidrit İle Muamele Edilmiş Polipropilen
NA	: Naylon
OD	: Orta Dayanıklı

OPK	: Odun Plastik Kompozitleri
PAH	: Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
PCP	: Pentaklorofenol
PMDI	: Difenil Disosiyenat
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PMRA	: Atık Yönetimi ve Düzenleme Kurumu (Kanada)
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil Klorür
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
US-EPA	: Çevre Koruma Ajansı (Amerika)
UTM	: Evrensel Çapraz Merkator
WEI-IEO	: AB Ülkeleri ve Batı Avrupa Odun Koruma Enstitüsü
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ΔE^*	: Toplam Renk Değişimi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Tarih boyunca ahşap malzemelerin insan hayatında çok önemli bir rolü olmuştur. İlk çağlardan itibaren ahşap malzemeler; sığınak yapımında, yemeklerin pişirilmesinde, araç ve gereçlerin yapımında kullanılmıştır. İnsanoğlu ahşabın avantajlarını, işlevselliklerini, gücünü, kolay işlenebilmesini ve estetik açıdan üstünlüklerini öğrenmiştir. Mısır piramitlerinde, az dayanıklı türlerden yapılmış malzemeler dahi binlerce yıldır kuru şartlar altında kaldığı için günümüze kadar ulaşabilmiştir. Ağaç malzemenin kullanıldığı yapıların hala sağlam bir şekilde bulunmaları, malzemenin iyi korunması durumunda uzun yıllar hizmet verebileceğini göstermektedir. Günümüzde yaklaşık 1,6 milyar m³'lük endüstriyel üretime sahip ahşabın, ticari açıdan tüketicilerin beklentilerini karşılayan bir hizmet ömrünün olması istenmektedir. Dahası bu kaynakların sürdürülebilir olması şartıyla üretim sistemlerinin iyileştirilmesi ve kullanım yerindeki dayanıklılığı artırılması gerekmektedir (Bozkurt vd., 1995; Rowell, 2001; Kurt vd., 2011; Stirling ve Temiz, 2014).

Ahşap malzemeler sahip oldukları üstün özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmakla birlikte biyotik (mantar, bakteri, böcek, deniz zararlıları, termitler vb.) ve abiyotik faktörlerin (UV ışınları, yanma vb.) bozunduruucu etkisi altında kalabilmektedir. Özellikle odun tahripçisi mantarlar burada birinci derecede etkili olmaktadır. Diğer yandan birçok tropik bölgede, termitler ciddi zararlar meydana getirmektedir. Bu etkilere karşı, ağaç malzemenin doğal haldeki dayanımı tek başına yeterli olmamaktadır. Tüm bunlar, ağaç malzemenin istenilmeyen ve önlem alınması gerektiren özellikleridir (Schmidt, 2006).

Ahşap malzemelerin biyotik-abiyotik faktörlere karşı direncini arttırmak ve hizmet ömrünü uzatmak için çeşitli koruyucu maddeler ile emprenye işlemine tabi tutulmaktadır. Ahşap malzemelerin korunmasında; bakır içeren su bazlı emprenye maddeleri ile birlikte organik bazlı PCP (pentaklorofenol) ve yağlı karakterdeki kreozot en önemli odun koruma maddelerinin başında gelmektedir. Emprenye işlemi uygulanmış ahşap malzeme; kent mobilyaları, telefon direği, çitler, demiryolu traversleri, maden ocakları, binalar, seralar, ambalaj sandıkları ve çocuk oyun alanları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Avrupa'da

yıllık 18 milyon m³ (Stirling ve Temiz, 2014) odun emprenye edilmektedir. Bunun %44'ü bahçe mobilyası, %21'i yapı kerestesi, %15'i yuvarlak odun ve %6'sı travers olarak değerlendirilmektedir. Emprenye maddesi olarak, bu ürünlerin %71'i suda çözünen kimyasallarla, %18'i pencere doğramaları gibi yapı elemanlarında kullanılmak üzere organik çözücülü kimyasallarla ve %11'i büyük oranda travers ve tel direklerinde kullanılmak üzere kreozotla emprenye edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise yılda yaklaşık 19 milyon m³ odun emprenye edilmekte olup bunun yaklaşık 14 milyon m³'ü su bazlı emprenye maddeleri, 4 milyon m³'ü kreozot ve 1 milyon m³'ü PCP oluşturmaktadır (Temiz vd., 2004a; Bolin ve Smith, 2010; Temiz vd., 2010; Shmulsky ve Jones, 2011; Salminen vd., 2014; Stirling ve Temiz, 2014).

Son yıllarda artan çevresel baskılar nedeniyle çevre ajansları odun korumada kullanılan kimyasal maddelerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki muhtemel zararlarını tartışmakta olup kreozot, PCP, (Bakır, Krom, Arsenik) CCA gibi önemli maddelerin kullanımı, alınan kararlarla sınırlandırılmaktadır. Çevresel açıdan tehlikeli tuzlar, ağır metaller içeren kimyasallar ile emprenye edilmiş ve kullanım ömrünü doldurmuş ahşap malzemenin nasıl değerlendirileceği konusunda yoğun araştırmalar devam etmektedir. Bununla birlikte kullanım ömrünü tamamlamış emprenyeli ahşap malzemenin miktarı her geçen gün artmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanım ömrünü tamamlamış emprenyeli ahşap malzeme miktarının 1994 yılında yaklaşık 8 milyon m³, 2000 yılında yaklaşık 10 milyon m³ olmuştur. 2020 yılında ise bu rakamın 19 milyon m³ olacağı tahmin edilmektedir. Avustralya'da 5,3 milyon adet emprenyeli tel direği hali hazırda kullanılmakta olup, demir yolu traverslerinin neredeyse yarısı hizmet süresi sona erdiği için yenilenmektedir. Avrupa ülkelerinde de benzer durum söz konusudur. Her yıl ortalama 2,1-2,4 milyon ton emprenyeli ahşap malzeme kullanım ömrünü tamamlamakta ve atıl hale gelmektedir (Cooper, 1994; Felton ve DeGroot, 1996; Gezer, 2003; Gezer vd., 2005; Gezer vd., 2015).

Diğer gelişmiş ülkelere nazaran ülkemizde emprenyeli ahşap malzemelerin kullanımına daha geç başlanmıştır. İlk emprenye tesisi, 1915 yılında 15 bin m³/yıl kapasiteyle Denizli'de kurulurken 1931 yılında ise ikinci emprenye tesisi Derince, İzmit'te hizmete açılmıştır. Demiryollarının ihtiyaç duyduğu traverslerin emprenyesi bu tesiste yapılmış olup yıllık 7-8 bin ton kreozot tüketildiği bildirilmiştir. Ülkemizde emprenye işlemi gördükten sonra gerekli alanlarda kullanılmak üzere 1964 yılından bu yana TEDAŞ tarafından yaklaşık 10 milyon adet (4 milyon m³) ağaç direk satın alınmıştır. Bu rakam

2010 yılı için de yaklaşık 117 bin adet (38.924 m³) ve 2015 yılında ise 157 bin adet (52.200 m³) olarak bildirilmiştir. Lokal bölge olarak Doğu Karadeniz Bölgesi'nde; Trabzon'da 208 bin, Rize'de 180 bin ve Artvin'de 121 bin adet emprenyeli telefon direği hizmet vermekte olup her yıl yaklaşık 17 bin yeni tel direği bu bölgede kullanıma girmektedir (Gezer, 2003). Ayrıca devlet demir yollarından alınan bilgiye göre bakım, onarım ve demiryolu makasları için her yıl 5 bin m³'lük emprenyeli traverse ihtiyaç duyulmaktadır. Yıllara göre kullanım miktarları göz önünde bulundurulur ve bu malzemenin beklenen kullanım süresinin 30-75 yıl arasında değiştiği düşünülürse gelecekte hizmet ömrünü tamamlayan bu malzemelerin ülkemiz için ciddi sorunlar oluşturacağı görülmektedir. Bununla birlikte Gezer vd. (2015) yaptığı çalışmaya göre Doğu Karadeniz Bölgesi'nin sahip olduğu iklim koşullarının yanı sıra mantar, böcek gibi biyotik zararlıların etkili olmasıyla tel direklerinin hizmet süresi 10-15 yıla kadar düşebilmektedir (Gezer vd., 2005; TEDAŞ, 2011; Tufan, 2013; OGM, 2014).

Çevresel duyarlılığın kaçınılmaz olduğu düşüncesiyle çevre dostu ve sürdürülebilir sistemlere ilgi her geçen gün artmaktadır. İhtiyaçlara karşılık gelen malzemeleri üretmenin yanında malzemelerin yaşam döngüsünü ve kullanım süresinin sonunda nasıl geri dönüştürüleceği de önemlidir. Gelişmiş ülkelerde hizmet ömrünü tamamlamış emprenyeli ahşap malzemeler için bir takım geri dönüşüm sistemleri kurulmuştur. Bu sistemler; güvenli alanlarda depolama, yapısındaki kimyasal maddelerin geri alınması/uzaklaştırılması (remidasyon), özel yakma üniteleri ile enerji üretimi ve farklı ürün gruplarında tekrar kullanımdır (Jarden ve Abraham, 2004). Ülkemizde hizmet ömrünü tamamlamış emprenyeli ahşap malzemelerin nasıl bertaraf edileceği konusunda herhangi bir yasal düzenleme olmaması nedeniyle bu maddeler güvensiz alanlarda herhangi bir koruma işlemi yapılmadan depolanmakta veya doğrudan yakacak odun olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle içerdikleri ağır metaller ve zehirli kimyasal maddelerin zamanla toprağa ve içme sularına karışması ciddi çevre problemlerine yol açmanın yanında insan sağlığını da tehdit etmektedir.

Literatürde kreozot içeren ürünlerin bertarafında daha çok piroliz sistemleri denenmiş olup bu sistemlerde açığa çıkan gazlar ve kalıntı madde miktarı önemli problemlere yol açmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında hedeflenen amaç; hizmet ömrünü tamamlamış kreozot içeren emprenyeli ürünlerin odun plastik kompozitlerinde (OPK) değerlendirme olanaklarının araştırılmasıdır. Bu sayede kullanım ömrünü dolduran ahşap malzemeler ile birlikte atık plastiklerden de yararlanılarak, bu ürünlerin endüstriye

kazandırılması amaçlanmaktadır. Literatürde emprenyeli ahşap malzemelerin OPK üretiminde tekrar değerlendirilebilme olanakları sadece su bazlı emprenye maddeleri (CCA, ACQ vb.) açısından incelenmesine rağmen yağlı karakterdeki emprenye maddeleri (krezot) için değerlendirilmemiştir. Ayrıca, krezotlu numunelerden üretilen OPK'ların çevresel açıdan daha az sorgulanabilir olmaları için krezotun %70-85'ini temsil eden ve α -piren gibi zararlı bileşenlerin içinde yer aldığı PAH'ların uzaklaştırılması da tezin bir diğer önemli amacıdır. Bununla birlikte üretimi hızla artan OPK ürünlerin laboratuvar ortamında yürütülen testler dışında gerçek alan testleriyle de performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Odun plastik kompozitleri; odun tozu ve termoplastik esaslı polimerlerin karışımıyla, plastik içerikli ürünlere benzer yöntemlerle üretilen malzemelerdir. OPK'ların ahşap malzemeye nazaran sağlamış olduğu birçok avantaj bulunmaktadır. Bunlardan bazıları: rutubete karşı yüksek direnç göstermesi, yüksek boyutsal kararlılığa sahip olması, üretiminde kullanılan artık malzemelerden dolayı geri dönüşüm ürünü olması, isteğe göre boyutlandırılması, daha az bakım gerektirmesi, mantar ve böceklerle karşı dayanıklı olmasıdır. Batı dünyası, 1920'lere kadar lignoselülozik materyalleri endüstride yoğun bir şekilde kullanmakla birlikte plastiğin sektöre girmesi ile birlikte bu oran hızlı bir azalma sürecine girmiştir. Artan dünya nüfusuna paralel olarak çevresel duyarlılıkların artması ve fosil yakıtlarının azalması nedeniyle yenilenebilir ve çevre dostu materyallere olan ihtiyaç artmaktadır. Bunun sonucu olarak da orman endüstri sektöründe yenilenebilir kaynaklar (lignoselülozik atıklar; atık odunlar, tarımsal atıklar, doğal lifler vb.) ve bu kaynaklardan elde edilecek ürünler dikkat çekmeye başlamıştır. ABD'de 2007 yılı içinde 230 milyon ton atık ürünün %12,1'ini plastik, %5,6'sını odun ürünleri oluşturmuştur. 2013 yılı itibariyle Dünya genelinde 299 milyon ton plastik üretimi yapılmışken bunun 57 milyon tonunu Avrupa ülkeleri oluşturmaktadır. Avrupa ülkelerinde 2012 yılında atıl hale gelen 25,2 milyon ton plastiğin %65'i geri dönüştürülürken %38'i doğaya terk edilmiştir. Atık plastiklerin geri dönüşümüne ülkelerin çok büyük yatırımlar yaptığı halde bu atıkların yol açtığı çevresel problemler her geçen gün artmakta ve daha etkili geri dönüşüm sistemleri için çalışmalar yapılmaktadır (Rowell, 2001; Hill, 2010; EUC, 2011; URL-1, 2015).

Daha temiz ve yaşanabilir bir çevre için atık miktarının azaltılması gerekmektedir. Bunun gerçekleştirilmesi ise ancak ihtiyatlı malzeme kullanımı, atık oluşumunun azaltılması, geri dönüşüm ve yeniden kullanımın arttırılması, doğal kaynakların rasyonel bir şekilde kullanılması ile mümkün olabilecektir. Bu kapsamda "3R" kuralı birçok

ülkede hayata geçirilmeye çalışılmalıdır. Burada amaç daha az atık oluşturmak için kullanılan hammaddeyi azaltmak (Reduce), bir ürünün yeniden kullanılmasını sağlamak (Reuse) ve bir malzemenin geri dönüşümünün (Recycle) gerçekleştirilmesidir. Daha dayanıklı malzemenin kullanılması, daha az hammadde gerektiren tasarımların hayata geçirilmesi ile azaltma (Reduce) sağlanabilmektedir. Yeniden kullanma (Reuse) ise malzemenin tamir edilmesi ya da tekrar kullanılmasının sağlanması ile mümkündür. Geri dönüşümün (Recycle) gerçekleştirilmesi için malzemenin geri dönüşümünün sağlanması ya da geri dönüşümlü ürünlerin üretilmesiyle olacaktır. Yapılan çalışmada atık plastik malzeme ve kullanım ömrünü dolduran kreozotlu ahşap kullanılması esas alınmıştır (Hill, 2010; URL 2 ve 3, 2015).

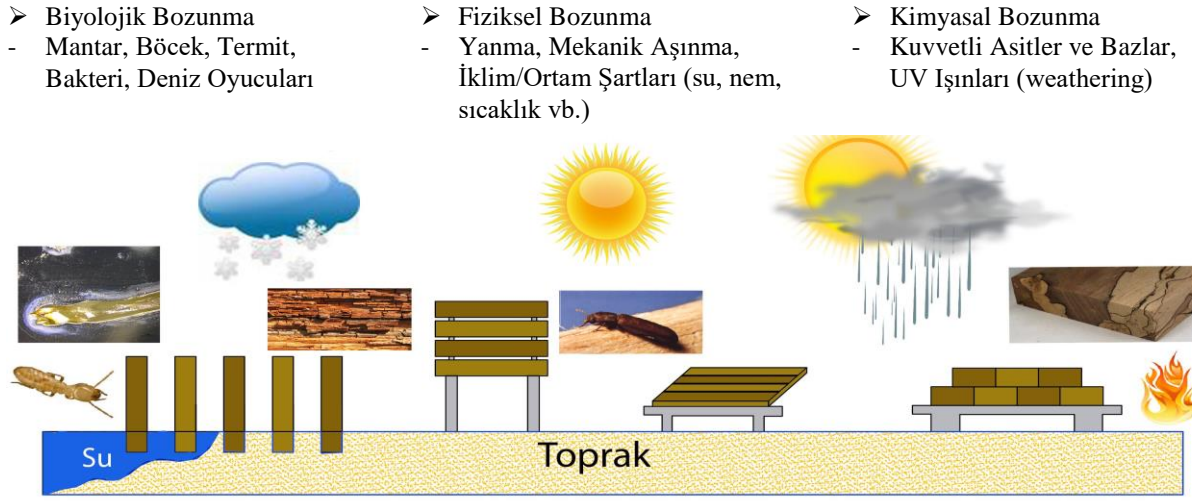
“Hizmet ömrünü tamamlamış kreozot içeren emprenyeli ürünlerin odun plastik kompozitlerinde (OPK) değerlendirme olanaklarının araştırılması” adlı bu tez çalışması kapsamında;

- Kreozot içeren emprenyeli ürünlerin yapı aydınlatması ve remidasyona uğratılmış örneklerin PAH (polisiklik aromatik hidrokarbonlar) bileşenlerinin analizi,
- Tamamen atık malzemelerin (atık polimerler ve odun örnekleri) kullanılmasıyla ekstrüder sisteminde OPK üretimi,
- OPK ürünlerin benzetilmiş dış ortam ve doğal dış ortam testleri yapılarak gerçek kullanım yeri performansları,
- Laboratuvar ortamında OPK ürünlerin fiziksel özelliklerinin yanında biyolojik ve mekanik dirençleri ve
- OPK ürünlerin termal, yanma ve morfolojik özellikleri incelenmiş olup kompozit malzemelerin hizmet ömrü sona ermiş emprenyeli ürünlerin bertarafında kullanılabilirliği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1.2. Odun Koruma Disiplini

Ahşap; sürdürülebilir, ekonomik, tamamen yenilenebilir ve diğer yapı malzemelerine göre (beton, demir, çelik, PVC vb.) üretiminde/işlenmesinde daha az enerji gerektiren bir organik malzemedir. Ayrıca doğru kullanıldığı zaman dayanıklı, dirençli ve insanlar için sağlıklı bir malzemedir. Fakat yeterli rutubet ve oksijen varlığında mantar zararlılarına ya da “weathering” olarak adlandırılan yaşlandırmaya (UV ışığı, rutubet, mekanik etki ve ısı) maruz bırakıldığında parçalanabilmekte ve bozunmaktadır. Odunun bozunması böylece

rutubetin de her şartta önemli rol oynadığı biyolojik, kimyasal ve fiziksel bir olaydır. Birçok kullanım yerinde, mantarlar ve düşük oranda bakteriler tarafından meydana gelen çürüme ve parçalanma ana materyal kaybına (ya da doğal kaynak israfına) neden olmaktadır. Kullanım yerlerinde kullanışlı, güvenli ve uygun hizmet süresine sahip olması için ahşap malzemeler; mantar çürüklüğüne ve “weathering” (yaşlandırma)’e karşı korunması gerekmektedir (Schmidt, 2006; Koski, 2008). Şekil 1’de ahşap malzemeyi bozunduran faktörlerin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 1. Ahşap malzemeyi bozunduran faktörler

“Odun Koruma” kavramı bir süreci ifade etmekte ve ağacın ormanda kesilmesiyle başlamaktadır. TS 344’e göre (2012) odun koruma; ahşabın ve her çeşit mamullerinin özelliklerini bozan veya tahrip eden zarar ve zararlılara (çürümeye, çatlamaya, renk bozukluklarına, yıpranmaya, yanmaya vb.) karşı girişilen her türlü önleyici veya kurtarıcı işlemler olarak tanımlanmaktadır. Odun koruma; orman varlığının korunması, dayanıksız ağaç türlerinin kullanılabilmesi, alternatif malzemelere üstünlük, ekonomi sağlanması, tasarım rahatlığı ve malzemedan tasarruf gibi nedenlerle önemi her geçen gün artmaktadır.

Odun koruma disiplini; odunun, mikroorganizmalar tarafından degradasyonunun önlenmesi yine bu zararlıların gelişimi ve barınması için gerekli olan sıcaklık, oksijen, rutubet, besin ortamı ve mineral gibi temel fizyolojik ihtiyaçlarının engellenmesi kuramına dayanmaktadır. Ülkeler bu disipline bağlı olarak odun zararlılarının telafisi için yüksek miktarda harcamalar yapmaktadır. Örneğin, çürüklük mantarlarının yol açtığı zarara karşılık ABD’de her yıl ortalama 5 milyar dolar harcanırken termitlerin yol açtığı zararda

ise bu rakam 750-3.400 milyon doları bulmaktadır. Diğer odun tahripçileri (böcek, deniz kurtları vb.) de göz önüne alınırsa maliyet daha da artmaktadır. Odun koruma disiplini kapsamında biyotik ve abiyotik faktörlerin bozundurucu etkisini azaltmak için en temel kural odunu kurutmaktır. Fakat bu tek başına yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla ahşap malzemenin hizmet ömrünü uzatmak amacıyla çeşitli koruyucu maddeler kullanılması suretiyle ağaç malzeme emprenye (vakum-basınç sistemleri) işlemine tabi tutulmaktadır (Williams, 1990; EUC, 2003; Lee vd., 2004; Archer ve Lebow, 2006; Schmidt, 2006; Koski, 2008; Joneghan, 2014).

1.3. Emprenye

Emprenye en sade ifadesiyle; odun zararlılarına karşı aktif bileşenler içeren kimyasalların, farklı yöntemlerle ahşaba nüfuzunun sağlanmasıdır. Uygulama şekilleri bakımından günümüzde suda çözünen emprenye maddeleri için daha çok dolu hücre (Bethell yöntemi) yöntemleri, kreozot ve pentaklorofenol gibi yağda çözünmüş maddeler için boş hücre (Ruping yöntemi) yöntemleri uygulanmaktadır (Salminen vd., 2014). Emprenye yöntemlerine karar verilirken ahşap malzemenin kullanım yeri, hizmet süresi, ortam koşulları gibi faktörlerin yanında iklim indekslerinden de yararlanılmaktadır. Nispi nemin yüksek olduğu ve sıcaklığın ani değiştiği yerlerde, kuru ve soğuk yörelere nazaran çürüme riski daha yüksek olmaktadır. Böyle ortamlarda mutlaka ahşap malzeme basınç uygulanan yöntemlerden birinin kullanılması gerekmektedir. Bozkurt ve Kurdoğlu (1982)'de yaptıkları çalışmaya göre Türkiye üç ana bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar:

-Tüm Türkiye'nin %75'ini kapsayan, tehlike oranı düşük olduğu ve indeks değerinin 35 ve aşağısında olan yerler,

-İndeks değeri 35-65 arasında olan ve orta derecede çürüme riski olan yerler (Kaş, Artvin, Bolu, Akçakoca, Düzce, Bursa, Edirne, Hatay, İstanbul, İzmir, Kars, Kocaeli, Sakarya, Samsun, Sinop, Zonguldak, Bartın ve Karabük),

-İndeks değeri 65 ve yukarı olan bölgelerde çürüme riski daha yüksektir. Bu yerlere Ordu, Giresun, Trabzon, Rize ve Hopa dâhildir. Bununla beraber iklim verilerinin değiştiği küresel ısınmanın birçok yerde alışık olunmayan doğal olaylara neden olduğu günümüzde bu veriler daha küçük alanlar için revize edilmesi gerekliliği bilinmektedir.

1.3.1. Emprenye Maddeleri

Ağaç malzemeyi korumak için yüzyıllardan beridir çeşitli maddeler ve yöntemler denenmektedir. Avrupa'da endüstrinin gelişmesi ile ağaç malzemenin korunmasında, kimyasal maddelerin kullanılması söz konusu olmuştur. 20. yüzyılın ilk yarısında yoğun çalışmalar ve uğraşların ardından etkili emprenye maddeleri ve yöntemleri geliştirilmiştir. 1850'li yıllarda kok kömürü üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilen kreozot, ayrıca bakır, çinko, arsenik ve civa bileşiklerinin bu maksat için kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bugüne kadar 2500'e yakın emprenye maddesi bulunmuş olup her yıl yaklaşık 20 kadar emprenye maddesinin patenti alındığı bildirilmektedir. Böylelikle emprenye maddeleri, firmalar arasında ciddi rekabet barındıran ve kendine has ekonomisi olan önemli bir endüstri kolu haline gelmiştir. Bazı ülkeler, örneğin Yeni Zelanda odun koruma sektörünü başarıyla regüle etmiş olup yasal mevzuatlar ya da tanıtımlarla ahşap malzemenin, plastik gibi alternatif malzemelere karşı üstün olmasını sağlamış ve daha tercih edilebilir hale getirmişlerdir (Bozkurt vd., 1993; Preston, 2000; Clemons, 2002).

Emprenye maddeleri, TS 788 standardına (1997) göre “Ahşaba emprenye edilmek suretiyle uygulanan, ahşabın mantara, böceklere (termitler ve deniz kurtları dâhil) karşı korunması ve mücadelesinde kullanılan tuzlar ve yağlı maddeler ile ateş ve yüksek sıcaklığa (yangına) karşı korunmasında kullanılan tuzlardır” şeklinde tanımlanmıştır. Genel olarak emprenye maddeleri üç ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; yağ karakterli, suda çözünen ve organik çözücülü emprenye maddeleridir. Bir başka sınıflandırma ise; Önleyici (prophylactic) kimyasalların muamelesidir ki bu kimyasallar ahşap malzemenin depolanması ve taşınmasında kısa süreliğine koruma amaçlıdır. İkinci olarak Asli Koruma (prevent) maddeleridir. Ahşap malzemenin hizmet süresince mantar, böcek, termit vb. zararlılara karşı etkili olması istenen kimyasallardır. Günümüzde kullanılan emprenye maddelerinin büyük bir kısmı da bu sınıfa girmektedir. Son olarak kullanım halindeyken zararlılara maruz kalan ahşap malzemeye Bakım (curative) amaçlı kullanılan maddelerdir (Willeitner ve Liese, 1992; Stirling ve Temiz, 2014).

Odun koruma (ya da sık kullanımı ile Emprenye) maddeleri formülasyonunda fungusit (oduna direk arız olabilen çürüklük mantarlarına etki eden), insektisit (oduna arız olan böceklere ve termitlere etki eden), sınırlı sayıda da deniz zararlılarına karşı etkin eden bileşenler mevcuttur. Fakat bunun yanında su iticiler “water-repellents”, yangın geciktiriciler “fire-retardants”, boyalar ve vernikler de odun koruyucu kimyasalları olarak

adlandırılabilir. İdeal emprenye maddelerinde; güvenilir olmak (çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmeyen, metal ve oduna karşı korozif özellik göstermeyen), etkili olmak (oduna arız olan organizmalara karşı zehirli etkisi olan), kalıcı olmak (oduna fikse olup buharlaşmayan, yıkanmaya karşı dirençli olan, kimyasal kararlılık gösteren, penetrasyon kabiliyeti yüksek olan) ve ekonomik olmayı kapsayan şartlar aranmaktadır. Günümüzde bu özelliklerinin yanında kullanım süresi sonunda basit yöntemlerle bertaraf edilebilmesi de aranan bir özelliktir (Willeitner ve Liese, 1992; Negi, 1997; Yıldız, 2005; Archer ve Lebow, 2006; Shmulsky ve Jones, 2011). Tablo 1’de odun koruma endüstrisinde başlıca emprenye maddeleri sınıflandırılmıştır.

Tablo 1. Günümüzde kullanılan başlıca emprenye maddeleri

Yağ Karakterli Emprenye Maddeleri	Suda Çözünen Emprenye Maddeleri
<ul style="list-style-type: none"> -Kreozot -Maden kömürü katranı -Linyit kömürü katranı -Odun katranı ve katran yağı 	<ul style="list-style-type: none"> -Bakır/Krom/Arsenik (CCA) -Asit/Bakır/Kromat (ACC) -Kromlu Çinko Klorür (CZC) -Flüor/Krom/Arsenik/Fenol (FCAP) -Bakır/Krom/Arsenik (CCA) -Amonyaklı Bakır Arsenik (ACA) -Bakır/Krom/Bor (CCB) -Bakır/Krom/Flüorür (CCF) -Amonyaklı Bakır Çinko Arsenik (ACZA) -Borlu bileşikler (Borik Asit, Boraks, Disodyum Oktaborat Tetrahidrat (DOT) ve Timbor) -Çinko Klorür -Çinko Meta Arsenat (ZMA) -Bakırlı Kromlu Çinko Klorür (CuCZC) -Kromlu Çinko Arsenat (CZA) -Bakırlı Kromlu Çinko Arsenat (CuCZA) -Bardac 22 (DDAC) -Klorotalonil (Nopcocide, Tuffgard) -Alkali/Bakır/Quat (ACQ) -Amonyak/Bakır/Sitrat (CC) -Bakır/Azol (CBA) -Bakır Dimetilditiyokarbamat (CDDC) -Bakır HDO (CX-A) -Amonyak/Bakır Karbonat/Sitrik Asit (ACC) -Alkali Amonyum Bileşikleri (AAC) -Mikronize Bakır Bileşikleri (Mikronize Bakır Azol (MCA/ μCA), ve Mikronize Bakır Quat (MCQ)
Organik Çözücülü Emprenye Maddeleri	
<ul style="list-style-type: none"> -Pentaklorofenol -Metal Naftenatlar -Bakır -8-Kinolinolat -Organik Kalay Bileşikleri -Polifaz -Kathon 930 -Busan 30 (TCMTB) -Propikonazol (Wocosen) -Tebukonazol -Amical 48 -Protim 230 WR -Vacsol Azure -Vacsol Aqua -İmersol Aqua -Wolsit KD -Wolsit EC 	

Genel bilgiler bölümünde, odun koruma endüstrisinde kullanımı ve çevresel etkileri en çok olan organik çözücülü emprenye maddelerinden PCP’ye ve suda çözünen emprenye maddelerinden CCA’ya genel olarak değinilmiş olup tezin ana konusunu teşkil eden kreozota ayrıntılı yer verilmeye çalışılmıştır. Bu maddeler ayrıca tel direği, traversler, çitler

vb. olarak dış ortamlarda yaygın şekilde kullanılması ve hizmet sürelerinin sonunda bertarafı birçok çalışmada yer aldığı için önemli olmaktadır.

1.3.1.1. Organik Çözücülü Emprenye Maddeleri (OÇEM)

Petrol destilasyon ürünü olarak elde edilen maddelerin organik çözücülerde (tolüen, etanol, aseton vb.) çözünmesiyle elde edilen fungusit (mantarlara karşı etkili) ve insektisit (böceklere karşı etkili) özellikteki maddelerdir. Emprenye muamelesi sonrası çözücüler buharlaşmakta ve geride aktif emprenye maddesi kalmaktadır. İçeriğinde su olmadığından hassas boyutlu ahşap malzemelerde (ahşap sanat eserlerinde, pencere ve dış kapı doğramalarında) öncelikli olarak tercih edilmektedir. Ayrıca yıkanmaya karşı direnç göstermekte, boya kabul etmesinin yanında ağaç malzemenin rengini değiştirmemekte, korozyon etkisi görülmemekte, şişme ve çarpılma olmamaktadır. En önemli dezavantajları; bina içi kullanımlarda çözücülerin odunu tam olarak terk etmediğinden emisyonuna sebep olması, petrol türevli olduğundan pahalı olması, uçucu kimyasallardan dolayı emprenye sonrası kolay tutuşması ve odun içinde düzensiz dağılımı gibi özellikleridir. Genellikle fırça ile sürme, püskürtme, daldırma ve çift vakum yöntemi gibi düşük basınç yöntemleriyle emprenye edilmektedirler. Ayrıca yerinde bakım gerektiren ve biyotik zararlılar arız olmuş ahşap malzemelerin bakımlarında da kullanılabilirler. En önemlileri; pentaklorofenol (PCP), kalay içeren tribütil kalay oksit (TBTO), metalik naftenatlar ve bor esteridir. TBTO mantar ve deniz zararlılarına karşı daha etkili olmasına rağmen odun hücreleri ile iyi bir bağ yapmadığından zamanla odunu terk etmekte ve hedeflenmeyen deniz canlılarına zarar verdiği bilinmektedir (Willeitner ve Liese, 1992; Bozkurt vd., 1993; Bozkurt ve Erdin, 1997; Abeysinghe, 2011; Shmulsky ve Jones, 2011).

1.3.1.1.1. Pentaklorofenol (PCP)

Organik çözücülü emprenye maddelerinden en öne çıkanı Pentaklorofenol (PCP veya Penta)'dur. 1841 yılında bulunmuş olup 1928 yılında patenti alınmıştır. Pentaklorofenol P9 yağı olarak bilinen 2 numara yağın (kalorifer yakıtı vb.) çözünmesiyle elde edilmektedir. Organik çözücülerde çözünebilir ve aktif maddesi klorlanmış fenol olan kristalit bir yapıdadır. Odun koruma maddesi olarak endüstrisinde ilk kez 1935 yılında keşfedilmiş ve

zamanla daha da geliştirilmiştir. 1940 yılı içersinde kreozota alternatif olarak düşünülmüş olup aynı zamanda kreozotla da karışım halinde uygulanmıştır. Kreozota göre deniz zararlıları hariç diğer tüm odun bozundurucu etmenlere karşı etkili olabilmekte ve kullanılan çözücü tipine (hafif ve ağır) göre kullanım yerleri için toprakla direk temas eden ürünlerde ve doğramalarda değerlendirilmiştir. 1990 yılında ABD’de emprenyeli ürünlerin %9’u PCP ile emprenye edilmiş olup günümüzde yılda 1 milyon m³ odun PCP ile muamele edilmektedir. Ahşap yüzeyinde uçucu bileşiklerden dolayı kristal yapı nedeniyle gözenekleşme olabilmektedir. Yüksek zehirlilik etkisi olması nedeniyle birçok gelişmiş ülkelerde sınırlandırılmasına rağmen halen çok yaygın bir kullanımı bulunmaktadır (Willeitner ve Liese, 1992; Milton, 1995; Shmulsky ve Jones, 2011).

PCP, mantarlara karşı son derece zehirli olup mükemmel bir fungusittir. Yıkanmaya karşı dirençli olması ve korozyon etkisi bulunmaması öne çıkan özelliklerindedir. Çeşitli türevler ile mavi renklenmeye karşı, tel direkleri ve insektisit katılarak doğramaların muamelesinde, mantar çürüklüğüne karşı bakım onarım işlemlerinde değerlendirilmektedir (Shmulsky ve Jones, 2011).

1.3.1.2. Suda Çözünen Emprenye Maddeleri (SÇE)

Suda çözünen emprenye maddeleri; suyun çözücü olarak kullanıldığı bazı organik maddeler istisna olmak üzere genellikle inorganik tuzları/biyositleri kapsamaktadır. İnorganik biyositlerin kullanımı ilk olarak 1800’lü yıllarda odun koruma amacıyla civa klorür, çinko klorürün patenti alınmasıyla başlamış ve günümüze kadar kullanımı sürmüştür. 1913 yılında Wolman, kreozottan üstün bir emprenye maddesi (Triolith) bulmuştur. Aynı yıllarda Brüning suda çözünen maddelerin krom ilavesiyle odundaki fiksasyonu arttırdığını tespit etmiştir. Daha sonra yine Wolman tarafından arsenik içerikli Tanalith adındaki emprenye maddesinde krom miktarının %35’e çıkararak emprenye maddesinin yıkanmaya karşı direncini arttırmıştır. 1933 yılında Kamesam adındaki Hintli bilim adamı arsenik, bakır, krom kullanarak yıkanmaya dirençli ASCU olarak bilinen emprenye maddesini geliştirmiştir (Willeitner ve Liese, 1992; Stirling ve Temiz, 2014).

SÇE maddelerinin içeriğinde ZnCl₂ (çinko klorür) ve NaF (sodyum flüorür) tuzları olurken bu maddelerin su ile temaslarında odunun bünyesinde kolayca uzaklaşmaları yüzünden dış ortamlarda çok fazla tercih edilmemişlerdir. Su, burada etkin maddeleri odun hücrelerine taşıyıcı görevde rol almaktadır. 1930’lu yıllar sonrası istisnasız tüm emprenye

maddeleri arasında en popüler olan ve referans madde olarak tanımlanan bakır/krom/arsenik (CCA) formülasyonları kullanılmaya başlanmıştır. Bundan sonra emprenye maddelerinde çalışmaların çoğu, SÇE maddelerinin asit ve alkalilerde çözüldüğü fakat emprenye sonrası odun bileşenleri ile kimyasal bağlar yapması (fiksasyonu) üzerine olmuştur. Böyle maddeler ise çok amaçlı emprenye maddeleri olarak adlandırılmıştır. SÇE maddelerinin, konsantrasyonları rahatlıkla ayarlanabilmesi ve basınç/vakum sistemleri kullanılarak retensiyon değerleri kullanım yerlerine göre ayarlanabilmesi tercih nedenlerinin başında gelmektedir. Düşük retensiyonlar mantar ve böcekler için, yüksek retensiyonlar ise deniz zararlıları ve toprakla temas eden yerler için kullanılmaktadır (Archer ve Lebow, 2006).

Emprenye sektöründe, daha çok tercih edilmelerinin ana nedeni su gibi ekonomik bir çözücü kullanılması olup emprenye sonrası ahşabın yüzeyinin temiz kalması ve atmosfere salınan uçucu hidrokarbon miktarının azaltılması gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca katı veya konsantre olarak taşınabilmeleri, mantar ve böceklere karşı oldukça etkili olmaları, koku probleminin olmaması ve ilave maddelerle yangın geciktirici özellik kazandırılmaları bilinen genel özellikleridir. Dezavantajlı yönleri ise; emprenye sonrası kurutma zorunluluğu, kullanılan bakırın korozyon etkisinin olması ve genişleme/daralma yapmalarıdır. SÇE maddeleri maden ocaklarında, kokunun istenmediği yerlerde, yağlı boya yapılması istenen ve yerinde bakım olan yerlerde, toprakla temas ve toprak üstü birçok kullanım alanına sahiptir (Archer ve Lebow, 2006; Kartal vd., 2006; Shmulsky ve Jones, 2011).

İnorganik biyosit olarak arsenik, CCA ve ACZA emprenye maddelerinde bakıra tolere mantar ve böcekler için kullanılmıştır. Fakat insan sağlığını tehdit ettiği için birçok ülkede sınırlandırılmıştır. Yine bir başka biyosit madde olan bor, insanlara karşı zehirlilik oranı son derece düşük, mantar ve böceklere karşı ise yüksek etkinliği olduğundan sodyum tetraborat, sodyum pentaborat, sodyum oktaborat, çinko borat ve borik asit gibi birçok emprenye maddesinde değerlendirilmiştir. Fakat yüksek oranda difüz edebilir ve yıkanabilir bir madde olduğu için dış ortamda tercih edilmemekte olup bu soruna henüz etkili bir çözüm getirilememiştir. Esasen difüzyon özelliklerinin iyi olması ona emprenyesi zor olan türler için yüksek geçirgenlik sağlamakta olup odundaki rutubetli bölgelerde mantar gelişimini engellemektedir. Son zamanlarda ise bakır takviyeli bor bileşikleri kreozot ile birlikte traverslerin emprenyesinde kullanılmakta olup bu ürünlere yangın geciktirici özellik kazandırdığı belirlenmiştir (Stirling ve Temiz, 2014).

Modern odun koruma disipliniinde asıl başrol oynayan ve vazgeçilmez bileşik bakırdır. Çok geniş bir yapıda ve formülasyonda değerlendirilebilmektedir. Bakır bileşiklerinin; su bazlı formülasyonların kolay bir şekilde hazırlanması, odunda analizi ve penetrasyonu kolay belirlenmesi ve UV ışınlarına karşı düşük foto-degradasyona uğraması bilinen avantajlı yönleridir. Hemiselülozdaki karboksil asitler, lignindeki fenolik gruplar ve selülozdaki hidroksil gruplar bakırın potansiyel reaksiyon gruplarıdır. Böylece bakır, biyotik faktörlere karşı yüksek etkinlik göstermektedir. Dolayısıyla CCA ve ACZA gibi emprenye maddeleri sınırlandırılması, yapısındaki bakırdan değil içerdikleri arsenikten dolayı olmaktadır (Freeman ve McIntyre, 2008; Stirling ve Temiz, 2014). Emprenye maddesi olarak Avrupa'da bakır üç farklı sistemde kullanılmaktadır. Bunlarda suda çözünen bakır formülasyonları, yağ bazlı bakır kompleksleri ve suda çözünen mikronize bakır formülasyonlarıdır. Suda çözünen bakır formülasyonlarında en bilinen maddeler CCA, ACQ, CBA, ACZA, ACC ve CX-A'dır. Yağ bazlı bakır komplekslere ise bakır naftenatlar örnek verilebilmektedir. Son olarak bakırın günümüzde alternatif kullanım alanı suda çözünen mikronize (nano boyutta) bakır bileşikleri üzerine olmaktadır. Mikronize bakır azol (MCA/ μ CA) ve mikronize bakır kuat (MCQ) bu sınıflandırmaya girmektedir. Bu sistemde amaç suyun taşıyıcı rol üstlenerek mikronize bakır parçacıklarının (1000 nm'den küçük boyutlarda) oduna derin penetrasyonunu sağlamaktadır. Yapılan mikroskopik incelemelerde bakır partiküllerinin boyutlarının küçüldükçe daha iyi dağılmakta olduğu belirlenmiştir. Bu sayede düşük retensiyonda dahi yüksek etkinlik göstermekte olup odun hücre geçitlerine/duvarlarına yerleşerek S2 tabakasına arız olan yumuşak çürüklük mantarlarına karşı yüksek etkinlik gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca yıkanma testi sonucunda ACQ ile kıyaslandığında mikronize bakır formülasyonlarının çok düşük oranda bakırın yıkandığı yapılan çalışmalarda görülmüştür. Mikronize bakır formülasyonları suda çözünen emprenye maddelerine göre daha düşük korozif özellikte olup emprenyesi sonrası oduna daha açık renk ve daha iyi boyanma yüzeyi sağlamaktadır (Freeman ve McIntyre, 2008; Stirling ve Temiz, 2014).

Geleneksel bakır içeren emprenye maddelerinin çevreye verebileceği zararlı önemli oranda düşürdüğü için mikronize bakır sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Mikronize bakır formülasyonları ile emprenye edilen ürünler iç ve dış mekanlarda zeminlerde, çitlerde, yapı elemanlarında kullanılmak üzere modern ve çevreci ürün sınıfına girmektedir (Özgenç, 2014).

1.3.1.2.1. CCA (Bakır/Krom/Arsenik)

CCA'nın keşfi 1933 yılında başlamaktadır. Hintli orman ürünleri mühendisi olan Sonti Kamesam kömür madeni işçilerinin, arsenik ve bakır karışımını ahşabın küflenmemesi için enjekte ettiklerini farketmiştir. Bakır, çürüklük mantarlarına karşı etkili olmasının yanında arsenikte odun zararlısı böcekler için oldukça zehirli bir bileşiktir. Kamesam ise madenlerdeki çalışma ortamını düşünerek bu karışıma krom ilavesiyle hücre duvarlarına yerleşmesini sağlamıştır. Bu buluş sayesinde Kamesam hem Hindistan'daki madenlerin daha uzun sürede kullanıma açık kalmasını sağlamış hem de bu işletmelerde ekonomik yönden avantaj sağlayarak odun ihtiyacının en aza indirmiştir (Koski, 2008).

20. yüzyılın son yarısında odun koruma endüstrisini, CCA domine etmiştir. CCA tuzları, bakır, krom ve arsenik içermekte olup kristal toz halindeki kuru karışımları, macunları ve konsantre sıvıları mevcuttur. CCA'da bakır mantara karşı koruma, krom bakır ve arseniğin oduna fikse olması, arsenik ise bakıra tolere mantar ve böceklere karşı koruma sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. ABD Odun Korumacıları Birliği (AWPA) tarafından belirlenmiş ve içerisindeki bakır, krom ve arsenik oranları nedeniyle A, B ve C olmak üzere 3 tipe ayrılmaktadır (Tablo 2). CCA-Tip A'da yüksek oranda krom-düşük arsenik içermekteyken, CCA-Tip B'de bu durum tam tersidir. CCA-Tip C ise bu iki maddenin ortalama karışımı düzeyindedir. Yıkanmaya karşı direnç ve biyotik zararlılara karşı etkinlik bakımından en iyi performansa sahip olduğu için en çok kullanılan CCA tipidir (Gezer, 2003; Freeman ve McIntyre, 2008).

Tablo 2. CCA empenye maddesinin üretim tipleri

Bileşen	Tip A (%)			Tip B (%)			Tip C (%)		
	En az	En çok	Opt.	En az	En çok	Opt.	En az	En çok	Opt.
Bakır (CuO)	16,0	20,9	18,1	18,0	22,0	19,6	17,0	21,0	18,5
Krom (CrO ₃)	59,4	69,3	65,5	33,0	38,0	35,3	44,5	50,5	47,5
Arsenik (As ₂ O ₅)	14,7	19,7	16,4	42,0	48,0	45,1	30,0	38,0	34,0

CCA'da fiksasyon ve yıkanma mekanizmaları iki önemli konu olmanın yanında birbirleriyle de ilişkilidir. Özellikle hizmet süresi sona ermiş empenyeli ürünlerde bu mekanizmaların bilinmesiyle CCA'nın ağaç malzemedeki uzaklaştırılması sağlanabilmektedir. Yapılan çalışmalarda yıkanma oranları karşılaştırıldığında CCA-Tip C, Tip B'den daha düşük olduğu bildirilmiştir. Ahşap malzemeler CCA ile empenye edildiği andan itibaren fiksasyon (tutunma reaksiyonları) devam etmekte olup ve yıllar sonra dahi

devam edebilmektedir. Buna bağlı olarak yıkanma oranları da zamana göre değişebilmektedir. Fiksasyonu etkileyen başlıca etmenler; sıcaklık, bağlı nem, odun türü, CCA'nın bileşimi olarak sıralanabilmektedir (Gezer, 2003).

CCA, dünyanın bütün ülkelerinde performansı ile kabul görmüş, hemen hemen bütün kullanım yerlerinde oduna arız olan zararlılara karşı son derece etkin bir emprenye maddesidir. Ancak, 2003 yılı sonlarında Amerika'daki Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) ve Kanada'daki Atık Yönetimi ve Düzenleme Kurumu (PMRA) arsenik içeren CCA'nın odun koruma endüstrisindeki kullanımını ve atıl hale gelen CCA'lı malzemenin yeniden değerlendirilmesini yayınladıkları bağlayıcı maddelerle sınırlandırmıştır. Daha sonra 2004 yılında ise direklerde, deniz içi iskele elemanlarında kazıklarda, destek elemanlarında, traverslerde ve insanın direk temas etmediği kullanım yerleri dışında büyük oranda sınırlandırmalar getirilmiştir. Dolayısıyla kullanım ömrünü tamamlayan ya da kullanım dışı kalan CCA içeren malzemelerin nasıl bertaraf edileceği konusunda ciddi endişeler vardır. Bu endişelerin kaynağını arsenik ve kromun çevreye yayılması oluşturmaktadır (Evans, 2003; Gezer, 2003; Gezer vd., 2005; US-EPA, 2006; Hill, 2006; Freeman ve McIntyre, 2008; Koski, 2008; Tomak ve Yıldız, 2012; Stirling ve Temiz, 2014).

1.3.1.3. Yağlı Emprenye Maddeleri

Yağlı emprenye maddelerini, maden kömürü ve türevlerinden elde edilen ürünler ve bazı petrol yan ürünleri kapsamaktadır. Bunlardan en önemlisi olan kreozot, açık hava koşullarında ve deniz içerisinde kullanılacak ağaç malzemenin emprenyesinde kullanılmaktadır. Kreozot dışında diğer yağlı karakterli emprenye maddeleri: Antrasen yağı, karbolineum, avenarius, kreozot natron, maden kömürü katranı, linyit kömürü katranı, turba katranı, odun katranı ve odun katranı kreozotu, stockholm katranı, No-D-K, petrol katranı kreozotu, kıltaşı katranı ve petrollü emprenye maddeleridir (Willeitner ve Liese, 1992; Yıldız, 2005).

1.3.1.3.1. Kreozot

Kreozot, odun katranı ve kömür katranından üretilen maddenin genel adıdır. Yunanca kreas (et) ve soter (koruyucu) eklerinden gelen kreozot terimi genellikle kömür

katranı olarak kullanılsa da birçok anlam taşımaktadır. Odun katranı olarak kreozot bir destilasyon ürünüdür. Bu aslında kreozotun ilk kullanıldığı isimdir. Franz Moll tarafından 1836 yılında patenti alınmasına rağmen orijinal olarak odun koruma maddesi amacıyla kreozotun kullanımı 1796'da ahşap gemilere uygulanmasıyla olmuştur. 19. yüzyıl başlarında kreozot kayın odunundan elde edilen odun katranı ızgara kokusu "smoked meat" olarak kullanılırken daha sonra kömür katranının destilasyonu ile demiryolu traverslerinin empenyesinde kullanılmıştır. Amerikan Dr. William Crook ise "Spirit of Tarr" gemi koruyucusu adıyla deniz kurduna ve çürüklüğe karşı kullanmıştır. 1838'de John Bethell tarafından vakum ve basınç uygulayarak (İngiliz patenti:7731) dolu hücre yöntemi ile kreozot denenmiştir. Daha sonra kreozot dünya genelinde birçok alanda (demir yolu traverslerinde, elektrik ve telgraf direklerinde, çitlerde, çiftliklerde, soğutma kulelerinde, gemi güverte elemanlarında, köprülerde vb.) kullanılmaya başlamıştır. En genel tanımı ise; maden kömürü katranının 200-400 °C'de damıtılmasıyla elde edilen bir yan ürün olan kreozot, muhtemelen en eski, en etkili ve "modern" odun koruma maddelerinden birisidir. Modern olması; günümüzde kreozotun zararlı bileşiklerinin uzaklaştırılarak "ekolojik kreozot" adı altında kullanımı giderek yaygınlaşmasından ileri gelmektedir (Milton, 1995; Freeman vd., 2003; Murphy ve Brown, 2005; Archer ve Lebow, 2006; Corn vd., 2010; Mateus vd., 2010; C-EPA, 2013).

Bir kömür katranı destilasyon ürünü olarak kreozot dünyada en çok kullanılan odun koruma maddelerinden birisidir. Kanada'da 1940'lı yıllara kadar 45 milyon litre (64 bin ton), üretilmiş olup bu rakam 1990'da 12-14 milyon litreye (20 bin ton) düşmüştür. ABD Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından kreozotun %70-99 oranında demiryolu traverslerinde kullanıldığı bildirilmektedir. Diğer kullanım alanlarını ise elektrik ve haberleşme direkleri, köprüler ve bahçe yapıları olup Türkiye'de 8 işletmede 167.107 m³ kurulu kapasiteyle kreozot empenye maddesinin kullanıldığı bildirilmiştir (Anonim, 1971; Envirochem, 1991; HHS, 2002; Freeman vd., 2003; Murphy ve Brown, 2005; Mateus vd., 2010; TOBB, 2012).

Kreozot toprak altı, toprak üstü ve deniz suyu ile temas eden her türlü kullanım yerinde ahşabı mantar, böcek ve deniz zararlısı organizmalara karşı yüksek etkinlik göstererek korumaktadır. Kreozot, günümüzde traversler ve kazıkların %70'inin, tel direklerin ise %15-20'sinin empenyesinde kullanılmaktadır. EPA tarafından yapılan çalışmalarda 2004 yılında tahmini 87 milyon galon (329 bin m³) odun kreozot ile empenye edildiği bildirilmiştir. Ayrıca kreozot ABD'de kullanılan traverslerin %99'unu

oluşturmaktadır. Her yıl yaklaşık 2,6 milyon m³ odun kreozot ile emprenye edilmektedir (US-EPA, 2008). Dış ortamda kullanılacak ahşap ürünlerde (travers, çit, telefon direkleri vb.) çok uzun süre koruma sağladığı görüldüğü için kullanımı yaygınlaşmıştır. Doğru yöntemler (boş hücre ve sıcak-soğuk açık kazan) uygulanarak kreozotla emprenye edilen tel direklerinde 60 yılı, denizde kullanılan ahşap ürünlerde 40 yılı, traverslerde ise 30 yılı aşan bir hizmet süresi sunmaktadır. Kreozot kahverengimsi siyah ve yağsı bir sıvıdır. Kreozotun viskozitesi (P1/P13 için 14,60 mm/s, P2 için 15,5 mm/s) yüksek olduğundan emprenye öncesi mutlaka ısıtılması gerekmektedir. Diğer bazı katran yağları ile karıştırılarak kullanılması da mümkündür. ABD’de 1990 yılında ahşap ürünlerin %16’sı kreozot ile emprenye edildiği bildirilmiştir. Yine traverslerin, köprü bağlantı ve destek elemanlarının %100’ü, kazık ve sütunların %49’u, telefon direklerinin %18’i kreozot ile emprenye edilmiştir. Milton (1995) kreozotsuz bir demiryollarının ABD’de düşünülmeeyeceğini ifade etmiştir. Kreozot yoğun kokusu ve içerdiği bileşenlerden dolayı; iç mekânlarda, insanların direk temasının olduğu yerlerde, gıda ve tarımsal ürünlerin taşınmasında, boyama özelliklerin iyi olması istendiği yerlerde kullanımı uygun olmamaktadır. Retensiyon değerleri kullanım yerine göre 80-400 kg/m³ arasında değişmekte olup genellikle 128 kg/m³ seviyelerinde her türlü bozunduruca etmene karşı yeterli direnç göstermektedir. Kreozotun tanımlanabilen bileşen sayısı üretim şekline ve uygulanan sıcaklıklara göre değişebilmekte ve en az 155’ten başlayarak (Corn vd., 2010), 200 (Milton, 1995), 300 (C-EPA, 2004) ve 1000’den fazla (EPA, 2008; Mateus vd., 2010) bileşen var olduğu bilinmektedir. Bu bileşikler arasında en büyük payı nötral bileşikler almaktadır. Kreozotun %70-90’ını PAH’lar, %10’unu fenolik bileşikler, %3’ten azını mono-aromatik hidrokarbonlar (BTEX) ve %3-15’ini ise çok halkalı bileşikler içeren N (azot), O (oksijen) veya S (kükürt)’ün halkada yer aldığı heterosiklik bileşikler oluşturmaktadır. Dolayısıyla kreozotun ana bileşiklerini %90 oranında alifatik hidrokarbonlar oluşturmaktadır. Kreozotun avantaj ve dezavantajları Tablo 3’te verilmiştir (Milton, 1995; Ibach, 1999; C-EPA, 2004; Brudermann, 2008; Mateus vd., 2010; C-EPA, 2013).

Tablo 3. Kreozotun genel özellikleri (Brudermann, 2008; C-EPA, 2013).

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> ➤ En şiddetli açık hava koşullarında (toprakla temas ve deniz suyu içerisinde) dahi odunu tahrip eden zararlılara karşı etkinliği oldukça yüksektir. ➤ Yıkınma oranı çok düşük olmasının yanında su itici özellik göstermektedir. ➤ Ahşap malzemenin boyutsal stabilitesini arttırmaktadır. ➤ Mekanik aşınma direnci yüksektir. ➤ Ahşap malzemeye nüfuzu kolay olduğundan istenilen absorpsiyonu sağlamak mümkündür. ➤ Kaynama derecesi yüksek olduğundan buharlaşması güçtür. ➤ Korozyon etkisi olmamasının yanında kimyasal bozunmaya karşı dirençlidir. ➤ Yan ürün eldesi olmasıyla ekonomiktir. ➤ Çatlama ve yarılmaya karşı etkili olduğu için demiryolu traverslerinde vazgeçilmezdir. ➤ Çeşitli kullanım yerlerinde yüzeysel fırçayla sürme/püskürtme yöntemleri ile de koruma sağlayabilmektedir. ➤ Yüksek elektriksel dirence sahiptir. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ağır kokusu nedeniyle kapalı mekânlarda kullanılamazlar. ➤ Sıcak ortamlarda kanama yaptığı için boya özellikleri kötü olmaktadır. ➤ Kreozotla uzun süre temas halinde çalışanlarda bazı deri hastalıklarına neden olabilmektedir. ➤ Sadece sıvı halde taşınabilmekte olup sıvı halde yanıcı, korozif, zehirli etkisi olabilmektedir. ➤ Ayrıca içerdiği hidrokarbonlar nedeniyle tohum sandıkları ve seralarda kullanılamamaktadırlar. ➤ Bazı “olası kanserojen madde” sınıfına giren PAH bileşiklerini içerdiği için kanserojen etkisi vardır. ➤ Suda çözünmemektedir.

Her odun koruma maddesi gibi kreozotun da tolare olduğu zararlılar (*Lentinus lepideus* mantarı, *Limnoria tiripunctata* odun delici kabukluları ve *Coptotermes* termit türü) bulunmaktadır. Buna göre takviyeli kreozotlar geliştirilmiştir. Bunlar: kreozot-pentaklorofenol, bakır takviyeli kreozot, arsenik takviyeli kreozot, çinko takviyeli kreozot ve kalay oksit, klor, malahit yeşili vb. takviyeli kreozottur (Sivrikaya, 2004).

Kreozot, kömür katranının destilasyon türevi olarak satışa sunulmaktadır. AWWA 1995 yılında oluşturduğu çerçeve standartlarında kreozotun içeriği ve üretim koşulları belirlenmiştir. Burada P1/P13 ve P2 olmak üzere AWWA iki temel kreozot grubuna dikkat çekmektedir. Demiryolu traversleri ve kazıklarda P2 tipi kullanırken, telefon direklerinde P1/P13 karışımı kullanılmaktadır. Bu karışımlar orta sıcaklık uygulamalarında (210-355 °C) elde edilmektedir. ABD’de P2’nin kullanımı daha yaygındır. Günümüzde kreozotun temel analizleri bu standartlara göre yapılmaktadır. Kreozot farklı fiziksel karakterdeki sayısız bileşiği içinde barındırabilmektedir. Bütün bileşiklerin farklı kaynama noktası ve dolayısıyla farklı buharlaşma sıcaklıkları olmaktadır. Fakat kreozotun kendiliğinden buharlaşmadığı bilinmekle beraber kreozotun karışımındaki bileşenlerin yapısı da buharlaşmada etkili olabilmektedir. Naftalen kreozot birleşenleri arasında en uçucu bileşiktir. Bu nedenle kreozotun yaygın kokusu naftalenle doğrudan ilişkilidir (Corn vd., 2010; Mateus vd., 2010).

Yoğun kokusu ve insan temasında çeşitli zararlara yol açabileceğinden günümüzde kullanımı sınırlandırılmıştır. Kömür katranının destilasyon ürünü olan kreozotun içeriğinde polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), katran asit ve bazlarının karışımı olarak çok geniş ölçüde odun zararlı organizmalarına karşı etkinlik göstermektedir. Fakat görsel olarak insanların kullanım yerlerinde pek tercih edilmemektedir. İşçiler, kreozotun yağlı bileşenlerinden dolayı çeşitli deri hastalıklarına maruz kalabilmektedirler. US-EPA tarafından 2003 ve 2007 yılında yayınlanan direktiflere göre kreozotun çevreye ve insanlara karşı zehirlilik etkisi olduğunu ve sınırlandırılması gerekliliği vurgulanmıştır. Bu nedenlere karşın kreozot orman ürünleri endüstrisinde özellikle toprakla direk temas eden yerlerde (telefon direkleri, traversler, köprü elemanları, destek elemanları, kazıklar vb.) ahşabı son derece iyi koruduğu için dünya genelinde kullanımı devam edeceği düşünülmektedir (Ibach, 1999; Housenger, 2003; US-EPA, 2003; Archer ve Lebow, 2006; US-EPA, 2007; DTSC, 2008).

1.3.1.3.1.1. Kreozotun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kömür katranının destilasyonunda ilk fraksiyonları hafif yağlar (düşük molekül ağırlığındaki yağlar), yüksek kaynama noktalarındaki fraksiyonlarda ise ağır yağlar (yüksek molekül ağırlığındaki yağlar) ve ziftler oluşmaktadır. Kreozotun özgül ağırlığı (15 °C’de 1,05-1,09) sudan yüksek olup, kaynama noktası 200-450 °C arasındadır. 250-350 °C’de elde edilen destilasyon ürünleri bu bağlamda daha yüksek kalitede ürün vermektedir. Kreozotun aşağıda verilen her bir bileşen grubu farklı odunu bozundurucu faktöre etki etmektedir. Örneğin düşük molekül ağırlığındaki (LMW) PAH’lar genellikle çürüklük mantarlarına karşı etkili olurken, yüksek molekül ağırlığındaki (HMW) bileşenler ise ana bileşenlerin odundan yıkanmasını durdurmaktadır. Ayrıca bu bileşikler su iticilik özellik göstererek malzemenin boyutsal stabilitesini arttırmaktadırlar. Emprenye sırasında viskoziteyi arttırmak için kreozot ısıtılabilen ve nüfuz derinliği artırılabilir. Güneş ışınlarının etkisiyle kanama yapan kreozota karşın bazı ülkelerde kaynama noktası 355 °C’nin üzerinde destilasyon ürünleri kullanılarak bu etki düşürülmeye çalışılmaktadır.

Kreozotun 4 ana bileşen grubu vardır (ASTM D390, 1999; AWP, 2006, US-EPA, 2008; C-EPA, 2013).

1- Aromatik Hidrokarbonlar; polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH)'ın yanında bu gruba, alkilleştirilmiş PAH, benzen, tolüen ve ksilen de girmektedir. Kreozotun %90'ını PAH'lar temsil etmektedirler.

2- Fenolik bileşikler; fenolik bileşiklerin yanında kresoller, ksilenoller, naftoller (naftalinin türevi olan kristal yapılar) bu grubu oluşturmaktadır. Kreozotun %1-3'ünü temsil etmektedirler.

3- Sülfür içerikli ürünler; benzotiyofenleri içeren ürünleri kapsamaktadır. Kreozotun %1-3'ünü temsil etmektedirler.

4- Oksijen içerikli ürünler; dibenzofuranları kapsamaktadır. Kreozotun %5-7,5'uğunu temsil etmektedirler.

Kreozotun ana yapı elemanları olan polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH)'ın içeriğinde "olası kanserojen madde" sınıfına giren antrasen, flüoranten, asenaften, krizen, piren, fenantren gibi bileşenler bulunmaktadır. Diğer bileşenler ise fenoller, kresoller, kresilik asitler, piridinler akridinler ve kuinolinlerdir. Tüm bu bileşenlerin oranları, kreozotun yapısına göre değişebilmektedir. Kreozot emprenye maddesini P1/P13 (%50 kömür katranı kreozotu ve %50 petrol yağı) oluşturmaktadır.

Kömür katranı türevi olan naftalen yağı bu fraksiyonlara katılabilmekte veya uzaklaştırılabilmektedirler. Odun koruma amacıyla en fazla P1/P13 fraksiyonu (telefon direkleri ve kazıklar için) ve P2 fraksiyonu (demiryolu traversleri için) kullanılmaktadır. Bu fraksiyonlar kreozotun yüksek sıcaklıkta destilasyonunda hafif, orta ve ağır yağların karışımından oluşmaktadır. Avrupa ülkelerinde ve Türkiye'de ise EN 13991 (2003) standardına göre kreozot 3 tipe ayrılmaktadır. A tipi 2001/90/EC direktiflerine göre üretimi yasaklanmıştır. B tipi telefon direkleri ve diğer tüm kullanımlar için geçerlidir. C tipi ise yeni tip kreozot olup kreozotun bilindik ağır kokusu giderilmiş olup A ve B tipleriyle değiştirilmesi önerilmektedir. Tablo 4'te bileşik oranları ve Tablo 5'te odun koruma maddesi olarak kullanılan kreozot tipleri ile ilgili teknik bilgiler verilmiştir (Chakraborty, 2001; EN 13991, 2003).

Tablo 4. Krezot tiplerine göre ana bileşiklerin % ağırlık oranları (Sparacino, 1999; Brooks, 2006).

Bileşenler	Tip P1/P13	Tip P2	Avrupa Tip B	Avrupa Tip C
Naftalen	9,0	8,0	5,3	0,1
Asenaften	6,1	6,6	4,4	2,0
Asenaftalen	0,3	0,2	0,1	0,2
Fluoren	4,2	4,9	3,3	5,5
Fenantren	12,2	12,6	9,9	18,5
Antrasen	2,2	2,1	0,5	1,1
Düşük molekül ağırlığındaki PAH'ların Toplamı (L-PAH)	34,0	34,4	23,5	27,4
Fluoranten	6,8	6,5	4,3	9,8
Piren	6,0	5,7	2,8	6,3
Krisen	1,5	1,5	0,1	0,1
Benzo(a)antrasen	0,5	0,5	0,1	0,2
Benzo(b)fluoranten	0,8	0,3	0,0	0,0
Benzo(k)fluoranten	0,3	0,2	0,0	0,0
Benzo(α)piren	0,5	0,5	0,0	0,0
Benzo(e)piren	0,4	0,4	0,0	0,0
İndenol(1,2,3-c,d) piren	0,1	0,1	Listelenmedi	Listelenmedi
Benzo(g,h,i)perilen	0,05	0,05	Listelenmedi	Listelenmedi
Yüksek molekül ağırlığındaki PAH'ların Toplamı (H-PAH)	16,95	15,75	7,3	16,4
Toplam PAH (PAH)	51,0	50,2	30,4	43,8
Acridin	0,2	0,1	0,5	1,1
İnden	0,9	0,7	Listelenmedi	Listelenmedi
Kuinolin	0,8	0,8	Listelenmedi	Listelenmedi
2-Metilnaftalen	5,1	4,6	8,0	0,3
1-Metilnaftalen	2,3	2,1	4,5	0,2
1,1'-Bifenil	1,2	1,2	2,1	0,1
1-Etilnaftalen	0,5	0,5	Listelenmedi	Listelenmedi
Dimetilnaftalenler (1,3- ve 2,6 isomerleri)	1,9	2,1	0,4	0,0
Dibenzofuranlar	3,1	3,7	3,2	2,1
Metildibenzofuran	0,7	1,3	Listelenmedi	Listelenmedi
Dibenzotiofen	1,3	Listelenmedi	Listelenmedi	Listelenmedi
9H-Karbazol	1,2	1,2	0,9	1,4
Metilfenantren	0,7	0,7	Listelenmedi	Listelenmedi
2- Metilfenantren	0,8	0,8	Listelenmedi	Listelenmedi
4H-Siklopental(deg)fenantren	1,8	1,7	1,7	3,1
1-Metilfenantren	0,8	0,5	Listelenmedi	Listelenmedi
2-Fenilnaftalen	0,5	0,5	Listelenmedi	Listelenmedi
Benzonaftofuran+Azapiren	0,6	0,6	Listelenmedi	Listelenmedi
Benzo(a)fluoren	0,9	0,9	0,5	1,0
Benzo(b)fluoren	Listelenmedi	Listelenmedi	0,5	1,0
2,3-Benzofluoren	1,1	1,1	Listelenmedi	Listelenmedi
Fenilmetilnaftalen	0,5	0,4	Listelenmedi	Listelenmedi
Asepiren	0,5	0,5	Listelenmedi	Listelenmedi
2,3- Benzantrasen	1,5	1,6	Listelenmedi	Listelenmedi
Dibenzokarbazol izomeri	Listelenmedi	0,8	Listelenmedi	Listelenmedi
Diğer bileşikler>%0,5	28,7	28,3	Listelenmedi	Listelenmedi
>%0,5 oranından büyük bileşik oranı %	%79,7	78,5	52,4	50,9
Belirlenen bileşikler	99	129	22	21
Karışımdaki toplam bileşik oranı	%95,9	%92,25	%53,39	%55,09

Tablo 5. Farklı tip kreozotların bazı teknik bilgileri (EN 13991).

Teknik Bilgi		Birim	Standart	A Tipi	B Tipi	C Tipi
Yoğunluk (20 °C)		g/ml	BS144 App. B	1,04-1,15	1,02-1,15	1,03-1,17
Su içeriği		% m/m	ISO760	Maks. 1	Maks. 1	Maks. 1
Kristalizasyon sıcaklığı		°C	EN13991 App. A	Maks. 23	Maks. 23	Maks. 50
Suda çözünebilir Fenoller		% m/m	EN1014-4	Maks. 3	Maks. 3	Maks. 3
Çözünmeyen madde		% m/m	BS144 App. B	Maks. 0,4	Maks. 0,4	Maks. 0,4
Kaynama aralığı ve Destilasyon	235 °C	Vol. %	EN13991 App. B	Maks. 10	Maks. 20	-
	300 °C			20-40	40-60	Maks. 10
	355 °C			55-75	Min. 70	Min. 65
Benzo(a) piren		ppm	EN1014-3	Maks. 500	Maks. 50	Maks. 50
Kapalı ortamda (Pensky-martens deneyi) Alevlenme		°C	EN ISO2719	Min. 61	Min. 61	Min. 61

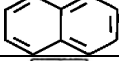
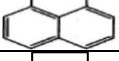
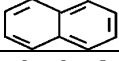
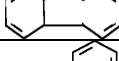
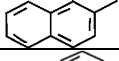
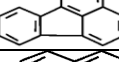
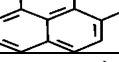
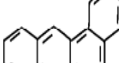
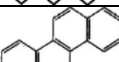
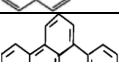
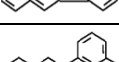
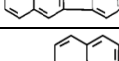
1.3.1.3.1.2. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)

PAH bileşikleri birbirine bağlı çok sayıda benzen halkalarının genel adıdır. Benzen halkaları bir düzlemde, açısız ya da kümelenmiş halde bulunmaktadır. PAH bileşikleri karbon ve hidrojen atomlarının en az iki kondense olmuş 5-6 karbonlu aromatik halka yapısında bulunmasıyla oluşmaktadır. PAH bileşiklerinde bir karbon atomunun halka düzleminde bir nitrojen, oksijen veya sülfür atomu ile yer değiştirmesiyle heterosiklik aromatik bileşikler (HAC) oluşmaktadır. Suda ve toprakta buharlaşan bazı düşük molekül ağırlığındaki bileşikler hariç olmak üzere büyük oranda suda çözünmez ve buharlaşmazlar. Havada, suda ve toprakta, bu bileşikler partiküllere yapışarak çok hızlı taşınabilmekte ve çok yavaş bozunmaktadır.

PAH bileşikleri içerisinde insan ve çevre sağlığını etkileyen bileşenler (benzo(α)piren, benzo(b,j,k)fluoranten ve indenol(1,2,3-cd)pirenler) “Olası Kanserojen Maddeler” sınıfında yer almaktadırlar. Yani genel manada PAH’lar zehirlilik sınıfına girmemekte olup söz konusu EPA, C-EPA, US-EPA gibi sağlık ajanslarının belirlediği seviyelerin altında olması istenmektedir. PAH’lar en az 100 tekil bileşikten oluşmaktadır. Bunlar içinde de asenaften, antrasen, benzo(a)antrasen, benzo(α)piren, fluoranten, fluoren, naftelen, fenantren ve pirenler en önemlileridir. Bu bileşikler canlılarda bazı tümörler oluşturabilmekte ve genetik mutasyona neden olabilmektedirler. Genellikle GC/MS ve HPLC ile belirlenebilmektedirler. Tablo 6’da bu bileşiklerin eşik değerleri verilmiştir (NRCC, 1983; EAG, 1990; LEI, 1992; C-EPA, 1994; Bergknut, 2006). Tablo 7’de PAH_c (kansere neden olan bileşikler) sınıfına ilave olarak benzo(g,h,i)perilen,

dibenzo(a,h)antrasen, indenol(1,2,3-cd)piren bileşikleri girmektedir (Thierfelde ve Sandström, 2008).

Tablo 6. Bazı önemli PAH bileşiklerinin eşik değerleri (Brooks, 2000; Thierfelde ve Sandström, 2008).

PAH ₁₂ bileşiği	ΣPAH Zehirlilik Eşiği (µg/g ⁻¹ organik karbon)	ΣPAH LC ₅₀ karışımı (µg/g ⁻¹ organik karbon)	ΣPAH Ortalama (µg/g ⁻¹ organik karbon)	PAH _C	Kimyasal yapıları	Molekül ağırlığı (g mole ⁻¹)
Naftalen	13	71	42,0	-		128,17
Asenaftalen	3	15	9,0	-		152,21
Asenaften	4	23	13,5	-		154,21
Fluoren	17	90	48,5	-		166,22
Fenantren	29	155	92,0	-		178,23
Fluoranten	69	371	220,0	-		202,26
Piren	90	481	285,5	-		202,26
Benzo(a)antrasen	21	111	66,0	X		228,29
Krisen	31	169	100,0	X		228,29
Benzo(b)fluoranten	33	180	106,5	X		252,32
Benzo(k)fluoranten	29	155	92,0	X		252,32
Benzo(α)piren	33	179	106,0	X		252,32
Düşük moleküllü PAH'lar	87	468	277,5	LC₅₀; %50 oranında canlı organizmaları öldürücü konsantrasyonu (maksimum seviye), PAH_C; kansere neden olan bileşikler		
Yüksek moleküllü PAH'lar	306	1,646	976,0			
Toplam	393	2,144	1,253			

Bazı PAH bileşikleri mutajenik ve kanserojen özellikte olduğu için çevresel etkileri çok önemlidir. Bu bileşikler; atmosferik fotoliz, emilim, su ve sıvılarda çözünme, kimyasal oksidasyon, buharlaşma ve mikrobiyal bozunma sonucu çevreye yayılmaktadır. PAH'ların %75'i düşük molekül ağırlığındaki (LMW) bileşiklerden oluşmaktadır. PAH bileşenlerinde

üç veya daha düşük benzen halkasına sahip bileşikler, düşük molekül ağırlığındaki bileşikler olup yüksek buhar basıncına sahip olmasıyla normal şartlarda gaz fazında olmaktadır. Bu da atmosferde kolaylıkla taşınmalarını sağlamaktadır. Buna karşılık yüksek molekül ağırlığındaki (HMW) benzo(α)piren gibi bileşikler neredeyse tamamı partiküller tarafından absorplanırken, fenantren gibi LMW bileşikleri gaz fazında olmaktadır. PAH'lar suda çözünmezken organik karakterli asitlerde rahatlıkla çözünebilmektedirler. PAH'lar genellikle düşük buhar basıncı, yüksek erime ve kaynama noktalarına sahip olup suda çok az çözünmektedir. Tablo 7'de bazı bileşiklerin özellikleri detaylandırılmıştır (Mueller vd., 1997; Bestari vd., 1998; Zapff-Gilje vd., 2001; Zuydam, 2007).

Tablo 7. Bazı önemli PAH bileşiklerinin özellikleri

PAH ₁₀ bileşikleri	Kimyasal formülü	Molekül ağırlığı	Suda çözünme	Erime sıcaklığı °C	Log K _{ow}	Log K _{oc}
Naftalen	C ₁₀ H ₁₂	128	3,169	81	3,37	2,97
Asenaftalen	C ₁₂ H ₈	152	3,93	-	4,07	1,40
Asenaften	C ₁₀ H ₁₂	154,21	3,93	-	3,98	3,68
Fluoren	C ₁₃ H ₁₀	166,2	1,68-1,98	-	4,18	3,86
Fenantren	C ₁₄ H ₁₀	178,2	1-1,6	100	4,45	4,15
Antrasen	C ₁₄ H ₁₀	178,2	0,0446	218	4,45	4,15
Fluoranten	C ₁₆ H ₁₀	202,26	0,206	107	4,90	4,58
Piren	C ₁₆ H ₁₀	202,3	0,129-1,165	147	4,88	4,58
Krisen	C ₁₈ H ₁₂	228,3	0,0015-0,0022	-	5,61	5,30
Benzo(b)fluoranten	C ₂₀ H ₁₂	252,3	0,0012	-	6,04	5,74

1.3.1.3.1.3. PAH'ların Çevre ve İnsan Sağlığına Etkileri

PAH'ların çevreye salınımı büyük ölçüde antropojenik (insan etkisiyle) olarak fosil türevli kaynakların direk yakılmasıyla olmaktadır. Dolayısıyla PAH bileşenlerinin ana kaynağı, yakıtlar veya benzin kalıntıları, doğal sızıntılar, fosil yakıtlarının yanması (kömür, petrol, doğal gaz) ve kreozot içeren emprenyeli odunlardır. Ayrıca orman yangınları ve volkanik patlamalar da atmosfere bu maddelerin yayılmasına neden olmaktadır. Örneğin Kanada'daki orman yangınları nedeniyle yılda yaklaşık 2000 ton PAH atmosfere salıverilmektedir. Bununla birlikte okyanuslarda, denizlerde petrol türevli kaynakların taşınmasında meydana gelen kazalarla oluşan çevresel kirliliğin sonucu PAH'lar dünyanın geneline yayıldığı yapılan çalışmalarda görülmüştür. Ayrıca, endüstriyel üretimin yoğun olduğu yerlerde fabrika atıklarının çevreye düzensizce terk edilmesi de önemli bir etkidir.

Doğal şekilde, orman yangınları veya volkanik patlamalarla ortaya çıkan, insan kaynaklı oluşumları ise endüstriyel kaynaklar, motorlu taşıtlar ve sigara başlıca PAH kaynaklarıdır. Bununla birlikte sigara ile ortaya çıkan PAH diğer kaynaklara göre az olmasına rağmen insan sağlığı açısından en fazla tehdit oluşturan etkidir. Endüstriyel kaynaklar; çöp yakma, çimento fabrikaları, petrol rafinerileri, kok ve asfalt üretimi, alüminyum, demir çelik üretiminden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla odun koruma maddesi olarak kreozotun orman kaynaklarını koruyarak uzun süre ahşaba hizmet süresi sağlaması, meselenin bir yanını oluştururken diğer yandan çevresel zararlara neden olan yukarıda sayılan etmenlere göre çok az oranda PAH salınımı yapmaktadır. Fakat yinede gelişen dünyada bu zararların da en az seviyeye gelmesi ve direk çevreye etkisi olmaması için bilimsel arayışların devam etmesi gerekliliği ortadadır (Ingram vd., 1982; Konasewich vd., 1991; Lundstedt vd., 2003; Zuydam, 2007).

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar iki ya da daha fazla benzen halkasına sahip hidrofobik karakterli organik bileşiklerdir. Organik bileşiklerin “eksik” yanması sonucu ortaya çıkan toksit ve kanserojen etkiye sahip organik yapıdaki bu bileşikler; hava, su, gıdalar ve sigara dumanı ile insan vücuduna girerek DNA’da mutasyona neden olmaktadır. Doğada 100’ün üzerinde PAH bileşiği tespit edilmiştir. Ancak kanserojen ve toksik etkisinin daha fazla olduğu düşünülen 17 PAH bileşiği öncelikli kirleticiler arasında kabul edilmiştir. Ayrıca, ABD HHS (Sağlık ve İnsani Hizmet Bakanlığı) tarafından 17 PAH bileşeni diğer kreozot bileşiklerinden ayrılarak çevre ve insan sağlığını tehdit eden öncelikli bileşikler olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar; asenaften, asenaftalen, antrasen, benzo(a)antrasen, benzo(α)piren, benzo(e)piren, benzo(b)fluoranten, benzo(g,h,i)perilen, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, krisen, dibenzo(a,h)antrasen, fluoranten, fluoren, indenol(1,2,3-c,d)piren, fenantren ve piren bileşikleridir. Bu bileşikler içerisinde en önemli kanserojen madde benzo(α)pirendir. Ayrıca biyolojik olarak naftalenler kolay bozunabilirken fluoren, krisen, antrasen ve pirenler çok zor bozunmaktadır (Wcislo, 1998; Chakraborty, 2001; Zhang vd., 2006; ÇOB, 2009; Wang vd., 2010; Alver vd., 2012).

Isınma ve enerji amaçlı kullanılan fosil kaynaklı yakıtlar PAH miktarını her geçen gün arttırmaktadır. Örneğin; emprenyeli odunların yakılması (474 t/yıl), tarımsal atıkların açık alanda yakılması (358 t/yıl), diğer odun atıklarının yakılması (249 t/yıl) sonucu da atmosfere salınan PAH miktarını arttırmaktadır. PAH bileşikleri aynı zamanda kolaylıkla deniz sularında toprak üstü ve altı sularda, toprakta taşınabilmektedir. Kreozot ile emprenye edilen ve hizmet süresi 40 yıl olan kazıklar ve 50 yıl olan demiryolu

traverslerindeki PAH bileşenlerinin %20'si yıkanmaktadır. Bu hesaba göre ortalama yıllık 2000 ton PAH çevreye salınmaktadır (NRCC, 1983; Slooff vd., 1989; Wan, 1993; LGL, 1993; Dabestani ve Ivanov, 1999; Lee vd., 2001; Garban vd., 2002; Poppi ve Silva, 2005).

Yapısında dörtten az benzen halkası bulunduran PAH'lar hafif PAH, dört ve daha fazla benzen halkası bulunduran PAH'lar ise ağır PAH olarak tanımlanmaktadır. Hafif PAH'ların sudaki çözünürlükleri daha fazla ve buhar basınçları daha yüksek olmaktadır. PAH'ların molekül ağırlıkları arttıkça sudaki çözünürlükleri azalmakta olup toksik ve kanserojenik özellikleri artmaktadır. PAH'lar toprakta, suda, havada ve gıda örneklerinde bulunmalarıyla mutajenik, toksik ve kanserojenik etkileri olduğu birçok çalışmada konu olmuştur. Bu tehlikelerinden dolayı çevrede, yiyecek ve içeceklerde PAH miktarlarının ülkelerin sağlık ajanslarının belirlediği seviyelerde olması istenmektedir. Çevresel kirlilik oranı yüksek yerlerde PAH'lar tütün dumanı, yanan odun dumanı, tahıl, ekmek, sebze, meyve, et, işlenmiş veya salamura ürünler, kirlenmiş inek sütü veya anne sütünde artış gözlenmektedir. Kirlenmiş toprak, hava ve suda yetişen ürünlerde PAH miktarları yüksek olmaktadır. Et veya diğer yiyecekleri ızgarada veya yanacak şekilde yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi yine PAH miktarının artmasına neden olmakta ve insan sağlığını tehdit etmektedir (Liang vd., 2006; Wenzl vd., 2006; Ferrarese vd., 2008; Bartos vd., 2009; Danyi vd., 2009; Zhang vd., 2009; Wang vd., 2010).

1.4. Emprenye Maddelerinin Sınırlandırılması, Kullanım Zorunluluğu ve Bertarafı Konularına Farklı Yaklaşımlar

1.4.1. Kreozot, PCP ve CCA'nın Sınırlandırılması

Klasik odun korumada amaç; farklı emprenye yöntemleri ile odun bünyesine biyositler (kreozot, arsenik, çinko, bakır, krom vb.) emdirerek ona en uygun hizmet süresini sağlamaktır. Fakat günümüzde Avrupa Birliği (AB) kriterlerince çevresel zararlara neden olan ve insan sağlığını tehdit eden arsenik gibi aktif biyositlere sınırlandırmalar getirilmiştir. Bununla birlikte geleneksel odun koruma maddeleri içeren (kreozot, PCP, CCA) emprenyeli ürünler hızla tehlikeli atık olarak sınıflandırılmaktadırlar. İlk olarak, emprenyeli odunların çevre etkileri dolayısıyla 1970'li yılların sonunda EPA tarafından 3 ana emprenye maddesi olan kreozot, PCP ve su bazlı ya da arsenik içeren emprenye maddelerinin (CCA) çevresel, üretim ve kullanıcı yönünden riskleri ortaya koyulmuştur.

EPA'nın yaptığı çalışmalara göre bu üç ana odun koruma maddesi insanlarla, bitkilerle ve canlılarla teması halinde zarar teşkil edeceğine karar verilmiş ve 1978 yılında RPAR (aksi ispatlanmadığı müddetçe tescili kaldırılmış ürün) sınıfına girmiştir. Bu aşamadan sonra daha önce sözünü ettiğimiz gelişmiş odun koruma endüstrisi yoğun lobi faaliyetleri sonucu Haziran 1984 yılında EPA tarafından yayınlanan 3 maddeli gerekçeyle tekrar onay çıkarttırmıştır. Bu maddeler; söz konusu zararlar üzerinde çalışmaların devam edeceği, orman kaynaklarının bu maddeler sayesinde korunduğu, ulusal faydanın olduğu ve bu maddeler ile emprenye edilen ürünlerin kullanım yerleri, retensiyon miktarları ve kullanım kılavuzlarının açık bir şekilde son kullanıcıya varıncaya kadar çerçevelerinin çizilerek çevre/insan sağlığını tehdit etmemesi üzerine olmuştur (Milton, 1995; CITW, 1997; Hiller ve Murphy, 2000).

İkinci olarak, 2001 ve 2003 yılı sonlarında Amerika'daki Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) ve Kanada'daki Atık Yönetimi ve Düzenleme Kurumu (PMRA) tarafından kreozot ve arsenik içeren CCA'nın odun koruma endüstrisindeki kullanımı ile birlikte atıl hale gelen CCA'lı malzemenin yeniden değerlendirilmesi sınırlandırılmıştır. Bu karar AB ülkeleri ve Batı Avrupa Odun Koruma Enstitüsü (WEI-IEO) tarafından da kabul edilmiştir. Son olarak US-EPA tarafından RED (reregistration eligibility decision for creosote "Case 0139") 2008 yılının sonlarında kreozotun atıl halde nerelerde kullanılabileceği ve genel anlamda önceki kararlara göre kullanımı sınırlandırılan bazı yerlerde telekomünikasyon şirketleri tarafından gelen baskılar üzerinde bir yumuşatmaya gidildiği görülmüştür (US-EPA, 2006; Koski, 2008; Tomak ve Yıldız, 2012).

Avrupa Birliği Komisyonu, özellikle 1976 yılından başlayıp 2013 yılına kadar PCP, kreozot ve CCA gibi emprenye maddelerinin kullanımının kısıtlanması/yasaklanması veya içerdikleri zehirli bileşenlerin eşik değerlerinin belirlenmesi konularında birçok rapor/direktif yayınlamıştır. Örneğin kreozot içeriğinde benzo(a)pirenin oranının %0,5'in altında olması ve su içinde çözünen fenol oranının %3'ten az olması istenmektedir. Bu takdirde endüstriyel olarak; tel direklerinde, demir yolu traverslerinde, çitlerde, kazıklarda vb. kullanımına izin verilmektedir. Benzer şekilde CCA'nın konutlarda, direk temasın olduğu yerlerde, tarımsal alanlarda katıyetle kullanımı yasaklanmıştır (EUC, 2003; EUC, 2007).

21. yüzyıla girildiğinde odun koruma endüstrisi sağlık ve güvenlik anlamında önemli bir sınırlandırmayla karşı karşıya kalmıştır. Ayrıca çevresel kaygıların yanında ahşap malzemeye uzun hizmet süresi kazandırma ya da bir başka deyişle ormanların korunması

arasında bir denge kurulması zorunluluğu doğurmuştur. Bu yüzden günümüzde emprenyeli ahşap malzemenin yaşam döngüsü analizi (life cycle analysis) gündeme gelmiştir. Böylelikle hizmet süresi sonunda emprenyeli ahşap malzemelerinin bünyesindeki kimyasalların geri kazanımı, enerji olarak değerlendirilmesi (piroliz gibi yöntemler ile), yeniden kullanımı ya da kompozit malzeme üretiminde değerlendirilmesi gibi çözümler getirilerek emprenye maddelerine pozitif bakışın kazandırılması sağlanmaktadır (Milton, 1995; CITW, 1997; Hiller ve Murphy, 2000; Şen ve Yalçın, 2009; Taşcıoğlu ve Tufan, 2011).

1.4.2. Kreozot, PCP ve CCA'nın Kullanılma Zorunluluğu

Odun koruma; yüksek zehirlilik etkisi olan kimyasalların kullanılmasıyla önemli bir metamorfozun içine girmiştir. 2 yüzyıldır emprenye maddesi olarak kullanılan kreozota birçok alanda sınırlandırma getirilmesine rağmen demir yolu traverslerinde kullanımı devam etmekte olup bu alanda vazgeçilememektedir. Öyle ki son yıllarda fiyatı iki katına çıkmıştır. Avrupa'da kreozotun kullanımına 2018'e kadar izin verilmiştir. Ondan sonrası ise tartışmalı ve kesin değildir (Panov ve Terziev, 2015). Bununla birlikte kullanım yerinde ahşap malzemenin hizmet süresini uzatmak için mutlaka emprenye işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Aksi durumda ekonomik kayıp olması anlamına gelmektedir. FAO'ya göre çürüklük nedeniyle binalarda meydana gelen ekonomik zarar, kullanılan malzemenin birim maliyetine eşit olmaktadır. Dünya genelinde odun koruma endüstrisinde her yıl ortalama 30 milyon m³ odun emprenye edilmekte olup yaklaşık 500 bin ton emprenye maddesi tüketilmektedir. Bu rakamın 2/4'ü CCA emprenye maddesi olmaktadır (Helsen ve Bulck, 2005; Abeysinghe, 2011).

Hizmet süresi sonra ermiş kreozot ve CCA içeren emprenyeli ürünler (atık emprenyeli odunların %85'ini oluşturmakta) köprülerde, çitlerde ve daha birçok alanda tekrar kullanılabilirdi. Fakat 2001/90/EC ve 2003/2/EC (kreozot ve CCA emprenye maddelerini içeren atık odunların tehlikeli madde olarak sınıflandırılması) direktifleri hayata geçirildikten sonra ciddi anlamda sınırlandırmalar getirilmiştir. Avrupa'daki telekomünikasyon ve demiryolu şirketleri maliyetinin büyük kısmının bu ürünleri değiştirilmesiyle olduğunu bildirmişlerdir. 35 milyondan fazla tel direği (%45'i kreozot, %39'u CCA olmak üzere) servis süresi sona ermiştir. Ayrıca yıllık 8 bin tel direği bu şekilde yer değiştirmektedir. Söz konusu direktiflere rağmen çoğu Avrupa ülkesi

emprenyeli ürünlerin geri dönüştürülmesine ve yeniden kullanımına kontrollü olmak üzere izin vermektedir (ETNO, 2007; ECD, 2008; Gezer vd., 2015).

Konuyla alakalı tüm telekomünikasyon şirketlerinin Avrupa Birliği Komisyonuna verdiği ortak bildiri metni dikkat çekmektedir. Bildiride; kreozotun 98/8/EC direktifleri sonrası birçok alanda sınırlandırma getirilmesinden dolayı büyük bir maliyetin ortaya çıktığını ve çeşitli kullanım alanlarına izin verilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Tel direklerinde 30-40 yıl servis ömrü kazandıran kreozot maddesinin başka alternatifinin olmadığı vurgulanmıştır. Buna örnek olması açısından İspanya merkezli 24 ülkede 218 milyondan fazla müşteriye hizmet veren 240 bin çalışanı olan Avrupa haricinde Latin Amerika'da da odun koruma endüstrisinde faaliyet gösteren ve ETNO (Avrupa Telefon Komünikasyon Birliği)'nun bir üyesi olan Telefonik adlı şirkettir. Bu şirketin yayınladığı bildiriye İspanya'da her yıl 100 bin yeni telefon direği dikilmekte olduğu, kullanımda olan 4,1 milyon kreozot içeren telefon direği ve 220 bin beton direğinin bulunduğu ifade edilmiştir. Kreozot içeren emprenyeli ürünlerin değişme maliyetinin ise 2 milyar 290 milyon Euro'yu bulduğu vurgulanmıştır. Hizmet süresi (30-40 yıl) düşünüldüğünde bu ürünlerin CO₂ emisyonuna katkı verdiği ve bu süre sonunda da yakılıp enerji üretilebildiği nazara verilmiştir. Ayrıca odun koruma endüstrisinde yer alan şirketler ve bu alanda çalışma yapan bilim adamları çevresel etkileri olmayan, aynı anda birçok odun tahripçisi zararlıya etkili direnç gösterebilen sinerjik emprenye maddelerini geliştirmeye bu maddeleri referans almaktadırlar (Schultz ve Nicholas, 2000; ETNO, 2007; ECD, 2008; Shmulsky ve Jones, 2011).

Özellikle CCA ve kreozot dışında bütün odun tahripçisi zararlılara karşı garanti veren henüz bir emprenye maddesi olmadığı vurgulanarak bu maddelerin yasaklanmasına karşı çıkılmasının nedenlerini Telefonica ve Euroelectric kuruluşları şu gerekçelerle karşı çıkmışlardır;

- Hizmet süresinin uzun olması,
- Hizmet süresinin uzun olmasıyla yenilenme maliyetinin az olması,
- Üretilmesinin kolay olması,
- Orman kaynaklarını koruması,
- Ulaşım araçlarının oluşturduğu çevreye salınan CO₂ ve diğer endüstriyel atıklara göre çevreye çok daha az zarar verdiği,
- Ahşap direklerin gerek elektrik güvenliği gerekse yerinde bakım masraflarının daha uygun olduğu gibi avantajları oluşturmaktadır (ETNO, 2007).

1.4.3. Kreozot, PCP ve CCA'nın Bertarafı

Emprenyeli odunların çevresel etkileri ve güvenilirliği kritik bir konudur. Önceki yıllara göre çevresel kaygılar ve düzenlemeler günümüzde öncelikli konular arasına girmiştir. Çünkü geçmişte yapılan emprenyeli odun ürünlerinin özellikle tatlı su kaynaklarına yakın bölgelere ve doğrudan çevreye bırakılmaları günümüzde neredeyse tüm ilgili bilimsel toplantılarda tartışılmaktadır. Dolayısıyla bu ürünlerin yaşam döngüsü analizleri (life cycle analysis) ve üretimden bertarafına kadar ki (cradle-to-grave; beşikten mezara) sürecin belirlenmesi gerekmektedir. Odun koruma amacı güdülerek bu maddelerin kullanılma zorunluluğunun yanında çevresel yönler ve ekonomik maliyetler düşünülerek tarafsız bir gözle değerlendirmek gerekmektedir. 2003 yılının sonlarında, arsenik bazlı emprenye maddeleri (CCA ve ACZA) ABD'de büyük bir alanda kullanımı sınırlandırılmıştır. Odun koruma maddelerinde en çok aranan özellik odunu tahrip eden zararlılara karşı zehirlilik etkisi göstermesidir. Fakat aynı zamanda bu özellik çevresel etkiler, hedeflenmeyen canlılara karşı zehirlik etkisi gibi sebeplerle kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Bu yüzden uygulayıcılara, kullanıcılara ve çevreye zarar teşkil etmemesi için ilgili düzenlemelerle kontrol edilmeleri gerekmektedir. Yine EPA tarafından düzenlenen "malzeme güvenlik formu" emprenye maddelerinin üretilmesinden hizmet süresi sonra ermiş emprenyeli ürünlerin bertarafına kadar yapılacak işlemlere dikkat çekmektedir. Birçok emprenye maddesinin deri ile temas etmesi ve buharlaşarak solunumu olabilmektedir. Çünkü emprenye maddelerinin çoğu ağır kokuları olmakta ve bileşenlerin bazıları buharlaşabilmektedir (Milton, 1995; Schultz ve Nicholas, 2000; Shmulsky ve Jones, 2011).

Ahşap malzemenin kullanım süresini arttıran emprenye yöntemleri ve maddeleri, hem üretimde hem de hizmet süresinde sürdürülebilir, çevreye duyarlı ve ekonomik olmalıdır. Ayrıca, kullanım ömrünü tamamlayan emprenyeli ürünlerin içerdiği kimyasallar herhangi bir çevresel zarara neden olmadan enerji üretimi için yakılarak ya da kompozit malzeme üretimi gibi geri dönüşümlerde lif kaynağı olarak değerlendirilmeleri gerekmektedir (Gezer, 2003; US-EPA, 2006; Koski, 2008; Tomak ve Yıldız, 2012).

Emprenye maddeleri odun bozundurucu zararlılara karşı etkili olmalarının yanında hedeflenmeyen canlılara ve çevreye etkileri de o derecede az olmalıdır. Emprenye maddelerinin kullanımı bu çerçevede dengelenmelidir. Bu konular özellikle Kreozot, PCP ve CCA üzerinde yoğunlaşmaktadır. Hemen hemen tüm emprenye maddelerinin bu şekilde

etkin olmaları ve bazı hedeflenmeyen canlılara karşı zehirlilik gösterebildiği ve dolayısıyla emprenye maddelerinin risk ve yararları dengelenmelidir (Brooks, 2002; Lebow vd.,2002). Ayrıca günümüz çalışmalarının yoğunlaştığı emprenye maddelerinin çevresel riskleri aslında emprenye yöntemleri ile de ilgisi olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla uygun retensiyon seviyelerinde ve insan temasının minimuma indiği kullanım yerlerinde kreozot, PCP ve CCA kullanılabilir. Eğer bu emprenye maddelerini içeren ürünler insanlarla teması kolay yerlerde kullanılmaktaysa bu ürünler hızlıca bor içeren veya yeni nesil emprenye maddeleri ile yer değiştirilmeleri gerekmektedir (Archer ve Lebow, 2006).

ABD’de 2020 yılında 16 milyon m³ kreozot içeren emprenyeli ürün servis dışı kalacağı toplamda ise bu rakamın 28 milyon kreozotlu odun atıl hale geleceği bildirilmiştir. Kanada da kreozot ve PCP içeren emprenyeli ürünler geri dönüştürülebilir ve tekrar kullanılmak üzere çitler, peyzaj donatı elemanları ve bahçe mobilyaları gibi alanlarda kullanılabilir. 2000 yılı içerisinde Kanada’da demiryolu traversleri %12’si, telefon direklerinin %13’ü servis ömrünü tamamlamış ve toprağa gömülmüştür (Catallo ve Shupe, 2003; C-EPA, 2004). Kanada da yaklaşık 20 bin ton kreozot traverslerin emprenyesinde kullanılmış olup her yıl 4,5 milyon adet travers (450 bin m³ odun, 20,2 milyon kg kreozot) hizmet dışı kalmaktadır (Chakraborty, 2001).

1.5. Atıl Haldeki Malzemelerin Yönetim Stratejisi

Artan dünya nüfusuna paralel olarak doğal ve sentetik ürünlere olan talep artmakta, bunların yapımı ve kullanımına bağlı olarak yüksek miktarda atık oluşmaktadır. Daha temiz ve yaşanabilir bir çevre için atık miktarının azaltılması gerekmektedir. Bunun gerçekleştirilmesi ise ancak ihtiyatlı malzeme kullanımı, atık oluşumunun azaltılması, geri dönüşüm ve yeniden kullanımın artırılması, doğal kaynakların rasyonel bir şekilde değerlendirilmesi ile mümkün olabilecektir. Bu kapsamda birçok gelişmiş ülkede “3R” kuralı hayata geçirilmiştir. Bu sistemde amaç ilk olarak atıkların azaltılması (Reduce), daha sonra bir ürünün yeniden kullanılmasını (Reuse) ve bir malzemenin geri dönüşümünün (Recycle) gerçekleştirilmesidir. Daha dayanıklı malzemenin kullanılması, daha az hammadde gerektiren tasarımların hayata geçirilmesi ile azaltma (Reduce) sağlanabilmektedir. Yeniden kullanma (Reuse) ise malzemenin tamir edilmesi ya da tekrar kullanılmasının sağlanması ile mümkün olmaktadır. Geri dönüşümün (Recycle) gerçekleştirilmesi için ayrıca geri dönüşüm sistemlerinin kurulması ve yaygınlaştırılması

gerekmekte olup ilgili yasal direktiflerle bu amaç kalıcı hale getirilmelidir (Hill, 2010; URL 2 ve 3, 2015).

1.5.1. Emprenyeli Ürünlerin Bertarafı

Her ne kadar emprenyeli ürünler dayanıklı ve uzun ömürlü olsalar da hizmet süreleri sona ermekte ve/veya çeşitli bölgelerde kurulan barajlar dolayısıyla yerinden söktürülen tel direkleri gibi kullanım dışı kalmaktadır. Atıl hale gelen bu ürünler için son yıllara kadar toprağa gömme işlemleri ekonomik ve basit bir işlem olduğu için çok sık kullanılmaktaydı. Fakat depolama alanı sıkıntısı, ileriki yıllarda gömülen alanın rehabilite zorunluluğu ve çevresel kaygılar nedenleriyle farklı yöntem arayışlarına gidilmektedir (Clausen, 2003).

Değerli bir kaynak olarak atıl haldeki emprenyeli ürünlerin bertarafı için yakma ve ikincil ürün seçenekleri dışında sayısız yöntem ele alınabilmektedir. Fakat bu yöntemlerin ekonomik ve çevresel zehirlilik etkisi olmayan yönleri olması gerekmektedir. Emprenyeli ürün tipleri de en az bertarafında kullanılan yöntemler kadar önemli olmaktadır. Örneğin telefon direkleri büyük hacimli oldukları için daha küçük parçalara bölünerek farklı uygulamalarda (çit, peyzaj donatısı, vb.) tekrar kullanılabilir. Atık emprenyeli ürünler genellikle 4 farklı kategoride sınıflandırılmaktadır. Bunlar; kreozot, pentaklorofenol ve arsenik/bakır içeren emprenye maddeleri ile muamele edilmiş ahşap ürünlerdir. Her bir emprenye maddesi farklı özellikleri olduğundan geri dönüşüm işlemleri de farklı olmaktadır. Ayrıca günümüzdeki geri dönüşüm sistemlerinin daha çok emprenye edilmemiş ahşap ürünlerin (endüstriyel atıklar) kullanılmasına dönük olduğu ve bu ürünlerin yakılarak enerji üretiminde tercih edildiği bilinmektedir (DeGroot ve Felton, 1995; Mayer ve Smith, 1997).

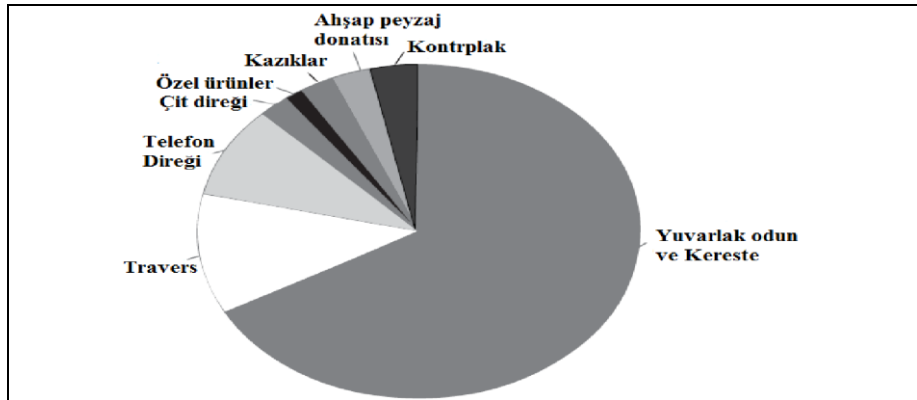
1.5.1.1. Emprenyeli Ahşap Ürünlerin Bertarafında Yapılan İşlemler

1.5.1.1.1. Alt Yapı ve Genel İşlemler

A) Emprenyeli Ahşap Ürünlerin Toplanması: Geri dönüşüm sistemlerinde ilk sorun emprenyeli ahşap ürünlerin toplanmasıdır. Emprenyeli ürünler karkas yapılar da ya da tekil olarak kullanılmaktadır. Tel direkleri, traversler ve çitler uygun bir plan dâhilinde kademeli

olarak toplanabilmektedir. Ayrıca bu ürünlerin üzerinde var olan tanıtım pulları sayesinde sınıflandırılmaları da kolay olmaktadır. Tanıtım pulları üzerinde emprenye tipi, ağaç türü ve üretim tarihi gibi bilgiler bu atıkların bertarafında izlenecek yolu büyük ölçüde belirlemektedir (Connell, 1999).

B) Atık Yapısı: Emprenyeli ürünlerin %85'ini yuvarlak odun, kereste, telefon direkleri ve traversler oluşturmaktadır (Şekil 2). Morrell'e (2003) göre Kuzey ABD'de 160 milyon telefon direğinden 32 milyonu kreozot ile 80 milyonu PCP ile ve 48 milyonu ise arsenik içeren emprenyeli ürünler ile muamele edilmiştir. ABD'de 1980 ve 2004 yılları arasında neredeyse emprenyeli ürünlerin tamamı CCA ile ve sarıçam odunu kullanılarak emprenye edilmiştir. Bununla birlikte emprenyeli ürünlerin yaklaşık %65-70'ini içeren yuvarlak odun ve kerestelerin %98'i su bazlı emprenye maddeleriyle, emprenyeli ürünlerin %10-12'sini oluşturan traversler ve köprü bağlantı elemanlarının neredeyse %100'ü kreozotla, emprenyeli ürünlerin %8-10'unun oluşturan telefon direkleri %65'i kreozot ve PCP ile emprenye edilmiştir. Diğer emprenyeli ürünler ise (çitler, ahşap donatı elemanları, kontrplak, kazıklar) ise emprenyeli ürünlerin %1-3'ünü oluşturmaktadır (DeGroot ve Felton, 1995; Clausen ve Lebow, 2011).



Şekil 2. Emprenyeli (Kreozot, PCP ve CCA) ahşap malzemenin ürün tipine göre kullanım hacmi

C) Taşınma İşlemi: Emprenyeli ürünlerin bertarafında, taşınma işlemi en önemli maliyet giderlerinden birisini oluşturmaktadır. Bu sistemlerin başarıyla uygulanması için taşınma giderlerinin iyi bir şekilde hesaplanması gerekmektedir ve kademeli olarak bir plan dâhilinde yürütülmelidir. Özellikle telefon direkleri ve traversler gibi emprenyeli ürünlerin kullanılması zaruri yerlerde bu ürünlerin taşınma işlemi daha kolay olmaktadır.

D) Tasnif İşlemi: Hizmet ömrünü tamamlamış emprenyeli ürünlerin sınıflandırılması işlemlerinde kreozotlu ürünler hariç diğer ürünlerin gözlem yolu ile sınıflandırılması çok zordur. Sınıflandırma işleminde X-ray flüoresans analizi, kızıl ötesi spektroskopisi ve kimyasal boyalar kullanılabilir. Kimyasal boyalardan özellikle krom azurol, 1-2-(2-piridilazo)-2-naftol (PAN), indikatör ve rubenik asit CCA'nın penetrasyonunun belirlenmesinde kullanılmakta olup yapılacak remidasyon işlemleri için çok önemli olmaktadır. Ayrıca kalay-2-klorür ve askorbik asit gibi arsenik boyaları sudaki fosfat varlığını belirlemede kullanılmaktadır. PAN maddesi burada özellikle CCA'nın diğer materyallerden ayrılmasında önemli bir araçtır. Kızıl ötesi spektroskopisi (LIBS); odun yüzeyine gönderilen yüksek güçlü lazer ışınları ile yüzeyde buharlaşma sağlamaktadır. Cihaz içerisindeki aynalar ve lensler sayesinde bir mikro plazma oluşmakta ve dalga boylarına göre elementer analiz yapılmaktadır. CCA'daki krom bu şekilde belirlenerek ürünlerin tasnifi yapılabilmektedir. X-ray flüoresans analizi genellikle emprenye işleminin başarıyla yapıp yapılmadığını belirlemek için kullanılmaktayken CCA, ACQ, CBA gibi emprenye maddelerinin sınıflandırılmasında da tercih edilmektedir. NIR spektrometresi tahribatsız (non-destructive), düşük maliyetli ve hızlı bir yöntem olmakla birlikte organik ve inorganik emprenye maddelerin tanımlanmasında kullanılmaktadır (Solo Gabriele vd., 2001; Jacobi vd., 2007).

1.5.1.1.2. Ana İşlemler

1.5.1.1.2.1. Toprağa Gömme İşlemi

Dünya'da en çok kullanılan yöntemler arasındadır. Toprağa gömme işlemi, kendi arasında tek atık, karışık materyal ve yüzeysel olarak ayrılmaktadır. Burada farklı yüzey örtücü maddeler (jeosentetik bariyer, jeomembran) veya perdeler yapılmaktadır. Jeosentetik bariyerler özellikle zararlı maddelerin odundan yikanıp toprağa karışmasını önlemekte çok önemli bir rol üstlenmektedir. Toprağa gömme metodu çevresel problemler nedeniyle günümüzde her geçen gün daha az tercih edilmektedir (Clausen ve Lebow, 2011).

1.5.1.1.2.2. Yakma ve Isı Eldesi (Piroliz)

Odun başlı başına sahip olduğu kalori değeri ile çok iyi bir yakıttır. Emprenye madde tiplerinden kreozot içeren ürünlerin yakılması yıllardır uygulanmaktadır. PCP içeren ürünlerde ise zehirli aromatikler (dioksin) üretebileceğinden yakılması sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte CCA'nın içeriğinde bulunan arseniğin atmosfere karışması ve yakma sonucu oluşan kalıntıda bakır/krom/arsenik miktarında bir hayli yüksek olması bu tip emprenyeli ürünlerin yakılmasında dezavantajlardır (Conlon, 1992; Connel, 1999).

Yakma işlemi 3 farklı sistemle yapılabilmektedir. Bunlar; doğrudan yakma, gazlaştırma ve piroliz işlemleridir. Her üç yöntemin kendine göre olumlu ve olumsuz noktaları bulunmaktadır. Doğrudan yakma, son kullanım yeri için ısı ve güç üretmek amaçlanmakta olup basit ve hızlı bir seçenektir. Bu sistemin dezavantajı çıkan gazların salınımı ve bir filtreleme sisteminin gerekliliğidir. Uygun filtrasyonlar yapılarak çıkan arsenik gazları tutulabilmekte fakat buda maliyeti arttırmaktadır. CCA ve PCP için günümüzde uygulanmaktadır (Helsen ve Bulck, 2005).

Gazlaştırmada çeşitli ısıtma ve yakma sistemleri bir bütün halinde uygulanarak yakıcı gaz üretilmektedir. Bu sistemde, yakmaya göre daha yüksek enerji elde edilmekte ve daha düşük çevresel etkileri olmaktadır. Arsenik gazlarının tutulması için yine bir ek gaz temizleme (filtreleme) sistemi gerekmektedir. Bu sistem dünya genelinde yaygınlaşmamış ve pilot ölçekte kalmıştır (Helsen ve Bulck, 2005).

Ayrıca, piroliz sistemleriyle atıl haldeki emprenyeli ürünlerin kapalı devre sistemlerde uygulanan sıcaklık parametreleri ve ısıtma hızına göre kömür, piroliz yağı ve gaz ürünler elde edilebilmektedir. Düşük sıcaklık ve yavaş ısıtma ile yüksek kalitede kömür ürünleri oluşurken yüksek sıcaklık ve hızlı ısıtma ile yüksek kalitede sıvı ürünler elde edilmektedir (Alma, 2007). Torrefication (kavurma, ısı ile kurutma veya yavaş piroliz) sistemi ise pirolize benzer olarak oksijensiz ortamda odunun 200-300 °C'de (yavaş ısıtma) ısıtılmasını kapsamaktadır. Sistemde %0-5 sıvı, %77 katı ve %23 oranında gaz olmak enerji değeri yüksek ürünler elde edilmektedir. Özellikle atık lignoselülozik materyallerden pellet üretimi gibi amaçlarla günümüzde kullanımı hızla artmaktadır. Bununla birlikte yeni çalışmalarda atıl haldeki emprenyeli ürünler için bu sistemi kullanılabilirliğine vurgu yapılmaktadır (Wild vd., 2011)

Piroliz, gazlaştırma ve yakma ile ilgili birçok çalışma yapılmakta olup ana sorunu CCA maddesinde olduğu gibi arsenik vb. gazların açığa çıkabilmesi ve yine kalıntı madde

miktarındaki artış olmaktadır (Mengeloğlu ve Alma, 2004; Helsen ve Bulck, 2005; Alma, 2007; Fan vd., 2009).

1.5.1.1.2.3. Biyoremidasyon

Biyoremidasyon; organik malzemelerin aerobik-anaerobik bakteriler, küf ve çürüklük mantarları tarafından bozundurulmasına dayanan oldukça kompleks bir işlemdir. Biyolojik yıkanma olarak da tanımlanan bu yöntemde ağır metallere duyarlı mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Çünkü doğal işlem görmemiş ahşap ürünlere göre emprenyeli ürünlerin içeriğinde bulunan kimyasallar bu canlılara karşı etkili olabilmekte ya da direnç göstermektedir. Biyoremidasyon işlemlerinde emprenyeli ürünlerin bertarafında ortamın sterilize olması, ürünlerin parçalanması ve uygun ortam şartlarının oluşturulması gerekmektedir. Bununla beraber biyoremidasyon işlemi sonunda atıl haldeki bu ürünlerden yeni bir malzeme üretimi isteniyorsa, çürüme/remidasyon süreci sonunda madde kaybının olması en önemli dezavantajlarından bir tanesidir (Cole ve Clausen, 1997).

1.5.1.1.2.4. Yeniden Kullanma ve Geri Dönüşüm

A) İkincil Kullanım: özellikle telefon direklerinde ve demir yolu traverslerinde yıllardır yapılan önemli bir geri dönüşüm şekli olmasına rağmen gün geçtikçe giderek sınırlandırılmaktadır. Çünkü bu ürünlerin içeriğindeki kimyasalların yakılması ya da tatlı su kaynaklarına yaklaşması çevresel problemlere yol açmaktadır. Kreozot ve PCP içeren emprenyeli ürünler için EPA direktiflerine göre insan teması olan yerlerde, yapılarda, endüstriyel üretimin olduğu yerlerde yasaklanmıştır. Bununla birlikte ikincil kullanımda “boyut küçültme” (öz odun kullanımı) için birçok atık emprenyeli ürün (telefon direği, yuvarlak odun vb.) uygun olmaktadır. Çünkü emprenye işleminde öz odun penetrasyonu çok düşük olmakta veya hiç olmamaktadır (DeGroot ve Felton, 1995).

B) Parçalayıp Tekrar Kullanma (Kompozit Malzemeler, Levha ve OPK Üretimi): Parçalayıp tekrar kullanma, işlemi ikincil kullanma işlemiyle bir arada kullanılabilmekte ve aynı üretim sistemlerini kapsamaktadır. Atık emprenyeli ürünlerin geri dönüşümünde en etkili yöntemlerden bir tanesi odun kompozit endüstrisidir. Bu sayede özellikle hammadde

ihtiyacı olan kompozit endüstrisine katkıda bulunmaktadır. Atıl haldeki emprenyeli ürünler lif levha, yonga levha, OPK üretimlerinde denenmekte ve birçok atık maddeye göre üstün özellik gösterebilmektedir. Bunun nedeni zaten içerdikleri fungusit ve insektisit maddelerin yanında su itici, yangın geciktirici gibi katkı maddelerini bünyelerinde barındırmalarıdır. Günümüzde kreozot, PCP ve CCA gibi hizmet süreleri sona ermiş ürünlerin bertarafında kullanılmakla birlikte gelecekte bu sistemler yaygınlaşan çevre ve insan dostu emprenye maddeleri içinde avantajlı olacağı düşünülmektedir. Fakat bu üretimler öncesinde kullanım yerinde potansiyel çevresel problemlerine, üreticiye ve son kullanıcıya zararları iyi analiz edilmesi gerekmektedir (Smith ve Shiau, 1998; Clausen, 2003). Günümüzde mevcut olarak üretilen geri dönüştürülmüş emprenye maddesi içeren ürünler Tablo 8’de özetlenmiştir

Tablo 8. Geri dönüştürülmüş emprenye maddesi içeren ürünler (Clausen, 2003; Helsen ve Bulck, 2005).

Metot	Ürünler
Boyut Küçültme: Rendeleme, dilimleme, öğütme.	Dek, çit direkleri, peyzaj donatı elemanları, istinat duvarları ve kazıklar.
Parçalayıp Tekrar Kullanma: Odun kompozitleri, odun-çimento kompozitleri, Polimer kompozitler.	Yonga levha, OSB, Lif levha, glulam, ses yalıtım levhaları, yapı formları, odun plastik kompozitleri.
Remidasyon: Kimyasal ekstraksiyon, biyo-yıkama, buharlama, elektro dialitik sistemler.	Poliüretan ürünler, kimyasal maddeler.
Tahrip Edici İşlemler: Sıvılaştırma, yakma, fırınlama, kontrollü piroliz, gazlaştırma, enerji elde etme sistemleri.	Enerji, katı-sıvı-gaz yakıt eldesi.
Toprağa Gömme İşlemleri	Karbon döngüsüne katkıda bulunulması, doğal mineraller.

1.5.1.1.3. İyileştirme Çalışmaları

1.5.1.1.3.1. Kimyasal, Biyolojik ve Termal Ekstraksiyon

Kimyasal ekstraksiyon organik bir çözücü kullanarak katı matrisli maddelerin içerdiği bileşenlerin uzaklaştırılmasıdır. Bu yöntemler; sokslet ekstraksiyonu, ultrasonik ekstraksiyon, süper kritik akışkan ekstraksiyonu, basınçlı sıvı ekstraksiyonu (PLE), mikrodalga destekli ekstraksiyon (MAE), katı –sıvı akışkan serisi ekstraksiyonu ve son zamanlarda yaygınlaşan katı faz mikro ekstraksiyonu (SPME)’dur. Sokslet ekstraksiyonu

çok etkili bir yöntem olmasının yanında US-EPA TO-13A ve ISO 12884 standardına göre PAH bileşiklerinin ekstraksiyonunda kullanılmaktadır. Bu yöntem dünya genelinde en yaygın ekstraksiyon tipidir. Sokslet ekstraksiyonunun en önemli avantajı çözücü ile sürekli yıkanması ve ekstraksiyon kontrolü yapılarak bileşenlerin bozunması önlenmesidir. Guerin (1999) sokslet ekstraksiyonu sonrası %95 düzeyinde PAH'ları uzaklaştırabilmiştir. Dezavantajı ise uzun süre gerektirmesi ve ekstraksiyon sonrası zehirli çözeltilerin kalıntı olarak kalmasıdır (Zhou, 2012). Birçok çalışmada emprenyeli ürünlerde özellikle de CCA'nın kimyasal ekstraksiyonu incelenmiştir. Oksalik asit, sitrik asit, asetik asit, nitrik asit, formik asit, sülfürik asit, oleik asit vb. asitler metallerin uzaklaştırılmasında kullanılmıştır (Gezer ve Cooper, 2009). Burada materyal boyutu ve asit tipi uzaklaştırılan materyal oranı ile doğrudan ilişkilidir. Bu şekilde çözücü muamelesi bazı çalışmalarda günlerce veya haftalarca sürdürülmüştür. Kazi ve Cooper (1999) hidrojen peroksit kullanarak emprenyeli talaşlardan %94 oranında metalleri uzaklaştırabilmiştir. Yine bu asitlerle bazı sıcaklık parametreleri deneyerek metaller uzaklaştırılabilmektedir.

Biyolojik ekstraksiyonda çeşitli bakteriler ve mantarlar yardımıyla kimyasal maddeler geri kazanılmaktadır. Tabii bu sistem içinde ısıtma/buhar sitemleri ile ortamdaki nem arttırılmaktadır. Bu yöntemlerin dezavantajları ise kimyasal maliyeti, bakterilerin ve mantarların yetiştirilmesi ve çoğaltılması, ısıtma sistemi için enerji harcamalarıdır (Clausen ve Lebow, 2011).

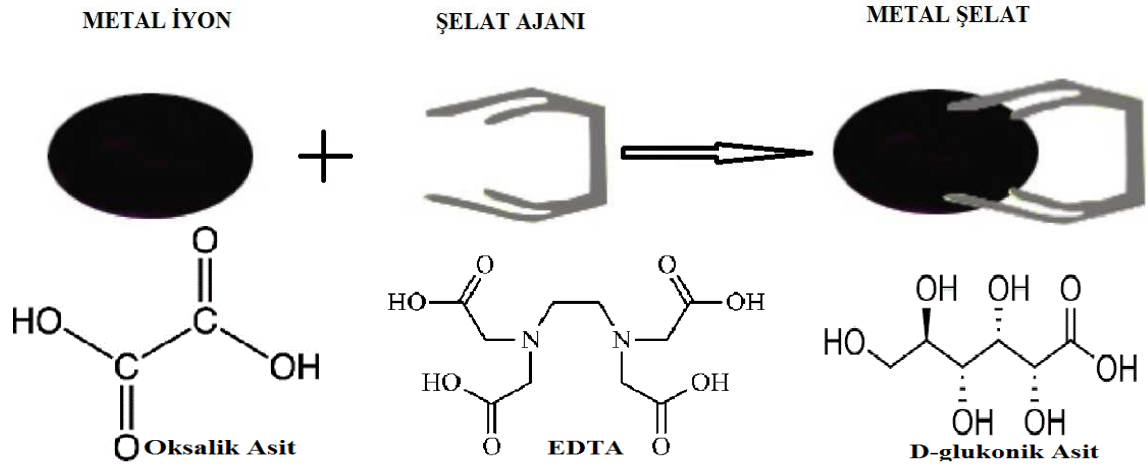
Termal ekstraksiyon ise kimyasal ve biyolojik sistemlerin kullanılmasıyla beraber ısı işlem muamelesine dayanmaktadır. Bakır (Cu), krom (Cr) ve arsenik (As) ısı işlem sonrası büyük oranda kalıntı olarak elde edilebilmektedir. Bu sistemde en önemli dezavantaj zehirli bileşiklerin uçucu hale gelmesidir (Ottosen vd., 2004).

1.5.1.1.3.2. Sıvılaştırma

Bu işlem polietilen glikol/gliserininde sülfürik asidin kataliz ajan olarak katıldığı ve sıcaklık uygulayarak CCA içeren emprenyeli ürünün geri dönüştürülmesine dayanmaktadır. Çökeltme ile sıvılaştıran zehirli bileşenler, çeşitli ajanlar yardımıyla odundan ayrılmaktadır. Bu metot ile CCA'nın %85'i odundan ayrılabilen olup daha sonra geri dönüştürülen ürün poliüretan materyal olarak ikincil ürün eldesinde kullanılabilir. Kimyasal katalizörlerden ve ısıtma sisteminden dolayı maliyetli bir yöntemdir (Lin ve Hse, 2002; Clausen ve Lebow, 2011).

1.5.1.1.3.3. Çelatlaştırma

Sitrik asit ekstraksiyonu ile çelat ajanı olan etilendiamintetra-asetik asit (EDTA) kullanılmakta olup bu yöntem ile CCA %95-100 oranlarında uzaklaştırılabilmektedir. Düşük pH aralığında ve 80-100 °C arasındaki sıcaklıklarda uygulanmaktadır.



Şekil 3. Çelatlama mekanizması ve çelat ajanları (Taşçıoğlu ve Tufan, 2011; Kartal vd., 2014).

Değerli bir kaynak olarak atık empenyeli ürünlerin bertarafında yukarıda sayılan seçenekler dışında sayısız yöntem ele alınabilmektedir. Fakat bu yöntemlerin ekonomik ve çevresel zehirlilik etkisi olmayan yönleri olması gerekmektedir (Clausen ve Lebow, 2011).

Hizmet ömrü sona ermiş empenyeli ürünlerin bertarafı çok önemli bir konu haline gelmiştir (Conell, 1999). Son zamanlarda empenyeli ürünler ya toprağa gömülme ya da toprak üstü alanlarda depolanarak kendiliğinden bozunması beklenmektedir. Bu yöntemler birçok ülkede tatlı su kaynaklarına karıştığı, maliyetinin yüksek olduğu ve çok zaman aldığı gibi nedenlere sınırlandırılmıştır. Fakat bu ürünlerin geri dönüştürülmeleri ya da yeniden kullanımı hakkında çok fazla da yöntem bulunamamıştır. Günümüzde reuse (yeniden kullanma) yöntemi bu ürünlerin uygun kullanım alanlarında değerlendirilmesi için güzel bir seçenektir. Kullanımı sona ermiş traversler peyzaj donatı elemanları olarak, çit ve kazık olarak yeniden kullanılabilir. Bunun örneklerini ülkemizde de görebilmekteyiz. Örneğin, Bursa'da birçok şehir parkında çit duvarı yapımında, Artvin'de mesire alanlarında peyzaj donatısı olarak merdiven basamaklarında kullanılmaktadır.

Aynı zamanda araştırmacılar özellikle ağır metaller içeren ürünlerin levha sektöründe kullanılabilirliğini belirlemişlerdir. Fakat levha sektöründe fabrikaların üretim

sistemlerinin uygun olmayışı, yıkanma ve çevresel etmenlerden dolayı aktif üretime geçirilemediği bildirilmiştir (Kartal ve Clausen, 2001). Diğer bir seçenek ise özellikle kreozot ve PCP'nin yanında bazı organik çözücülü emprenye maddelerinin yakılarak enerji elde edilmesidir. Bu yöntem enerji verimliliği açısından dikkati çekmektedir. Ayrıca emprenyeli ürünlerin ekstraksiyonu yapılarak tekrar kullanımının yanında mantar, bakteri, böcek saldırısına maruz bırakmak, buharlama işlemi ve bu sistemlerin kombinasyonu denenebilmektedir. Sözü geçen uygulamalar potansiyeli olmakla beraber üretim verimlilikleri maliyet açısından çok iyi tasarlanmalıdırlar (Helsen ve Bulck, 2005).

1.6. Emprenyeli Ahşap Ürünlerin Bertarafı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

1955'den sonra kreozot ve PCP, tel direği pazarında yaygınken 1970'lerde ise yerini kısmen CCA gibi suda çözünen emprenye maddelerine bırakmıştır. Emprenyesiz tel direklerinin hizmet ömrü ortalama 5-6 yıl, emprenyeli tel direklerinin ise 30-65 yıl olmaktadır. Emprenye ile tel direklerinin hizmet ömrünü, 10 kattan fazla uzatmak mümkün hale gelmektedir. Dolayısıyla ülkemizde 35-65 yıl hizmet ömrü olan kreozotlu demir yolu traversleri ve tel direklerinin hizmet ömrü bitmekte ve atıl hale gelen bu malzemelerin bertaraf edilmesinin gerekliliği yeni yeni ortaya çıkmaktadır. Emprenye malzemelerinin kullanımındaki artışla birlikte ne yazık ki malzemelerin kullanım ömürleri sona erdikten sonraki yok edilme problemlerini de beraberinde getirmiştir. ABD'de yapılan bir araştırmada, atık kirliliğine sebep olan 555 öncelikli alanlardan 43 tanesi, yani toplam alanın %7,7'si odun koruma endüstrisinin üretiminden kaynaklanmakta olduğu tespit edilmiştir. Önerilen "closed the loop (kapalı döngü)" sistemi ile her ne kadar kimyasal atıklar ile odun ayrıştırılabilir görünse de (liflendirme ile), bu durum kreozot ve CCA gibi odun hücre bileşenleri ile reaksiyona girebilen ve güçlü bağ oluşturulabilen emprenye maddeleri için imkânsız denecek kadar güçtür (Murira, 1987; Ruddick, 1990; Mengeloğlu ve Alma, 2004).

Tahmini 16000 ton kreozot, 1000 ton PCP, 245 ton CCA ve ACA Kanada'da servis dışı kalmaktadır. Dolayısıyla hizmet ömrünü tamamlamış ürünlerin bertaraf edilmesi büyüyen bir sorun olmaktadır. Suda çözünen emprenye maddeleri daha verimli olduğu için birçok çalışmada biyoremidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Fakat yağlı emprenye maddesi olan kreozot için biyoremidasyon işlemi imkânsız denecek kadar güçtür (Cooper, 1990;


Cooper, 1993; Stephan vd., 1996; Falk, 1997; Clausen ve Smith, 1998; DeGroot ve Woodward, 1999; Barbara vd., 2000).

Günümüzde en çok toprağa gömme, yakma (kreozot) ve diğer bir ürüne dönüştürme yapılmakta küçültme, yeniden kullanma, geri dönüşüm için çalışmalar devam etmektedir. Hem orman ürünleri endüstrisi hem de çevresel kuruluşlar günümüzde yoğun olarak emprenyeli ürünlerin kaderiyle ilgili endişe duymaktadırlar. Kanada'da %75'i kreozotla muamele görmüş olan 2-3 milyon demir yolu traversi her yıl değiştirilmektedir. Buda yaklaşık olarak 16.000 ton kreozotlu (kreozot/petrol çözeltisi: 50/50) odun demektir. 2020 yılında bu rakam 72.700 ton olması beklenmektedir (Cooper, 1990; Barbara vd., 2000).

Avrupa direktiflerinde halen kreozotlu keresteler için herhangi bir kısıtlama bulunmazken 30 yılını geçirmiş malzemeler için yeniden kullanım imkânı da vardır. Kreozotlu tel direkleri ve çitler yeniden kullanım için günümüzde popüler bir hal almıştır fakat 1999 yılında bu ürünlerde oyun alanlarında yasaklanmıştır (Evans, 2001).

Tüm bu sorunlar göz önünde bulundurularak kullanım ömrü dolan emprenyeli ahşap malzemenin geri dönüşümü için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler şu şekilde sınıflandırılabilir; mekanik yöntem, yakma yöntemi veya toprağa gömme, biyolojik yöntem, kimyasal yöntem, ısı işlem, kömürleştirme işlemi (Chartherizasyon), kullanım ömrü dolan ahşabın odun kompozit üretiminde değerlendirilmesidir (Cooper, 2003; Kartal vd., 2006). Tablo 9'da atıl haldeki malzemelerin yönetim stratejisi gösterilmiştir.

Tablo 9. Atıl haldeki malzemelerin yönetim stratejisi

En çok istenen seçenek	-Atık eliminasyon veya azaltma
	-Modifikasyon
En az istenen seçenek	-Yeniden kullanma
	-Geri dönüşüm için atık artırma
	-Atıkların yakılması
	-Atıkların gömülerek yok edilmesi

Mekanik yöntemde, kullanım ömrünü dolduran emprenyeli ahşap malzeme içerisinde bulunan kimyasallar alınmadan ahşap tekrar kullanılmaktadır. Bu yöntem ile ahşabın kullanıldığı başlıca alanlar şu şekilde sıralanabilir; çit direkleri, istinat duvarları, peyzaj uygulamaları, güverteler, iskeleler vb.. Bu yöntemlerle kullanım ömrünü doldurmuş emprenyeli ahşabın tekrar kullanılması sağlanmakta fakat içerdiği zehirli kimyasalların insan sağlığı için olumsuz etkileri engellenmemektedir. Ülkemizde de atıl haldeki telefon direklerinin öncelikle depolarda bekletildiği ve daha sonra doğrudan satış ile herhangi bir

işlem yapmadan bu ürünleri alternatif yerlerde (çit yapımı, çatı elemanı, yakacak odun vb.) kullanılması sağlanmaktadır. Ayrıca sadece servis ömrünün sona ermesi değil aynı zamanda Artvin ilinde olduğu gibi yapılan barajlar dolayısıyla her yıl yaklaşık 2000 tel direği yerinden sökülüp atıl hale gelmektedir (TEDAŞ, 2015). Hâlbuki gelişmiş ülkelerde hizmet ömrünü doldurmuş ahşap malzeme bir takım geri dönüşüm proseslerinden geçirildikten sonra endüstri kollarında tekrar kullanıma girmesi sağlanmaktadır.

Kömürleştirme işlemi, üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk işlem olarak kullanım ömrünü dolduran emprenyeli ahşap malzeme öğütülmektedir. Malzemenin geri dönüşüm işlemine uygun hale gelmesi için emprenyeli malzeme içerdiği kimyasallarla birlikte öğütülmektedir. Bu işlem ahşap malzemenin boyutlarının küçültülmesi ve düzenli yapıda olması için yapılmaktadır. Yongalama işlemi ile birlikte testere talaşı oluşturmadan aynı boyutta yonga oluşacak şekilde işlem gerçekleştirilmektedir. Yongalanmış malzeme bir reaktör içerisine alınmakta ve ısıtılmaktadır. Bu işleme kömürleştirme (chartherizasyon) adı verilmektedir. Bu işlemde ısı ile gaz haline gelen uçucu elementler hızlı bir soğutma ile yoğunlaştırılarak toplanmakta ve bu işlem esnasında mineral elementlerin karbon miktarınca zengin kömür tipi olarak geriye kalması sağlanmaktadır. Reaktörün alt kısmından alınan odun kömürü kalıntısı ise soğutulup, sıkıştırılarak diğer aşamada kullanılmak üzere depolanmaktadır. Elde edilen sıkıştırılmış karbon kalıntısı içerisinde bulunan ve kullanımı sırasında kirliliğe yol açacak olan ağır metallere arındırılması için bir ayrıştırma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu uygulama için karbon kalıntısı hava basıncı yardımıyla çalışan bir santrifüj içine karbon ve metallere sahip oldukları yoğunluk farkları yardımıyla birbirinden ayrıştırılmaktadır. Yöntemin en büyük sorunu işletme kurulum maliyetlerinin ve yapılan işlemlerin maliyetinin yüksek oluşudur. Ayrıca işlemlerin gerçekleşmesi sırasında kontrol mekanizmasının çok iyi olması gerekmektedir. Yüksek ısı veya gazların ayrışması sırasında kaçaklar önemli problemlere yol açabilmektedir (Şen ve Yalçın, 2009).

Toprağa gömme işleminde ise ahşap malzemede bulunan zehirli kimyasalların yıkanıp toprağa ve içme sularına karışarak çevre sorunu oluşturma ihtimali bulunmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar göz önüne alındığında yöntemin ekonomik olarak kârlı olmadığı açıkça görülmektedir (Felton ve De Groot, 1996).

Biyolojik yöntemde ahşap malzeme içerisinde bulunan emprenye kimyasallarının mantarlar, bakteriler ve biyo-absorbant özelliği bulunan çeşitli algler ve bitkiler yardımıyla katabolik degradasyonu sağlanmaktadır. Çeşitli mantar türlerinin ahşap koruyucu kimyasal

maddelere karşı dirençli olmalarından dolayı zehirli maddelerdeki ağır metalleri ayrıştırarak zararsız hale getirmeleri prensibine dayanan bu yöntemde bazı mantar türleri emprenyeli ahşaba uygulanmaktadır. Son zamanlarda ise her emprenye maddesi için çeşitli enzimler geliştirilmesi sureti ile kimyasalların fikse edilmesi yardımıyla izolasyon sağlanmaktadır. Yöntemin en büyük dezavantajı izolasyon için kullanılan bitki, mantar ya da enzimlerin ahşap malzeme içerisindeki kimyasalın türüne göre değişiklik göstermesidir (Bumpus vd., 1985).

Kimyasal yöntemde ise lignin ya da selüloza bağlı halde bulunan veya hücre çeperi içerisinde hapsolmuş emprenye maddelerini çözmek amacıyla organik ve inorganik asitler ve diğer kimyasallar kullanılmaktadır. Kullanım süresini dolduran emprenyeli ahşap malzeme asitlerle ekstraksiyona uğratarak içerisinde oluşmuş fiksasyon reaksiyonları sonucu suda çözünmez forma dönüşmüş ağır metal bileşikleri suda çözünebilir forma dönüştürülmektedir. Bu yöntemde kullanılan kimyasallar çeşitlilik göstermektedir. En çok kullanılanları arasında sitrik asit, asetik asit, formik asit, oksalik asit, glukonik asit ve malik asit gibi organik asitler ile sülfürik asit, hidroklorik asit, nitrik asit gibi mineral asitler bulunmaktadır (Taylor vd., 2001; Gezer, 2003).

Sodyum hipoklorit ekstraksiyonu ile CCA içeren tel direklerinden bakır, krom ve arseniğin uzaklaştırılması Gezer ve Cooper (2009) tarafından denenmiştir. Ekstraksiyon veriminin en yüksek 75 °C'de iki saat bekletilen örneklerde olduğu ve bu şekilde 3 saat süre ekstraksiyon işleminde %95 krom, %99 bakır, % 96 arsenik uzaklaştırılmıştır. Bu yöntemin ticari açıdan ekonomik ve hızlı olmasının yanında %5 sodyum hipoklorit konsantrasyonunun tekrar tekrar kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Benzer amaçla yapılan bir diğer çalışmada Gezer vd. (2006) farklı pH seviyelerinde oleik asit kullanarak yapılan ekstraksiyonda oleik asit'in düşük pH (2 ve 2,5)'ta büyük ölçüde bakır, krom ve arseniğin CCA'dan uzaklaştığı belirlenmiştir.

Emprenyeli odunların kimyasal remidasyonu Kartal vd. (2014) tarafından farklı çelat aşanları (EDTA, oksalik asit, d-glukonik asit ve bioksalat) kullanılarak bakırın uzaklaştırılması çalışılmıştır. Çalışmada bioksalat maddesinin oksalik asite göre yüksek oranda etkinliği görülmüştür.

Mateus vd. (2002) yaptıkları çalışmada Portekiz'de atıl hale gelmiş CCA ile emprenyeli tel direklerinden ve traverslerden bakır, krom ve arseniğin elektrodyaetik yöntem ile uzaklaştırılması araştırılmıştır. Bu amaçla atıl haldeki CCA ile emprenyeli *Pinus pinaster* tel direklerinin yongalarını %2,5'lük oksalik asit yardımı ile

elektrodiyalitik yöntemde; bakırın %84'ü, kromun %91'i ve arseniğin %97'si uzaklaştırılmıştır.

Sellers ve Miller (1997) üç farklı tutkal kullanarak, CCA ile emprenye edilmiş ağaç malzemelerden laminat malzeme üretme olanakları araştırmış olup resorsinol formaldehit ve modifiye edilmiş resorsinol tutkalı kullanıldığında yüksek makaslama direnci değerleri elde etmişlerdir.

Mayer vd. (2010) kreozot içeren kayın odunu traverslerine uyguladıkları termal muamele sonrası odundaki mikroskobik ve mekanik özellikleri ele almışlardır. Bu amaçla 180-240 °C'de, 60-80 kPa basınçta, 12-22 saat bekletilerek termal işlemlerle (Thermowood) kreozot yağlarının (öncelikle PAH bileşikler olmak üzere) geri kazanılması denenmiştir. Sıcaklık kademeleri arttırıldıkça PAH bileşiklerinin büyük bir kısmı (%75 oranında) odunu tamamen terk etmiştir. İşlemler boyunca PAH bileşikler lümen boşluklarında, küçük çaplı trahelerde ve paranzim hücrelerinde yer almıştır. Fakat sıcaklık kademeleri arttırıldıkça hücrelerde bozuma da arttığı belirlenmiştir. Bu yöntem özellikle PAH bileşenlerin odundan uzaklaştırılmasında termal remidasyon yönteminin etkili olduğunu göstermektedir. Fakat bu sistemde uçucu bileşiklerin açığa çıkması ve maliyet sorunu göze çarpmaktadır.

Roliadi vd. (2000) ise çürüklük mantarları kullanılarak biyo-remidasyon yöntemi ile kreozotun zararlı bileşiklerini telefon direklerinden uzaklaştırarak kompozit malzeme üretimine uygun hale getirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada hizmet süresi arttıkça PAH bileşiklerinin büyük kısmı "weathering" (yaşlandırma) ile uzaklaştığı vurgulanmıştır. Fakat direklerin dip kısmına doğru emprenye maddesi çöktüğü için üst bölgelerde daha az oranda kreozot maddesi kaldığı belirtilmiştir. Çalışmada biyo-remidasyon yönteminin başarısının servis ömrü sona ermiş ürünlerin içerisinde kalıntı madde miktarıyla alakalı olduğu vurgulanmıştır.

Ghaly vd. (2012) kreozot içeren odunlarda selüloz-lignin eldesi amacıyla biyo-remidasyon yöntemini bir biyo-reaktör içinde termal ve basınç sistemi dâhilinde yapmaya çalışmışlardır. *Thermobifida fusca* mantarı sıcaktan etkilenmemesi nedeniyle bu mantar seçilmiş olup fenolik bileşikler odundan ekstrakte edilebilmiştir.

Polcaro vd. (2008) ligninolitik mantar sınıfına giren *Pleurotus ostreatus* mantarı kullanarak 44 gün boyunca biyo-remidasyon işlemine tabi tutularak kreozottaki PAH bileşenlerinin büyük bir kısmı başarıyla uzaklaştırılabilmektedir. *Pleurotus ostreatus* mantarı

yüksek oranda etkinliğinin kanıtlandığı belirtilmiş ve bu çalışma ile yapılacak bilimsel çalışmalara da ışık tutacağı düşünülmektedir.

Mateus vd. (2010) elektrokinetik yöntem ile (elektro-remidasyon) analit ve katolit çözeltiler yardımıyla 20 yıl hizmet veren kreozot içeren traverslerden PAH bileşiklerini uzaklaştırılmasını amaçlamışlardır. Benzer çalışmalara göre. S- ve O- heterosiklik hidro karbonları da uzaklaştırılmasının bu yöntemle uygulanabileceği vurgulanmıştır.

Catallo ve Shupe (2003) hidro termal sistemde süper kritik su (>374 °C/221 bar basınç) ile kreozotu yaklaşık %99 oranında uzaklaştırılabilmektedir. Kreozot içerisinde bulunan aromatik hidrokarbonlar (AH), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve N-O-S heterosiklik bileşikler (NOSH) kanserojen ve çevrede kolay taşınabilen bileşikler olduğu vurgulanmıştır. Bu sistemin en önemli avantajı suyun tekrar kullanılabilirliğidir. Ayrıca bu yöntem sayesinde toprağa gömme işlemine gerek kalmaması ve uygulama kolaylığı da önemli özellikleridir. En önemli dezavantajı ise oldukça maliyetli olmasıdır.

Shupe vd. (2006) yaptığı bir diğer çalışmada servis ömrü sona ermiş kreozot içeren emprenyeli odun talaşlarını buharlama ile uzaklaştırılması sağlanmıştır. Bu çalışmanın giriş bölümünde kreozot içeren hizmet süresi sona eren ürünlerden yonga levha, yeniden kullanım için kazık üretimi gibi sistemler denendiği vurgulanmıştır. Dahası kreozotun uzaklaştırılmasında en etkili iki yolun biyoremidasyon ve çözücü ekstraksiyonu yöntemleri olduğu vurgulanmıştır. Fakat biyoremidasyonun uzun zaman aldığı (Esslyn, 1976), süper kritik su yönteminin ve ekstraksiyonun ise maliyetli olduğuna (Portier vd., 1993) dikkat çekilmiştir.

Piroliz yöntemi kullanılarak emprenyeli ürünlerin bertarafı ile ilgili Quirino vd. (2005) yaptığı çalışmada titreşimli yataklı piroliz sisteminde (UTC), kreozot ürünlerden enerji üretimi denenmiştir. Fakat bu sistemin maliyet hesaplamalarının yapıp enerji dönüşüm sistemlerine adaptasyonu gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Kullanım ömrünü doldurmuş emprenyeli ahşabın geri dönüşüm yollarından biriside odun kompozitlerinde değerlendirilmesidir. Emprenyeli odun örneklerinin özellikle yonga levhalarda kullanılmasına dönük çalışmalarda, test gruplarının fiziksel ve mekaniksel özellikleri kontrole kıyaslandığında daha düşük dirençler elde edildiği bildirilmektedir. Konuyla ilgili yapılmış olan başlıca çalışmalar ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

Odun-çimento kompozitleri inşaat malzemesi olarak pazar payını son yıllarda hızla arttırmaktadır. CCA ile emprenye edilmiş ahşap ürünlerin bu kompozitlerde değerlendirilmesi tercih edilmiştir. Çünkü CCA ile muamele edilmiş odununun çimento ile

uyumlu özellik gösterdiği, yapısındaki arsenik ve bakırın etkili bir şekilde çimentoya tutunduğu bildirilmiştir (Schmidt vd., 1994; Smith ve Shiau, 1997; Cooper vd., 1998; Munson ve Kamdem, 1998).

Li vd. (2004) kullanım ömrünü doldurmuş CCA içeren odun yongaları ve işlem görmemiş çam yongalarını fenol formaldehit ilave edilerek yönlendirilmiş yonga levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimde emprenyeli odun yongaları ile işlem görmemiş odun yongalarının hacim karışım oranları 100:0, 75:25, 50:50, 75:25, 0:100 şeklinde yapılmıştır. Üretilen bu levhaların fiziksel ve mekanik testleri ile mantarlara karşı dayanıklılık testleri yapılmıştır. Yapılan denemeler sonunda levhaların optimum üretim oranının 50:50 oranı olduğu belirlenmiştir. Bu üretimde çürüklüklere karşı yeterli derecede koruma sağladığı tespit edilmiş olup %50'den fazla emprenye içeren yonga kullanıldığı takdirde levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin önemli oranda düştüğü belirlenmiştir.

Mengeloğlu ve Gardner (2000) CCA içeren güney çamı yongaları ile işlem görmemiş çam yongaları kullanılarak yönlendirilmiş levha üretmişleridir. Üretimde yaygın olan iki metot (halkalı yongalardan üretilen ve yuvarlak yongalardan üretilen yönlendirilmiş levha), yapıştırıcı olarak da metilen difenil disosiyenat (pMDI) ve sıvı fenol formaldehit (LPF) kullanılmıştır. Üretilen levhaların fiziksel özellikleri (kalınlık ve su alma), mekanik özellikleri (yüzeyler arası bağlanma, elastikiyet modülü ve şok direnci) belirlenmiştir. CCA ile işlem görmüş halkalı yongalardan üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki test değerleri, işlem görmemiş yongalardan üretilen kontrol levhaların değerlerinden düşük çıkmıştır. pMDI ve LPF'nin yapıştırıcı olarak kullanıldığı levhaların elastikiyet modülü ve şok direnci test değerleri birbirine yakın değerler göstermiştir. Fakat pMDI kullanılarak oluşturulan levhaların fiziksel özellikleri ve yüzeyler arası bağ değerleri LPF'ye göre önemli ölçüde yüksek değer göstermiştir. %2'lik pMDI ile hazırlanan levhalar %3-4 LPF ile hazırlanan levhaların fiziksel özellikleri ve yüzeyler arası bağ değerlerinden daha iyi özellikler göstermiştir. Geri dönüştürülecek olan CCA ile emprenyeli ahşap malzemenin levha üretiminde pMDI kullanılmasının fırsat sağlayacağı vurgulanmıştır (Mengeloğlu ve Gardner, 2000).

Yapılan başka bir çalışmada, kullanım ömrü sona eren CCA'lı tel direklerinden elde edilen yongaları ile yönlendirilmiş levha üretilmiştir. Bu levhaların tüm fiziksel ve mekanik dirençleri CCA içermeyen yongalardan üretilen kontrol levhalara göre daha düşük olmuştur. Fakat, sulu halde %5'lik hidroksimetil resorsinol fenol-formaldehit tutkalına karıştırılarak CCA'lı yongalarla üretilen levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinde

iyileşme görülmüştür (Vick vd., 1996). Son dönemde odun koruma endüstrisinde yaşanan önemli gelişmeler dikkate alındığında odun hammaddesinin endüstride kullanım alanlarında korunması için en çok CCA'lı emprenye malzemeleri ile emprenye edildiği görülmektedir. Fakat CCA ile işlem görmüş malzemenin gerek geri dönüşümünde gerekse emprenye işleminden sonra farklı yapıstırıcılarla muamelesi sonrasında istenilen mekanik özelliklerden düşük değerler sağladığı görülmüştür (Vick, 1995).

Emprenye maddesi içeren bu ürünler bir diğer kullanım alanı ise malzemenin elde edilen tozların ya da unların termoplastikler ile karıştırılması yöntemidir. Bilindiği üzere odun unları plastik endüstrisinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Üretilen ürünler ise OPK olarak adlandırılmaktadır. Dolgu maddesi olarak kullanılan saf odun unlarının yerine emprenye maddesi içeren odun unlarının değerlendirilecek olması, hammadde kaynaklarının korunması açısından önemlidir (Mengeloğlu ve Alma, 2004).

Emprenyeli ürünlerin yonga levhalarda üretime dâhil edilmesinin yanı sıra odun-plastik kompozitlerinde değerlendirilmesi yeni bir çalışma alanı olarak araştırmaya değer bir konu olmuştur. Taşcıoğlu (2004) yaptığı çalışmada alternatif çözümler olarak CCA içeren ürünlerin odun plastik kompozitlerinde değerlendirilebileceğini ifade etmiştir. Kamdem vd. (2004) CCA içeren odun ile YYPE'den ürettikleri OPK levhaların bazı fiziksel, mekaniksel özellikleri ve biyotik dirençleri belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak çürüklüğe karşı yüksek direnç belirlenmiş olup levhaların yıkanma oranları kontrol değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Zimmermann ve Zettera (2013) CCA içeren elektrik direklerinin yanında tellerin bağlantısını sağlayan seramikleri de kullanarak polimer kompozit üretiminde değerlendirilme olanaklarını araştırmışlardır. 70 °C'de 0,2 ve 0,4 oranında HNO₃ (nitrik asit) uygulayarak remidasyon işlemi yaptıktan sonra ikiz vidalı ekstrüder yardımıyla üretilen kompozit malzemelerin fiziksel, mekaniksel, termal ve morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Remidasyon işleminin metallerin uzaklaştırılmasında etkinliğinin yüksek olduğu görülmüş olup 0,2 oranındaki nitrik asit uygulaması ile kompozitlerin en yüksek direnç değerlerine ulaştığı vurgulanmıştır. Ayrıca kullanılan seramikler ise termal dayanıklılığı arttırdığı belirtilmiştir.

Shang vd. (2012) ise odun liflerini ACQ ve MCQ ile emprenye yapıldıktan sonra OPK üretimi yapmışlardır. Emprenye maddesi içeren gruplar kontrol gruplarına göre mekanik özellikleri ve boyutsal stabiliteyi yüksek çıkmiştir.

Tufan (2013) tarafından yapılan çalışmada CCA içeren atıl haldeki odunların değerlendirilmesiyle OPK üretimi gerçekleştirilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda üretilen levhalarda %5 kadar uyumlaştırıcı ajan ilavesiyle yıkanan ağır metal seviyesi çok düşük olduğu bildirilmiştir. Bu sayede CCA içeren odunlardan üretilen OPK malzemelerin doğru formülasyonlar kullanılarak çevreye daha az etkisi olabileceği vurgulanmıştır. Ayrıca üretilen malzemelerin içeriğindeki CCA sayesinde mantar ve termitlere karşı yüksek direnç göstermiş olup termal, fiziksel ve mekaniksel özellikleri iyileştiği, buna karşın şok testinde belirgin bir düşüşün olduğu belirlenmiştir.

Günümüzde ekolojik dengeye verilen değerin artması ve koruyucu tedbirlerin yürürlüğe girmesi ile çevre kirliliğini en aza indirecek metotların uygulanması zorunlu hale gelmiştir. Sonuç olarak birçok ülkede emprenye maddesi içeren ürünler (nakil hatlarında kullanılan tel direkleri, deniz suyu ile temas eden yerlerde kullanılan direkler, park ve bahçe alanlarında kullanılan ahşap ürünler vb.) kullanılıp hizmet ömrünü tamamladıktan sonra çevreye zarar vermeden geri dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bahsi geçen geri dönüşüm sistemlerinden bir tanesi de odun plastik kompozitleridir (OPK). Yapılan bu tez çalışmasında kreozot içeren emprenyeli odunlarla birlikte atık plastiklerin değerlendirilerek OPK üretilmiştir.

1.7. Odun Plastik Kompozitleri (OPK)

1.7.1. Tanımı

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. Odun kompozitleri iki ana sınıfa ayrılmakta olup bunlar; termoset tutkallar ile üretilen odun kompozitleri ve termoplastik/çimento gibi materyaller ile üretilen odun kompozitleridir. Termoset tutkalları belirli sıcaklıklar kullanılarak pres yardımıyla hazırlanan levhaların birleştirilmesine dayanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan termoset tutkallarına örnek olarak üreformaldehit (UF), fenol formaldehit (PF), polivinil asetat (PVA), polimerik difenil diizosiyanat (pMDI), melamin formaldehit (MF), resorsinol formaldehit (RF) verilebilmektedir. Termoplastik esaslı odun kompozitleri ise tutkal yerine çeşitli polimerler kullanarak (polietilen, polipropilen, polivinil klorür vb.) üretilmekte olup genel anlamda OPK olarak adlandırılmaktadır (Simonsen, 1995).

OPK; plastiğin erimesiyle odun partiküllerini hapsoldüğü, kullanım yerine göre uyumlaştırıcı ajanlar ve katkı maddeleri ile güçlendirilen karışımların çeşitli sistemler (ekstrüzyon, enjeksiyon, pres kalıplama) yardımıyla üretilen üstün özellikli malzemelerdir. Dolgu malzemesi olarak sadece odun değil diğer bütün lignoselülozik yapıdaki materyaller, tarımsal atıklar ve lifsel yapıdaki malzemeler bu tanımın içinde yer almaktadır (Mengeloğlu vd., 2002; Klyosov, 2007; Adhikary, 2008; Hyvarinen, 2014).

1.7.2. Endüstrideki Gelişim Süreci ve Yeni Kullanım Alanları

OPK, ilk olarak fenol-formaldehit ve odun tozlarının bir araya getirilmesiyle (bakalit) Rolls-Royce arabalarında vites kolu olarak 1916'da üretilmiştir. Modern üretimi ise 1970'li yıllarda İtalya'da ve daha sonra 1990'lı yıllarda ABD'de yapılarak dünya genelinde yaygınlaşmıştır. Odun termoset kompozitleri 1900'lü yılların başlarına kadar gitmesine rağmen OPK'larda termoplastik polimerler oldukça yeni sayılmaktadırlar. 1983 yılında Amerikan Woodstock şirketi arabaların iç kasalarını, ekstrüzyon sistemi yardımıyla polipropilen (PP) ve odun tozları kullanarak üretimi yapılmıştır. Bu aşamadan sonra OPK'lar birçok ürünün yerine tercih edilmeye başlamıştır. Günümüzde bina yapı elemanları olarak odun plastik kompozitleri dinamik bir endüstri kolu haline gelmiştir (Caulfield vd., 2005; Pritchard, 2005; Smith ve Wolcott, 2006; Adhikary, 2008).

OPK endüstrisi, 2005 yılı içinde ABD'de 3,9 milyar dolarlık bir pazara sahip olmuştur. Bu pazarın içinde; dek üretimi, çitler, yalıtım malzemeleri, bahçe mobilyaları, pencere doğramaları ve kapılar olmak üzere birçok ürün yer almaktadır. Bunların dışında özellikle deniz yapı elemanları, yat döşemeleri, demiryolu traversleri ve toprakla temas eden birçok kullanım alanında da ilk aranan ürün tipi haline gelmiştir. Bu kadar geniş bir kullanım alanına sahip olmasında alternatif ürünlere göre; çok iyi boyutsal kararlılığa sahip olmaları, yüksek mekanik ve termal direnç özellikleri, UV ışınlarına karşı direnç, biyotik zararlılara karşı dayanıklılık, üretim verimliliği, hammadde çeşitliliği ve devamlılığı gibi birçok üstün özellik sayılabilmektedir. OPK ayrıca katı atık yönetiminde de önemli bir dönüşüm aracıdır. ABD'de 246 milyon ton katı atığın %11,8'ini (500 bin ton) oluşturan plastikler bu endüstri kolunda değerlendirilmektedir. 2004 yılı içinde; Batı Avrupa'da 8,25 milyon ton, Yeni Zelanda'da 35 bin ton plastik aynı şekilde OPK'ların üretiminde kullanılmıştır (Pritchard, 2005; Caulfield vd., 2005; Smith ve Wolcott, 2006; Adhikary, 2008; Segerholm, 2012).

Dünya genelinde yıllık yaklaşık 1,5 milyon ton OPK üretilirken bu rakamın 1 milyonu Amerika'da, 200 bin tonu Çin'de, 100 bin tonu Japonya'da ve 70 bin tonu ise Avrupa'da OPK endüstrisinin ana üreticisi konumdaki Almanya'da üretilmektedir. OPK'ya olan talep her yıl 80.000 ton artmaktadır. Öyle ki, yürütülen bilimsel çalışmaların sonucu olarak yeni uygulama alanlarında yer bulacak bu ürünlere talebin her geçen gün artacağı düşünülmektedir. Bunun başlıca nedeni, OPK malzemelerin diğerlerine göre üstün fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin yanında geri dönüştürülebilir çevre dostu ürünler olmasıdır. Rahatlıkla dizayn edilebilmesi ve üretim kademesinin çok az olması sayesinde ekonomik olması, ekstrüzyon ve enjeksiyon olmak üzere farklı üretim sistemleri ile birçok lignoselülozik atığın kullanılabilirliği de diğer avantajlarıdır (Segerholm, 2007; H'ng vd., 2011; Faruk vd. 2012; Bledzki vd., 2014).

Katı ve endüstriyel atıkların oranı günümüzde alarm verecek seviyeye gelmiştir. Bu atıkların toprağa gömülmesi ya da atıl halde bekletilmeleri artık tercih edilen bir sistem olmamaktadır. Günümüzde bu atıkların geri dönüştürülmesi için ülkelerin ciddi gayret sarf ettiği görülmektedir. Katı atıkların değerlendirilebileceği önemli bir endüstri kolu kompozit malzemelerdir. Özellikle biyo-kompozitler ikinci nesil kompozitler olarak tamamen dönüştürülebilir malzemeler olarak dikkat çekmektedir. Ayrıca servis ömrü sona ermiş odun atıkları (mobilya ürünleri, emprenye maddesi içeren telefon direkleri, traversler vb.) ve kullanım dışı plastik atıklar da OPK üretimlerinde değerlendirilmeye başlanmıştır (Cui vd., 2008; Ashori ve Nourbakhsh, 2009).

Son 20 yılda OPK, yapısal elemanlarda, otomobillerde, yer döşemelerinde, çitlerde oldukça sık kullanılmıştır. Yeni nesil mühendislik ürünü olarak OPK'ların kolay işlenebilmesi, renklendirilebilmesi, boyanabilmesi, yüzey özelliklerinin (pürüzlülük, parlaklık vb.) iyi olması, doğal olması/gözükmesi, su itici özellikte olması, vb. birçok avantajı vardır. Fakat içerdikleri lignoselülozik dolgu maddeleri nedeniyle ahşap malzeme gibi çürüyebilir, termit saldırısına maruz kalabilir veya UV ışığında degrade olabilmektedir. Bu yüzden OPK'lar kullanım yerlerine uygun katkı maddeleri ile desteklenmektedirler. Odun koruma maddelerinin katılması ya da emprenyeli atıl haldeki odunların OPK üretimine dâhil edilmesi OPK'ların istenmeyen özelliklerine bir çözüm olacağı düşünülmektedir (Laks vd., 2000; Kamdem vd., 2004; Simonsen vd., 2004; Clemons ve Caulfield, 2005; Morrell vd., 2006; Segerholm, 2007; Segerholm, 2012; Shang vd., 2012).

1.7.3. OPK Üretiminde Kullanılan Materyaller

1.7.3.1. Odun, Odun Kaynaklı Lifler ve Tarımsal Atıklar

Odun tozu (unu) veya çok kısa odun lifleri OPK üretiminde oldukça sık kullanılmaktadır. Endüstriyel üretimlerde genellikle %50 oranında kullanılmasının yanında araştırmalarda birçok varyasyonu denenmiştir. Odun unu oldukça kolay temin edilebilmesi ve diğer lifsel materyallere göre üretim sistemlerine uygun olmasıyla üretimlerde daha çok tercih edilmekte olup en çok kullanılan türler çam, akçaağaç ve meşedir. Mesh boyutu olarak 10-80 mesh arasındaki parçacık boyutları kullanılabilir. OPK üretimlerinde odun unu kaynakları birçok orman ürünleri endüstrisiyle yakın ilişkiindedir. Levha, kereste, mobilya, kapı ve doğrama fabrikalarından elde edilen hammaddenin yanında atıl hale gelmiş ahşap ürünler (mobilya, emprenye içeren ürünler vb.) de uygun mesh boyutlarına getirildikten sonra OPK üretiminde kullanılabilir (Rowell, 2006).

Odun kaynaklı lifler, OPK ürünlerin mekanik özelliklerini arttırmak için birçok çalışmada değerlendirilmiştir. Odun hamuru sağlayıcıları OPK üreticileri ile işbirliği yaparak üretimler gerçekleştirmektedir. Fakat odun lifleri her ne kadar OPK ürünlerin mekanik dirençleri arttırsa da üretimde besleme zorlukları ve heterojen dağılım gibi olumsuzluklar kullanımlarını kısıtlamıştır (Jacobson vd., 2002; Caulfield vd., 2005; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

OPK çalışmalarında birçok çalışmada yer almış ve yapısında temel olarak hemiselüloz, selüloz, lignin bulunan tarımsal atıklar ise OPK üretiminde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Deniz vd. (2009) yaptığı çalışmaya göre ülkemizde ürün hasadı sonrasında oluşan tarımsal atıkların potansiyeli göz önüne alındığında OPK üretiminde bu atıkların önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Örnek vermek gerekirse, ülkemizde OPK üretiminde yapılan bilimsel çalışmalarda kullanılabilirliği vurgulanmış antep fıstığı, ayçiçeği, buğday, ceviz ve fındık atıklarının toplamı yaklaşık 22 milyon tonu bulmaktadır. Bu nedenle önemli bir potansiyele sahip olduğumuz tarımsal atıkların OPK üretiminde değerlendirilmesi üzerine bir çok çalışma yürütülmektedir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Deniz vd., 2009; Çavdar, 2011; Akbaş vd., 2013a; Akbaş vd., 2013b).

1.7.3.2. Plastikler

Plastikler, normal sıcaklıkta genellikle katı halde bulunan, basınç ve ısı kullanarak şekillendirilebilen veya kalıplanabilen organik polimerik malzemelerdir. Çelik, demir, alüminyum gibi malzemelere göre endüstriye sonradan girmesine rağmen günümüzde en fazla kullanılan malzemeler arasına girmiştir. Bunun başlıca nedenleri; özgül ağırlıklarının düşük olması, mekanik özelliklerinin iyileştirilebilmesi, kolay işlenebilmesi ve şekil verilebilmesi, elektrik iletkenliğinin düşük olması, korozyona dayanıklı olması ve birçok kez tekrar kullanılabilmesi gibi özellikleridir (Akyüz, 2001; Hüner, 2008; Eker, 2009).

Plastikler lineer veya dallanmış dev moleküllerden (makro-moleküllerden) oluşmaktadırlar. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırıldığında (Wolcott ve Englund, 2010):

- 1) Çapraz bağlı olmayanlar (Termoplastikler)
 - a) Amorf (düzensiz) yapıda olanlar
 - b) Yarı kristal yapıda olanlar
- 2) Çapraz bağlı olanlar
 - a) Çapraz bağlı olanlar (Elastomerler)
 - b) Kuvvetli çapraz bağlı olanlar (Termosetler).

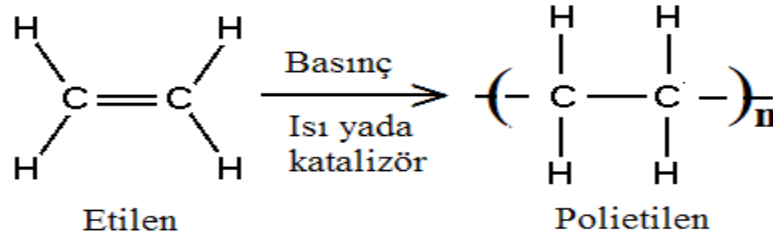
1.7.3.2.1. Termoplastik Malzemeler

Termoplastik malzemeler ısıtıldıklarında yumuşayan ve akan, soğutulduklarında sertleşen ve katılaştıran malzemelerdir. Bu döngü termoplastik malzemelerde tekrar edilebilir niteliktedir. Katı ve eriyik hallerde kimyasal değişime uğramazlar. Polimerizasyon yoluyla elde edilmektedirler. Makro molekülleri arasında kimyasal bağ bulunmamaktadır. Moleküller arasındaki diziliş düzensiz ise “amorf”, düzgün dizilişteki moleküllere sahip ise “yarı kristal” plastik olarak adlandırılmaktadır. Polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC), polimetilmetakrilat (PMMA) ve Naylon (PA) başlıca termoplastik malzemelerdir. OPK üretimi için ABD’de yılda yaklaşık 685 bin ton termoplastik malzeme kullanılmaktadır. Bu rakamın %83’ünü polietilen (PE), %9’unu polipropilen (PP), %7’sini polivinilklorit (PVC) ve %1’ini diğer termoplastikler oluşturmaktadır. Bununla birlikte kullanılan plastiklerin geri kazandırılması; hammadde ihtiyacını azaltması, doğal dengeyi koruma, çevre kirliliğinin önlenmesi ve enerji tasarrufu sağlanması gibi nedenlerle günümüzde büyük önem kazanmıştır. OPK üretim sistemlerinin

atık plastik kullanımına uygun olduğu yapılan çalışmalarla vurgulanmıştır (Caulfield vd., 2005; Klyosov, 2007). Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve polipropilen (PP) tez üretiminde kullanıldığından bu termoplastiklerle ilgili kısa bilgiler verilmiştir.

1.7.3.2.1.1. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

Polietilen, en çok kullanılan termoplastiklerden biri olup etilenin basınç altında ısı ya da bir katalizör etkisiyle serbest radikal polimerizasyonu sonucu elde edilmektedir. Şekil 4'te polimerizasyon mekanizması verilmiştir.



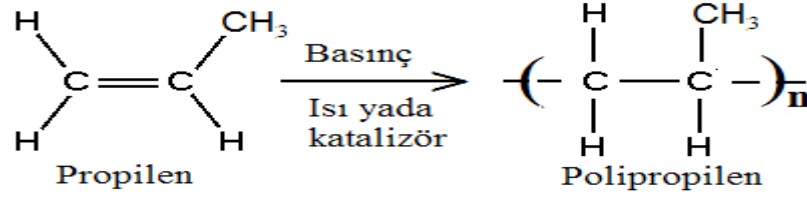
Şekil 4. Etilenin polimerizasyonu

Polietilenler yoğunluklarına göre alçak, orta ve yüksek yoğunluklu olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. YYPE'nin yoğunluğu genellikle 0,94-0,96 g/cm³ arasında olmaktadır. Polimerizasyonu daha düşük basınçta ve 100 °C'nin altındaki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. YYPE, nitrik asitin renklenme etkisi dışında sülfürik, hidroklorik gibi güçlü asitlere karşı yüksek dirence sahiptir. PP'ye göre oksidasyon direnci daha yüksektir. Yoğunlukları arttıkça sertlik ve mukavemetleri artmaktadır. Çekme dirençleri yüksek olup darbe dirençleri düşük olmaktadır. Isıl genleşme katsayısı yüksek olduğundan güneş ışınlarından etkilenmektedirler. Birçok uygulama alanı olmakla birlikte paketlenme, ambalaj ve örtü işlerinde, sulama borularında, izolasyonda, mutfak araç ve gereçlerinde kullanılmaktadır (Klyosov, 2007).

1.7.3.2.1.2. Polipropilen (PP)

Polipropilen, günümüzde pazar payı en yüksek olan ikinci plastik tipidir. Petrol ürünlerinden elde edilen propilen monomerinin basınç altında katalizörler yardımıyla

polimerizasyonu sonucu elde edilmektedir (Şekil 5). Yapı zincirinde, her bir karbona bağlı metil grubu bulunmaktadır.



Şekil 5. Propilenin polimerizasyonu

Mukavemeti ve yumuşama sıcaklığı oldukça yüksek olup sudan hafiftir. PP'nin yoğunluğu genellikle 0,85-0,95 g/cm³ arasında olmaktadır. Isı ve ışın etkisiyle kolay bozunabilmektedir. Diğer plastıklere göre daha yanıcı, daha güçlü ve daha katı olarak adlandırılmaktadırlar. 150'den fazla PP türü dünya genelinde üretilmektedir. Paketlemelerde, film yapımında, otomobil parçalarında, ev aletlerinde, kablo kaplamalarında, gıda maddesi ambalajlarında, laminasyon malzemelerinde ve oyuncak yapımında olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır (Eker, 2009).

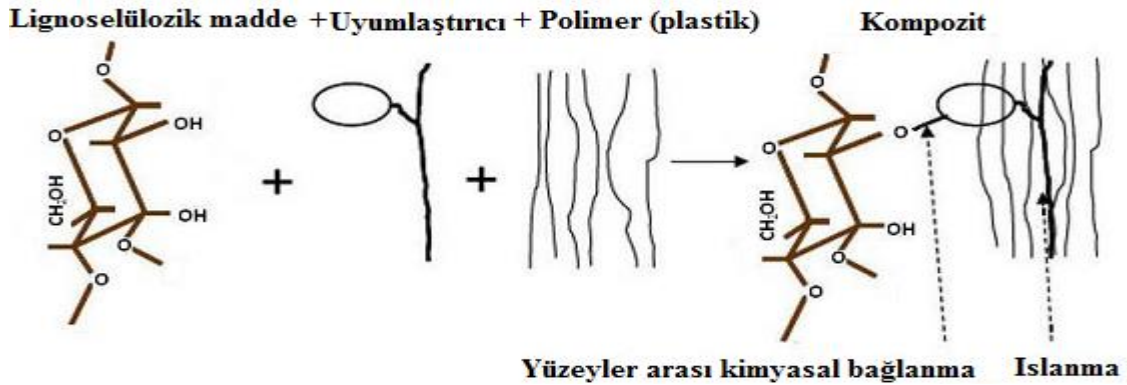
1.7.3.3. Katkı Maddeleri

OPK ürünlerin kullanım yeri performanslarını arttırmak için üretime ilave malzemeler katılmaktadır. Katkı maddeleri kullanarak; mekanik ve yüzey özellikleri iyileştirme, odun ve polimerin difüzyonunu sağlama, UV ışınları ve ısıya karşı koruma gibi amaçlara ulaşılabilir. Kullanım oranları her ne kadar odun ve termoplastiklere göre çok düşük olsa da etkileri bu nedenlerle yüksek olmaktadır. Katkı maddelerini; uyum sağlayıcılar, UV stabilizatörleri, pigmentler, yağlar, fungusitler, köpükleştirici maddeler, nano-partiküller ve daha birçok performans arttırıcı malzemeler kapsamaktadır. Özellikle uyum sağlayıcı maddeleri üreten işletmelerin ana hedefinde OPK endüstrisi yer almaktadır (Caulfield vd., 2005; Sundar, 2005; Rowell, 2006).

1.7.3.3.1. Uyumlaştırıcılar

Odun hücre duvarındaki selüloz ve hemiselüloz bileşenlerinin hidrofilik (su emici), termoplastiklerin ise hidrofobik (su itici) özellikte olduğu bilinmektedir. Bu iki fazda olan malzemelerin bağ yapabilmesi için bir ara yüze ihtiyaç duyulmaktadır. İşte uyumlaştırıcı ajanlarda bu amaçla OPK üretiminde kullanılmaktadır (Rowell, 2006; Sidharta, 2011).

Uyumlaştırıcı ajanlar organik (izosiyanatlar, anhidritler, amidler, imidler, akrilatlar, organik asitler, monomerler, epoksitler, kopolimerler vb.), inorganik (silikatlar) ve organik-inorganik (silanlar, titanlar) gruplar olmak üzere 3 kategoride sınıflandırılmaktadırlar. Günümüzde en çok kullanılan uyumlaştırıcılar arasında maleik anhidrit ile aşılınmış polipropilen (MAPP) ve maleik anhidrit ile aşılınmış polietilen (MAPE) yer almaktadır. Ayrıca bu uyumlaştırıcılar OPK üretiminde çok büyük kolaylık sağlamakta olup üretim verimini arttırmaktadır. Uyumlaştırıcı ajanların çalışma mekanizmaları iki aşamada özetlenebilmektedir. Bunlar odun hücrelerinde serbest hidroksil gruplarıyla bağ yapması ve ester bağların oluşmasıdır. Şekil 6'da uyumlaştırıcı ajanların çalışma mekanizması görülmektedir. OPK üretiminde toplam ağırlığın %1-3 oranında uyumlaştırıcı ajanın kullanılması daha iyi sonuçlar verdiği çalışmalarda belirtilmiştir (Çetin vd., 2000; Lu vd., 2000; Caulfield vd., 2005; Yang vd., 2007; Karakuş, 2008; Tufan, 2013).



Şekil 6. Uyumlaştırıcı ajanların çalışma mekanizması

1.7.3.3.2. Kullanım Yerlerine Göre İlave Katkı Maddeleri

Günümüzde OPK ürünler birçok kullanım yerinde tercih edilmekte olup toprak üstü ve toprakla temas olmak üzere tatlı-tuzlu suda kullanım gibi doğru üretimler ile en ağır

şartlarda hizmet verebilmektedir. Dolayısıyla en önemli parametrelerden biri kullanım yerine göre üretime ilave maddelerin (yağlayıcılar, renklendiriciler, antioksidanlar, UV stabilizatörler, yangın geciktiriciler vb.) katılmasıdır. Yağlayıcılar, akışkanlığı sağlamak ve yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde önemli rol oynamakta olup üretim sürecinde metal aksamlara yapışmayı önlemesi ve karışımın homojen bir form alması için kullanılmaktadır. Çinko stearatlar, parafin ve vakslar en bilinen yağlayıcı maddelerdir (Adhikary vd., 2010). Renklendiriciler, dış ortamda kullanılacak ürünlerin renk değişimini en aza indirmesi ve yeknesak bir görüntü kazandırmak için tercih edilmektedir. Renklendirici olarak renk pigmentlerinin yanında renk değişiminin yüksek oranda engelleyen rutil titanyum dioksitte kullanılmaktadır (Rowell, 2006; Klyosov, 2007; Sidharta, 2011).

Antioksidanlar, oksitlenme önleyici olarak plastik malzemelerin oksijen ve ışıma etkilerini önleyerek ürünün daha kararlı hale gelmesi için kullanılmaktadır. UV stabilizatörler, UV ışınlarını dengeleyerek zamanla OPK ürünlerin bozunmasını önlemesi ile fiziksel-mekaniksel dirençlerin düşmesini engellemektedir. Bu maddeler, OPK içinde kimyasal değişime neden olabilecek enerjiyi ısıya dönüştürerek soğurmakta ve enerji dağıtmada önemli rol oynamaktadır. Genellikle %0,5-2,0 oranında kullanılmakta olup aril esterler, tetrametil-piperidin, benoik asit esterleri örnek olarak verilebilmektedir (Clemons, 2002).

Son olarak yangın geciktiriciler ise, ürünlerin yangına dirençli olması için OPK üretiminde dâhil edilmekte olup borlu birleşiklerin bu amaçla kullanıldığı ürünlerde yangın geciktirici özellik kazandırmanın yanında çürüklüğe karşı direnç arttırdığı da yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Kartal vd., 2007; Çavdar, 2011). Yangın geciktiricilere bor esaslı maddeler dışında örnek vermek gerekirse; klor esaslı maddeler, brom esaslı maddeler, fosfor içerikli maddeler, metal hidroksitler, alüminyum tiri hidrat, magnezyum hidroksit, cam yünü, talk, kalsiyum karbonat ve kil bu sınıfa girebilmektedir (Sundar, 2005; Klyosov, 2007).

1.7.4. Odun Plastik Kompozit Üretim Sistemleri

OPK üretim sistemlerinin en önemli görevi dolgu maddesi olarak kullanılan lignoselülozik maddeler ile termoplastik polimerlerden oluşan karışımın homojen hale getirilmesidir. Dolayısıyla OPK ürünün fiziksel-mekaniksel özellikleri ve kullanım

yerindeki performansları üretim sistemleriyle doğrudan ilişkilidir. OPK üretiminde basınçlı kalıplama, enjeksiyon ve ekstrüzyon sistemleri başta olmak üzere birçok yöntem uygulanabilmektedir (Caulfield vd., 2005; Klyosov, 2007; Eker, 2009).

1.7.4.1. Basınçlı Kalıplama Sistemi

Basınçlı kalıplama sisteminde kalıba alınan malzemenin; biçimlendirme sıcaklığı, basıncı, süresi malzeme cinsine ve biçimlendirilecek parçanın büyüklüğü ile konstrüksiyonuna göre değişmektedir. Genelde 7-80 MPa arasında basınç, 135-200 °C arasında sıcaklık ve polimerizasyon için 1-20 dk süre uygulanmaktadır. Basınçlı kalıplama ile OPK üretimi 3 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar:

- Hazırlanan karışım, dişi kalıba dökülmekte,
- Malzemenin bulunduğu dişi kalıba yeterli sıcaklık uygulandıktan sonra bir erkek kalıp yardımıyla basınç uygulanmakta ve
- Daha sonra kalıp içinde soğumaya terk edilen malzeme itici bir kol yardımıyla dışarı alınmaktadır (Caulfield vd., 2005; Eker, 2009).

1.7.4.2. Enjeksiyon Sistemi

Enjeksiyon sistemi günümüzde seri üretimler için uygun olan bir sistemdir. Üretim maliyetlerinin azaltılması ve özel isteklerin karşılanması için enjeksiyon cihazları önemli ölçüde geliştirilmiştir. Bu sistemde de uygulanan basınç ve sıcaklık kullanılan polimerin türüne bağlı olmaktadır. Genel parametreleri 700-2000 kg/cm² arasında basınç, 160-250 °C arasında sıcaklık ve 10-30 saniye dolaylarındadır. Genellikle aynı kalitede ve fazla miktarda ürünler için helezon karşılıklı tip enjeksiyon, küçük kapasiteli ve basit parçaların kalıplanmasında ise piston-dalgıç tipi enjeksiyon kullanılmaktadır. Bu sistemde üretim verimi yüksek olup atık oluşumu ise çok az olmaktadır (Beg, 2007). Enjeksiyon sistemi ile OPK üretimi 4 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar:

- Hazırlanan karışım sürekli olmak üzere cihaza verilerek eriyik hale gelinceye kadar ısıtılmakta.
- Eriyik haldeki karışıma basınç uygulayarak bir valf yardımıyla kalıba girmesi sağlanmakta,

- Kalıp içinde malzeme katılaşıncaya kadar basınç altında tutulmakta ve soğuması beklenmekte ve
- Daha sonra kalıp açılarak bir itme kolu sayesinde son ürün çıkartılmaktadır (Caulfield vd., 2005; Eker, 2009).

1.7.4.3. Ekstrüzyon Sistemi

Plastik bir maddenin ısı ile akıcı hale getirilerek belirli bir şekilli kalıptan basınç ile geçirilmesi ve biçimlendirilmesi yöntemidir. Ucuz ve sürekli bir üretim şeklidir. Genellikle yüksek molekül ağırlıklı termoplastik malzemeler (PE, PP, PVC, PA vb.) kullanılmaktadır. Ekstrüzyon sistemi vida sayısı bakımından tek vidalı ve çoklu vida ekstrüderleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Homojen dağılım sağlamak amacıyla son zamanlarda ikiz vidalı ekstrüderler daha fazla tercih edilmektedir. Bu sistemde üretim esnasında malzemenin rutubeti kadar kullanılan materyallerin boyutları da üretim verimini önemli ölçüde etkilemektedir. Ekstrüder vida çapı (D) ve silindir kovan uzunluğu(L) yardımıyla belirlenen L/D oranı kaliteli karışım eldesi için kullanılmakta olup bu oranın 30'dan büyük olması istenmektedir (Beg, 2007; Wolcott ve Englund, 2010). Ekstrüzyon sistemi ile OPK üretimi genel olarak 5 aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar:

- Polimer tipi, karışımda kullanılan dolgu maddeleri, parçacık boyutu gibi parametrelerle ekstrüder sistemi içinde sıcaklık kademeleri ayarlanmakta ve sistemin bu sıcaklıklara gelmesi beklenmekte,
- Karışım besleme ünitesinden verilerek helezon tipindeki vidanın dönmesi ve eriyik hale gelen karışımın öne doğru bir basınç birikimi yapmakta,
- Eriyik haldeki karışım basıncın etkisiyle cihazın ölü bölgesinden (die zone) devamlı olarak çıkışı sağlanmakta daha sonra soğuk hava jeti veya sıvı banyolarla soğutularak deformasyonlar önlenmekte,
- Bir kırıcı yardımıyla granül haline getirilen malzeme kalıplardan geçirilerek sıcak pres yardımıyla basılmakta,
- Son olarak ürünlerin makine çıkışında tekrar soğutularak deformasyonlar önlenmektedir (Caulfield vd., 2005; Eker, 2009).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

2.1.1. Ağaç Malzeme

Bu çalışmada Artvin ili sınırlarında yapılan barajlar dolayısıyla yerinden sökülüp DSİ 26. Bölge Müdürlüğü ve Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından belirlenen alanlarda depolanan ve hizmet süresi (26 yıl) sona ermiş kreozot içeren emprenyeli tel direkler kullanılmıştır. Tel direkleri üzerinde ağaç türünün, direğin emprenye edildiği yılın, kullanılan emprenye maddesi tipinin, direğin boyunun ve üretildiği firma adının da yer aldığı metal etiket sistemi bulunmaktadır. Bu etiketlere bakılarak üretim yılı 1986 olan, boyu 10 m ve üst çapı 12 cm tel direkleri seçilmiştir. Örneklemenin homojen olması için direkler toprağa gömülü kısmından başlamak üzere 1'er m uzunluğunda 2 parça alınmıştır. Tez çalışması kapsamında 6 tel direğinden bu şekilde toplam 12 parça alınmış olup yapılacak analizler öncesi parçalar metallere arındırılmıştır. Daha sonra kreozot içeren tel direkleri, tür teşhisleri için AÇÜ (Artvin Çoruh Üniversitesi) Orman Fakültesi laboratuvarlarına getirilmiştir. Örnek alımı ve numune hazırlama aşamalarında koruyucu ekipmanlar (maske, eldiven vb.) kullanılarak olası sağlık sorunlarının önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Denemelerde kontrol grubu olarak Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) diri odunu talaşları kullanılmış olup örnekler ALTES Orman Ürünleri (Trabzon) işletmesinden temin edilmiştir.

2.1.2. Termoplastik Polimerler

Deneme levhaların üretiminde polimer olarak AYAN Plastik Ltd. Ş.t.i (Samsun) işletmesinden atık (geri dönüştürülmüş) granül halinde Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) ve Polipropilen (PP) temin edilmiştir.

Uyumlaştırıcı ajan (coupling agent) olarak Clariant (Almanya) firmasından temin edilen maleik anhidrit ile aşılınmış polietilen (Licocene PE MA4351-GR) ve polipropilen (Licocene PP MA6452-GR) kullanılmıştır.

2.2.1. Tür Teşhisi ve Ana Materyal Görüntüleri

OPK üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılan kreozot içeren tel direklerinin tür teşhisi, ışık mikroskobu altında AÇÜ Orman Fakültesinde yapılmıştır. Ayrıca kreozotun odun yapısı içindeki dağılımı da belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda; 20 x 20 x 60 mm (teğet x radyal x lif yönü) boyutlarındaki örnekler, Olympus SZX12 marka yüksek yoğunluklu kesme mikroskobu yardımıyla en uygun kesiş bölgesi seçilerek 10 x 10 x 10 mm ölçülerine getirilmiştir. Örneklerde oluşabilecek hava kabarcıklarını yok etmek için kaynayan su içinde bir süre bekletilmiştir. 35°'lik açı ve 8 x 80 x 0,254 mm ölçülerinde Leica SM2010R mikrotom bıçağıyla enine, radyal ve teğet 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.



Şekil 7. Örneklerden kesit alınması ve tür teşhisi

Alınan kesitlere, 3 dakika süreyle safranin-O ve alcian blue boyar maddeleri damlatılmış olup destile su ile fazla renk maddeleri uzaklaştırılarak gliserin-jelâtin ile preparat hazırlanmıştır. Odun hücrelerinde safranin-O lignin için, alcian blue ise selüloz için belirleyici renk maddesi olarak kullanılmaktadır (Marjamaa vd., 2003; Doğu, 2009). Hazırlanan preparatlar 20, 50, 100, 200 ve 500 µm ölçeklerinde Olympus DP73 marka mikroskopta kreozotun odun hücreleri içindeki dağılımı incelenmiştir (Şekil 7).

Ayrıca tez çalışması kapsamında kullanılan materyaller (dolgu maddeleri, polimerler ve uyumlaştırıcı ajanlar) Leica M60 stereo-mikroskop altında 1 mm ölçekte resimlendirilmişlerdir (Şekil 8).



Şekil 8. Tez çalışmasında kullanılan ana materyallerin stereo-mikroskopta resimlendirilmesi

2.2.2. Kreozot İçeren Odun Örneklerinin Yapı Aydınlatması

Kullanım ömrü sona ermiş kreozot içeren emprenyeli odun örneğinin yapı aydınlatması; kreozot miktarının belirlenmesi, TGA-FTIR seri analizi, genel GC/MS analizi, sokslet ekstraksiyonu (remidasyon) ve FTIR analizinin yanında PAH (18) analizi ile yapılmaya çalışılmıştır. AÇÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında kibrit çöpü büyüklüğüne kadar küçültülmüş kreozot içeren odun örnekleri, Willey değirmeninde öğütülerek 40 ve 60 mesh'lik eleklerde elenmiştir. 60 mesh'lik (250 μ) elek üzerinde kalan odun tozları, ağzı kapalı cam kavanozlarda saklanarak kimyasal analizler için muhafaza edilmiştir.

2.2.2.1. Kreozot İçeriğinin Belirlenmesi

Kreozotun odundaki miktarı (%) AWWPA A6 (2006) standardına göre belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu standarda göre kullanılan toluenin yanında hekzan ve alkol-benzen (1:2) çözücüleriyle de ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Ekstraksiyon işleminde tel direğinin dip (3 m), orta (6 m) ve üst (9 m) olmak üzere 3 farklı bölgeden alınan 10 cm kalınlığındaki silindirler Willey değirmeninde öğütüldükten sonra 60 mesh'lik (250 μ) elek üzerinde kalan odun tozları elde edilmiştir. 200 ml çözücü (tolüen, hekzan veya alkon-benzen) ve 2 ml deiyonize su 500 ml'lik erlene konarak ekstraksiyon düzeneğinde 125 \pm 5 $^{\circ}$ C' ısıtma fırınına konmuştur. Ekstraksiyon kartuşuna 5 g kreozotlu odun tozu konduktan sonra 6 saat boyunca ekstraksiyona tabi tutulmuştur. Daha sonra (1) ve (2) numaralı eşitlikler yardımıyla kreozot içeriği ve ekstraksiyon verimi hesaplanmıştır.



Şekil 9. Kreozot içeriğinin belirlenmesi

$$C = [(w_1 - w_2 - w_3) / w_2] \times 100 \quad (1)$$

Burada; C: Kreozot içeriği (%), w_1 : Ekstraksiyon öncesi ağırlık (g), w_2 : Ekstraksiyon sonrası tam kuru ağırlık (g) ve w_3 : Örnek içerisindeki su miktarını (g), (1,00 ml=1) ifade etmektedir.

$$E = (m_2 / m_1) \times 100 \quad (2)$$

Burada; E: Ekstraksiyon verimi (%), m_1 : Ekstrakte edilecek katı madde miktarı (g) ve m_2 : Ekstraksiyon sonucunda elde edilen yağ miktarını (g) ifade etmektedir.

Ayrıca ekstraksiyon işlemine tabi tutulan odun tozlarının ham kreozota göre yapı değişimi, FTIR (Fourier Transform Infrared Spektroskopi) aracılığı ile incelenmeye çalışılmıştır. Analiz için 5 mg ekstraksiyona uğratılmış örnek, toz halde 150 mg KBr (potasyum bromür) ile karıştırılmış ve daha sonra özel bir preste pellet oluşturulmuştur. Örnekler, ATR (Pike Tec.) başlığı takılı olan SHIMADZU FTIR 8800 cihazında 900-1800 cm^{-1} spektrum aralığında 4 cm^{-1} çözünürlükte ve her bir örnek için 32 tarama yapılarak analiz edilmiştir.

2.2.2.2. TGA-FTIR Seri Analizi

Kreozot içeren odun örneklerinin termal bozunma sürecindeki atmosfere salınan gazları belirlemek amacıyla, KSÜ (Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi) ÜSKİM Merkezi Araştırma Laboratuvarında FTIR bağlantılı TGA seri analizi yapılmıştır. Analiz, Perkin Elmer STA 6000 TGA-FTIR cihazı ile N_2 (Azot) gazı ortamında, 20-900 °C sıcaklık aralığında ve 20 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. 5,12 mg ağırlığındaki

kreozot içeren odun örneği platin panlar yardımıyla cihaza yerleştirilmiş olup gaz ürünler FTIR (transmitans) grafiğinde $450-4000\text{ cm}^{-1}$ dalga boylarında incelenmeye çalışılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. TGA-FTIR seri analiz cihazı (Perkin Elmer)

2.2.2.3. Gaz Kromatografisi - Kütle Spektrometresi (GC/MS) Analizi

GC/MS, GC (Gaz Kromatografisi) ve MS (Kütle Spektrometresi) ünitelerinin birlikte çalıştırılarak yapı aydınlatması ve miktar tayininde kullanılan bir cihazdır. Bu sistemde biyolojik ya da doğal sistemdeki yüzlerce maddeyi aynı anda tanımak mümkündür. GC ünitesi; Finnigan Trace GC Ultra enjeksiyon, kolon, detektör, kolon fırını ve otomatik örnekleyici olmak üzere beş kısımdan oluşmaktadır. MS ünitesi ise Finnigan Trace DSQ, EI (elektron iyonizasyonu) ve CI (kimyasal iyonizasyon) olmak üzere iki adet iyonlaştırma modu içermektedir (Özçimder ve Demirci, 2004).

Kreozot içeren odun örneklerinin genel GC/MS analizi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi (KSÜ) ÜSKİM Merkezi Araştırma Laboratuvarında Perkin Elmer Clarus 600 T model cihaz ile yapılmıştır. Sürükleyici gaz olarak 1 ml/dk akış hızı ile He (Helyum) kullanılmıştır. Analizler 30 m uzunluğunda, $0,25\text{ mm}$ iç çapında, $0,25\text{ }\mu\text{m}$ film kalınlığındaki kolonda (BPX5) gerçekleşmiştir. Fırın sıcaklığı $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 1 dk bekleme süresinden sonra $2\text{ }^{\circ}\text{C/dk}$ ısıtma hızıyla $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ve bu sıcaklıkta 1 dk bekleme süresinden sonra $3\text{ }^{\circ}\text{C/dk}$ ısıtma hızıyla $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmıştır. Son sıcaklıkta bekleme süresi 5 dk olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon sıcaklığı $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, detektör sıcaklığı $240\text{ }^{\circ}\text{C}$, basıncı ise 5 kg/cm^2 'dir. Seyreltilmiş örneklerin $2,0\text{ }\mu\text{l}$ 'lik kısmı split oranı 10:1 olacak şekilde otomatik olarak enjekte edilmiştir. Her bir bileşiğin kalitatif analizi ELİTE 5MS kapiler kolonda referans maddelerin alıkonma zamanlarına göre yapılmıştır.

2.2.2.4. Kreozotun Sokslet Ekstraksiyonu (Remidasyon)

Ekstrüzyon sistemi için hazırlanan kreozot içeren odun tozları 60-80-100 mesh'lik eleklerde elenerek tam kuru ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. 60 mesh'lik (250 μ) elek üzerinde kalan odun tozları (her grup için 2 kg) 500 ml'lik erlenlere konularak n-Hekzan solüsyonunda 4 saat süreyle 68 °C'de bekletilmiştir. Daha sonra sokslet ekstraksiyonuna tabi tutulmuştur (Şekil 11). Örnekler etanol ve aseton ile sırayla yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Kreozot içeren odun tozu örneklerinden ekstrakte edilen ve etanol-aseton ile yıkanan tüm ürünler daha sonra analiz yapılmak üzere kapalı kaplarda muhafaza edilmiştir. Kreozot polar bir malzeme olduğu için n-hekzan gibi bir apolar çözücünde daha iyi çözüneceği bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda ise Toluen, Diklorometan ve Hekzanın kullanıldığı belirlenmiş olup n-Hekzanın bulunabilirliği ve ekonomik yönden avantaj sağlayacağı için çözücü olarak tercih edilmiştir.



Şekil 11. Kreozotun Hekzan ile sokslet ekstraksiyonu

Tablo 11. Sokslet ekstraksiyonunda kullanılan kimyasallar

Adı	Formülasyonu	Safılık derecesi	Kullanım miktarı
n-Hekzan	C_6H_{14}	%99	12 lt
Etanol	C_2H_5OH	%99,9	10 lt
Aseton	CH_3COCH_3	%99,5	15 lt

2.2.2.5. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH-18) Belirlenmesi

Kreozot içeren odun örneklerinde, remidasyona uğratan odun tozlarında ve %50 odun içeren OPK gruplarında (remidasyona tabi tutulan/tutulmayan) GC/MS analizi yardımıyla PAH analizleri yapılmıştır. Yapılan 11 analiz sonucu, US-EPA (ABD Çevre Koruma Ajansı) tarafından öne çıkarılan PAH-18 bileşenleri belirlenmeye çalışılmıştır.

PAH analizleri GC/MS veya GC/FID (alevde iyonlaşma dedektörü) yardımıyla analiz edilebilmektedir (Esrafilı vd., 2011; Ratola vd., 2008).

TÜV Rheinland Uluslararası Standartlar Sertifikasyon ve Denetim A.Ş. (İstanbul) kimya laboratuvarlarında, katı (odun talaşı) ve plastik malzemelerde PAH ZEK 01.4-08 kodu ile analizler yapılmıştır. EPA'nın belirlemiş olduğu PAH bileşenlerinin sınır değerleri 3 kategori ile karşılaştırılmış olup benzo(α)piren oranları ayrıca değerlendirilmiştir (Tablo 12).

Tablo 12. Malzemelerin PAH oranlarına göre sınıflandırılması

	I. Kategori	II. Kategori	III. Kategori
Parametre	Oyuncak yapımında kullanılabilir, ağza teması izin verilebilir malzeme	I. Kategorinin dışında 30 saniyeden daha uzun süre temas edilebilir malzeme	I. ve II. Kategorinin dışında 30 saniyeye kadar temas edilebilir malzeme
Benzo (α) piren (mg/kg)	İçermemekte veya <0,2	1	20
PAH-18 bileşenleri (mg/kg)	İçermemekte veya <0,2	10	200

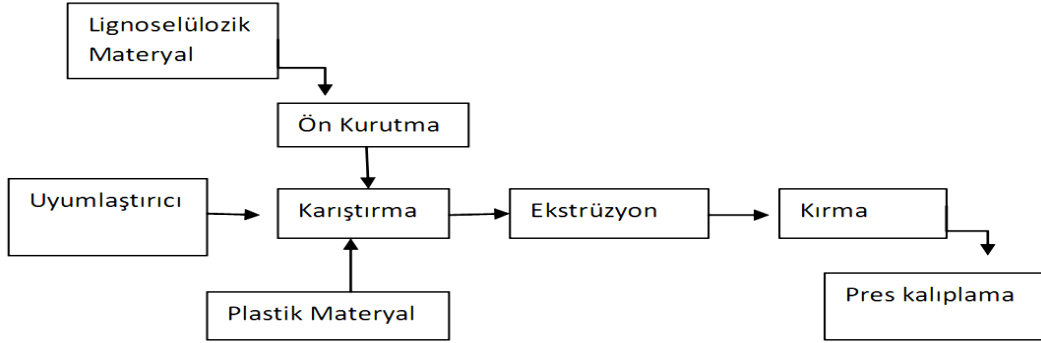
PAH analizi öncesi; örnekleme, ekstraksiyon (PAH ayrıştırma), sadeleştirme ve miktarın belirlenmesi gerekmektedir. 1 mm boyutlarına getirilen örneklerin ekstraksiyon işleminde her tekrar için 500 mg ağırlığında kullanılmıştır. 20 ml toluen, internal standard ile birlikte ön ekstraksiyon için karıştırılmıştır. Bu şekilde örnekler PAH ayrışması için ultrasonik su banyosunda 60 °C'de 1 saat süre ile bekletilmiştir.

PAH analizi için kromatografik saflaştırma sonrası, kütle miktarları GC/MSD yardımıyla belirlenmekte olup internal standart olarak; naftalan-d8, piren-d10 veya antrasen-d10 veya fenantren-d10, benzo(α)piren-d12 veya perilen-d12 veya trifenilbenzen kullanılabilir.

Ekstraksiyon saflaştırmasında kullanılan kolon, fiber glas ile 4 gr silika jel ve 1 cm sodyum sülfat ile oluşturulan "Hahnschliff" (ca.220×15 mm) kullanılmıştır. Kolon 10 ml petrol eteri ile kondisyonlanmıştır. Daha sonra hazırlanan toluen ekstaksiyonu, evaporasyon ile 20 ml kolona verilmektedir. GC/MS'e verilen çözelti 18 PAH bileşeni SIM kütle spektrometresi ile tanımlanmıştır. GC/MS kolonu; HT8 25 m uzunluğunda 0,22 mm çapında, 0,25 μ m film kalınlığındadır. Enjeksiyon sıcaklığı 280 °C, transfer sıcaklığı 260 °C, başlangıç sıcaklığı 5 °C, başlangıç süresi 2 dk, ısıtma hızı 11 °C/dk olmak üzere son sıcaklık 320 °C ve bu sıcaklıkta bekleme süresi 8 dk olarak belirlenmiştir.

2.2.3. Odun Plastik Kompozit (OPK) Üretimi

Odun plastik kompozit (OPK) üretimi Şekil 12’de verilen iş akış diyagramına göre AÇÜ Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 12. OPK üretimi akış diyagramı

Hizmet ömrü sona ermiş kreozot içeren tel direklerinin diri odun kısımları planya makinesinde rendelenerek talaş haline getirilmiş ardından Willey değirmeninde öğütülerek odun tozu haline getirilmiştir. Öğütülen numuneler sarsak elekte (20, 40, 60, 80, 100 mesh) elenmişlerdir (Şekil 13). Eleme sonrası 40 ve 60 mesh’lik elekte kalan numuneler alınarak 103 ± 2 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur.



Şekil 13. Willey değirmeninde örneklerin öğütülmesi ve eleme işlemi

Kurutulan odun tozları, polimerler (YYPE ve PP) ve uyumlaştırıcı ajanlar Tablo 13’te verilen üretim reçetesine bağlı kalarak yüksek karıştırma hızına sahip Shini SVM-80U laboratuvar mikserinde karıştırılmıştır (Şekil 14). OPK üretiminde odun tozu oranları

yapılan ön denemeler sonucu belirlenmiş olup %60 ve üzeri kreozot içeren odun unları ekstrüder geçişinde kreozotun akmasına neden olduğu için tercih edilmemiştir.

Tablo 13. Tez kapsamında üretilen OPK kompozitlerin formülasyonları

Materyal Tipi	Polimer Tipi	Uyumlaştırıcı Tipi	Odun Tozu Oranı	Grup Kodu	Grup No
Kreozot İçeren Tel Direği	Atık YYPE	%0	%30	K30PE%0	1
			%40	K40PE%0	2
			%50	K50PE%0	3
		%3 MAPE	%30	K30PE%3	4
			%40	K40PE%3	5
			%50	K50PE%3	6
	Atık PP	%0	%30	K30PP%0	7
			%40	K40PP%0	8
			%50	K50PP%0	9
		%3 MAPP	%30	K30PP%3	10
			%40	K40PP%3	11
			%50	K50PP%3	12
Kontrol (Sarıçam)	Atık YYPE	%0	%30	S30PE%0	13
			%40	S40PE%0	14
			%50	S50PE%0	15
		%3 MAPE	%30	S30PE%3	16
			%40	S40PE%3	17
			%50	S50PE%3	18
	Atık PP	%0	%30	S30PP%0	19
			%40	S40PP%0	20
			%50	S50PP%0	21
		%3 MAPP	%30	S30PP%3	22
			%40	S40PP%3	23
			%50	S50PP%3	24
Remidasyona Uğratılan Tel Direği	Atık YYPE	%0	%50	E50PE%0	E1
		%3 MAPE	%50	E50PE%3	E2
	Atık PP	%0	%50	E50PP%0	E3
		%3 MAPP	%50	E50PP%3	E4

Elde edilen homojen karışımlar Şekil 14'te görülen tek burgulu laboratuvar tipi ekstrüder makinesi (Rondol Linear 30) kullanılarak 4 sıcaklık aşamasından (PP için; 165, 175, 180, 185 °C, YYPE için; 170, 175, 180, 190 °C) 100 rpm hızında geçirilmiştir. Karışımlar pelet olarak ekstrüder makinesinden geçtikten sonra ölü bölgeden (die zone) soğuyup sertleşmesi için soğuk su banyosuna alınmıştır. Soğuma işlemi tamamlandıktan sonra karışım, kırıcıdan (Rondol 3212) geçirilerek parça boyutları küçültülmüştür. Elde edilen bu parçacıklar 24 saat süre ile 103±2 °C sıcaklıkta tekrar kurutulmuştur.



Şekil 14. Karıştırıcı ve ekstrüder makine sistemi

Kurutma işleminin ardından parçacıklar 5 x 160 x 170 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) ölçülerindeki kalıp içerisine yerleştirilerek pres (Gülner) yardımıyla 4 dakika süre, 175 °C sıcaklık ve 85-100 bar (8,5-10 MPa) arası basınçta preslenmiştir (Şekil 15). Sıcak presleme işleminin ardından kalıp soğuk prese bırakılmıştır. Her grup için 12'şer adet levha üretilmiş olup uygulanacak testler için levhalar ilgili standartlara göre boyutlandırılmıştır. Remidasyon grupları ve sarıçam (*Pinus silvestris* L.) kontrol grupları ile üretilen OPK'larda da aynı yöntem kullanılmıştır. Ayrıca OPK üretiminde ilk kez kumaş teflon ile pres yapılarak, diğer laboratuvar uygulamalarına göre üretim hızı azami artırılmış olup bu tip üretimler için yenilik kazandırılmıştır.



Şekil 15. Üretim reçetesine göre karışımların hazırlanarak preslenmesi

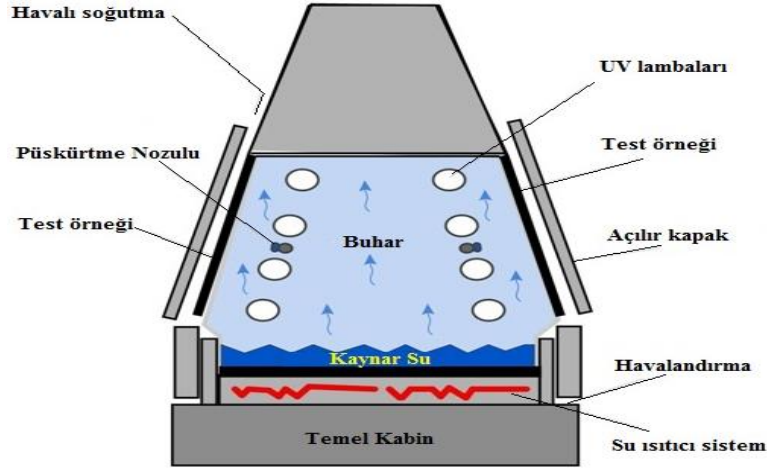
2.2.4. Levha Özelliklerinin Belirlenmesi

OPK ürünlerin kullanım yeri (yer kaplama, çit, park-bahçe mobilyaları, yürüyüş parkurları, iskele, uyarı levhaları, ambalaj vd.) olarak dış ortam koşulları oldukça önemli olup OPK'ların kullanımını sınırlayabilmektedir. Bu tez kapsamında üretilen OPK levha grupları, hem alan (toprak üstü, toprakla temas ve deniz testi) testlerine hem de laboratuvar koşullarında benzetilmiş dış ortam testine maruz bırakılmışlardır. Belirli periyotlarda yapılan enstrümantal ve morfolojik çalışmalarla kreozot içeren gruplar, remidasyon grupları, kontrol grupları ve sarıçam (*Pinus silvestris* L.) masif örneklerinin dayanımları belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler ışığında ülkemizde ilk kez OPK'ların gerçek kullanım yerlerinin tümünde gösterecekleri performanslar belirlenmeye çalışılmıştır.

Test öncesi ve sonrasında örnekler 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nemde bir hafta süre ile iklimlendirilmiştir. Dolayısıyla uygulanacak testlerde örnekler, stabil hale geldiğinden dış parametrelerden (rutubet, sıcaklık vb.) etkilenmesi önlenmiştir. Ayrıca üretim reçetesine göre hazırlanan OPK levhalar her ne kadar homojen olsa da yapılan testlerde örnek üzerinde belirlenen ve dış ortam testlerine maruz bırakılan noktalardan ölçümler alınması sağlanmıştır.

2.2.4.1. Benzetilmiş Dış Ortam Testi

OPK levhalar benzetilmiş dış ortam testi 5 x 75 x 105 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) ölçülerinde her grup için 3'er örnek kullanılmıştır. ASTM G154 (2006) standardına göre 8 adet UVA 340 lambasına sahip QUV/sprey (Q-Lab, ABD) test kabininde gerçekleştirilmiştir (Şekil 16). Örneklerin 45°'lik açıyla yerleştirildiği test kabininde çalışma döngüsü; 4 saat süre ile yoğunlaştırma ve ardından maksimum 0,89 W/m² ışık yoğunluğunda ($\lambda_{max} = 340$ nm) 8 saat UV-ışınması tatbiki olmak üzere 500, 1000, 1500 saat aralıklarda uygulanmıştır. UV ışınma süresinde sıcaklık 60 °C, yoğunlaşma evresinde ise 50 °C sıcaklıklar ayarlanmış olup test kabini içerisindeki bağıl nem %65'te sabit tutulmuştur. Benzetilmiş dış ortam testi kapsamında örnekler üzerinde; rutubet değişimi, test sonunda ağırlık kaybı, pürüzlülük değişimi, renk değişimi, sertlik değişimi, parlaklık değişimi ve FTIR analiziyle yüzey kimyasındaki değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 16. Benzetilmiş dış ortam test kabininin çalışma sistemi

2.2.4.2. Dış Ortam Testleri

Dış ortam testleri Artvin Çoruh Üniversitesine bağlı Ormancılık Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki Sera arazisinde, UTM (evrensel çapraz merkator) sistemine göre 37. zonda 73 92 66 Meridyeni ve 45 64 597 Paralelinde yapılmıştır (Şekil 17). Dış ortam testlerine Şubat ayında başlanmıştır.



Şekil 17. Dış ortam testlerinin yapıldığı alanın uydu görüntüsü

2.2.4.2.1 Toprak Üstü Testi

Toprak üstü testi, AWPA E9 (2006) standardına göre yapılmıştır. OPK örnekleri 5 x 100 x 100 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) ölçülerinde boyutlandırılarak her grup için 5'er örnek hazırlanmıştır. Dış etmenlerin etkisinin daha iyi belirlenmesi ve UV şiddetinin daha yüksek olması için örnekler Şekil 18'de gösterilen Güney bakı yönüne 45° açı ile

kurulan masa üzerine düzenli bir şekilde yerleştirilmiştir (Taib vd., 2010; Chaochanchaikul vd., 2013). Belirli periyotlarda örnekler üzerinde aşağıdaki parametreler elde edilmiş olup test 18 ay boyunca devam etmiştir. Bu süreler için iklim verileri de değerlendirilmek üzere kaydedilmiştir. Toprak üstü testi kapsamında örnekler üzerinde; rutubet değişimi, test sonunda ağırlık kaybı, pürüzlülük değişimi, renk değişimi, FTIR analizi ve dayanıklılık sınıfları gibi parametreler elde edilmiştir.



Şekil 18. Toprak üstü testinin görünüşü

2.2.4.2.2. Toprakla Temas Testi

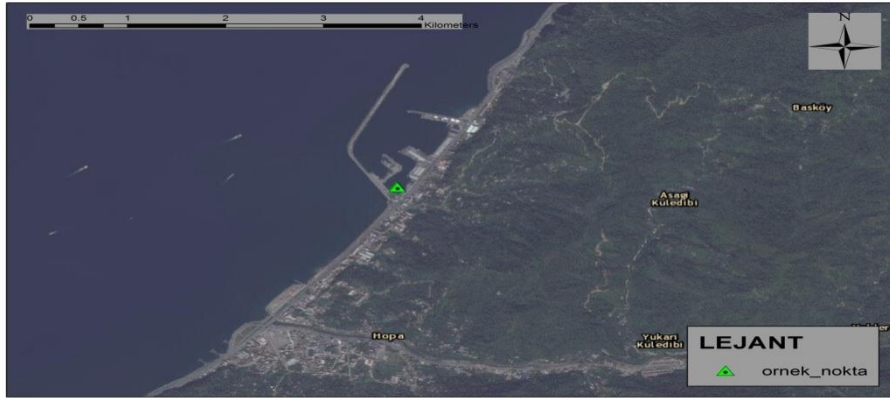
Toprakla temas testi, modifiye edilmiş AWP A E7 (2006) standardına göre yapılmıştır. Test kapsamında her grup için 5 x 30 x 150 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) ölçülerine getirilen 5'er örnek kullanılmıştır. Örnek uzunluğunun 2/3'ü toprak içinde kalacak şekilde Güney bakı yönüne örnekler yerleştirilmiştir (Şekil 19). Örnekler direk toprakla temas ettiği için rutubet alış verişi örnekler üzerinde daha fazla etkili olmuştur. Bundan dolayı çürüklük mantarlarına arız olması daha kolay olması sağlanmıştır. Belirli periyotlarda örnekler üzerinde aşağıdaki parametreler elde edilmiş olup test 18 ay boyunca devam etmiştir. Bu süreler için iklim verileri de değerlendirilmek üzere kaydedilmiştir. Toprakla temas testi kapsamında örnekler üzerinde; rutubet değişimi, test sonunda ağırlık kaybı, pürüzlülük değişimi, renk değişimi ve dayanıklılık sınıfları gibi parametreler elde edilmiştir.



Şekil 19. Toprakla temas testinin görünüşü

2.2.4.2.3. Deniz Testi

Deniz testi, modifiye edilmiş ASTM D2481 (1994) standardına göre gerçekleştirilmiştir. OPK levhaları 5 x 80 x 160 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) ölçülerinde boyutlandırılarak her grup için 5'er örnek hazırlanmıştır. Artvin/Hopa Liman bölgesi içerisindeki balıkçı barınakları (37. zonda 70 33 35 Meridyeni ve 45 86 769 Paraleli) test alanı olarak seçilmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. Deniz testinin yapıldığı alanın uydu görüntüsü

Örnekler üzerinde açılan 5 mm çapında deliklerden deniz ortamında çürümeye ve kopmaya dayanıklı ipler geçirilerek 3 farklı hat düzeneği yapılmıştır. Bu hatlar kreozot içeren OPK grupları, remidasyona tabi tutulan gruplar, kontrol Sarıçam içeren OPK grupları ve masif Sarıçam örneklerini kapsamaktadır. Halatlara örnekleri birbirinden ayırmak için düğümler atılmış olup ayrıca örneklerin deniz suyu içinde kalmasını sağlayan ağırlıklar ile desteklenmiştir. Örnekler deniz yüzeyinden yaklaşık 4 m aşağıda olacak

şekilde batırılmışlardır (Şekil 21). Belirli periyotlarda örnekler üzerinde parametreler elde edilmiş olup test 24 ay boyunca devam etmiştir. Deniz testi kapsamında örneklere arız olan deniz canlıları Leica M60 Stereo-mikroskopta tipik ve belirgin özellikler dikkate alınarak teşhis edilmiş olup dönemsel zararlılar kayıt altına alınmıştır. Ayrıca test sonunda ağırlık kayıpları ve dayanıklılık sınıfları, ilgili standarda göre belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 21. Deniz testi için örneklerin hazırlanması ve test yerinden bir görünüş

2.2.4.3. Dış Ortam Testleri Kapsamında Elde Edilen Parametreler

2.2.4.3.1. Levhaların Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı

Dış ortam testlerine maruz bırakılan levhaların ağırlık/rutubet değişimi % olarak belirlenmiştir. Ağırlıklar, hassasiyeti 0,0001 g olan hassas terazide ölçülmüştür. Test sonunda örnekler 103 ± 2 °C' deki etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulduktan sonra ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Bunlara göre örneklerin rutubet değişimi ve ağırlık kayıpları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%R = [(m_r - m_0)/m_0] \times 100 \text{ ve } \%AK = [(m_{T0} - m_{TS})/m_{T0}] \times 100 \quad (3)$$

Burada; R: % Rutubet değişimi, m_r : Test sonrası örnek ağırlığı (g), m_0 : Başlangıç örnek ağırlığı (g), AK: % Ağırlık kaybı, m_{T0} : Test öncesi tam kuru ağırlık (g) ve m_{TS} : Test sonrası tam kuru ağırlığı (g) ifade etmektedir.



Şekil 22. Levhaların ağırlık ölçümleri

2.2.4.3.2. Levhaların Yüzey Pürüzlülük Değişimi

Dış ortam testlerine maruz bırakılan levhaların yüzey pürüzlülüğü ISO 4287 (1997) standardına göre TR100 (TIME) cihazı yardımıyla yapılmıştır (Şekil 23). Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde, çapı 10 μm olan 90° açılı elmas uçlu bir tarama detektörü kullanılmış ve kesme uzunluğu $\lambda_c = 2,5$ mm, örnekleme uzunluğu ise 12,5 mm olarak ayarlanmıştır. Ölçümler 0,5 mm/sn hızla liflere dik doğrultuda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen Ra (aritmetik ortalama) ve Rz (5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması) değerleri yardımıyla dış ortamda örneklerin yüzey özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 23. Levhaların yüzey pürüzlülük ölçümleri

2.2.4.3.3. Levhaların Renk Değişimi

Dış ortam testlerine maruz bırakılan levhaların renk değişiklikleri, Konica Minolta CM-2600d (Kanada) marka spektrofotometre cihazında ISO 7724 standartlarına uygun

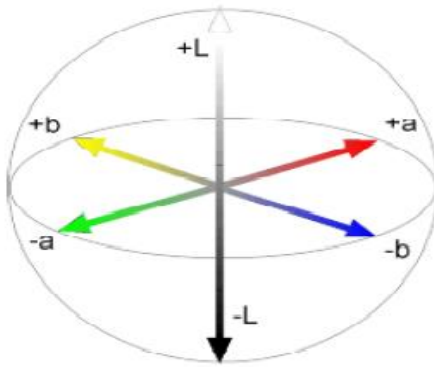
olarak belirlenmiştir (Şekil 24). Renk parametreleri CM-S100w SpectraMagic NX Lite programı ile hesaplanmıştır. Renk parametreleri, 1976 yılında CIELAB (Commission International de l'Eclairage) tarafından tanımlanan üç parametreden oluşmaktadır (He ve Chen, 2012; Cademartori vd., 2014). Bunlar:

L^* : ışık stabilitesi, a^* ve b^* kromotografik koordinatları, ($+a^*$ kırmızı için, $-a^*$ yeşil için, $+b^*$ sarı için, $-b^*$ mavi için kullanılmaktadır). L^* , a^* ve b^* değerleri, farklı sürelerde dış ortam testine tutulan örneklerde belirlenerek meydana gelen renk değişiklikleri aşağıdaki eşitliklere göre belirlenmiştir.

$$\Delta L^* = L_f^* - L_i^*, \Delta a^* = a_f^* - a_i^* \text{ ve } \Delta b^* = b_f^* - b_i^* \quad (4)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (5)$$

Burada; ΔL^* , Δa^* , Δb^* başlangıç (i) ve değişik zaman aralıklarında (f) meydana gelen renk değişikliklerini (ΔE^*) belirtmektedir. Düşük ΔE^* değeri düşük renk değişikliğini göstermektedir.



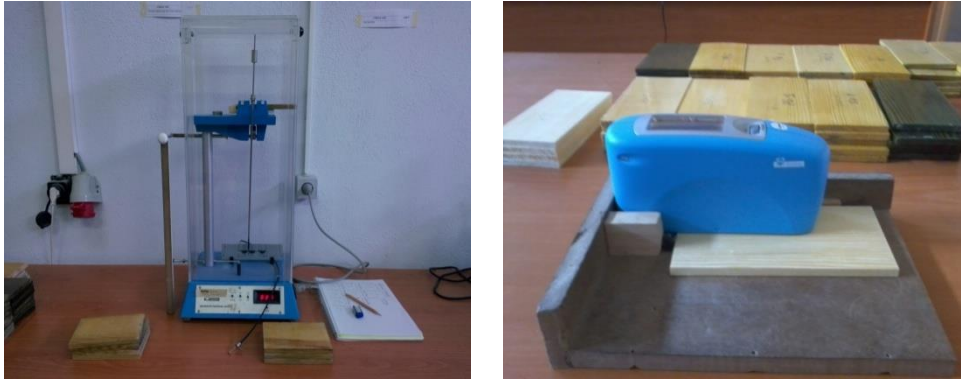
Şekil 24. CIELab renk sisteminin gösterimi ve levhaların renk ölçümleri

2.2.4.3.4. Levhaların Sertlik ve Parlaklık Değişimleri

Benzetilmiş dış ortam testine maruz bırakılan levhaların başlangıç, 500 saat, 1000 saat ve 1500 saat periyotları sonrası sertlik ve parlaklık ölçümleri yapılmıştır (Şekil 25). Yüzey sertlikleri; Köning ölçme yöntemi ve ASTM 4366 (1995) standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Cihaz (Pendulum Hardness Tester-Gardner), ölçümlerden önce

ve ölçüm aralıklarında kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçme işlemi, $63 \pm 3,3$ HRC sertliğinde, $5 \pm 0,0005$ mm çapında iki bilye ile 6° ve 3° 'ye kadar olan salınımların sayılması şeklinde belirlenmiştir.

Parlaklık ölçümleri; ASTM D523 (2008) standardında belirtilen esaslara uygun ve örnek yüzeylerinde 20° , 60° , 85° açıyla ölçüm yapan BYK/Mikro-TRI-Gloss cihazı ile yapılmıştır. Her ölçümden önce ve işlem aralıklarında; düzgün yüzeyli, kırılma indisi 1,567 olan parlaklığı her geometri için 100 olarak belirlenmiş siyah cam kullanılarak cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Her örnek üzerinde 5'er ölçüm alınmıştır.



Şekil 25. Levhaların Sertlik ve Parlaklık ölçümleri

2.2.4.3.5. Levhaların Yüzey Kimyası Analizi

Benzetilmiş dış ortam ve toprak üstü teste maruz bırakılan levhaların yüzey kimyasında meydana gelen değişimler Perkin Elmer Spectrum 100 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)- MIRacle ATR Pike Tec. (ABD) Attenuated Total Reflectance (ATR) cihazı ile incelenmeye çalışılmıştır (Şekil 26). ATR tekniği polimer, köpük, tekstil, boya gibi yüzeysel kaplama maddelerin analizinde oldukça etkindir. 45° açıda ZnSe kristal başlığı kullanılmak üzere $700-4000 \text{ cm}^{-1}$ dalga bant uzunluğunda, 4 cm^{-1} çözünürlükte ve her bir örnek için 32 tarama yapılarak absorpsiyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her grup için ölçümlerin normalizasyonu yapıldıktan sonra ortalama spektrumları bulunmuştur. Tüm spektral analizler OMNIC™ 8 (ABD) yazılımı ile pik yoğunlukları incelenmiş olup ATR hataları giderilmiştir. Elde edilen spektrumlar yardımıyla örnekler üzerinde karbonil, odun, polimer, vinil, lignin ve hidroksil indeksleri belirlenmiştir.

$$CI = \frac{I_{1720}}{I_{2920}} \times 100, WI = \frac{I_{1023}}{I_{2912}} \times 100, PI = \frac{I_{2919}}{I_{1033}} \times 100 \quad (6)$$

$$VI = \frac{I_{908}}{I_{2912}} \times 100, LI = \frac{I_{1508}}{I_{2920}} \times 100 \text{ ve } HI = \frac{I_{3342}}{I_{2916}} \times 100 \quad (7)$$

Burada; CI: Karbonil indeksini, WI: Odun indeksini, PI: Polimer indeksini, VI: Vinil indeksini, LI: Lignin indeksini, HI: Hidroksil indeksini ve I: Spektrum bandındaki pik yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 26. Dış ortam testleri sonrası FTIR-ATR yardımı ile yüzeylerde meydana gelen kimyasal değişimin belirlenmesi

2.2.4.3.6. Levhaların Dayanıklılık Sınıflandırması

Karadeniz Bölgesi jeolojik ve topoğrafik yapı bakımından ülkemizin diğer bölgelerinden farklı özellikler göstermektedir. Dağların kıyıya paralel olarak uzanması nedeniyle, kıyı kesimi ile iç kesim arasında önemli iklim farklılıkları görülmektedir. Kıyıda iç kesimlere doğru gidildikçe hem yağış oranı azalmakta, hem de karasallık nedeniyle sıcaklıklar düşmektedir (Anonim, 1998). Artvin Merkez İl Meteoroloji Müdürlüğü'nden temin edilen iklim verileri (sıcaklık, yağış, deniz sıcaklığı) kullanılarak Scheffer (1971) metoduna göre iklim indeksi oluşturulmaya çalışılmıştır.

$$\text{İndeks} = \sum_{\text{Aralık}}^{\text{Ocak}} \frac{[(t-2)(g-3)]}{16,7} \quad (8)$$

Burada; t: Aylık ortalama sıcaklığı (°C), g: Ay içinde 0,25 mm ve daha fazla yağışlı gün sayısını (mm) ifade etmektedir.

Toprak üstü testi için AWPA E9 (2006) standardında belirtildiği üzere sınıflandırma parametreleri bu teste özgü olarak belirlenmiştir. Toprak üstü teste maruz kalan örnekler renk değişikliği, çatlama, kırılma/lif kopması ve bükülme durumlarına göre 1-5 arasında numaralar ile derecelendirilmiştir. %50 odun tozu içeren gruplarda çekilen resimler ile de bozunma seviyeleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile her grup için genel toplam puanları hesaplanmıştır. Daha sonra Tablo 15 kullanılarak levhaların dayanıklılık sınıfları belirlenmiştir.

Toprakla temas testinde levhalar AWPA E7 (2006) standardında belirtilen çürüklük derecelendirmesinin yanında (Tablo 14) renk değişikliği, çatlama, kırılma/lif kopması ve bükülme durumlarına göre 1-5 arasında numaralar ile derecelendirilmiştir (Tablo 15). Elde edilen puanlar ile her grup için genel toplam puanları hesaplanmıştır. Daha sonra (9) nolu eşitlik yardımıyla dayanım indeksleri hesaplanmıştır.

$$I = \sum FY/f \quad (9)$$

Burada; I: AWPA E7'ye göre ortalama indeks, f: Gruplar için örnek sayısı, FY: Genel toplam puanını ifade etmektedir.

Tablo 14. AWPA E7 standardına göre çürüklük dereceleri

Derece	Tanımlama
0	Sağlam
4	Enine kesitin %3'nün çürütülmesi
6	Enine kesitin %3 ile %10'nun çürütülmesi
7	Enine kesitin %10 ile %30'nun çürütülmesi
8	Enine kesitin %30 ile %50'sinin çürütülmesi
9	Enine kesitin %50 ile %75'nin çürütülmesi
10	Başarısız

Dış ortam testlerinde elde edilen parametrelerin ve derecelendirme puanlarının toplamına göre levhaların dayanıklılık dereceleri Tablo 15'e göre düzenlenmiştir.

Tablo 15. Levhaların dayanıklılık sınıflarının belirlenmesi

Dayanıklılık Sınıfı (DS)	Tanım	x-değeri
1	Çok Dayanıklı	$x \leq 3$
2	Dayanıklı	$3 < x \leq 5$
3	Orta Dayanıklı	$5 < x \leq 7$
4	Az Dayanıklı	$7 < x \leq 9$
5	Dayanıksız	$9 < x$

Deniz testi sonrasında deniz zararlıların levhalara ve masif Sarıçam (*Pinus silvestris* L.) örneklerine arız olma oranları ve TS EN 275 (2000) standardına göre yapılmıştır. Tablo 16’da yapılan derecelendirmenin ayrıntıları verilmiştir.

Tablo 16. Levhaların TS EN 275’e göre tahribat miktarı oranları ve sınıflandırması

Sınıfı	Tanım	Deney numunesinin durumu ve görünüşü
0	Tahribatsız	Tahribat izi yok
1	Çok az tahribat	Bir veya çok az sayıda açılan tüneller, yüzey alanının %15’inden daha fazla olmaz
2	Tahribat orta seviyede	Tüneller, numune yüzey alanının %25’inden fazla olmaz
3	Şiddetli tahribat	Tüneller, numune yüzey alanının %25’i ile %50’si arasındadır
4	Tam tahribat	Tüneller, yüzey alanının %50’sinden fazla yer kaplar

2.2.4.4. Çürüklük Testleri

AÇÜ Orman Fakültesi mikoloji laboratuvarında levhaların çürüklük mantarlarına karşı dayanımları araştırılmıştır. Çürüklük testlerini; modifiye edilmiş EN 113 (1996) beyaz ve esmer çürüklük ve ENV 807 (2001) yumuşak çürüklük testleri kapsamaktadır. Çürüklük testlerinin etkinliğini arttırmak için konu ile ilgili yeni çıkan yayınlarda da vurgulanan kompozit malzemelerin rutubetleri test öncesi artırılması önerilmektedir (Segerholm, 2012). Bunun için test öncesi örnekler 2 hafta süreyle suya batırılmıştır. Levhaların yanında referans tür olarak masif sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu örnekleri de aynı şartlarda test edilmiştir. Çürüklük testleri her bir grup ve mantar için 10 tekrarlı yapılmıştır. Belirli periyotlarla sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) kontrol örneklerinde elde edilen ağırlık kayıpları %20’nin üzerine çıktığında, testler sona erdirilmiştir.

2.2.4.4.1. Beyaz ve Esmer Çürüklük Testi

Modifiye edilmiş çürüklük testinde 5 x 10 x 25 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) boyutlarındaki örnekler, petri kabında çürüklük testine tabi tutulmuşlardır. Test kapsamında beyaz (*Trametes versicolor* L. Pilat Mad-697) ve esmer (*Coniophora puteana* Schumach. Ex Fries P.Karst. Mad-515, *Postia placenta* Fr. Larsen&Lombard Mad-698) Basidiomiset sınıfı mantarları kullanılmıştır. 1 lt saf su içerisinde 48 gr malt ekstrakt-agar (Merck) konularak hazırlanan çözelti, manyetik karıştırıcıda homojen olana dek karıştırılmıştır. Erlen ağız alüminyum folyo ile kapatılarak hazırlanan çözelti ve test için kullanılacak yardımcı elemanlar, 121 °C'deki bir otoklavda (Hirayama HMC) 20 dk sterilize edilmiştir. Sterilize edilen besin ortamı ve yardımcı elemanlar ESCO Class II BSC kabininde UV ışığı altında 30 dk soğumaya terk edilmiştir. Çözelti uygun sıcaklığa geldikten sonra petri kabını saracak ve taşmayacak şekilde dökülmüştür. Daha sonra kabin içerisindeki petri kaplarına tam merkeze gelecek şekilde mantar örnekleri aşılanmıştır. Petri kapları, 22±1 °C ve %65±5 bağıl neme ayarlanmış iklimlendirme kabininde mantar miselinin kaba tamamen yayılmasına kadar bekletilmişlerdir. Test öncesi örnekler 103±2 °C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve tam kuru ağırlıkları alınmıştır. 121 °C'deki otoklavda 20 dk sterilize edilen örnekler petri kaplarına konarak 24 hafta boyunca 22±1 °C ve %65±5 bağıl neme ayarlanmış iklimlendirme kabininde mantar saldırısına bırakılmışlardır (Şekil 27). Test sonrası örnekler misellerden uzaklaştırılarak tam kuru ağırlıkları hassas terazide ölçülmüştür. Böylece meydana gelen ağırlık kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$AK = [(m_0 - m_1) / m_0] \times 100 \quad (10)$$

Burada; AK: Örneklerdeki ağırlık kaybı (%), m_0 : Çürüklük öncesi tam kuru örnek ağırlığı (g) ve m_1 : Çürüklük sonrası tam kuru örnek ağırlığını (g) ifade etmektedir.



Şekil 27. Çürüklük testinin yapılması

2.2.4.4.2. Yumuşak Çürüklük Testi

Levhaların yumuşak çürüklük testi, ENV 807 (2001) standardına göre *Chaetomium globosum* Kunze (ATCC-6205) mantarı kullanılarak yürütülmüştür. ABD Tarım bakanlığı Northern Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen Ascomycetes (asklı mantarlar) sınıfına giren *C. globosum* mantarı polimer ve lignoselülozik malzemelerin çürüklük dirençlerinde, hücresel S2 tabakasındaki oyuklarda, eğilme dirençlerinin değişmesi ve ağırlık kayıplarında oldukça sık kullanılmaktadır. Yumuşak çürüklük; yüksek su ve azot içeriğine sahip odunda selüloz ve hemiselülozları bozunduran bir çürüklük tipi olup esmer çürüklüğe benzemektedir. Pencere çerçeveleri, ıslak zemin tahtaları ve çit direklerinde oldukça sık görülmektedir (Lundström, 2002).

Doğal bahçe toprağı (Natural Soil), çim kökü seviyesinden (5 cm) başlamak üzere 20 cm'e kadar olan bölgeden alınmıştır. Alınan toprak; ENV 807 standardına uygun özellikler aranarak AÇÜ Orman Fakültesi Toprak İlmi Laboratuvarında analizi yapılmıştır. Toprak pH'sı 1:2,5 oranında toprak-su süspansiyonunda dijital pH metre ile ölçülmüştür. Su tutma kapasitesi (WHC) ise, belli bir hacim ve kütledeki toprağın bir gün suda bekletilip tuttuğu nem miktarının aynı toprağın fırın kurusu (103 ± 2 °C'de 24 saat) ağırlığına oranı ile belirlenmiştir.

Toprak örnekleri çürüklük testi kapsamında sterilize edilmemiştir. Toprak yüksekliği 160 mm olacak şekilde 210 x 200 x 330 mm (yükseklik x genişlik x uzunluk) ölçülerinde plastik kaplar kullanılmıştır. Kreozot içeren grupları, kontrol grupları ve sarıçam masif grupları için 3 farklı kaba toprak örnekleri konulmuştur. Test ve masif sarıçam örnekleri 5 x 10 x 100 (kalınlık x genişlik x uzunluk) boyutlarına getirildikten sonra 103 ± 2 °C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş ve tam kuru ağırlıkları alınmıştır. Daha sonra beyaz ve esmer çürüklük testinde olduğu gibi test etkinliğini arttırmak için örnekler

48 saat boyunca suda bekletilip rutubetlendirilmesi sağlanmıştır. 1 lt saf su ile doldurulmuş beher ve test örnekleri 121°C'deki otoklavda 20 dk sterilize edilmiştir. Petri kaplarında kültüre edilmiş (60 adet petri) *C. globosum* mantarları, sterilize edilmiş saf su içinde bir karıştırıcı yardımı ile homojen şekilde karıştırılmıştır. Örneklerin 2/3'ü toprak içine girecek şekilde yerleştirdikten sonra hazırlanan mantar çözeltisini kaplara eşit şekilde yayarak enjekte edilmiştir (Abdelkader ve Hamed, 2013). Plastik kaplardaki örnekler 34 hafta boyunca 27±1 °C ve %70±5 bağıl nemde ayarlanmış iklimlendirme kabiniinde mantar saldırısına bırakılmışlardır (Şekil 28). Dönemsel olarak toprak rutubeti kontrol edilmiş olup rutubetin %50-80 arasında kalması için gerek görüldüğü takdirde sterilize edilmiş saf su ve mantar miselleri serpilmiştir (Mohebbi ve Militz, 2002). Test süresince örnek rutubeti çürüklük etkinliğini arttırmak için %40-60 arasında tutulmuştur. Örneklerde meydana gelen ağırlık kayıpları ise beyaz ve esmer çürüklük testinde olduğu gibi (10) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 28. ENV 807 standardına göre yumuşak çürüklük testinin yapılması

Yumuşak çürüklük örneklerine maruz bırakılmış ve aynı boyutlarda hazırlanan kontrol örnekleri, 2.2.4.6.3. başlığı altında verilen “Darbe Testi”ne göre KSÜ Orman Fakültesi laboratuvarında direnç değerleri araştırılmıştır. Burada uygulanan testte, örneklerle çentik açılmamıştır.

2.2.4.4.3. Çürüklük Testleri Sonrası Dayanıklılık Sınıflandırması

Çürüklük sonuçlarının değerlendirilmesinde EN 350-1 (1994) standardına göre dayanıklılık sınıflandırması yapılmış olup kreozot içeren örneklerdeki ağırlık kayıpları; masif Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kontrol gruplarındaki ağırlık kayıplarıyla

kıyaslanmıştır. Eşitlik (11)'de verilen x - değeri temelinde dayanıklılık sınıflandırması Tablo 17'ye göre yapılmıştır (Rapor, 2007).

$$x - \text{değeri} = \frac{AK_{\text{Test}}}{AK_{\text{Referans}}} \quad (11)$$

Burada; x -değeri: Dayanıklılık sınıfı oranı, AK_{Test} : Test grubundaki ortalama ağırlık kaybı (%) ve AK_{Referans} : Referans grubundaki ortalama ağırlık kaybını (%) ifade etmektedir.

Tablo 17. Çürüklük bakımından EN 350-1'e göre levhaların dayanıklılık sınıflandırması

Dayanıklılık Sınıfı	Tanım	x -değeri
1	Çok Dayanıklı	$x \leq 0,15$
2	Dayanıklı	$0,15 < x \leq 0,30$
3	Orta Dayanıklı	$0,30 < x \leq 0,60$
4	Az Dayanıklı	$0,60 < x \leq 0,90$
5	Dayaniksız	$0,90 < x$

2.2.4.5. Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Levha yoğunlukları ASTM D792 (2004) standardına göre (12) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$d = (m_h/m_s) \times d_s \quad (12)$$

Burada; d : Yoğunluk (g/cm^3), m_h : Örneğin havadaki ağırlığı (g) , m_s : Örneğin sudaki ağırlığı (g) ve d_s : Suyun yoğunluğunu ($0,09975 g/cm^3$) ifade etmektedir.

Laboratuar ortamında su alma ve kalınlık artışı değerleri ASTM D1037 (1999) standardına göre belirlenmiştir. Numuneler 5 x 30 x 30 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) boyutlarında hazırlanmıştır. Deney öncesi test ve kontrol örnekleri klima odasında 27 ± 2 °C'de ve $\%65 \pm 5$ bağıl nemde bir hafta süreyle kondisyonlanmıştır. Seçilen numuneler 24 saat süre ile 103 ± 2 °C kurutulduktan sonra tam kuru ağırlık değerleri ile başlangıç kalınlık değerleri belirlenmiştir. Daha sonra 500 ml'lik beherlerde 6'şar örnek konarak 300 ml saf su ilave edilmiştir. Örneklerin tamamı su içinde kalacak şekilde 25 °C'deki laboratuar

ortamında test başlatılmıştır (Şekil 29). Su alma ve kalınlık ölçümleri 2, 24, 48, 96, 168 saat, 2, 3, 4 hafta, 2, 3, 4, 5, 8 ay sürelerinde 0,0001 g hassasiyetindeki terazide ve Mitotoyu Dijital Komparatör saati (Model ID-H0560) cihazı yardımıyla 0,0001 mm duyarlılıkta alınmıştır. Kalınlık değerleri her numunede 5'er nokta üzerinden belirlenmiş olup su alma ve kalınlık artışı oranları aşağıdaki eşitliklere göre belirlenmiştir.

$$\%SA = (m_2 - m_1)/m_1 \times 100 \quad \text{ve} \quad \%KA = (K_2 - K_1)/K_1 \times 100 \quad (13)$$

Burada; SA: Su alma (%), m_1 : Örnek başlangıç ağırlığı (g) ve m_2 : Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g) ve KA: Kalınlık artışı (%), K_1 : Örnek başlangıç kalınlığı (mm) ve K_2 : Örneğin suda bekletildikten sonraki kalınlığını (mm) ifade etmektedir.



Şekil 29. Levhaların periyodik su alma testi ve kalınlık ölçümleri

2.2.4.6. Mekaniksel Özelliklerin Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında üretilen levhaların mekanik özellikler; eğilme, çekme ve vida tutma özellikleri AÇÜ Orman Fakültesi Orm. End. Müh. Bölümü laboratuvarlarında 50 kN yük kapasiteli Ünlversal Test Makinesi (Zwick/Roell) Z050 kullanılarak, darbe direnci özellikleri ise KSÜ Orman Fakültesi Orm. End. Müh. Bölümü laboratuvarlarında Ünlversal Test Makinesi (Zwick/Roell) HIT5.5P kullanılarak belirlenmiştir. Standartlara göre boyutlandırılan örnekler, sıcaklığı 20 ± 2 °C ve bağıl nemi $\%65 \pm 5$ olduğu iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşincaya kadar kondisyonlanmış olup test öncesi numune boyutları 0,0001 duyarlılıkta ölçülerek testler yapılmıştır.

2.2.4.6.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Eğilme özellikleri (eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü) ASTM D790 (2010) standardına göre Üniversal Test Makinesi Zwick/Roell Z050 (Şekil 30) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her grup için 5 x 13 x 150 mm (kalınlık, genişlik, uzunluk) boyutlarında 10 örnek kullanılmıştır. Test hızı 2 mm/dak olarak ayarlanmış olup kırılma anındaki kuvvet (P_{max}) okunarak eğilme direnci (ED) aşağıdaki eşitliğe (14) göre hesaplanmıştır.

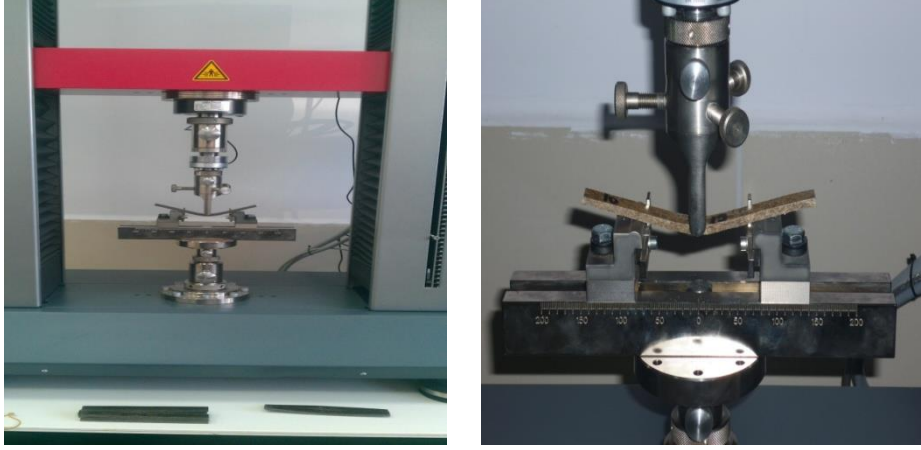
$$ED = \frac{3.P_{max}.L}{2.b.h^2} \quad (14)$$

Burada; ED: Eğilme direnci (MPa), P_{max} : Kırılma anında uygulanan maksimum yük (N), L: Mesnetler arasındaki uzaklık (mm), b: Örnek genişliği (mm) ve h: Örnek kalınlığını (mm) ifade etmektedir.

Eğilmede elastikiyet modülü (EM), aşağıdaki eşitlikten (15) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$EM = \frac{\Delta F.L^3}{4.b.h^3.\Delta f} \quad (15)$$

Burada; EM: Eğilmede elastikiyet modülü (MPa), ΔF : Elastik deformasyon bölgesinde yüklemenin alt ve üst limitlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki farka eşit kuvvet (N), L: Mesnetler arasındaki uzaklık (mm), Δf : Net eğilme alanındaki sehim, yüklemenin alt ve üst limitlerinde ölçülen sehimlere ait sonuçların aritmetik ortalamaları arasındaki fark (mm), b: Örnek genişliği (mm), h: Örnek kalınlığını (mm) ifade etmektedir.



Şekil 30. Levhaların eğilme özelliklerinin belirlenmesi

2.2.4.6.2. Çekme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Çekme özellikleri (çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü) ASTM D638 (2010) standardına göre Üniversal Test Makinesi Zwick/Roell Z050 (Şekil 31) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her grup için 5 x 13 x 165 mm (kalınlık, genişlik, uzunluk) boyutlarında 10 örnek kullanılmıştır. Test hızı 5 mm/dk olarak ayarlanmış olup kopma anındaki maksimum kuvvet (P_{max}) okunarak çekme dirençleri (ζD) aşağıdaki eşitlikle (16) hesaplanmıştır.

$$\zeta D = \frac{P_{max}}{A} \quad (16)$$

Burada; ζD : Çekme direnci (N/mm^2), P_{max} : Maksimum yük (N) ve A: Örnek enine kesit alanını (mm^2) ifade etmektedir.

Çekmede elastikiyet modülü (ζM), aşağıdaki eşitlikten (17) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\zeta M = \frac{\zeta D}{\varepsilon} \quad (17)$$

Burada; ζM : Çekmede elastikiyet modülü (N/mm^2), ζD : Çekme direnci (N/mm^2), ve ε : Kopmada uzama miktarını (%) (birim uzama (mm) miktarının örnek boyuna (mm) oranlanması) ifade etmektedir.



Şekil 31. Levhaların çekme özelliklerinin belirlenmesi

2.2.4.6.3. Darbe Direnci

Her grup için 5 x 13 x 65 mm (kalınlık, genişlik, uzunluk) boyutlarında 10 örnek kullanılmıştır. Test öncesi örnekler üzerinde Polytest RayRan cihazı (Şekil 32) kullanılarak çentik açılmıştır. Daha sonra çentikli örnekler darbe direncini belirlemek amacıyla ASTM D256 (2010) standardına göre Üiversal Test Makinesi Zwick/Roell HIT5.5P Test Makinesi'nde (Şekil 32) test edilmiştir. Hazırlanan numuneler makineye yerleştirilerek deneye başlanmış olup numunenin kırılması için gerekli enerji (Q) belirlenmiştir. Dinamik eğilme direnci (DE) aşağıdaki eşitliğe (18) göre hesaplanmıştır.

$$DE = \frac{Q}{b} \quad (18)$$

Burada; DE: Dinamik eğilme direnci (J/m), Q: Deneş parçasının kırılması için gerekli enerji (j) ve b: Deneş parçasının radyal ve teğetsel yönlerdeki boyutları (m) ifade etmektedir.



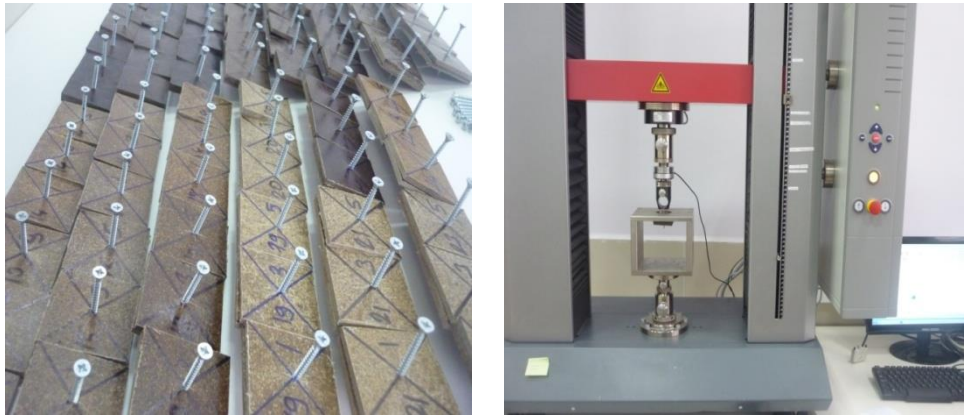
Şekil 32. Levhalara çentik açılması ve darbe direncinin belirlenmesi

2.2.4.6.4. Vida Tutma Direnci

Birçok kullanım yerinde OPK ürünlerin vida tutma direnç özellikleri oldukça önemlidir (Falk vd., 2001). Panel levhaların (yonga levha, lif levha vb.) vida tutma direnci üzerine birçok çalışma varken bu alanda OPK'ların vida tutma direnci üzerine çok sınırlı çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle yapılan bu çalışma, literatüre katkıda bulunacağı düşünülmektedir. ASTM D1037 (1999) standardına göre 10 x 50 x 50 mm (kalınlık, genişlik, uzunluk) boyutlarında hazırlanan numuneler kullanılmıştır. Daha sonra örneklerin kalınlıkları, Mitotoyu Dijital Komparatör saati (Model ID-H0560) cihazı yardımıyla 0,0001 mm duyarlılıkta ölçülerek ortalama değerler belirlenmiştir. Her grup için 6 örnek kullanılmış olup örneklerin orta noktalarından ucu 3 mm çapında olan bir matkapla delinmiştir. Örnekler 1 hafta kondisyonlandıktan sonra açılan deliklerden 4 x 10 mm (çap x uzunluk) boyutlarındaki AB10 numaralı vidalar ile vidalanmıştır. Vidalamadan hemen sonra Üniversal Test Makinesi Zwick/Roell Z050 cihazında, test hızı 2 mm/dk olacak şekilde test yapılmıştır (Şekil 33). Vida tutma dirençleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$W = \frac{P_{max}}{L} \quad (19)$$

Burada; W: Vida tutma direnci (N/mm), Pmax: Vidanın serbest kalması için gerekli maksimum yük (N) ve b : Vidanın örneğe geçme derinliğini (mm) ifade etmektedir.



Şekil 33. Levhaların vida tutma dirençlerinin belirlenmesi

2.2.4.7. Termal Özellikler

Termal analizler numune sıcaklığı, kontrollü bir şekilde değiştirilirken numunenin herhangi bir fiziksel özelliğinin (ağırlık, açığa çıkan/absorplanan ısı, boyut, iletkenlik, magnetik özellik vb.) sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü yöntemlerdir. Üretilen levhaların termal özelliklerin TGA ve DSC, AÇÜ Merkezi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı'nda yapılmıştır. LOİ (Limit Oksijen İndeksi) ve Alevin Yayılma Hızı ise KSÜ Orman Fakültesi Orm. End. Müh. Bölümü Laboratuvarında yapılmıştır. Ayrıca, OPK üretimindeki ana materyal olan; kreozot içeren tel direği odunu, kontrol tür Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu, YYPE ve PP polimerlerinin termal özellikleri de belirlenmeye çalışılmıştır.

2.2.4.7.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik Analiz (TGA), kontrollü ısıtma programına tabi tutulan bir numunenin ağırlığının sıcaklıkla değişiminin ölçüldüğü bir tekniktir. DTG ise, termogram sonuçlarının zamana veya sıcaklığa göre birinci türevlerinin alınması ile elde edilen eğrilere denmektedir. TGA analizi Perkin Elmer STA 6000 (ABD) cihazı ile yürütülmüştür (Şekil 34). Örnekler, 1 mm boyutuna öğütülerek porselen krozelere ortalama $20 \pm 0,5$ mg ağırlığında yerleştirilmişlerdir. Test parametreleri; gaz (Azot) akış hızı 20 mL/dk, fırın sıcaklığı ise 10 °C/dk oranında arttırılarak oda sıcaklığından 600 °C'ye kadar devam etmesi öngörülmüştür. Test kapsamında levhaların bozunma basamakları ve 545 °C'de kalan madde miktarı termogramlar aracılığıyla belirlenmiştir. Bütün grupların, % (5, 10, 20, 40, 50 (yarı ömür sıcaklığı), 60, 80 ve 90) ağırlık kayıplarındaki sıcaklıklar, Pyris 11.0 yazılımı ile analiz edilmiştir.



Şekil 34. TGA analizinin yapılması

2.2.4.7.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

Diferansiyel taramalı kalorimetre analizi enerji farklarının ölçüldüğü kalorimetrik bir yöntemdir. DSC yöntemi ile maddelerin camsı geçiş sıcaklığı, erime, kaynama, kristallenme ve termal bozunma yapıları incelenebilmektedir. 1 mm boyutundaki örnekler 0,0001 mm duyarlılıkta bir terazide ortalama $6 \pm 0,2$ mg olmak üzere tartılmışlardır. Alüminyum kaplara alınarak preslenip pellet haline getirilmişlerdir. Bir referans (içinde örnek olmayan) kap ve bir test olmak üzere örnekler Perkin Elmer DSC 8000 (ABD) cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 35). Gaz (Azot) akış hızı 20 mL/dk olarak belirlenmiştir. Test sıcaklığı ise oda sıcaklığından 10 °C/dk oranında 250 °C'ye kadar çıkartılarak DSC grafikleri elde edilmiştir.

Ayrıca, %50 odun tozu içeren gruplarda entalpi değerleri ve kristallenme dereceleri hesaplanmıştır. Kristallenme derecelerinin belirlenmesi için uygulanan adımlar Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Kristallenme derecelerinin belirlenmesinde uygulanan adımlar

Adım No	Açıklama
1	Sıcaklık, 10 °C/dk oranında artırılarak 25 °C'den 250 °C'ye ısıtma evresi
2	250 °C'de 1 dk bekleme evresi
3	Sıcaklık, 10 °C/dk oranında düşürülerek 250 °C'den 25 °C'ye kadar soğutma evresi
4	25 °C'de 1 dk bekleme evresi
5	Sıcaklık 10 °C/dk oranında artırılarak 25 °C'den 250 °C'ye ısıtma evresi

Kristallenme dereceleri aşağıdaki verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$\%X_c = \frac{\Delta H_m (J/g)}{(1-\alpha)\Delta H_0 (J/g)} \times 100 \quad (20)$$

Burada; X_c , Kristallenme derecesi (%), ΔH_m : Erime entalpisi (J/g), ΔH_0 : Erime entalpisi %100 kristalit form (ham polimerlerin erime entalpisi PP için: 209 (J/g), YYPE için: 293 (J/g) olarak belirlenmiştir) ve α : kompozit içindeki polimer oranını (tez kapsamında PP ve YYPE polimer oranları %30, %40 ve %50 olarak belirlenmiştir) ifade etmektedir.



Şekil 35. DSC analizinin yapılması

2.2.4.7.3. Limit Oksijen İndeksi (LOİ) ve Alevin Lineer Yayılma Hızı Testleri

Limit oksijen indeksi test metodu; malzemelerin alevlenebilirliği ve yanma karakteristiklerini belirlemede en iyi test metotlarından birisidir. LOİ değeri, bir materyalin havada yanmaya devam etmesi için ihtiyaç duyduğu % oksijen miktarını ifade etmektedir. Tez çalışması kapsamında üretilen levhaların LOİ değerleri, ASTM D2863 (2009) standardına göre Dynisco_{plastic} (ABD) marka test kabininde O₂ (oksijen)+N₂ (azot) gaz ortamında analiz edilmiştir (Şekil 36). Her grup için 3'er örnek 5 x 2,5 x 150 mm (kalınlık, genişlik, uzunluk) ölçülerinde boyutlandırılmış olup sıcaklığı 23±2 °C ve bağıl nemi %65±5 olan iklimlendirme odasında 2 hafta süre ile kondisyonlanmıştır. Deney numunesi içerisinden yukarı doğru oksijen ve azot karışımı geçen şeffaf bir baca içinde düşey olarak yerleştirilmiştir. Cihazda minimum ve maksimum gaz akışı (ml) belirlenerek gaz karışımı test süresince 100 ml'de sabit tutulmuştur. Numune üst ucu tutuşturularak yanma davranışı, yanmanın devam etme süresi ve önceden belirlenmiş sınır değerlere göre mukayese edilmiştir. Akış ölçer tablosundan normal hız (norm. velocity: 4,0 cm/sn) sütununa bakılarak ve aşağıdaki denklem (21) kullanılarak LOİ değerleri hesaplanmaktadır (Devi vd., 2012).

$$\%LOİ = O_2 / (O_2 + N_2) \times 100 \quad (21)$$

Burada; LOİ, Limit Oksijen İndeksi (%), O₂: Oksijen oranı (ml) ve N₂: Azot oranını (ml) ifade etmektedir.

Alevin Lineer Yayılma Hızı (flame velocity); ATLAS HVUL2 (ABD) cihazında ASTM D635 (2014) standardına göre dikey ve yatay yakma kabininde gerçekleştirilmiştir

(Şekil 36). Her grup için 5'er örnek, 5 x 13 x 125 mm (kalınlık, genişlik, uzunluk) ölçülerinde boyutlandırılmış olup sıcaklığı 23 ± 2 °C ve bağıl nemi $\%65\pm 5$ olan iklimlendirme odasında 2 hafta süre ile kondisyonlanmıştır. Örneklerin her iki ucu, 25 mm'lik mesafede çizgilerle işaretlenerek test kabine yatay olarak yerleştirilmiş olup örneklerin dış ortamdan etkilenmemesi için kapalı ortamda test başlatılmıştır. Yanma ucu 45° ve alev yüksekliği 2 cm olarak ayarlanan ateşleyici yardımı ile numuneler tutuşturulmuştur. Standarda göre üç farklı süre ölçer (kronometre) yardımıyla I. (tutuşma), II. (2,5 cm'lik yanma) ve III. (10 cm'lik yanma) mesafelerde yanma süreleri kaydedilmiştir. III. süre ile II. süre arasındaki fark bize 7,5 cm'deki yanma süresini vermekte olup bu mesafe, elde edilen süreye oranlandığında alevin yayılma hızı (mm/dk) bulunmuştur.



Şekil 36. Levhaların Limit Oksijen İndeksi (LOİ) ve Alevin Yayılma Hızı Testleri

2.2.4.8. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Yardımıyla OPK Ürünlerin Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

ÜSKİM Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda (KSÜ), taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri ZEISS (Model EVO/LS10) marka cihaz yardımıyla levhaların morfolojik özellikleri belirlenmiştir. Yüzey özelliklerinin daha belirgin olması için test örnekleri sıvı azot içerisine batırılmış olup, daha sonra analiz için uygun boyutlara getirilmiştir. Numune yüzeylerinde iletkenliği arttırmak için ve yansımaları azaltmak için Cressington Sputter Coater 108auto cihazı yardımıyla 10 mA ve 2 dk süreyle altın kaplama ile kaplanmıştır (Şekil 37). SEM analizi sonrasında elde edilen görüntüler yardımıyla gruplar arasındaki farklılıklar incelenmiştir.



Şekil 37. Levhalara sıvı azot muamelesi sonrası altın kaplama uygulaması ve SEM analizi

2.2.4.9. İstatistiksel Yöntemler

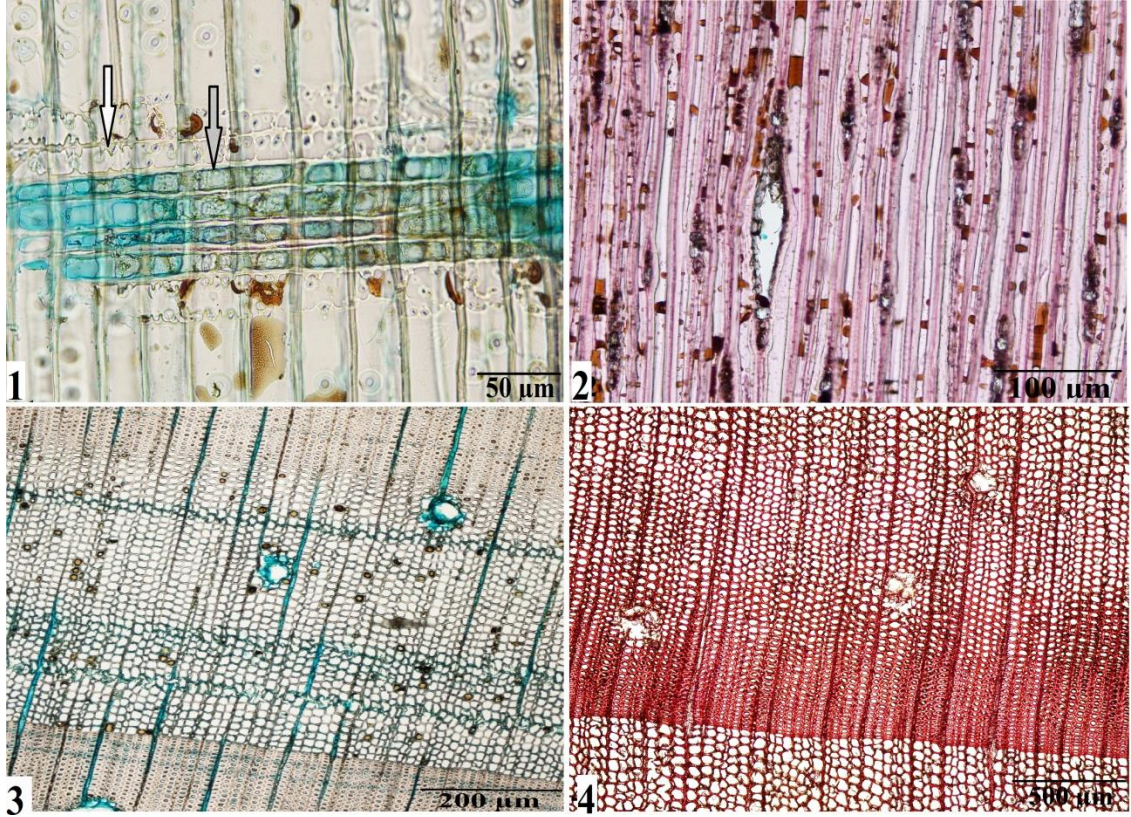
Elde edilen veriler SPSS (15.0) paket programı kullanılarak ve %95 güven düzeyi esas alınarak analiz edilmiştir. Uygulanan testler sonrası, test örnekleri ile bunlara ait kontrol örneklerinin arasında levha içeriğini oluşturan materyal, polimer, uyumlaştırıcı tipleri ve odun oranları bakımından istatistiksel anlamda bir farklılık olup olmadığı varyans analizi ile belirlenmiştir. Anlamlı değişkenlerin ve bunların karşılıklı etkileşimlerinin incelenen değişkeni ne ölçüde etkilediği ise çoğul varyans analizi (ÇVA) ile araştırılmıştır. Etkilenmenin anlamlı çıkması halinde veriler Duncan testi ile karşılaştırılmıştır. Duncan testi için en az üç grup olması gerektiğinden homojen grupları materyal, uyumlaştırıcı tipleri ve odun oranları için belirlenirken polimer tipi için belirlenmemiştir. Dış ortam testlerinde rutubet değişimi, renk değişimi, pürüzlülük değişimi vb. parametreler için ve fiziksel özellikleri belirlemede su alma /kalınlık artışı gibi uzun süreli testler için ÇVA'nın tekrarlı ölçümler (repeated measure) testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Tür Teşhisi ve Ana Materyal Görüntüleri

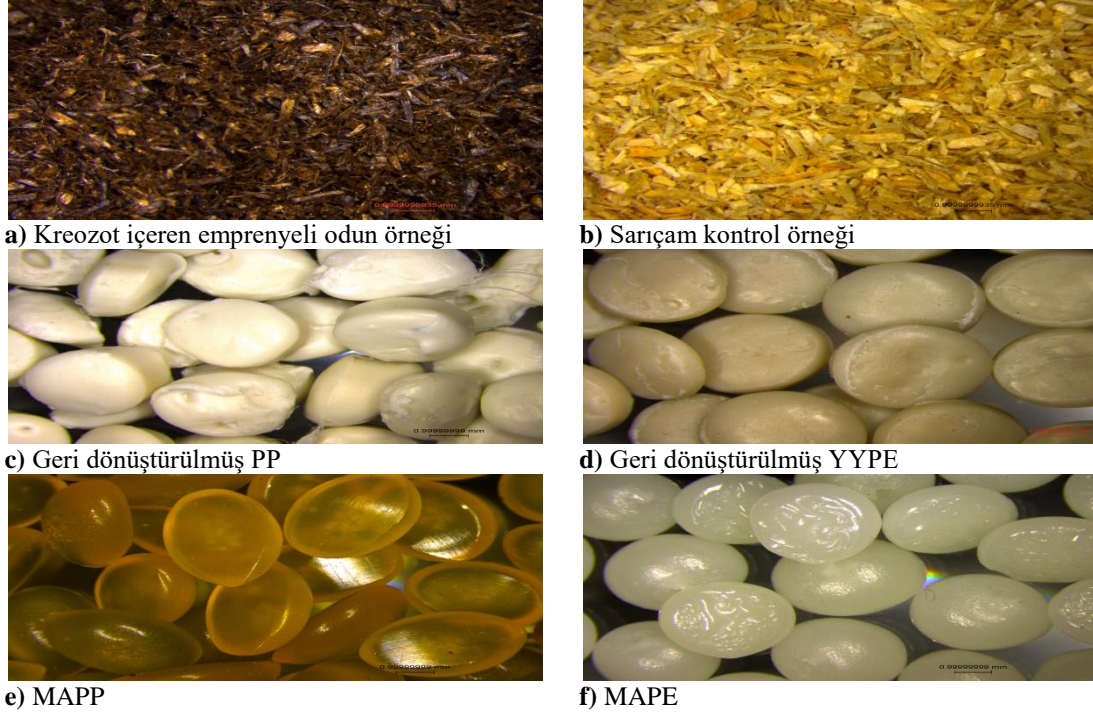
Bu çalışma kapsamında Artvin ili sınırlarında yapılan barajlar dolayısıyla yerinden sökülen ve DSİ 26. Bölge Müdürlüğü ve Çoruh Elektrik Dağıtım A.Ş. tarafından belirlenen alanlarda depolanan tel direkleri kullanılmıştır. Hizmet süresi (26 yıl) sona ermiş kreozot içeren emprenyeli direklerin tür teşhisi yapılmış olup ağaç türü olarak *Pinaceae* familyasından *Pinus sylvestris* L. (Sarıçam) olduğu tespit edilmiştir.

Kreozot içeren tel direğinin ve kontrol örneğinin ışık mikroskobu altındaki görüntüleri Şekil 38’de verilmiştir. 1-3 numaralı resimler; kreozot içeren odun hücrelerinin sırasıyla radyal, teğet ve enine kesit görüntüleri, 4 numaralı resim ise kontrol örneğinin enine kesit görüntüsüdür.



Şekil 38. *Pinus Sylvestris* L.: (1) Radyal kesitte heterojen öz ışını, çeperleri dış şeklinde kalınlaşmış enine traheitler (beyaz ok), karşılaşma yerlerinde pencere şeklinde geçitler (gri ok), (2) Teğet kesitte heterojen öz ışınları, (3 ve 4) Yaz odununda normal boyuna reçine kanalları (ince çeperli ve epitel hücreler parçalanmış)

Ayrıca tez çalışması kapsamında kullanılan materyaller stereo-mikroskop altındaki görüntüleri Şekil 39’da verilmiştir.



Şekil 39. Kullanılan materyallerin 1 mm ölçekteki görüntüleri

3.2. Kreozot İçeren Odun Örneklerinin Yapı Aydınlatmasına Ait Bulgular

3.2.1. Kreozot İçeriğinin Belirlenmesi

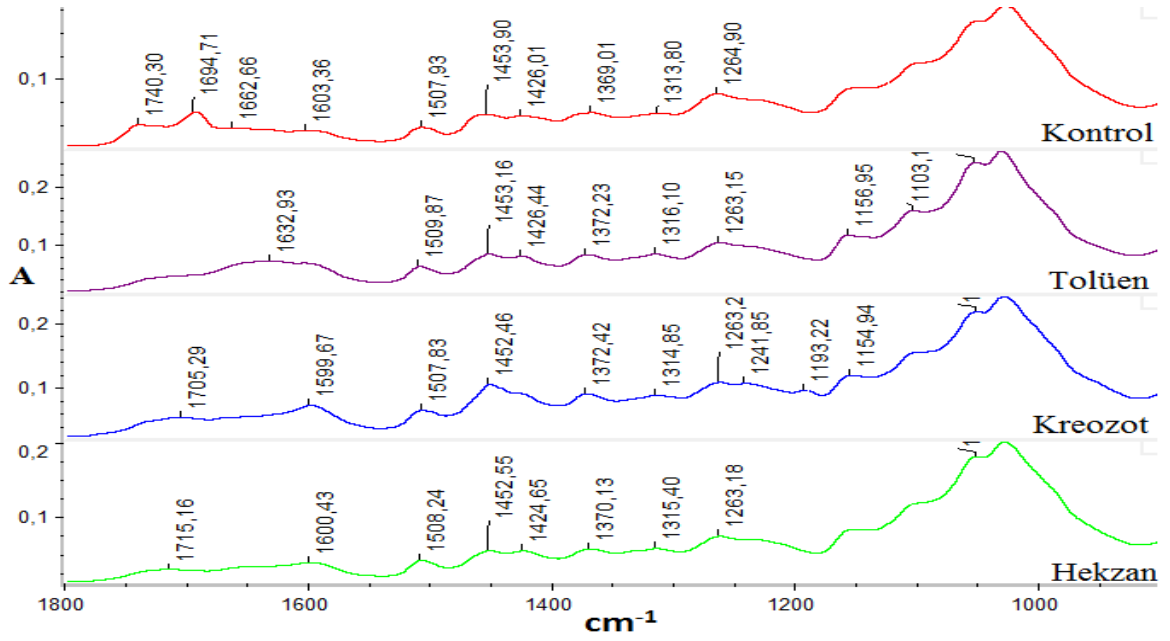
Tez kapsamında kullanılan odun örneklerinde kreozotun % oranları; üç tekrarlı olmak üzere AWWA A6 (2006) standardına göre belirlenmiştir. Çözücü tipine göre kreozot oranı ve ekstraksiyon verimi Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. % Kreozot oranları ve ekstraksiyon verimi

Çözücü Tipi	% Kreozot			% Ekst. Verimi
	Min.	Mak.	Ortalama	
Toluen	34,76	41,88	39,11 (3,82)	69,93 (0,81)
Hekzan	29,65	31,02	30,49 (0,73)	61,35 (0,64)
Alkol-Benzen	51,85	52,95	52,31 (0,57)	77,16 (0,55)

*Parantez içerisinde standart sapma değerleri verilmiştir

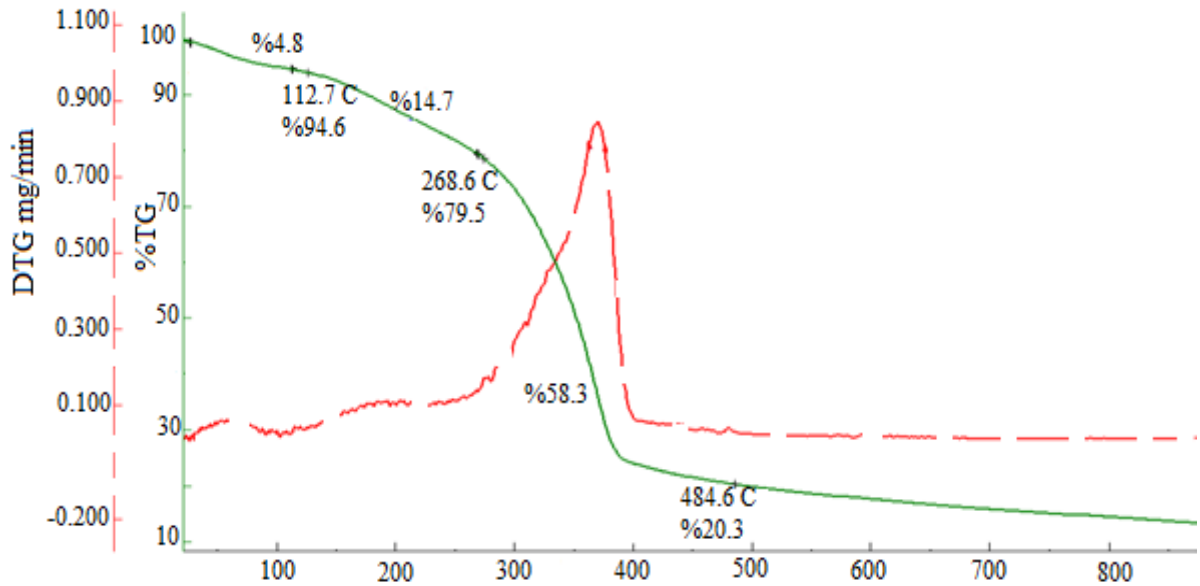
Ekstraksiyon işlemi sonrası FTIR spektrumları Şekil 40’da verilmiştir.



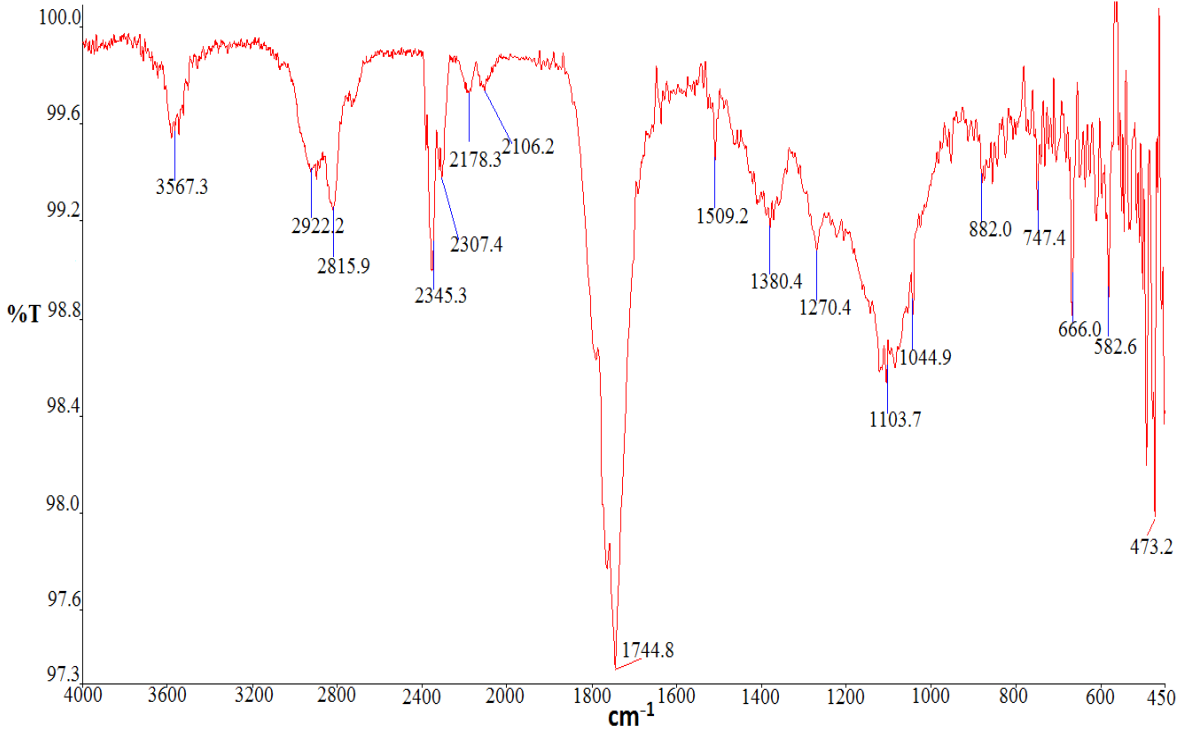
Şekil 40. Ekstraksiyon işlemi sonrası FTIR spektrumları

3.2.2. TGA-FTIR Seri Analizi

Kreozot içeren odun örneklerinin TGA-FTIR seri analizi yapılarak 20-900 °C sıcaklık aralığında çıkan gaz ürünler; Şekil 41’de termogram eğrileri (%TG-DTG) ve Şekil 42’de FTIR (transmitans) grafiği ile tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 41. Kreozotun TGA-FTIR seri analizindeki termogramı



Şekil 42. Kreozotun TGA-FTIR seri analizinde çıkan gaz ürünlere ait spektrum

3.2.3. Genel GC/MS Analizi

Kreozot içeren empenyeli odun örneklerinin genel GC/MS analizi sonucu belirlenen yaklaşık 250 bileşik % alan olarak Ek-Tablolar dizininde Ek Tablo 1’de verilmiştir. %91’lik düzeyde yapısı aydınlatılan numunenin %41’lik bir bölümü PAH bileşiklerinden oluştuğu tespit edilmiştir.

3.2.4. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH-18) Belirlenmesi

Çözücü ekstraksiyon ile yapılan remidasyon işlemi sonrası odun örneklerinde ve remidasyona uğratılmamış/uğratılmış örnekler ile üretilen OPK gruplarında PAH-18 oranları Tablo 20’de verilmiştir. PAH-18 bileşenlerinin % azalış oranları ise Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 20. Odun örneklerinde ve remidasyona uğratılmamış/uğratılmış levhalarda PAH-18 oranları (µg/kg)

Materyal	Hekzan ve Tolüen ile Remidasyon Sonrası PAH		Remidasyona Uğratılmamış (Ham Kreozot) Odun Unu İçeren Levhalarda PAH				Remidasyona Uğratılmış Odun Unu İçeren Levhalarda PAH				
			Başlangıç Miktarı	Çözücü		YYPE		YYPE		PP	
				Hekzan	Toluen	K50PE%0	K50PE%3	K50PP%0	K50PP%3	E50PE%0	E50PE%3
Naftalen	6,09	2,78	1,66	1,92	2,17	1,75	2,05	1,91	1,74	1,53	1,81
Asenaftalen	2,01	1,27	0,82	1,40	1,27	1,18	1,11	0,92	0,77	0,77	0,80
Asenaften	57,60	11,74	2,60	3,10	2,74	2,07	2,01	1,21	1,95	2,28	2,02
Fluoren	66,19	15,61	4,04	8,07	6,19	3,29	3,30	2,10	2,57	2,83	3,30
Fenantrèn	65,81	26,23	8,55	16,44	12,73	8,11	10,12	4,46	3,62	4,52	10,19
Antrasen	5,73	2,31	1,14	1,72	1,25	0,98	1,10	0,72	0,62	0,57	1,17
Fluoranten	84,76	32,99	12,55	25,25	19,54	19,59	22,98	7,37	7,28	8,32	18,64
Piren	49,50	19,73	7,42	15,28	11,87	12,11	13,77	4,62	4,75	5,38	11,59
Benzo(a)antrasen	7,30	2,95	1,19	3,20	2,43	2,82	2,73	0,98	1,04	1,06	1,92
Krisen	9,35	4,18	1,83	3,47	2,78	3,29	3,34	1,31	1,42	1,47	2,53
Benzo(b)fluoranten	1,42	0,66	0,28	0,82	0,57	0,66	0,65	0,28	0,29	0,28	0,46
Benz(k)fluoranten	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Benzo(e)piren	0,98	0,14	0,32	0,71	0,56	0,68	0,68	0,31	0,31	0,31	0,44
Benzo(α)piren	0,72	0,27	0,53	0,79	0,68	0,71	0,65	0,41	0,40	0,52	0,44
Dibenzo(ah)antrasen	0,10	0,07	0,03	0,15	0,09	0,09	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04
İndeno(1,2,3-cd)piren	0,24	0,14	0,05	0,21	0,14	0,18	0,15	0,06	0,05	0,06	0,10
Benzo(g,h,i)perilen	0,34	0,18	0,07	0,22	0,18	0,20	0,17	0,08	0,05	0,06	0,14
Toplam	359,44	121,25	43,08	82,75	65,19	57,71	64,87	26,77	26,89	29,99	55,59

*OPK grup numaralarını temsil etmektedir.

Tablo 21. PAH-18 bileşenlerinin % azalış oranları

Materyal	Hekzan ve Tolüen ile Remidasyon Sonrası % Azalış		Remidasyona Uğratılmamış Odun Unu İçeren Levhalarda % Azalış				Remidasyona Uğratılmış Odun Unu İçeren Levhalarda % Azalış			
			YYPE		PP		YYPE		PP	
	Hekzan	Tolüen	3*	6	9	12	E1	E2	E3	E4
Naftalen	54	73	68	64	71	66	69	71	75	70
Asenaftalen	37	59	30	37	41	45	54	62	62	60
Asenaften	80	95	95	95	96	97	98	97	96	96
Fluoren	76	94	88	91	95	95	97	96	96	95
Fenantren	60	87	75	81	88	85	93	95	93	85
Antrasen	60	80	70	78	83	81	87	89	90	80
Fluoranten	61	85	70	77	77	73	91	91	90	78
Piren	60	85	69	76	76	72	91	90	89	77
Benzo(a)antrasen	60	84	56	67	61	63	87	86	85	74
Krisen	55	80	63	70	65	64	86	85	84	73
Benzo(b)fluoranten	54	80	43	60	53	54	81	80	80	67
Benz(k)fluoranten	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Benzo(e)piren	86	68	27	43	30	30	68	68	69	55
Benzo(a)piren	62	26	-9	6	2	11	44	44	29	40
Dibenzo(ah)antrasen	32	70	-41	15	17	41	69	67	76	62
İndeno (1,2,3-cd) piren	42	79	13	41	26	39	75	77	73	57
Benzo(g,h,i)perilen	47	79	34	48	41	48	76	86	82	59
% Azalış Toplam	66	88	77	82	84	82	93	93	92	85

* OPK grup numaralarını temsil etmektedir.

3.3. Levha Özelliklerinin Belirlenmesine Ait Bulgular

3.3.1. Benzetilmiş Dış Ortam Testine Ait Bulgular

3.3.1.1. Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı

Benzetilmiş dış ortam testi kapsamında levhaların % rutubet değişimine ve test sonrası % ağırlık kaybına ait ortalama (\bar{X}), standart sapma (S) değerleri Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22. Benzetilmiş dış ortam testi; % rutubet değişimi (R) ve % ağırlık kaybı (AK)

Grup		%R						AK	
		500 saat		1000 saat		1500 saat			
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	0,14	0,05	0,23	0,07	0,46	0,05	2,08	0,02
2	K40PE%0	0,15	0,01	0,26	0,01	0,67	0,11	2,88	0,10
3	K50PE%0	0,35	0,08	0,56	0,16	0,44	0,22	3,17	0,12
4	K30PE%3	0,02	0,06	0,05	0,06	0,11	0,06	1,52	0,19
5	K40PE%3	0,14	0,02	0,15	0,08	0,17	0,09	1,92	0,12
6	K50PE%3	0,09	0,06	0,24	0,06	0,35	0,02	2,35	0,35
7	K30PP%0	0,26	0,04	0,29	0,07	0,23	0,03	1,54	0,17
8	K40PP%0	0,62	0,04	0,70	0,07	0,80	0,21	1,55	0,17
9	K50PP%0	0,54	0,15	0,82	0,19	1,17	0,14	1,84	0,03
10	K30PP%3	0,26	0,02	-0,02	0,02	-0,27	0,12	1,48	0,21
11	K40PP%3	0,42	0,03	0,42	0,03	0,34	0,05	1,53	0,05
12	K50PP%3	0,42	0,14	0,61	0,16	0,89	0,11	1,66	0,07
13	S30PE%0	0,42	0,10	0,47	0,07	0,50	0,10	3,39	0,64
14	S40PE%0	0,97	0,28	1,13	0,33	1,27	0,40	3,89	0,05
15	S50PE%0	1,35	0,22	2,06	0,29	2,33	0,29	4,44	0,34
16	S30PE%3	0,44	0,05	0,40	0,08	0,39	0,08	2,36	0,46
17	S40PE%3	0,55	0,10	0,54	0,06	0,57	0,12	3,00	0,67
18	S50PE%3	1,01	0,24	1,17	0,21	1,34	0,23	3,75	0,17
19	S30PP%0	0,44	0,15	0,80	0,02	1,14	0,10	4,06	0,03
20	S40PP%0	0,48	0,14	0,73	0,22	1,21	0,22	5,16	0,34
21	S50PP%0	1,50	0,21	1,21	0,65	1,19	0,15	5,38	0,12
22	S30PP%3	0,27	0,01	0,63	0,17	0,82	0,18	2,67	0,22
23	S40PP%3	0,43	0,16	0,65	0,08	0,98	0,13	3,12	0,04
24	S50PP%3	1,02	0,25	0,99	0,30	1,08	0,44	4,79	0,39
E1	E50PE%0	1,22	0,07	1,95	0,08	1,92	0,09	4,93	0,18
E2	E50PE%3	1,43	0,22	1,68	0,31	1,82	0,35	3,95	0,08
E3	E50PP%0	1,57	0,06	2,30	0,09	2,14	0,09	4,57	0,08
E4	E50PP%3	0,75	0,04	0,92	0,08	0,94	0,10	2,89	1,39
Sarıçam								4,88	0,61

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) benzetilmiş dış ortam testi için belirlenen % rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan çoğul varyans analizi (ÇVA) sonuçları Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. OPK içeriğinin % rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi, ÇVA sonuçları

Benzetilmiş Dış Ortam	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Rutubet Değişimi (%)	Materyal Tipi (A)	22,449	2	11,225	150,855	,000
	Polimer Tipi (B)	,324	1	,324	4,349	,042
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	7,148	2	3,574	48,033	,000
	Odun Oranı (D)	11,697	2	5,848	78,598	,000
	A*B (İnteraksiyon)	1,817	2	,909	12,210	,000
	A*C	3,375	4	,844	11,338	,000
	A*D	1,721	2	,860	11,562	,000
	B*D	,318	2	,159	2,136	,128
	A*B*D	2,266	2	1,133	15,225	,000
	C*D	,579	4	,145	1,946	,115
	A*C*D	,658	4	,164	2,211	,079
	Hata	4,167	56	,074		
Ağırlık Kaybı (%)	Materyal Tipi (A)	69,717	2	34,859	254,550	,000
	Polimer Tipi (B)	17,111	1	17,111	124,953	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	22,092	2	11,046	80,663	,000
	Odun Oranı (D)	3,691	2	1,846	13,477	,000
	A*B (İnteraksiyon)	,704	2	,352	2,569	,086
	A*C	7,499	4	1,875	13,691	,000
	A*D	1,346	2	,673	4,914	,011
	B*D	1,767	2	,884	6,453	,003
	A*B*D	,042	2	,021	,155	,857
	C*D	3,916	4	,979	7,148	,000
	A*C*D	5,178	4	1,294	9,452	,000
	Hata	7,669	56	,137		
	Toplam	924,239	84			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu oranı ve materyal*uyumlaştırıcı, materyal*odun oranı etkileşimlerinin uygulanan benzetilmiş dış ortam testinde levhaların rutubet değişimine ve ağırlık kaybına etkisi %95 güven düzeyi ile önemli olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin % rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 24’te verilmiştir.

Tablo 24. % Rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Rutubet Değişimi	%Ağırlık Kaybı
Materyal	Kreozot	A*	A
	Kontrol	B	B
	Remidasyon	C	B
Uyumlaştırıcı	%0	B	B
	%3 MAPE	A	A
	%3 MAPP	A	B
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	A
	%50	C	B

A* ; farklı harfler, istatistiksel olarak grupların farklı olduğunu göstermektedir.

3.3.1.2. Pürüzlülük Değişimi

Benzetilmiş dış ortam testi kapsamında levhaların pürüzlülük (Ra ve Rz) değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 25 ve 26'da verilmiştir.

Tablo 25. Benzetilmiş dış ortam testi; Ra oranlarına ait veriler

Grup		Başlangıç		500 Saat		1000 Saat		1500 Saat	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,62	0,42	1,44	0,37	2,54	0,71	2,67	0,38
2	K40PE%0	1,35	0,49	1,79	0,45	2,61	0,83	3,51	0,59
3	K50PE%0	2,94	1,06	3,54	2,15	3,45	1,42	4,14	1,21
4	K30PE%3	1,02	0,22	1,14	0,48	1,39	0,41	2,08	0,34
5	K40PE%3	1,24	0,17	1,48	0,09	2,36	0,30	2,36	0,28
6	K50PE%3	1,26	0,36	1,69	0,53	2,25	0,43	2,82	0,75
7	K30PP%0	2,43	1,01	2,42	0,21	3,21	0,36	3,92	0,39
8	K40PP%0	1,07	0,15	2,02	0,29	3,48	0,45	3,94	0,43
9	K50PP%0	1,26	0,28	2,06	0,18	4,91	1,14	5,35	0,72
10	K30PP%3	1,09	0,12	1,94	0,17	2,24	0,05	2,84	0,23
11	K40PP%3	1,11	0,23	1,94	0,12	3,65	0,27	4,00	0,51
12	K50PP%3	1,42	0,21	2,04	0,43	2,93	0,51	4,36	1,05
13	S30PE%0	1,72	0,43	1,35	0,33	1,92	0,11	3,10	0,55
14	S40PE%0	2,17	0,42	2,63	0,67	2,60	0,26	4,96	0,62
15	S50PE%0	3,41	0,20	3,54	0,66	4,02	0,55	5,31	0,67
16	S30PE%3	1,99	0,29	1,71	0,33	2,80	0,41	3,34	0,43
17	S40PE%3	3,40	0,46	2,82	0,16	3,15	0,90	4,61	0,64
18	S50PE%3	3,65	1,59	3,13	1,26	3,85	0,83	5,02	1,57
19	S30PP%0	2,72	0,24	6,10	1,03	5,70	0,21	6,97	0,26
20	S40PP%0	1,54	0,29	3,36	0,97	5,80	0,90	7,08	0,53
21	S50PP%0	2,28	0,65	3,16	0,33	5,15	1,03	8,84	0,95
22	S30PP%3	1,63	0,33	3,51	0,86	5,42	0,89	5,35	0,33
23	S40PP%3	1,04	0,45	3,92	0,25	6,04	1,33	6,75	0,94
24	S50PP%3	1,18	0,26	3,27	0,41	6,50	1,51	7,31	0,15
E1	E50PE%0	3,13	1,13	3,13	1,32	4,20	0,71	4,39	1,43
E2	E50PE%3	1,65	0,18	2,36	0,82	2,72	0,34	3,90	1,13
E3	E50PP%0	1,69	0,52	3,57	0,64	3,77	0,28	6,64	0,80
E4	E50PP%3	1,20	0,05	2,63	0,45	3,64	0,35	4,81	0,30
Sarıçam		1,77	0,46	2,43	0,36	2,92	0,42	3,42	0,84

Tablo 26. Benzetlenmiş dış ortam testi; Rz oranlarına ait veriler

Grup		Başlangıç		500 Saat		1000 Saat		1500 Saat	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	11,37	3,28	22,80	9,54	26,03	9,06	26,03	5,74
2	K40PE%0	22,22	5,69	15,67	3,68	32,55	9,07	28,02	1,43
3	K50PE%0	33,63	6,52	36,52	15,56	33,27	6,10	45,25	8,90
4	K30PE%3	12,18	6,41	13,00	8,75	15,53	4,26	22,53	8,22
5	K40PE%3	16,30	6,74	21,98	7,60	24,13	3,97	27,48	7,28
6	K50PE%3	19,85	11,58	20,70	7,00	23,95	3,93	30,72	1,03
7	K30PP%0	14,90	4,43	15,73	4,08	28,20	5,86	29,55	9,41
8	K40PP%0	8,15	1,49	16,17	2,60	29,13	3,91	30,78	5,49
9	K50PP%0	12,43	1,79	20,58	3,71	46,77	5,87	44,50	9,92
10	K30PP%3	10,12	2,66	15,32	3,18	16,38	0,63	22,53	1,58
11	K40PP%3	11,75	6,30	17,63	2,46	29,05	3,96	29,72	7,38
12	K50PP%3	13,20	3,38	23,82	2,72	27,53	3,96	39,17	7,91
13	S30PE%0	24,22	2,85	20,45	5,07	23,68	1,93	42,93	10,23
14	S40PE%0	30,65	10,33	24,15	3,68	27,93	5,95	43,13	2,85
15	S50PE%0	34,52	4,33	31,53	4,71	32,45	0,95	46,85	5,61
16	S30PE%3	16,50	7,10	14,37	4,25	24,60	8,84	34,03	3,11
17	S40PE%3	25,00	16,78	14,32	3,02	25,28	9,88	35,18	6,52
18	S50PE%3	34,92	7,60	25,08	3,39	31,60	8,48	38,63	6,07
19	S30PP%0	29,78	1,49	41,73	1,59	49,50	3,10	53,45	0,28
20	S40PP%0	19,50	10,29	32,03	6,75	45,88	5,98	52,95	4,21
21	S50PP%0	18,52	5,44	31,57	3,90	49,97	7,62	56,47	2,58
22	S30PP%3	15,87	7,28	28,18	1,93	45,68	9,01	39,20	3,24
23	S40PP%3	14,12	7,52	39,47	8,29	34,76	5,18	46,48	5,99
24	S50PP%3	10,23	3,18	30,82	4,55	49,65	12,05	49,20	2,65
E1	E50PE%0	34,43	7,29	31,43	13,82	33,85	5,14	36,68	10,26
E2	E50PE%3	21,83	9,46	24,57	7,30	26,63	2,77	32,40	3,74
E3	E50PP%0	20,02	7,85	32,08	7,36	27,38	2,69	52,40	4,73
E4	E50PP%3	25,35	2,36	23,93	5,20	25,47	3,45	28,73	3,27
Sarıçam		16,00	3,63	22,25	2,88	23,61	2,35	31,03	7,98

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) benzetlenmiş dış ortam testi için belirlenen pürüzlülük (Ra ve Rz) oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 27. OPK içeriğinin pürüzlülük oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

Benzetilmiş Dış Ortam	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ra	Materyal Tipi (A)	154,748	2	77,374	67,794	,000
	Polimer Tipi (B)	38,530	1	38,530	33,759	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	21,404	2	10,702	9,377	,000
	Odun Oranı (D)	31,902	2	15,951	13,976	,000
	A*B (İnteraksiyon)	19,279	2	9,640	8,446	,001
	A*C	11,662	4	2,916	2,555	,049
	A*D	,448	2	,224	,196	,822
	B*D	20,835	2	10,417	9,128	,000
	A*B*D	4,220	2	2,110	1,849	,167
	C*D	13,414	4	3,354	2,938	,028
	A*C*D	1,445	4	,361	,316	,866
	Hata	63,913	56	1,141		
Rz	Materyal Tipi (A)	6317,638	2	3158,819	41,235	,000
	Polimer Tipi (B)	215,143	1	215,143	2,808	,099
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	2550,846	2	1275,423	16,649	,000
	Odun Oranı (D)	2679,023	2	1339,512	17,486	,000
	A*B (İnteraksiyon)	1145,281	2	572,640	7,475	,001
	A*C	142,675	4	35,669	,466	,761
	A*D	366,385	2	183,192	2,391	,101
	B*D	609,498	2	304,749	3,978	,024
	A*B*D	72,361	2	36,181	,472	,626
	C*D	429,929	4	107,482	1,403	,245
	A*C*D	378,186	4	94,547	1,234	,307
	Hata	4289,946	56	76,606		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri ve odun unu oranı uygulanan benzetilmiş dış ortam testinde levhaların pürüzlülük değişimine etkisi %95 güven düzeyi ile önemli, bu faktörlerin birlikte etkileşimlerinin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin pürüzlülük oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28. Pürüzlülük oranlarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	Ra	Rz
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	C	C
	Remidasyon	B	B
Uyumlaştırıcı	%0	B	C
	%3 MAPE	A	A
	%3 MAPP	B	B
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	A
	%50	C	B

3.3.1.3. Renk Değişimi

Benzetilmiş dış ortam testi kapsamında levhaların renk değişimi (ΔE^*) değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29. Benzetilmiş dış ortam testi; renk değişimine ait veriler

Grup		500 Saat		1000 Saat		1500 Saat	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	23,78	5,36	33,01	6,00	34,42	4,34
2	K40PE%0	23,81	4,78	37,83	1,32	35,44	1,92
3	K50PE%0	28,82	3,08	43,05	1,67	43,62	1,80
4	K30PE%3	29,25	3,09	31,80	9,63	31,66	8,46
5	K40PE%3	26,54	1,66	32,64	1,55	32,61	3,79
6	K50PE%3	24,13	3,70	33,56	3,33	32,25	2,14
7	K30PP%0	32,43	10,23	45,46	0,51	45,20	2,02
8	K40PP%0	26,15	3,89	47,16	2,86	49,31	2,67
9	K50PP%0	35,96	2,49	45,66	1,34	46,63	2,70
10	K30PP%3	13,57	11,84	38,19	3,31	43,56	1,78
11	K40PP%3	33,89	4,85	43,97	5,32	45,18	4,73
12	K50PP%3	30,40	8,64	42,90	4,53	44,34	6,01
13	S30PE%0	26,72	5,94	36,08	3,83	43,34	3,30
14	S40PE%0	41,65	1,41	48,94	4,65	45,89	3,80
15	S50PE%0	55,03	2,99	61,08	2,09	60,17	0,50
16	S30PE%3	23,37	1,84	27,82	0,24	30,41	2,81
17	S40PE%3	24,18	1,66	33,25	0,48	35,37	4,51
18	S50PE%3	17,51	9,42	31,68	3,09	36,43	4,45
19	S30PP%0	49,37	0,10	55,91	1,05	57,54	1,71
20	S40PP%0	50,58	1,58	59,11	2,40	58,10	2,68
21	S50PP%0	52,13	3,39	57,26	1,85	58,88	2,84
22	S30PP%3	41,71	2,42	44,44	2,28	47,23	1,69
23	S40PP%3	32,92	5,22	46,47	2,08	51,23	1,84
24	S50PP%3	40,20	1,07	53,12	2,09	51,46	2,64
E1	E50PE%0	46,28	9,41	58,38	0,70	57,90	0,08
E2	E50PE%3	31,79	10,75	43,38	0,44	45,43	2,37
E3	E50PP%0	53,60	4,50	55,69	6,56	56,65	5,37
E4	E50PP%3	34,29	14,71	48,14	1,87	48,28	4,36
Sarıçam		39,77	5,76	37,92	6,77	39,71	8,58

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) benzetilmiş dış ortam testi için belirlenen renk değişimine (ΔE^*) etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 30’da verilmiştir.

Tablo 30. OPK içeriğinin renk değişimine (ΔE^*) etkisi, ÇVA sonuçları

Benzetilmiş Dış Ortam	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Renk Değişimi (ΔE^*)	Materyal Tipi (A)	3454,342	2	1727,171	42,029	,000
	Polimer Tipi (B)	1730,488	1	1730,488	42,109	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	4748,828	2	2374,414	57,779	,000
	Odun Oranı (D)	965,431	2	482,715	11,746	,000
	A*B (İnteraksiyon)	8,371	2	4,186	,102	,903
	A*C	1821,957	4	455,489	11,084	,000
	A*D	77,173	2	38,587	,939	,397
	B*D	895,334	2	447,667	10,893	,000
	A*B*D	262,052	2	131,026	3,188	,049
	C*D	1236,413	4	309,103	7,522	,000
	A*C*D	368,417	4	92,104	2,241	,076
	Hata	2301,319	56	41,095		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun oranı ve materyal*uyumlaştırıcı, uyumlaştırıcı*odun oranı etkileşimleri uygulanan benzetilmiş dış ortam testinde levhaların renk değişimine etkisi %0,1 hata payı ile önemli, materyal*odun oranı etkileşimi ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu bulunmuştur. OPK içeriğinin renk değişimi (ΔE^*) oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 31'de verilmiştir.

Tablo 31. Renk değişimi (ΔE^*) oranlarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	Renk Değişimi
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	B
	Remidasyon	C
Uyumlaştırıcı	%0	C
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	B
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.1.4. Sertlik Değişimi

Benzetilmiş dış ortam testi kapsamında levhaların sertlik değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 32'de verilmiştir.

Tablo 32. Benzetlenmiş dış ortam testi; sertlik değişimi oranlarına ait veriler

Grup		Başlangıç		500 Saat		1000 Saat		1500 Saat	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	33,33	2,31	31,67	2,08	30,67	1,15	26,33	1,53
2	K40PE%0	29,67	0,58	26,33	1,15	25,67	1,53	23,33	2,08
3	K50PE%0	26,00	1,00	22,33	0,58	21,33	0,58	21,67	1,53
4	K30PE%3	39,00	1,00	36,67	1,15	34,33	1,53	33,00	2,00
5	K40PE%3	33,67	1,53	30,33	0,58	30,67	1,53	26,67	5,86
6	K50PE%3	35,00	2,65	30,67	3,06	28,67	1,53	27,00	2,65
7	K30PP%0	37,33	2,52	35,67	1,53	33,00	1,00	30,00	1,00
8	K40PP%0	33,33	1,53	30,00	3,00	28,67	2,08	27,00	1,00
9	K50PP%0	31,67	2,08	26,33	1,53	23,33	2,08	20,00	3,00
10	K30PP%3	35,67	1,15	30,00	2,00	29,33	2,08	24,33	1,53
11	K40PP%3	32,33	2,08	25,33	4,62	23,00	2,65	19,33	1,53
12	K50PP%3	31,67	0,58	23,67	0,58	21,33	0,58	19,33	2,31
13	S30PE%0	35,00	1,73	32,00	1,00	21,00	4,36	17,67	0,58
14	S40PE%0	29,67	3,51	18,67	3,21	14,33	0,58	14,00	1,00
15	S50PE%0	29,33	2,08	14,33	2,52	11,33	3,06	10,67	3,06
16	S30PE%3	28,67	2,31	24,67	2,52	14,67	4,16	16,00	2,65
17	S40PE%3	35,00	4,36	22,33	1,53	19,67	0,58	14,67	3,06
18	S50PE%3	28,33	0,58	20,00	2,65	17,67	2,08	14,67	3,21
19	S30PP%0	28,00	2,00	23,00	2,00	12,00	2,00	10,00	2,00
20	S40PP%0	26,00	2,65	16,00	1,00	10,00	2,65	8,00	1,00
21	S50PP%0	27,67	5,13	14,67	2,08	11,33	1,53	6,33	0,58
22	S30PP%3	27,67	5,13	23,33	2,08	12,00	1,00	8,00	1,00
23	S40PP%3	31,00	5,20	17,67	1,53	14,00	1,73	8,33	1,53
24	S50PP%3	31,00	1,73	20,00	2,00	13,00	1,00	7,33	1,53
E1	E50PE%0	31,00	3,00	22,33	1,53	21,67	3,06	19,00	1,00
E2	E50PE%3	32,00	1,73	26,67	0,58	21,00	2,00	19,33	2,31
E3	E50PP%0	35,00	3,00	20,00	1,00	13,67	0,58	12,67	1,15
E4	E50PP%3	37,67	1,53	24,33	1,53	15,00	2,65	14,00	0,00
Sarıçam		15,00	2,76	12,33	2,25	10,33	2,58	11,00	2,53

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) benzetlenmiş dış ortam testi için belirlenen sertlik oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 33'te verilmiştir.

Tablo 33. OPK içeriğinin sertlik oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

Benzetilmiş Dış Ortam	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Sertlik Değişimi	Materyal Tipi (A)	6529,036	2	3264,518	387,726	,000
	Polimer Tipi (B)	80,927	1	80,927	9,612	,003
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	209,137	2	104,569	12,420	,000
	Odun Oranı (D)	1081,568	2	540,784	64,229	,000
	A*B (İnteraksiyon)	595,569	2	297,785	35,368	,000
	A*C	540,347	4	135,087	16,044	,000
	A*D	192,440	2	96,220	11,428	,000
	B*D	52,125	2	26,062	3,095	,053
	A*B*D	90,125	2	45,063	5,352	,007
	C*D	263,403	4	65,851	7,821	,000
	A*C*D	192,347	4	48,087	5,711	,001
	Hata	471,500	56	8,420		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu oranı ve bu faktörlerin birlikte etkileşimlerinin uygulanan benzetilmiş dış ortam testinde levhaların sertlik değişimine etkisi %0,1 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin sertlik oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 34'te verilmiştir.

Tablo 34. Sertlik oranlarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	Sertlik Değişimi
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	C
	Remidasyon	B
Uyumlaştırıcı	%0	B
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	C
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.1.5. Parlaklık Değişimi

Benzetilmiş dış ortam testi kapsamında levhaların 60° açıda parlaklık değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 35'te verilmiştir.

Tablo 35. Benzetlenmiş dış ortam testi; 60° açıda parlaklık değişimi oranlarına ait veriler

Grup		Başlangıç		500 Saat		1000 Saat		1500 Saat	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	8,84	1,61	2,93	0,67	1,30	0,17	1,23	0,21
2	K40PE%0	10,12	1,03	3,53	1,50	1,47	0,38	1,27	0,15
3	K50PE%0	8,23	1,10	3,27	0,72	1,57	0,38	1,43	0,06
4	K30PE%3	9,37	2,59	3,87	1,00	2,00	0,30	2,87	1,47
5	K40PE%3	11,97	0,46	3,10	0,36	1,77	0,21	1,37	0,06
6	K50PE%3	9,37	2,14	3,33	1,21	1,93	0,68	1,73	1,21
7	K30PP%0	15,43	0,21	4,10	0,85	2,10	0,40	1,73	0,12
8	K40PP%0	12,63	0,84	3,47	0,95	1,80	0,20	1,23	0,21
9	K50PP%0	13,27	0,81	2,03	0,29	1,60	0,00	1,60	0,00
10	K30PP%3	15,05	2,66	5,10	1,25	2,17	0,15	1,63	0,12
11	K40PP%3	13,98	0,80	4,07	0,68	1,67	0,15	1,50	0,10
12	K50PP%3	14,04	0,45	2,03	0,25	1,57	0,06	1,63	0,06
13	S30PE%0	6,18	1,85	5,32	0,88	5,12	0,65	4,70	0,56
14	S40PE%0	9,57	1,76	6,87	2,28	6,33	1,99	5,53	1,88
15	S50PE%0	4,37	1,17	4,01	0,65	4,17	0,46	3,93	0,49
16	S30PE%3	9,85	1,77	8,37	2,46	6,83	1,55	6,00	0,98
17	S40PE%3	5,72	1,38	6,20	1,87	5,60	1,54	4,83	0,85
18	S50PE%3	9,13	0,67	6,43	1,76	4,90	0,61	3,97	0,32
19	S30PP%0	12,62	2,20	5,97	0,57	3,53	0,29	2,30	0,26
20	S40PP%0	11,72	1,84	4,50	0,26	2,50	0,10	1,97	0,06
21	S50PP%0	10,37	1,43	4,27	0,12	2,53	0,42	1,97	0,12
22	S30PP%3	12,77	0,12	4,83	0,74	2,83	0,12	2,07	0,06
23	S40PP%3	12,97	1,65	4,33	0,46	2,23	0,12	1,93	0,06
24	S50PP%3	13,57	1,04	4,93	0,40	2,67	0,32	1,97	0,12
E1	E50PE%0	7,12	1,33	2,67	0,40	1,77	0,06	1,60	0,20
E2	E50PE%3	10,83	0,06	4,97	0,42	3,27	0,12	2,50	0,20
E3	E50PP%0	15,77	1,99	3,00	0,17	1,93	0,06	1,80	0,00
E4	E50PP%3	14,63	1,07	3,57	0,21	1,87	0,06	1,70	0,00
Sarıçam		6,52	0,93	4,53	1,29	4,03	1,81	3,93	1,60

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) benzetlenmiş dış ortam testi için belirlenen parlaklık oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 36'da verilmiştir.

Tablo 36. OPK içeriğinin parlaklık oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

Benzetilmiş Dış Ortam	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
60° Açıda Parlaklık	Materyal Tipi (A)	84,643	2	42,321	21,246	,000
	Polimer Tipi (B)	33,752	1	33,752	16,944	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	40,745	2	20,373	10,227	,000
	Odun Oranı (D)	32,218	2	16,109	8,087	,001
	A*B (İnteraksiyon)	28,540	2	14,270	7,164	,002
	A*C	6,661	4	1,665	,836	,508
	A*D	,972	2	,486	,244	,784
	B*D	28,288	2	14,144	7,100	,002
	A*B*D	7,623	2	3,812	1,913	,157
	C*D	36,190	4	9,048	4,542	,003
	A*C*D	27,157	4	6,789	3,408	,015
	Hata	111,552	56	1,992		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu oranı ve uyumlaştırıcı*odun oranı, materyal*uyumlaştırıcı*odun oranı etkileşimlerinin uygulanan QUV testinde levhaların parlaklık değişimine etkisi %95 güven düzeyi ile önemli, materyal*uyumlaştırıcı, materyal*odun oranı etkileşimlerinin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin parlaklık oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 37’de verilmiştir.

Tablo 37. Parlaklık oranına ait homojenlik grupları

TİP	Ölçüt	60° Açıda Parlaklık
Materyal	Kreozot	B
	Kontrol	A
	Remidasyon	B
Uyumlaştırıcı	%0	B
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	A
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	A
	%50	B

3.3.1.6. Levhaların Yüzey Kimyası Analizine Ait Bulgular

Benzetilmiş dış ortam testi kapsamında 1500 saat sonraki levhalara ait yüzey kimyası verileri (FTIR indeks değişimi) Tablo 38’de verilmiştir. Başlangıç ve test sonrası FTIR spektrumları Ek Şekil 1-29’da verilmiştir.

Tablo 38. Benzetlenmiş dış ortam testi; yüzey kimyası değişimi*

No	Grup Kodu	CI		VI		PI		WI		LI		HI	
		TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS
1	K30PE%0	10,13	17,92	11,63	19,69	506,67	558,06	13,49	24,41	15,13	12,82	9,28	6,94
2	K40PE%0	9,78	21,32	11,38	23,30	527,27	453,33	12,57	29,13	15,52	16,84	9,78	9,56
3	K50PE%0	16,08	21,02	21,21	23,08	238,10	382,93	31,06	35,04	24,00	15,89	16,78	9,55
4	K30PE%3	15,75	17,28	18,97	18,31	330,77	561,76	21,55	23,94	23,26	12,50	14,96	7,33
5	K40PE%3	16,54	17,65	18,80	17,99	338,46	566,67	22,22	23,74	22,73	12,90	15,75	6,95
6	K50PE%3	11,48	20,11	14,14	22,66	372,97	395,45	18,85	34,38	16,67	14,17	10,53	9,20
7	K30PP%0	26,52	37,38	33,75	40,70	254,45	187,16	39,86	68,04	27,86	18,54	26,02	18,87
8	K40PP%0	25,39	35,73	31,49	36,63	304,13	219,55	33,76	57,46	26,77	16,33	25,26	16,21
9	K50PP%0	27,73	35,37	36,68	46,64	236,81	124,12	43,12	100,00	29,16	17,17	26,94	26,31
10	K30PP%3	33,57	34,24	39,70	39,86	250,23	166,79	40,45	73,24	34,62	15,29	31,81	19,23
11	K40PP%3	25,09	32,14	31,42	38,00	289,73	164,18	34,63	75,12	26,64	13,63	23,75	17,76
12	K50PP%3	24,07	48,80	30,88	56,86	276,13	125,81	36,43	94,36	24,65	27,57	22,64	28,09
13	S30PE%0	11,80	33,57	16,31	35,58	486,21	332,56	19,86	41,35	14,18	29,17	11,80	16,78
14	S40PE%0	7,56	34,15	9,16	36,78	796,77	351,43	11,45	40,23	8,91	27,71	6,87	16,26
15	S50PE%0	7,05	29,89	7,72	29,84	600,00	404,65	9,73	33,87	11,11	23,89	6,38	13,79
16	S30PE%3	12,18	26,37	14,79	26,77	340,00	466,67	16,20	30,71	17,65	21,19	12,18	12,64
17	S40PE%3	7,66	39,86	9,43	38,32	548,39	296,00	12,30	46,73	11,76	27,45	6,93	16,22
18	S50PE%3	11,19	40,53	13,43	43,31	364,00	269,32	17,91	48,35	16,48	35,99	11,19	21,03
19	S30PP%0	18,14	48,06	23,95	47,11	371,56	216,07	26,84	57,69	19,90	23,64	19,32	22,64
20	S40PP%0	15,55	21,59	22,14	47,14	400,51	188,84	24,97	64,31	17,15	25,99	15,78	27,38
21	S50PP%0	13,53	41,84	18,89	43,85	414,55	203,34	23,98	60,30	15,02	22,98	13,63	23,00
22	S30PP%3	18,97	36,94	24,63	36,47	386,26	236,17	26,25	54,12	20,34	15,89	18,97	15,32
23	S40PP%3	18,26	41,17	24,27	40,38	382,14	211,14	27,18	59,03	19,63	18,56	18,26	16,74
24	S50PP%3	26,21	40,56	33,72	43,28	268,56	169,17	38,02	73,41	27,02	19,01	25,62	18,33
E1	E50PE%0	7,64	27,92	12,68	29,82	517,65	261,02	16,59	50,88	13,07	16,07	6,94	12,34
E2	E50PE%3	18,55	32,86	21,77	36,20	244,44	235,14	29,03	54,74	26,14	19,86	18,55	14,40
E3	E50PP%0	19,94	40,27	24,76	45,69	276,37	146,12	33,33	84,82	21,39	18,33	21,10	20,93
E4	E50PP%3	20,14	39,75	22,58	44,31	376,98	147,67	24,14	82,73	22,00	18,63	20,04	23,66

*CI: Karbonil indeksini, VI: Vinil indeksini, PI: Polimer indeksini, WI: Odun indeksini, LI: Lignin indeksini, HI: Hidroksil indeksini, TÖ: Test öncesini ve TS: Test sonrası ifade etmektedir.

3.3.2. Dış Ortam Testlerine Ait Bulgular

3.3.2.1. Toprak Üstü Testine Ait Bulgular

3.3.2.1.1. Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı

Toprak üstü test kapsamında levhaların % rutubet değişimine ve test sonrası % ağırlık kaybına ait ortalama (\bar{X}), standart sapma (S) değerleri Tablo 39 ve 40'ta verilmiştir.

Tablo 39. Toprak üstü testi; % rutubet değişimi (R)

Grup		2. Ay		4. Ay		6. Ay		9. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	0,54	0,05	0,34	0,03	0,10	0,03	0,25	0,03
2	K40PE%0	0,78	0,05	0,51	0,06	0,29	0,06	0,34	0,04
3	K50PE%0	1,35	0,06	1,08	0,05	0,89	0,06	0,82	0,07
4	K30PE%3	0,47	0,08	0,25	0,02	0,05	0,02	0,18	0,01
5	K40PE%3	0,62	0,02	0,34	0,02	0,13	0,02	0,23	0,03
6	K50PE%3	0,95	0,03	0,69	0,03	0,52	0,03	0,58	0,03
7	K30PP%0	0,73	0,12	0,44	0,10	0,17	0,06	0,39	0,10
8	K40PP%0	1,33	0,19	1,04	0,19	0,92	0,18	0,94	0,12
9	K50PP%0	2,01	0,17	1,75	0,15	1,54	0,15	1,50	0,09
10	K30PP%3	0,56	0,02	0,26	0,01	0,05	0,01	0,23	0,01
11	K40PP%3	0,81	0,05	0,49	0,05	0,31	0,05	0,45	0,05
12	K50PP%3	1,02	0,15	0,76	0,13	0,55	0,13	0,81	0,13
13	S30PE%0	0,89	0,11	0,51	0,08	0,28	0,09	0,51	0,06
14	S40PE%0	1,35	0,41	1,04	0,42	0,84	0,42	0,89	0,31
15	S50PE%0	3,11	0,33	2,85	0,34	2,62	0,35	2,66	0,28
16	S30PE%3	0,60	0,05	0,28	0,02	0,17	0,08	0,95	0,25
17	S40PE%3	1,05	0,21	0,76	0,21	0,55	0,20	1,09	0,31
18	S50PE%3	1,47	0,23	1,17	0,24	0,97	0,24	1,14	0,23
19	S30PP%0	1,24	0,23	0,94	0,23	0,72	0,24	0,91	0,10
20	S40PP%0	1,53	0,54	1,27	0,56	1,05	0,58	1,00	0,34
21	S50PP%0	2,43	0,18	2,14	0,17	1,92	0,18	2,00	0,18
22	S30PP%3	0,82	0,15	0,50	0,15	0,28	0,16	0,48	0,11
23	S40PP%3	0,94	0,18	0,67	0,18	0,46	0,18	1,09	1,01
24	S50PP%3	1,38	0,32	1,07	0,33	0,92	0,33	1,03	0,27
E1	E50PE%0	2,14	0,14	1,84	0,14	1,65	0,14	1,69	0,13
E2	E50PE%3	1,80	0,20	1,53	0,20	1,37	0,20	1,51	0,22
E3	E50PP%0	2,12	0,42	1,84	0,42	1,63	0,41	1,67	0,23
E4	E50PP%3	1,06	0,17	0,82	0,17	0,61	0,17	0,81	0,21

Tablo 40. Toprak üstü testi; % rutubet değişimi (devamı) ve % ağırlık kaybı (AK) oranlarına ait veriler

Grup		%R						AK	
		12. Ay		15. Ay		18. Ay			
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	0,25	0,05	0,06	0,09	-0,18	0,27	1,21	0,11
2	K40PE%0	0,11	0,08	-0,22	0,08	-0,44	0,09	2,06	0,22
3	K50PE%0	1,01	0,11	0,73	0,31	0,37	0,05	1,87	0,17
4	K30PE%3	0,20	0,02	0,14	0,06	0,04	0,07	0,69	0,10
5	K40PE%3	0,19	0,06	0,04	0,13	-0,14	0,15	1,18	0,11
6	K50PE%3	0,82	0,09	0,79	0,10	0,56	0,09	1,27	0,13
7	K30PP%0	0,44	0,14	0,12	0,07	0,11	0,08	2,06	0,27
8	K40PP%0	1,17	0,09	0,73	0,58	0,57	0,50	2,13	0,11
9	K50PP%0	1,97	0,10	1,39	0,12	0,66	0,14	2,21	0,22
10	K30PP%3	0,17	0,02	0,14	0,03	0,14	0,03	1,53	0,10
11	K40PP%3	0,46	0,07	0,23	0,06	0,12	0,06	1,80	0,17
12	K50PP%3	1,09	0,16	0,87	0,12	0,42	0,13	2,60	1,92
13	S30PE%0	0,74	0,09	0,75	0,07	0,64	0,07	2,88	0,10
14	S40PE%0	1,22	0,39	1,14	0,26	0,96	0,21	3,05	0,12
15	S50PE%0	2,49	0,23	2,22	0,23	1,72	0,19	3,46	0,12
16	S30PE%3	0,42	0,05	0,40	0,07	0,32	0,06	2,91	0,07
17	S40PE%3	1,01	0,23	1,02	0,24	0,93	0,21	2,67	0,19
18	S50PE%3	1,70	0,31	1,59	0,26	1,43	0,22	3,14	0,16
19	S30PP%0	0,69	0,22	0,42	0,11	0,56	0,10	4,90	0,32
20	S40PP%0	1,25	0,39	0,85	0,34	0,07	0,22	4,96	0,34
21	S50PP%0	2,39	0,10	1,47	0,13	0,38	0,21	5,16	0,27
22	S30PP%3	0,44	0,14	0,37	0,17	0,31	0,16	4,84	0,15
23	S40PP%3	0,71	0,16	0,41	0,11	-0,12	0,10	4,48	0,12
24	S50PP%3	1,32	0,31	0,83	0,19	0,19	0,16	4,54	0,35
E1	E50PE%0	2,28	0,18	2,06	0,15	1,67	0,10	6,55	0,21
E2	E50PE%3	2,17	0,21	2,10	0,22	1,79	0,11	5,88	0,05
E3	E50PP%0	2,15	0,26	1,61	0,16	0,63	0,11	7,11	0,10
E4	E50PP%3	1,06	0,33	0,80	0,32	0,15	0,34	6,28	0,24
Sarıçam								5,98	1,33

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) toprak üstü testi için belirlenen % rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 41’de verilmiştir.

Tablo 41. OPK içeriğinin % rutubeti değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi, ÇVA sonuçları

Toprak Üstü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Rutubet Değişimi (%)	Materyal Tipi (A)	48,412	2	24,206	108,459	,000
	Polimer Tipi (B)	1,045	1	1,045	4,682	,033
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	36,863	2	18,432	82,586	,000
	Odun Oranı (D)	104,766	2	52,383	234,712	,000
	A*B (İnteraksiyon)	14,186	2	7,093	31,781	,000
	A*C	8,375	4	2,094	9,381	,000
	A*D	3,218	2	1,609	7,210	,001
	B*D	2,506	2	1,253	5,615	,005
	A*B*D	8,410	2	4,205	18,840	,000
	C*D	14,464	4	3,616	16,202	,000
	A*C*D	4,421	4	1,105	4,953	,001
Hata	24,996	112	,223			
Ağırlık Kaybı (%)	Materyal Tipi (A)	287,301	2	143,651	861,932	,000
	Polimer Tipi (B)	16,700	1	16,700	100,206	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	6,628	2	3,314	19,884	,000
	Odun Oranı (D)	3,222	2	1,611	9,667	,000
	A*B (İnteraksiyon)	8,339	2	4,169	25,017	,000
	A*C	1,877	4	,469	2,816	,029
	A*D	1,781	2	,890	5,343	,006
	B*D	,629	2	,315	1,888	,156
	A*B*D	,293	2	,146	,879	,418
	C*D	,588	4	,147	,882	,477
	A*C*D	1,450	4	,363	2,176	,076
	Hata	18,666	112	,167		
	Toplam	2020,987	140			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri ve odun unu oranı uygulanan toprak üstü testinde levhaların % rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi %95 güven düzeyi ile önemli olduğu belirlenmiştir. % Rutubet değişiminde bu faktörlerin birlikte etkileşimleri %5 hata payı ile önemli olduğu bulunmuştur. OPK içeriğinin % rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 42'de verilmiştir.

Tablo 42. % Rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Rutubet Değişimi	% Ağırlık Kaybı
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	B	B
	Remidasyon	C	C
Uyumlaştırıcı	%0	C	B
	%3 MAPE	B	A
	%3 MAPP	A	C
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	A
	%50	C	B

3.3.2.1.2. Pürüzlülük Değişimi

Toprak üstü testi kapsamında levhaların pürüzlülük (Ra ve Rz) değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 43 ve 44'te verilmiştir.

Tablo 43. Toprak üstü testi; Ra oranlarına ait veriler

Grup		Başlangıç		2. Ay		4. Ay		6. Ay		9. Ay		12. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,99	0,69	2,14	0,12	2,40	0,72	3,16	0,65	2,94	0,32	3,18	0,70
2	K40PE%0	2,47	0,71	2,70	0,93	3,29	0,87	3,48	1,07	3,96	1,34	4,22	1,01
3	K50PE%0	2,42	0,94	2,75	1,02	3,02	1,12	3,42	0,88	3,91	0,69	4,52	0,76
4	K30PE%3	0,80	0,20	0,84	0,11	1,02	0,13	1,65	0,55	2,52	0,35	2,49	0,48
5	K40PE%3	0,92	0,19	1,23	0,29	1,74	0,93	1,88	0,24	2,96	0,27	3,32	0,51
6	K50PE%3	1,00	0,16	1,32	0,34	1,91	0,85	2,50	0,48	3,38	0,34	3,84	0,44
7	K30PP%0	2,72	0,54	2,61	0,62	3,66	0,59	5,06	0,54	5,88	0,68	6,22	0,52
8	K40PP%0	1,03	0,19	1,21	0,26	1,79	0,31	2,99	0,36	6,43	0,76	6,90	0,51
9	K50PP%0	0,93	0,21	1,30	0,19	2,23	0,27	3,79	0,60	6,57	0,77	7,02	1,05
10	K30PP%3	1,18	0,24	1,35	0,12	2,43	0,23	4,24	0,60	4,92	0,28	5,75	0,51
11	K40PP%3	1,59	0,84	1,61	0,34	2,71	0,53	4,54	0,50	6,11	0,82	6,73	0,63
12	K50PP%3	1,11	0,18	1,08	0,22	1,94	0,18	3,29	0,61	6,21	1,17	6,78	0,44
13	S30PE%0	0,88	0,15	1,17	0,21	1,59	0,45	2,18	0,17	3,62	0,35	3,87	0,55
14	S40PE%0	2,03	1,37	2,20	1,27	2,41	0,88	2,86	1,22	4,11	1,28	4,64	1,66
15	S50PE%0	1,84	0,46	1,88	0,52	2,89	0,68	2,92	0,59	4,39	0,52	4,44	0,83
16	S30PE%3	1,27	0,26	1,19	0,04	1,43	0,22	1,80	0,47	2,32	0,54	2,69	0,67
17	S40PE%3	1,71	0,61	1,70	0,68	2,05	0,97	2,28	0,63	2,53	0,77	2,78	1,19
18	S50PE%3	2,24	0,69	2,58	0,74	3,00	0,52	3,04	0,44	3,67	0,48	4,30	0,49
19	S30PP%0	2,30	0,67	2,65	0,92	3,25	0,97	4,98	0,93	6,97	0,51	8,40	0,31
20	S40PP%0	1,35	0,13	1,36	0,13	2,19	0,44	4,65	0,47	7,05	0,55	8,48	0,96
21	S50PP%0	2,04	0,73	2,08	0,24	2,66	0,68	4,89	0,74	7,66	0,77	9,68	0,74
22	S30PP%3	2,10	0,93	2,38	1,34	2,63	1,11	4,30	1,54	6,19	1,66	7,59	1,79
23	S40PP%3	1,14	0,33	1,52	0,27	2,42	0,41	4,79	0,46	6,41	0,23	7,88	0,63
24	S50PP%3	1,62	0,41	1,39	0,32	2,69	0,16	4,73	0,69	7,87	1,43	8,13	0,59
E1	E50PE%0	2,63	0,88	2,61	0,74	2,91	0,58	3,41	0,44	4,34	1,01	5,34	0,87
E2	E50PE%3	2,57	0,61	2,41	0,64	3,01	0,59	3,02	0,20	4,25	0,80	4,58	0,24
E3	E50PP%0	1,78	0,52	2,21	0,44	2,80	0,28	4,66	0,74	6,06	0,64	7,34	0,70
E4	E50PP%3	1,57	0,41	1,63	0,18	2,47	0,45	4,35	0,83	6,24	0,57	6,83	0,54
Sarıçam		2,92	0,38	4,09	0,26	4,30	0,32	4,96	0,60	6,60	0,53	7,41	9,60

Tablo 44. Toprak üstü testi; Rz oranlarına ait veriler

Grup		Başlangıç		2. Ay		4. Ay		6. Ay		9. Ay		12. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	10,51	3,86	13,15	4,68	17,57	6,91	23,12	3,75	28,61	1,51	29,27	0,40
2	K40PE%0	28,01	10,23	28,98	12,34	32,24	8,10	32,92	4,79	33,47	6,02	33,68	5,58
3	K50PE%0	27,22	7,57	23,26	6,31	34,28	8,78	28,01	5,73	34,19	4,17	35,49	4,02
4	K30PE%3	11,95	3,63	10,85	1,36	12,91	3,56	19,22	10,37	20,26	3,37	19,64	3,01
5	K40PE%3	12,43	6,07	16,37	5,82	14,55	7,05	22,75	2,95	24,22	1,09	24,92	0,84
6	K50PE%3	24,21	9,53	26,03	3,20	25,93	11,52	29,90	4,19	28,50	4,65	29,25	4,86
7	K30PP%0	30,03	4,30	28,54	5,94	34,07	4,57	37,03	4,28	42,99	4,64	44,12	3,73
8	K40PP%0	17,79	9,56	17,50	5,14	26,67	5,60	39,00	7,63	45,91	7,88	51,79	6,85
9	K50PP%0	10,63	5,02	15,27	5,97	17,66	3,25	29,66	4,52	48,68	4,08	51,71	3,24
10	K30PP%3	12,01	4,98	12,56	2,23	23,84	3,88	35,81	5,57	37,09	2,17	37,89	2,61
11	K40PP%3	12,07	4,58	12,65	2,95	22,82	4,39	34,89	2,01	47,40	5,31	47,38	2,71
12	K50PP%3	11,43	1,85	9,97	2,67	19,91	4,03	32,73	5,45	48,91	5,77	48,55	2,83
13	S30PE%0	29,82	5,31	33,71	7,74	31,63	4,30	30,51	2,61	35,08	3,47	36,70	3,30
14	S40PE%0	21,68	15,43	39,97	9,96	30,45	8,07	28,32	9,00	37,03	10,06	39,40	8,21
15	S50PE%0	31,25	10,65	32,04	9,24	37,39	7,80	39,07	6,71	35,89	9,68	41,65	8,87
16	S30PE%3	6,69	1,61	14,82	5,62	11,77	2,95	16,11	1,20	19,77	2,22	19,91	1,98
17	S40PE%3	20,51	5,71	20,94	8,46	23,99	14,44	28,69	8,34	24,75	5,01	28,01	5,50
18	S50PE%3	13,67	4,28	21,30	4,40	22,99	11,33	30,01	9,07	30,17	5,81	30,39	5,44
19	S30PP%0	21,29	5,50	16,79	8,14	29,79	5,80	40,15	4,28	49,67	6,42	56,42	2,19
20	S40PP%0	13,47	3,76	13,29	2,23	21,05	3,42	41,19	4,50	51,11	3,65	59,68	8,62
21	S50PP%0	22,45	11,36	20,99	2,46	27,47	4,92	42,47	7,52	52,43	3,52	61,27	2,60
22	S30PP%3	28,81	9,42	29,82	13,85	30,29	8,70	45,12	5,30	49,15	4,10	49,63	4,09
23	S40PP%3	11,27	6,17	14,82	4,00	22,49	5,74	40,54	5,04	45,39	3,34	53,33	2,56
24	S50PP%3	21,25	11,80	23,86	13,71	21,95	7,97	36,88	10,00	52,73	7,70	52,59	7,70
E1	E50PE%0	29,79	8,72	30,08	8,19	34,13	5,83	31,85	3,95	39,47	4,94	40,19	3,01
E2	E50PE%3	29,22	9,65	26,93	7,67	30,66	6,41	30,93	2,83	31,66	2,86	31,81	2,71
E3	E50PP%0	20,00	7,97	18,39	3,11	23,68	4,77	38,71	8,21	43,21	2,32	50,51	6,44
E4	E50PP%3	23,07	7,66	22,99	5,95	28,55	5,53	40,27	7,56	43,59	3,69	48,55	2,77
Sarıçam		22,08	3,34	29,66	3,55	33,89	3,72	45,88	7,30	48,56	6,73	54,82	9,60

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) toprak üstü testi için belirlenen pürüzlülük (Ra ve Rz) oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 45'te verilmiştir.

Tablo 45. OPK içeriğinin pürüzlülük oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

Toprak Üstü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ra	Materyal Tipi (A)	33,180	2	16,590	9,853	,000
	Polimer Tipi (B)	120,775	1	120,775	71,730	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	55,174	2	27,587	16,384	,000
	Odun Oranı (D)	23,969	2	11,985	7,118	,001
	A*B (İnteraksiyon)	30,651	2	15,326	9,102	,000
	A*C	13,178	4	3,295	1,957	,106
	A*D	9,033	2	4,517	2,682	,073
	B*D	37,763	2	18,881	11,214	,000
	A*B*D	1,653	2	,827	,491	,613
	C*D	20,248	4	5,062	3,006	,021
	A*C*D	6,369	4	1,592	,946	,440
	Hata	188,580	112	1,684		
Rz	Materyal Tipi (A)	3234,277	2	1617,138	12,503	,000
	Polimer Tipi (B)	713,030	1	713,030	5,513	,021
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	7382,759	2	3691,380	28,541	,000
	Odun Oranı (D)	1631,673	2	815,836	6,308	,003
	A*B (İnteraksiyon)	336,308	2	168,154	1,300	,277
	A*C	1381,663	4	345,416	2,671	,036
	A*D	334,755	2	167,377	1,294	,278
	B*D	1532,081	2	766,040	5,923	,004
	A*B*D	1045,779	2	522,890	4,043	,020
	C*D	304,864	4	76,216	,589	,671
	A*C*D	2157,303	4	539,326	4,170	,003
	Hata	14485,845	112	129,338		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri ve odun oranı uygulanan toprak üstü testinde levhaların pürüzlülük değişimine etkisi %95 güven düzeyi ile önemli, bu faktörlerin birlikte etkileşimlerinin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin Ra ve Rz oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 46'da verilmiştir.

Tablo 46. Pürüzlülük oranlarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	Ra	Rz
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	B	B
	Remidasyon	B	B
Uyumlaştırıcı	%0	B	B
	%3 MAPE	A	A
	%3 MAPP	C	B
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	A	A
	%50	B	B

3.3.2.1.3. Renk Değişimi

Toprak üstü testi kapsamında levhaların renk değişimi (ΔE^*) değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 47’de verilmiştir.

Tablo 47. Toprak üstü testi; renk değişimine ait veriler

Grup		2. Ay		4. Ay		6. Ay		9. Ay		12. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	15,66	1,50	25,09	3,15	32,92	2,17	36,36	1,13	38,92	1,98
2	K40PE%0	14,03	3,19	30,27	3,77	41,23	3,67	42,98	3,24	45,42	3,21
3	K50PE%0	18,93	3,01	34,61	3,53	44,33	4,27	44,18	4,10	45,70	4,17
4	K30PE%3	7,86	3,50	18,10	3,95	25,27	2,24	27,52	4,99	30,86	3,52
5	K40PE%3	12,70	3,22	24,18	2,42	32,85	1,39	33,85	2,33	35,52	2,12
6	K50PE%3	14,66	4,30	30,73	2,89	38,63	2,57	38,33	1,46	39,70	1,69
7	K30PP%0	21,60	1,47	44,45	2,86	55,22	2,16	53,16	2,47	52,86	3,02
8	K40PP%0	30,34	2,02	49,87	2,17	57,18	1,80	53,03	1,86	51,12	1,45
9	K50PP%0	35,44	3,21	52,20	0,65	56,35	1,12	51,84	1,13	48,32	0,47
10	K30PP%3	12,93	6,76	26,61	4,26	34,08	3,08	30,83	3,43	30,92	3,96
11	K40PP%3	19,40	1,98	33,75	0,45	38,09	1,43	32,37	1,48	30,08	2,26
12	K50PP%3	20,30	4,02	34,00	2,48	37,06	1,09	32,76	0,82	29,69	0,80
13	S30PE%0	12,87	5,49	26,10	4,62	35,52	3,53	38,68	1,80	42,48	1,53
14	S40PE%0	14,85	2,18	29,52	2,67	39,78	2,58	43,89	2,28	46,30	2,34
15	S50PE%0	17,78	3,51	33,97	3,58	43,22	3,62	46,23	1,75	47,76	2,32
16	S30PE%3	9,24	2,51	18,59	1,80	27,95	2,19	33,76	2,81	37,72	2,51
17	S40PE%3	17,02	1,90	27,76	2,62	32,48	2,60	36,44	2,76	41,51	2,31
18	S50PE%3	20,96	2,82	35,78	2,60	43,00	2,55	44,53	1,73	45,34	2,23
19	S30PP%0	24,27	2,37	50,03	2,05	61,21	2,03	59,39	2,21	59,17	1,55
20	S40PP%0	33,53	3,78	54,74	1,52	61,29	1,52	57,24	2,44	54,89	2,85
21	S50PP%0	39,72	2,23	60,65	1,73	65,23	1,76	60,83	1,82	57,30	2,54
22	S30PP%3	16,29	1,47	38,41	3,02	46,55	2,69	43,05	3,47	40,87	2,89
23	S40PP%3	23,73	3,72	45,06	3,71	50,33	3,04	45,17	3,61	41,89	2,73
24	S50PP%3	24,62	3,10	44,69	3,22	46,56	3,07	42,62	3,16	38,95	3,31
E1	E50PE%0	21,20	4,12	38,47	3,81	47,42	3,28	47,14	1,85	47,04	1,65
E2	E50PE%3	22,77	2,04	35,68	3,85	41,64	2,87	40,90	0,77	40,54	0,96
E3	E50PP%0	36,46	1,95	56,93	2,70	62,52	2,14	56,44	2,17	51,88	1,89
E4	E50PP%3	34,35	1,84	47,99	1,84	52,03	1,96	46,13	3,87	41,85	2,13
	Sarıçam	16,75	1,74	18,62	1,20	24,02	1,62	34,50	1,88	40,20	1,25

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) toprak üstü testi için belirlenen renk değişimine (ΔE^*) etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 48’de verilmiştir.

Tablo 48. OPK içeriğinin renk değişimine (ΔE^*) etkisi, ÇVA sonuçları

Toprak Üstü	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Renk Değişimi (ΔE^*)	Materyal Tipi (A)	5083,624	2	2541,812	112,839	,000
	Polimer Tipi (B)	18651,348	1	18651,348	827,993	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	17347,023	2	8673,512	385,045	,000
	Odun Oranı (D)	4457,113	2	2228,557	98,933	,000
	A*B (İnteraksiyon)	562,769	2	281,384	12,492	,000
	A*C	1263,380	4	315,845	14,021	,000
	A*D	22,383	2	11,192	,497	,610
	B*D	95,289	2	47,644	2,115	,125
	A*B*D	56,768	2	28,384	1,260	,288
	C*D	375,409	4	93,852	4,166	,003
	A*C*D	134,979	4	33,745	1,498	,208
	Hata	2522,909	112	22,526		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun oranı ve materyal*uyumlaştırıcı, uyumlaştırıcı*odun oranı etkileşimleri uygulanan toprak üstü testinde levhaların renk değişimine etkisi %0,1 hata payı ile önemli, materyal*odun oranı etkileşimi ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu bulunmuştur. OPK içeriğinin renk değişimi (ΔE^*) oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 49'da verilmiştir.

Tablo 49. Renk değişimi (ΔE^*) oranlarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	Renk Değişimi
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	B
	Remidasyon	C
Uyumlaştırıcı	%0	C
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	B
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.2.1.4. Levhaların Yüzey Kimyası Analizine Ait Bulgular

Toprak üstü testi kapsamında levha ait yüzey kimyası verileri (FTIR indeks değişimi) Tablo 50'de verilmiştir. Başlangıç ve test sonrası FTIR spektrumları Ek Şekil 1-29'da verilmiştir.

Tablo 50. Toprak üstü testi; yüzey kimyası değişimi*

No	Grup Kodu	CI		VI		PI		WI		LI		HI	
		TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS	TÖ	TS
1	K30PE%0	10,13	17,19	11,63	30,21	506,67	196,92	13,49	66,67	15,13	12,50	9,28	11,72
2	K40PE%0	9,78	28,75	11,38	46,68	527,27	127,45	12,57	102,46	15,52	25,77	9,78	16,85
3	K50PE%0	16,08	20,14	21,21	26,39	238,10	230,95	31,06	58,33	24,00	15,13	16,78	8,76
4	K30PE%3	15,75	14,48	18,97	27,03	330,77	230,16	21,55	56,76	23,26	16,85	14,96	8,97
5	K40PE%3	16,54	13,43	18,80	25,63	338,46	218,18	22,22	61,25	22,73	15,04	15,75	9,72
6	K50PE%3	11,48	17,24	14,14	24,14	372,97	193,33	18,85	51,03	16,67	19,15	10,53	11,72
7	K30PP%0	26,52	47,48	33,75	63,58	254,45	121,22	39,86	98,72	27,86	35,39	26,02	31,83
8	K40PP%0	25,39	38,06	31,49	54,70	304,13	133,41	33,76	92,69	26,77	25,56	25,26	25,38
9	K50PP%0	27,73	48,26	36,68	77,61	236,81	77,93	43,12	148,96	29,16	38,52	26,94	42,29
10	K30PP%3	33,57	35,03	39,70	46,99	250,23	160,82	40,45	75,05	34,62	22,87	31,81	22,97
11	K40PP%3	25,09	44,84	31,42	58,97	289,73	85,60	34,63	115,70	26,64	35,94	23,75	39,24
12	K50PP%3	24,07	39,28	30,88	62,88	276,13	68,47	36,43	177,74	24,65	29,63	22,64	40,72
13	S30PE%0	11,80	25,93	16,31	36,63	486,21	131,34	19,86	49,63	14,18	25,00	11,80	13,33
14	S40PE%0	7,56	23,35	9,16	22,16	796,77	225,68	11,45	43,71	8,91	20,19	6,87	11,38
15	S50PE%0	7,05	19,39	7,72	26,21	600,00	251,28	9,73	53,10	11,11	17,24	6,38	9,69
16	S30PE%3	12,18	36,06	14,79	42,98	340,00	129,72	16,20	76,38	17,65	39,27	12,18	20,43
17	S40PE%3	7,66	20,73	9,43	33,05	548,39	102,04	12,30	83,90	11,76	18,00	6,93	10,37
18	S50PE%3	11,19	21,57	13,43	23,53	364,00	188,89	17,91	52,29	16,48	11,11	11,19	11,11
19	S30PP%0	18,14	35,83	23,95	35,83	371,56	131,79	26,84	72,37	19,90	16,73	19,32	17,45
20	S40PP%0	15,55	42,80	22,14	59,86	400,51	113,72	24,97	107,69	17,15	26,05	15,78	25,88
21	S50PP%0	13,53	43,01	18,89	64,85	414,55	95,22	23,98	130,49	15,02	27,70	13,63	32,18
22	S30PP%3	18,97	35,40	24,63	37,71	386,26	132,58	26,25	74,94	20,34	22,08	18,97	21,53
23	S40PP%3	18,26	53,28	24,27	54,67	382,14	97,10	27,18	102,58	19,63	25,12	18,26	25,71
24	S50PP%3	26,21	47,88	33,72	84,47	268,56	59,72	38,02	201,49	27,02	34,36	25,62	47,70
E1	E50PE%0	7,64	22,09	12,68	29,92	517,65	220,51	16,59	61,42	13,07	19,05	6,94	12,21
E2	E50PE%3	18,55	20,48	21,77	29,03	244,44	233,80	29,03	56,45	26,14	18,81	18,55	11,45
E3	E50PP%0	19,94	39,44	24,76	73,69	276,37	70,94	33,33	175,78	21,39	26,85	21,10	37,64
E4	E50PP%3	20,14	42,84	22,58	73,81	376,98	71,22	24,14	172,39	22,00	27,17	20,04	37,68

*CI: Karbonil indeksini, VI: Vinil indeksini, PI: Polimer indeksini, WI: Odun indeksini, LI: Lignin indeksini, HI: Hidroksil indeksini, TÖ: Test öncesini ve TS: Test sonrası ifade etmektedir.

3.3.2.2. Toprakla Temas Testine Ait Bulgular

3.3.2.2.1. Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı

Toprakla temas testi kapsamında levhaların % rutubet değişimine ve test sonrası % ağırlık kaybına ait ortalama (\bar{X}), standart sapma (S) değerleri Tablo 51 ve 52’de verilmiştir.

Tablo 51. Toprakla temas testi; % rutubet değişimi (R)

Grup		2. Ay		4. Ay		6. Ay		9. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	0,86	0,09	1,07	0,14	0,72	0,15	0,71	0,18
2	K40PE%0	1,45	0,07	1,74	0,10	1,13	0,05	0,87	0,12
3	K50PE%0	2,64	0,18	3,28	0,18	2,04	0,09	1,55	0,11
4	K30PE%3	0,44	0,06	0,64	0,06	0,71	0,14	0,75	0,12
5	K40PE%3	0,60	0,14	0,84	0,17	0,97	0,19	0,97	0,24
6	K50PE%3	1,52	0,25	2,30	0,35	2,46	0,17	2,30	0,11
7	K30PP%0	0,73	0,14	1,14	0,11	1,53	0,14	1,35	0,11
8	K40PP%0	1,69	1,01	2,28	0,83	2,41	0,39	1,91	0,20
9	K50PP%0	2,87	0,46	3,68	0,43	3,19	0,26	2,41	0,19
10	K30PP%3	0,53	0,16	0,73	0,23	1,15	0,20	1,06	0,18
11	K40PP%3	0,70	0,13	1,10	0,20	1,60	0,29	1,50	0,37
12	K50PP%3	1,89	0,25	2,83	0,37	3,03	0,08	2,77	0,19
13	S30PE%0	0,93	0,17	1,35	0,27	1,58	0,27	1,51	0,18
14	S40PE%0	2,36	0,42	3,37	0,30	2,81	0,47	2,49	0,18
15	S50PE%0	4,43	0,86	5,15	0,69	3,71	0,42	2,45	0,12
16	S30PE%3	0,60	0,15	1,00	0,18	1,27	0,14	1,41	0,08
17	S40PE%3	1,20	0,14	1,86	0,18	3,37	2,64	2,35	0,19
18	S50PE%3	2,88	0,49	4,01	0,62	3,45	0,32	3,22	0,26
19	S30PP%0	1,71	0,43	2,28	0,41	2,18	0,27	1,62	0,23
20	S40PP%0	2,00	0,25	3,12	0,28	2,73	0,17	2,34	0,30
21	S50PP%0	4,21	0,79	4,75	0,36	3,63	0,08	2,40	0,37
22	S30PP%3	0,72	0,09	1,13	0,12	1,43	0,07	1,35	0,19
23	S40PP%3	1,01	0,12	1,49	0,22	2,09	0,09	2,01	0,17
24	S50PP%3	2,39	0,54	3,40	0,65	2,49	2,46	3,08	0,19
E1	E50PE%0	3,80	3,33	5,30	0,90	3,57	0,83	2,37	0,72
E2	E50PE%3	3,84	0,64	4,89	0,35	4,10	0,14	3,34	0,17
E3	E50PP%0	3,63	1,28	4,40	1,27	3,60	0,68	2,54	0,09
E4	E50PP%3	1,87	0,61	2,81	0,65	3,33	0,23	2,71	0,12

Tablo 52. Toprakla temas testi; % rutubet değişimi (devamı) ve % ağırlık kaybı (AK) oranlarına ait veriler

Grup		12. Ay		15. Ay		18. Ay		AK	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	0,75	0,18	1,17	0,17	1,02	0,18	0,83	0,13
2	K40PE%0	0,93	0,12	1,30	0,12	1,17	0,12	1,46	0,15
3	K50PE%0	1,62	0,11	2,08	0,11	1,93	0,11	1,48	0,16
4	K30PE%3	0,76	0,12	0,91	0,12	0,75	0,12	0,28	0,06
5	K40PE%3	0,98	0,24	1,07	0,27	0,92	0,27	0,42	0,03
6	K50PE%3	2,36	0,11	2,38	0,11	2,24	0,11	0,40	0,23
7	K30PP%0	1,43	0,11	1,99	0,12	1,83	0,11	0,44	0,18
8	K40PP%0	1,99	0,20	2,54	0,25	2,38	0,23	0,78	0,25
9	K50PP%0	2,62	0,20	3,07	0,21	2,93	0,21	1,07	0,17
10	K30PP%3	1,23	0,19	1,43	0,20	1,27	0,19	0,15	0,10
11	K40PP%3	1,69	0,36	1,88	0,35	1,70	0,36	0,41	0,13
12	K50PP%3	2,83	0,19	2,92	0,19	2,76	0,19	0,69	0,19
13	S30PE%0	2,09	0,15	3,25	0,14	2,97	0,13	0,88	0,11
14	S40PE%0	2,91	0,18	3,98	0,18	3,62	0,18	2,82	0,20
15	S50PE%0	2,84	0,12	4,35	0,15	3,96	0,14	3,58	0,20
16	S30PE%3	1,64	0,08	2,27	0,09	1,84	0,09	0,67	0,08
17	S40PE%3	2,47	0,18	3,04	0,18	2,64	0,18	1,59	0,22
18	S50PE%3	3,29	0,26	3,86	0,23	3,56	0,25	3,30	0,25
19	S30PP%0	1,76	0,24	3,17	0,24	3,01	0,24	3,61	0,21
20	S40PP%0	2,49	0,29	3,87	0,26	3,67	0,26	3,54	0,31
21	S50PP%0	2,92	0,36	4,22	0,32	3,93	0,33	4,00	0,36
22	S30PP%3	1,44	0,19	2,10	0,17	1,87	0,18	3,26	0,18
23	S40PP%3	2,15	0,17	2,78	0,17	2,62	0,17	2,78	0,76
24	S50PP%3	3,10	0,19	3,75	0,16	3,39	0,16	3,65	0,19
E1	E50PE%0	2,57	0,72	2,87	0,72	2,78	0,72	1,66	0,70
E2	E50PE%3	3,36	0,17	3,39	0,17	3,29	0,17	0,79	0,16
E3	E50PP%0	2,67	0,09	2,98	0,09	2,88	0,09	1,01	0,35
E4	E50PP%3	3,06	0,12	3,14	0,11	3,04	0,12	0,38	0,18
Sarıçam								14,82	1,85

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) toprakla temas testi için belirlenen % rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 53'te verilmiştir.

Tablo 53. OPK içeriğinin % rutubeti değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi, ÇVA sonuçları

Toprakla Temas	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Rutubet Değişimi (%)	Materyal Tipi (A)	185,501	2	92,750	135,025	,000
	Polimer Tipi (B)	8,448	1	8,448	12,299	,001
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	41,303	2	20,652	30,064	,000
	Odun Oranı (D)	373,231	2	186,616	271,673	,000
	A*B (İnteraksiyon)	17,427	2	8,713	12,685	,000
	A*C	10,236	4	2,559	3,726	,007
	A*D	6,392	2	3,196	4,653	,011
	B*D	,086	2	,043	,063	,939
	A*B*D	3,825	2	1,912	2,784	,066
	C*D	4,125	4	1,031	1,501	,207
	A*C*D	,502	4	,125	,183	,947
Hata	76,934	112				
Ağırlık Kaybı (%)	Materyal Tipi (A)	151,903	2	75,952	1011,076	,000
	Polimer Tipi (B)	,731	1	,731	9,733	,002
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	12,814	2	6,407	85,292	,000
	Odun Oranı (D)	18,952	2	9,476	126,148	,000
	A*B (İnteraksiyon)	12,659	2	6,329	84,258	,000
	A*C	,613	4	,153	2,041	,093
	A*D	6,242	2	3,121	41,550	,000
	B*D	4,440	2	2,220	29,553	,000
	A*B*D	3,604	2	1,802	23,987	,000
	C*D	1,606	4	,401	5,344	,001
	A*C*D	,736	4	,184	2,448	,050
	Hata	8,413	112	,075		
Toplam	614,819	140				

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri ve odun unu oranı uygulanan toprakla temas testinde levhaların % rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkisi %95 güven düzeyi ile önemli olduğu belirlenmiştir. % Ağırlık kaybına bu faktörlerin birlikte etkileşimleri %5 hata payı ile önemli olduğu bulunmuştur. OPK içeriğinin rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 54'te verilmiştir.

Tablo 54. % Rutubet değişimine ve % ağırlık kaybına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Rutubet Değişimi	%Ağırlık Kaybı
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	B	C
	Remidasyon	C	B
Uyumlaştırıcı	%0	B	C
	%3 MAPE	A	A
	%3 MAPP	A	B
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	B
	%50	C	B

3.3.2.2.2. Pürüzlülük Değişimi

Toprakla temas testi kapsamında levhaların pürüzlülük (Ra ve Rz) değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 55 ve 56'da verilmiştir.

Tablo 55. Toprakla temas testi; Ra oranlarına ait veriler

Grup		Başlangıç		2. Ay		4. Ay		6. Ay		9. Ay		12. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,08	0,10	1,20	0,36	0,95	0,14	1,60	0,18	1,99	0,31	2,03	0,39
2	K40PE%0	1,10	0,20	1,12	0,29	1,12	0,17	1,72	0,27	2,19	0,40	2,53	0,49
3	K50PE%0	2,66	0,76	2,53	1,11	2,35	1,11	2,56	1,52	2,61	1,08	2,97	0,75
4	K30PE%3	1,03	0,21	1,05	0,24	0,99	0,23	1,04	0,22	1,24	0,28	1,26	0,27
5	K40PE%3	1,42	1,26	1,39	1,51	1,51	1,66	1,60	1,03	1,67	1,03	2,45	1,84
6	K50PE%3	1,27	0,51	1,51	0,68	1,59	0,41	2,03	1,22	2,11	0,66	2,57	1,12
7	K30PP%0	0,83	0,12	0,93	0,29	0,89	0,15	1,55	0,57	1,84	0,70	2,90	0,98
8	K40PP%0	1,63	1,14	1,44	0,72	1,60	1,12	2,01	1,25	2,39	0,60	3,19	0,87
9	K50PP%0	1,11	0,34	1,18	0,39	1,66	0,55	2,25	0,26	3,34	0,55	3,86	0,89
10	K30PP%3	0,87	0,18	0,83	0,14	0,96	0,09	1,40	0,26	2,10	0,43	2,61	0,43
11	K40PP%3	0,75	0,06	1,04	0,33	1,23	0,61	1,35	0,37	2,38	0,63	3,22	0,54
12	K50PP%3	1,03	0,19	1,12	0,10	1,41	0,25	1,70	0,19	2,49	0,34	3,78	0,48
13	S30PE%0	1,57	0,77	1,74	0,75	1,89	0,82	2,21	0,88	1,76	0,78	1,62	0,63
14	S40PE%0	2,05	1,05	2,09	1,05	1,82	0,88	2,49	1,07	2,90	1,14	3,05	1,28
15	S50PE%0	2,79	0,62	3,12	1,75	2,75	1,13	2,97	1,52	3,71	1,76	4,39	1,86
16	S30PE%3	1,10	0,19	1,12	0,18	1,04	0,28	1,34	0,28	1,43	0,31	1,72	0,18
17	S40PE%3	2,25	0,92	2,35	1,09	2,39	1,08	2,55	0,79	2,28	0,82	2,90	0,30
18	S50PE%3	2,66	0,84	2,71	0,58	2,86	0,77	3,20	0,56	2,92	0,92	3,32	0,87
19	S30PP%0	1,32	0,24	1,56	0,47	1,79	0,38	2,11	0,23	3,21	0,28	4,26	0,70
20	S40PP%0	1,29	0,37	1,58	0,98	1,38	0,47	2,14	0,62	4,17	1,14	3,92	0,53
21	S50PP%0	2,17	0,87	1,94	0,76	1,80	0,84	2,48	0,77	3,34	0,33	4,77	1,25
22	S30PP%3	1,15	0,17	1,29	0,22	1,34	0,28	1,89	0,38	3,03	1,10	3,86	0,96
23	S40PP%3	1,58	0,44	2,11	0,90	1,75	0,97	2,39	1,15	3,11	0,72	4,14	1,49
24	S50PP%3	0,95	0,22	1,18	0,36	0,93	0,10	1,63	0,15	3,20	0,87	4,43	0,44
E1	E50PE%0	2,34	0,68	2,20	0,40	2,72	0,89	3,04	0,63	3,28	1,15	3,91	0,77
E2	E50PE%3	2,81	1,39	2,52	1,39	3,12	1,33	3,16	1,07	3,25	1,37	3,67	1,18
E3	E50PP%0	1,83	0,76	2,13	0,74	2,66	1,37	2,80	0,66	3,63	0,76	4,27	0,62
E4	E50PP%3	1,34	0,42	1,66	0,66	1,53	0,26	2,00	0,51	3,01	0,54	3,87	0,83
Sarıçam		1,73	0,55	2,37	0,85	2,40	0,92	2,85	0,64	3,12	0,57	6,46	0,93

Tablo 56. Toprakla temas testi; Rz oranlarına ait veriler

Grup		Başlangıç		2. Ay		4. Ay		6. Ay		9. Ay		12. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	14,51	4,79	13,60	6,94	9,49	3,97	17,39	0,82	19,31	4,03	23,10	4,68
2	K40PE%0	12,17	2,66	13,69	7,78	13,70	5,76	19,50	4,79	24,61	4,91	28,04	5,36
3	K50PE%0	30,69	10,71	25,73	12,57	26,62	11,97	24,46	14,03	25,26	9,63	27,61	8,08
4	K30PE%3	11,02	4,51	10,02	3,32	8,54	2,57	11,14	4,79	13,75	3,78	16,89	4,69
5	K40PE%3	18,86	13,24	14,25	18,01	13,07	14,41	15,67	11,36	18,44	14,65	21,42	17,29
6	K50PE%3	15,28	6,59	16,71	8,13	17,82	6,22	22,62	8,96	22,32	6,05	28,80	11,60
7	K30PP%0	10,41	5,05	12,49	10,63	11,27	5,37	17,96	7,37	21,55	9,67	30,63	9,50
8	K40PP%0	17,51	11,91	13,83	7,59	14,88	11,09	22,01	9,05	24,55	7,67	29,69	4,80
9	K50PP%0	14,21	4,78	14,78	6,61	19,67	7,71	25,14	5,38	30,57	3,04	35,43	10,02
10	K30PP%3	13,94	9,37	8,14	3,82	9,14	1,05	15,12	5,53	22,82	4,79	23,01	4,92
11	K40PP%3	8,60	5,93	14,83	8,70	14,05	12,27	16,23	9,87	23,40	7,69	24,85	7,81
12	K50PP%3	14,10	5,72	11,08	2,80	14,77	3,07	16,98	4,04	22,24	3,12	25,23	2,77
13	S30PE%0	18,58	13,27	23,06	10,27	20,41	14,64	25,30	14,75	21,19	12,45	19,69	11,30
14	S40PE%0	34,17	17,13	25,68	10,68	21,58	11,07	30,36	9,15	31,59	4,61	32,39	13,25
15	S50PE%0	32,73	13,91	31,52	15,07	25,46	12,89	26,17	14,62	33,95	14,76	39,19	13,16
16	S30PE%3	12,62	5,35	13,24	6,67	9,98	5,49	13,86	2,59	18,82	4,72	20,31	4,74
17	S40PE%3	25,36	11,91	27,20	13,59	27,81	8,92	29,47	12,79	24,22	7,24	27,48	7,95
18	S50PE%3	27,75	5,67	31,65	3,85	27,14	5,58	33,66	5,06	28,84	3,78	29,15	7,53
19	S30PP%0	10,32	1,77	14,52	7,33	14,68	4,43	20,92	7,19	32,44	9,10	37,92	5,56
20	S40PP%0	12,04	4,27	12,83	2,29	8,59	2,56	17,10	4,86	29,49	6,15	41,21	6,50
21	S50PP%0	16,71	4,37	26,01	11,90	14,81	7,09	24,38	8,88	36,38	12,33	41,93	13,36
22	S30PP%3	14,55	5,78	18,60	8,88	22,57	7,62	25,09	3,88	30,64	6,49	36,78	3,91
23	S40PP%3	13,87	5,96	13,23	10,42	11,44	2,64	19,17	10,00	35,33	9,58	39,36	4,65
24	S50PP%3	23,50	10,87	23,83	8,23	16,53	7,95	25,49	6,82	31,57	4,74	41,98	6,31
E1	E50PE%0	23,96	7,05	31,16	6,69	31,07	5,69	33,39	2,80	30,72	7,65	36,40	5,88
E2	E50PE%3	29,73	11,59	26,65	9,22	30,74	9,09	32,85	8,31	32,60	14,08	33,78	11,72
E3	E50PP%0	21,53	8,09	24,25	9,26	29,93	11,87	26,00	6,52	33,56	4,61	35,42	4,59
E4	E50PP%3	15,93	6,83	17,38	4,92	16,66	2,20	19,52	7,43	28,52	4,46	28,12	4,42
Sarıçam		16,13	5,96	21,00	6,34	22,13	8,92	25,18	5,43	26,03	6,22	46,89	5,85

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) toprakla temas testi için belirlenen pürüzlülük (Ra ve Rz) oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 57’de verilmiştir.

Tablo 57. OPK içeriğinin pürüzlülük oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

Toprakla Temas	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ra	Materyal Tipi (A)	72,725	2	36,362	13,338	,000
	Polimer Tipi (B)	,584	1	,584	,214	,644
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	12,123	2	6,061	2,223	,113
	Odun Oranı (D)	74,744	2	37,372	13,708	,000
	A*B (İnteraksiyon)	1,859	2	,930	,341	,712
	A*C	5,833	4	1,458	,535	,710
	A*D	1,510	2	,755	,277	,759
	B*D	10,276	2	5,138	1,885	,157
	A*B*D	3,699	2	1,850	,678	,509
	C*D	8,717	4	2,179	,799	,528
	A*C*D	4,538	4	1,135	,416	,797
	Hata	305,344	112	2,726		
Rz	Materyal Tipi (A)	7779,701	2	3889,851	14,714	,000
	Polimer Tipi (B)	424,919	1	424,919	1,607	,207
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	1272,838	2	636,419	2,407	,095
	Odun Oranı (D)	6244,307	2	3122,154	11,810	,000
	A*B (İnteraksiyon)	441,651	2	220,826	,835	,436
	A*C	1063,628	4	265,907	1,006	,408
	A*D	85,010	2	42,505	,161	,852
	B*D	439,455	2	219,727	,831	,438
	A*B*D	484,770	2	242,385	,917	,403
	C*D	331,137	4	82,784	,313	,869
	A*C*D	184,964	4	46,241	,175	,951
	Hata	29608,479	112	264,361		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal tipi ve odun oranı uygulanan toprakla temas testinde levhaların yüzey pürüzlülük değişimine etkisi %95 güven düzeyi ile önemli, uyumlaştırıcı tipleri ve bu faktörlerinin birlikte etkileşimlerinin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin Ra ve Rz oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 58'de verilmiştir.

Tablo 58. Ra ve Rz oranlarına ait homojenlik grupları

TİP	Ölçüt	Ra	Rz
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	B	B
	Remidasyon	C	C
Uyumlaştırıcı	%0	B	B
	%3 MAPE	AB	AB
	%3 MAPP	A	A
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	B
	%50	C	C

3.3.2.2.3. Renk Değişimi

Toprakla temas testi kapsamında levhaların renk değişimi (ΔE^*) değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 59'da verilmiştir.

Tablo 59. Toprakla temas testi; renk değişimine ait veriler

Grup		2. Ay		4. Ay		6. Ay		9. Ay		12. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	7,79	2,41	16,13	3,38	20,67	2,83	28,59	3,20	30,38	3,77
2	K40PE%0	12,28	2,81	23,16	2,07	23,99	1,84	28,47	3,85	30,94	3,09
3	K50PE%0	9,07	2,52	19,14	5,30	24,12	6,03	31,92	5,46	33,19	6,76
4	K30PE%3	3,98	1,52	8,21	1,66	13,78	3,35	20,99	2,90	22,97	3,30
5	K40PE%3	5,72	1,59	10,21	2,21	14,71	3,14	21,67	3,38	23,63	3,18
6	K50PE%3	7,09	1,86	13,19	2,91	16,48	3,11	21,75	1,79	24,99	2,02
7	K30PP%0	15,18	10,24	41,07	3,08	49,20	4,75	54,24	4,25	56,00	2,90
8	K40PP%0	18,16	5,02	36,29	2,47	45,47	2,02	54,19	1,49	56,14	1,95
9	K50PP%0	15,75	1,73	36,83	3,41	50,15	1,84	57,72	2,93	59,62	2,19
10	K30PP%3	5,91	4,01	16,85	4,17	19,07	4,38	28,47	3,43	28,91	3,15
11	K40PP%3	6,84	0,73	18,05	3,23	21,18	3,19	29,57	2,14	30,99	1,31
12	K50PP%3	12,28	2,80	23,16	2,32	22,56	2,47	30,51	3,09	30,98	3,03
13	S30PE%0	14,25	1,65	22,21	3,23	29,20	4,29	33,75	2,97	36,88	2,28
14	S40PE%0	13,99	0,88	20,89	1,66	26,52	2,43	34,83	3,76	38,49	4,03
15	S50PE%0	8,85	2,36	16,24	2,61	26,38	3,98	34,32	1,76	40,34	3,23
16	S30PE%3	10,59	2,20	16,50	4,63	24,07	4,42	28,81	4,42	32,98	2,89
17	S40PE%3	15,85	2,47	22,32	2,04	27,41	2,74	30,25	3,02	34,00	1,75
18	S50PE%3	13,38	3,22	22,30	2,01	29,50	3,08	33,07	2,47	35,17	1,21
19	S30PP%0	10,82	1,54	27,01	3,87	31,66	4,68	37,40	2,98	36,80	2,02
20	S40PP%0	7,06	2,26	19,57	3,33	30,06	2,84	40,37	2,51	40,81	2,30
21	S50PP%0	10,69	1,87	28,83	4,53	37,18	5,30	44,00	4,40	42,55	4,71
22	S30PP%3	6,91	4,01	16,85	4,17	20,07	4,38	27,47	3,43	29,51	3,15
23	S40PP%3	5,84	0,73	19,05	3,23	23,18	3,19	30,87	2,14	31,69	1,31
24	S50PP%3	11,28	2,80	24,16	2,32	27,56	2,47	31,71	3,09	31,58	3,03
E1	E50PE%0	12,10	2,78	25,35	4,27	32,62	3,04	38,27	2,22	39,14	1,85
E2	E50PE%3	17,33	0,69	23,06	2,14	28,77	3,43	34,12	2,27	35,93	1,75
E3	E50PP%0	23,10	3,47	41,21	7,10	46,18	2,89	52,93	2,90	52,22	3,26
E4	E50PP%3	17,94	4,24	37,58	2,31	43,10	4,29	45,73	5,22	45,30	4,73
Sarıçam		13,39	5,43	10,59	2,23	19,99	2,79	28,75	2,42	32,69	3,47

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) toprakla temas testi için belirlenen renk değişimine (ΔE^*) etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 60'ta verilmiştir.

Tablo 60. OPK içeriğinin renk değişimine (ΔE^*) etkisi, ÇVA sonuçları

Toprakla Temas	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Renk Değişimi (ΔE^*)	Materyal Tipi (A)	3954,746	2	1977,373	67,946	,000
	Polimer Tipi (B)	11046,808	1	11046,808	379,587	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	12805,064	2	6402,532	220,002	,000
	Odun Oranı (D)	925,511	2	462,755	15,901	,000
	A*B (İnteraksiyon)	5569,061	2	2784,531	95,681	,000
	A*C	4598,441	4	1149,610	39,503	,000
	A*D	,232	2	,116	,004	,996
	B*D	256,505	2	128,253	4,407	,014
	A*B*D	194,004	2	97,002	2.214	,072
	C*D	257,730	4	64,433	3,333	,039
	A*C*D	184,087	4	46,022	1,581	,184
	Hata	3259,443	112	29,102		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun oranı ve materyal*uyumlaştırıcı, uyumlaştırıcı*odun oranı etkileşimleri uygulanan toprakla temas testinde levhaların renk değişimine etkisi %0,1 hata payı ile önemli, materyal*odun oranı etkileşimi ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin renk değişimi (ΔE^*) oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 61 'de verilmiştir.

Tablo 61. Renk değişimi (ΔE^*) oranlarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	Renk Değişimi
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	A
	Remidasyon	B
Uyumlaştırıcı	%0	C
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	B
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.2.3. Deniz Testi

Lignoselülozik madde içeriğine sahip test örneklerine, deniz canlıları Nisan-Mayıs ayında konukçu olarak yerleştikten sonra Eylül ayına kadar tahrip şiddeti artarak devam etmiştir. Stereo mikroskop altında tipik ve belirgin özellikleri dikkate alınarak tespit edilen deniz zararlıları Tablo 62'de listelenmiştir. Deniz zararlılarına ve örnekler üzerindeki tahribata ait görüntülere İrdeleme bölümünde yer verilmiştir.

Tablo 62. Tespit edilen deniz zararlıları

Sınıflandırma	Deniz Zararlıları
Gemi kurdu ve solucanları	<i>Teredo navalis</i>
Odun delici kabuklular	<i>Limnoria tripunctata, Chelura</i>
Midyeler	<i>Bivalvia (Mytilus edulis)</i>
Deniz eteği ve ağsı organizmalar	<i>Ciona intestinalis, Pomatoceros triqueter</i>

24 ay süren deniz testi sonunda levhalardaki % ağırlık kayıplarına ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 63'te verilmiştir.

Tablo 63. Deniz testi; % ağırlık kaybı oranlarına ait veriler

Grup		\bar{X}	S	Grup		\bar{X}	S
No	Kodu			No	Kodu		
1	K30PE%0	3,77	0,08	13	S30PE%0	10,47	0,54
2	K40PE%0	12,28	0,22	14	S40PE%0	11,24	0,09
3	K50PE%0	8,05	0,42	15	S50PE%0	12,29	1,62
4	K30PE%3	3,15	0,22	16	S30PE%3	8,34	0,28
5	K40PE%3	3,85	0,38	17	S40PE%3	5,23	0,02
6	K50PE%3	7,15	0,26	18	S50PE%3	9,58	0,86
7	K30PP%0	5,46	0,20	19	S30PP%0	7,12	0,98
8	K40PP%0	6,25	0,20	20	S40PP%0	3,21	0,08
9	K50PP%0	5,81	0,41	21	S50PP%0	7,67	0,16
10	K30PP%3	3,32	0,48	22	S30PP%3	8,66	0,12
11	K40PP%3	6,63	0,33	23	S40PP%3	4,59	0,66
12	K50PP%3	7,52	0,03	24	S50PP%3	5,61	0,32
E1	E50PE%0	6,91	1,09	E3	E50PP%0	6,35	0,62
E2	E50PE%3	5,12	0,09	E4	E50PP%3	7,04	0,35
Sarıçam		53,64	6,77				

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) deniz testi için belirlenen % ağırlık kaybına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 64'te verilmiştir.

Tablo 64. OPK içeriğinin % ağırlık kaybına etkisi, ÇVA sonuçları

Deniz Testi	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
% Ağırlık Kaybı	Materyal Tipi (A)	70,581	2	35,291	122,477	,000
	Polimer Tipi (B)	88,859	1	88,859	308,389	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	105,367	2	52,683	182,839	,000
	Odun Oranı (D)	39,047	2	19,523	67,756	,000
	A*B (İnteraksiyon)	30,424	2	15,212	52,793	,000
	A*C	1,173	4	,293	1,017	,406
	A*D	99,696	2	49,848	172,999	,000
	B*D	58,320	2	29,160	101,201	,000
	A*B*D	4,106	2	2,053	7,125	,002
	C*D	66,329	4	16,582	57,549	,000
	A*C*D	29,719	4	7,430	25,785	,000
	Hata	16,136	56	,288		
	Toplam	4536,567	84			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun oranı ve bu faktörlerin materyal*uyumlaştırıcı etkileşiminin dışında diğer etkileşimleri uygulanan deniz testinde levhaların % ağırlık kaybına etkisi %0,1 hata payı ile önemli olduğu bulunmuştur. OPK içeriğinin % ağırlık kaybı oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 65'te verilmiştir.

Tablo 65. Deniz testi % ağırlık kaybı oranlarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Ağırlık kaybı
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	B
	Remidasyon	A
Uyumlaştırıcı	%0	B
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	A
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.2.4. Levhaların Dayanıklılık Sınıflandırması

Dış ortam testlerinin yapıldığı 2013 ve 2014 yıllarına ait Artvin ili meteorolojik veriler Tablo 66'da özetlenmiştir.

Tablo 66. 2013-2014 yıllarında ortalama dönemsel meteorolojik verilerin dağılımı

Aylar	Ort. Sıcaklık (°C)	Mak. Sıcaklık (°C)	Min. Sıcaklık (°C)	Ort. Nispi Nem (%)	Toplam Yağış (mm)	Günlük Güneşlenme (saat)	Ort. Güneşlenme Şiddeti (Cal/cm ²)	Ort. Deniz Suyu Sıcaklığı (°C)
Ocak-Mart	5,90	18,36	-3,12	61,29	79,87	3,31	225,15	10,87
Nisan- Haziran	17,96	32,22	8,70	59,53	54,06	6,18	457,28	21,74
Temmuz- Eylül	20,79	33,38	11,88	63,96	42,10	6,56	428,90	21,44
Ekim-Kasım	8,61	19,67	0,58	63,29	72,13	3,33	174,85	11,16

Artvin ili için, Scheffer (1971) metoduna göre 2013-2014 yılı meteorolojik veriler yardımıyla hesaplanan iklim indeksi 60,6 olmuştur.

- Toprak üstü teste göre; dayanıklılık sınıflandırması (DS) Tablo 67’de verilmiştir.

Tablo 67. Toprakla üstü testi; dayanıklılık sınıflandırması

No	Grup Kodu	Renk Değişikliği	Çatlama	Kırılma ve Lif Kopması	Bükülme	Genel Toplam	DS
1	K30PE%0	1	1	0	0	2	ÇD
2	K40PE%0	2	2	0	1	5	D
3	K50PE%0	3	2	0	1	6	OD
4	K30PE%3	1	1	0	0	2	ÇD
5	K40PE%3	1	1	0	0	2	ÇD
6	K50PE%3	2	1	0	0	3	ÇD
7	K30PP%0	2	1	0	0	3	ÇD
8	K40PP%0	2	2	0	0	4	D
9	K50PP%0	3	2	0	0	5	D
10	K30PP%3	2	1	0	0	3	ÇD
11	K40PP%3	2	1	0	0	3	ÇD
12	K50PP%3	3	1	0	0	4	D
13	S30PE%0	2	2	0	1	5	D
14	S40PE%0	3	2	0	0	5	D
15	S50PE%0	4	2	0	0	6	OD
16	S30PE%3	2	1	0	0	3	ÇD
17	S40PE%3	3	1	0	0	4	D
18	S50PE%3	4	2	0	0	6	OD
19	S30PP%0	3	3	1	0	7	OD
20	S40PP%0	3	3	1	0	7	OD
21	S50PP%0	4	3	1	0	8	AD
22	S30PP%3	3	2	1	0	6	OD
23	S40PP%3	3	2	1	0	6	OD

"Tablo 67'nin devamı"							
24	S50PP%3	3	2	1	0	6	OD
E1	E50PE%0	3	2	1	0	6	OD
E2	E50PE%3	2	1	0	0	3	ÇD
E3	E50PP%0	4	3	1	0	8	AD
E4	E50PP%3	3	2	0	0	5	D
Sarıçam		5	2	2	1	10	D'sız

• Toprakla temas testine göre; dayanıklılık sınıflandırması (DS) Tablo 68'de verilmiştir.

Tablo 68. Toprakla temas testi; dayanıklılık sınıflandırması

Grup		Renk Değişikliği	Çatlama	Kırılma ve Lif Kopması	Bükülme	AWPA E7 indeksi	Genel Toplam	Açıklama	DS
No	Kodu								
1	K30PE%0	1	1	0	0	0	2	Hasarsız	ÇD
2	K40PE%0	2	1	0	0	0	3	Hasarsız	ÇD
3	K50PE%0	2	1	0	0	4	7	Kenarlarda BÇ	OD
4	K30PE%3	1	0	0	0	0	1	Hasarsız	ÇD
5	K40PE%3	2	0	0	1	0	3	Hasarsız	ÇD
6	K50PE%3	2	0	0	0	0	2	Hasarsız	ÇD
7	K30PP%0	2	0	0	0	0	2	Hasarsız	ÇD
8	K40PP%0	2	1	1	0	0	4	Hasarsız	D
9	K50PP%0	3	0	0	0	0	3	Hasarsız	ÇD
10	K30PP%3	1	0	0	1	0	2	Hasarsız	ÇD
11	K40PP%3	2	0	0	1	0	3	Hasarsız	ÇD
12	K50PP%3	2	0	0	0	0	2	Hasarsız	ÇD
13	S30PE%0	2	0,6	0	0	0	2,6	Hasarsız	ÇD
14	S40PE%0	2	1	0	0	6	9	Yüzeysel BÇ	AD
15	S50PE%0	3	1	0	0	8	12	Geniş BÇ	D'sız
16	S30PE%3	2	1	0	1	0	4	Hasarsız	D
17	S40PE%3	2	1	0	1	0	4	Hasarsız	D
18	S50PE%3	3	1	0	1	0	5	Hasarsız	D
19	S30PP%0	3	1	0	0	6	10	Yüzeylerde Çatlama	D'sız
20	S40PP%0	3	1	0	0	6	10	Yüzeylerde Çatlama	D'sız
21	S50PP%0	4	1	0	0	6	11	Yüzeylerde Çatlama	D'sız
22	S30PP%3	2	1	0	0	4	7	Kenarlarda BÇ	OD
23	S40PP%3	3	1	0	1	6	11	Yüzeylerde Çatlama ve Şiddetli BÇ	D'sız
24	S50PP%3	3	2	0	0	8	13	Yüzeylerde Çatlama ve BÇ	D'sız
E1	E50PE%0	2	2	0	0	8	12	Tüm Yüzeylerde BÇ	D'sız
E2	E50PE%3	3	2	0	1	6	12	Geniş BÇ	D'sız

“Tablo 68’in devamı”									
E3	E50PP%0	3	2	0	0	7	12	Şiddetli BÇ	D’sız
E4	E50PP%3	4	2	0	0	4	10	Şiddetli BÇ	D’sız
Sarıçam		5	1	0	0	10	16	BÇ Tarafından Tahrip Edilmiştir	D’sız

- Deniz testine göre; dayanıklılık sınıflandırması (DS) Tablo 69’da verilmiştir.

Tablo 69. Deniz testi; dayanıklılık sınıflandırması

Sınıfı	Tanım	Deney numunesinin durumu ve görünüşü	Gruplar	DS
0	Tahribatsız	Tahribat izi yok	1, 2, 4, 5, 6, 7,8, 10, 11	ÇD
1	Çok az tahribat	Bir veya çok az sayıda açılan tüneller, yüzey alanının %15’inden daha fazla olmaz	3, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 22, 23, E1, E2,	D
2	Tahribat orta seviyede	Tüneller, numune yüzey alanının %25’inden fazla olmaz	15, 18, 21, 24, E3, E4	OD
3	Şiddetli tahribat	Tüneller, numune yüzey alanının %25’i ile %50’si arasındadır	Masif Sarıçam	AD
4	Tam tahribat	Tüneller, yüzey alanının %50’sinden fazla yer kaplar	Masif Sarıçam	D’sız

3.3.3. Çürüklük Testlerine Ait Bulgular

3.3.3.1. Beyaz ve Esmer Çürüklük Testi

3.3.3.1.1. Beyaz Çürüklük

Levhaların beyaz çürüklük mantarına (*Trametes versicolor*) maruz bırakılarak yürütülen çürüklük testi sonrası % ağırlık kayıplarına ve % rutubet değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 70’te verilmiştir.

Tablo 70. *T. versicolor* mantarına maruz bırakılan gruplarda % ağırlık kayıpları ve % rutubet değerleri

Grup		%Ağırlık kaybı		%Rutubet		Grup		%Ağırlık kaybı		%Rutubet	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,54	0,35	4,95	1,70	13	S30PE%0	2,92	0,31	10,34	1,22
2	K40PE%0	1,57	0,16	9,06	0,78	14	S40PE%0	3,06	0,31	15,75	4,60
3	K50PE%0	1,74	0,14	9,20	0,53	15	S50PE%0	3,12	0,18	15,79	2,90
4	K30PE%3	1,04	0,24	4,05	0,53	16	S30PE%3	2,77	0,28	7,84	0,40
5	K40PE%3	1,23	0,20	6,93	1,90	17	S40PE%3	2,85	1,01	9,25	0,86
6	K50PE%3	1,28	0,25	7,64	0,85	18	S50PE%3	2,97	0,21	10,27	0,82
7	K30PP%0	1,04	0,16	9,59	1,39	19	S30PP%0	2,79	0,22	8,79	2,98
8	K40PP%0	1,45	0,18	11,34	2,08	20	S40PP%0	3,07	0,36	11,82	4,96
9	K50PP%0	1,60	0,12	10,71	3,41	21	S50PP%0	4,31	0,30	14,36	5,02
10	K30PP%3	1,03	0,18	6,66	1,25	22	S30PP%3	2,72	0,25	9,22	1,45
11	K40PP%3	1,22	0,15	6,98	1,98	23	S40PP%3	3,51	0,37	10,81	1,03
12	K50PP%3	1,43	0,50	9,12	0,27	24	S50PP%3	3,94	0,35	13,01	2,79
E1	E50PE%0	2,69	0,26	14,12	4,06	E3	E50PP%0	2,82	0,11	17,39	2,14
E2	E50PE%3	2,43	0,16	7,48	0,30	E4	E50PP%3	2,48	0,18	15,00	4,23
Sarıçam		30,79	0,24	31,60	2,01						

T. versicolor mantarına maruz kalan örneklerde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) ağırlık kayıpları ve rutubet oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 71’de verilmiştir.

Tablo 71. OPK içeriğinin % ağırlık kaybı ve % rutubet oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

<i>T. versicolor</i>	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ağırlık Kaybı (%)	Materyal Tipi (A)	195,615	2	97,808	983,710	,000
	Polimer Tipi (B)	,001	1	,001	,008	,929
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	3,049	2	1,524	15,331	,000
	Odun Oranı (D)	11,874	2	5,937	59,712	,000
	A*B (İnteraksiyon)	3,317	2	1,659	16,682	,000
	A*C	,678	4	,169	1,704	,149
	A*D	1,773	2	,887	8,918	,000
	B*D	3,761	2	1,881	18,914	,000
	A*B*D	1,999	2	1,000	10,053	,000
	C*D	,710	4	,177	1,785	,132
	A*C*D	1,157	4	,289	2,910	,022
	Hata	25,056	252	,099		
	Toplam	1754,211	280			
Rutubet (%)	Materyal Tipi (A)	760,815	2	380,408	61,470	,000
	Polimer Tipi (B)	30,336	1	30,336	4,902	,028
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	607,066	2	303,533	49,048	,000
	Odun Oranı (D)	484,970	2	242,485	39,183	,000
	A*B (İnteraksiyon)	230,997	2	115,498	18,663	,000
	A*C	157,296	4	39,324	6,354	,000
	A*D	13,688	2	6,844	1,106	,333
	B*D	28,720	2	14,360	2,320	,100
	A*B*D	17,562	2	8,781	1,419	,244
	C*D	47,967	4	11,992	1,938	,105
	A*C*D	27,336	4	6,834	1,104	,355
	Hata	1559,493	252	6,188		
	Toplam	34151,717	280			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri ve odun unu oranı *T. versicolor* mantarına maruz kalmış levhaların ağırlık kayıpları ve rutubet oranlarına etkisi %0,1 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Bu faktörlerin birlikte etkisi ve materyal*odun oranı etkileşimi ise ağırlık kaybı için %5 hata payı ile önemli olduğu bulunmuştur. *T. versicolor* mantarı için OPK içeriğinin ağırlık kaybı ve rutubet oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 72’de verilmiştir.

Tablo 72. *T. versicolor* mantarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Ağırlık kaybı	% Rutubet
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	C	B
	Remidasyon	B	C
Uyumlaştırıcı	%0	B	C
	%3 MAPE	A	A
	%3 MAPP	B	B
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	B
	%50	C	C

3.3.3.1.2. Esmer Çürüklük

Levhaların esmer çürüklük mantarına (*Postia placenta*) maruz bırakılarak yürütülen çürüklük testi sonrası % ağırlık kayıplarına ve % rutubet değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 73'te verilmiştir.

Tablo 73. *P. placenta* mantarına maruz bırakılan gruplarda % ağırlık kayıpları ve % rutubet değerleri

Grup		%Ağırlık kaybı		%Rutubet		Grup		%Ağırlık kaybı		%Rutubet	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,00	0,39	3,38	0,56	13	S30PE%0	1,97	0,29	4,36	1,59
2	K40PE%0	0,99	0,18	8,93	2,94	14	S40PE%0	3,39	0,38	7,78	0,47
3	K50PE%0	1,16	0,29	10,25	1,79	15	S50PE%0	3,48	0,63	15,88	1,10
4	K30PE%3	0,35	0,18	3,82	0,78	16	S30PE%3	1,25	0,23	6,82	0,91
5	K40PE%3	0,57	0,24	7,97	1,11	17	S40PE%3	1,73	0,69	8,01	0,75
6	K50PE%3	0,94	0,20	8,84	2,39	18	S50PE%3	2,19	1,12	13,88	5,83
7	K30PP%0	0,94	0,17	4,87	0,66	19	S30PP%0	1,37	0,54	7,91	2,02
8	K40PP%0	1,33	0,44	5,53	0,43	20	S40PP%0	2,58	1,17	13,13	5,24
9	K50PP%0	1,40	0,52	10,10	3,26	21	S50PP%0	3,84	1,10	16,45	2,34
10	K30PP%3	0,88	0,22	3,07	0,81	22	S30PP%3	1,43	0,20	5,25	1,34
11	K40PP%3	1,64	0,30	6,51	0,30	23	S40PP%3	1,45	0,35	6,24	1,42
12	K50PP%3	1,66	0,33	9,82	0,64	24	S50PP%3	2,56	0,38	11,43	0,81
E1	E50PE%0	2,64	0,17	14,04	0,68	E3	E50PP%0	2,47	0,33	7,88	3,02
E2	E50PE%3	1,15	0,19	12,77	0,90	E4	E50PP%3	2,00	0,27	6,51	3,55
Sarıçam		33,63	0,45	30,79	0,24						

P. placenta mantarına maruz kalan örneklerde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) ağırlık kayıpları ve rutubet oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 74'te verilmiştir.

Tablo 74. OPK içeriğinin % ağırlık kaybı ve % rutubet oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

<i>P. placenta</i>	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ağırlık Kaybı (%)	Materyal Tipi (A)	71,735	2	35,867	143,718	,000
	Polimer Tipi (B)	,864	1	,864	3,460	,064
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	33,682	2	16,841	67,480	,000
	Odun Oranı (D)	36,705	2	18,352	73,536	,000
	A*B (İteraksiyon)	2,741	2	1,371	5,492	,005
	A*C	13,354	4	3,339	13,377	,000
	A*D	7,656	2	3,828	15,338	,000
	B*D	2,264	2	1,132	4,536	,012
	A*B*D	2,003	2	1,001	4,012	,019
	C*D	2,180	4	,545	2,184	,071
	A*C*D	6,427	4	1,607	6,438	,000
	Hata	62,891	252	,250		
Toplam	1110,020	280				
Rutubet (%)	Materyal Tipi (A)	480,556	2	240,278	49,493	,000
	Polimer Tipi (B)	3,081	1	3,081	,635	,426
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	169,853	2	84,926	17,493	,000
	Odun Oranı (D)	1880,820	2	940,410	193,706	,000
	A*B (İteraksiyon)	245,685	2	122,843	25,303	,000
	A*C	163,042	4	40,760	8,396	,000
	A*D	99,220	2	49,610	10,219	,000
	B*D	27,922	2	13,961	2,876	,058
	A*B*D	92,596	2	46,298	9,536	,000
	C*D	52,875	4	13,219	2,723	,030
	A*C*D	70,441	4	17,610	3,627	,007
	Hata	1223,419	252	4,855		
Toplam	25819,387	280				

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipi ve odun unu oranı *P. placenta* mantarına maruz kalmış levhaların ağırlık kayıpları ve rutubet oranlarına etkisi %0,1 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Bu faktörlerin birlikte etkisi ise uyumlaştırıcı*odun oranı etkileşimi dışında %5 hata payı ile önemli olduğu bulunmuştur. *P. placenta* mantarı için OPK içeriğinin ağırlık kaybı ve rutubet oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 75'te verilmiştir.

Tablo 75. *P. placenta* mantarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Ağırlık kaybı	% Rutubet
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	C	B
	Remidasyon	B	B
Uyumlaştırıcı	%0	C	B
	%3 MAPE	A	B
	%3 MAPP	B	A
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	B
	%50	C	C

Levhaların diğ er bir esmer çürüklük mantarına (*Coniophora puteana*) maruz bırakılarak yürütülen çürüklük testi sonrası % ağırlık kayıplarına ve % rutubet değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 76’da verilmiştir.

Tablo 76. *C. puteana* mantarına maruz bırakılan gruplarda % ağırlık kayıpları ve % rutubet değerleri

Grup		%Ağırlık kaybı		%Rutubet		Grup		%Ağırlık kaybı		%Rutubet	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,42	0,31	3,25	0,40	13	S30PE%0	2,98	0,28	7,43	1,54
2	K40PE%0	2,23	0,33	5,59	1,88	14	S40PE%0	3,05	1,12	15,57	3,58
3	K50PE%0	2,83	0,44	6,56	0,85	15	S50PE%0	3,99	1,57	15,97	1,20
4	K30PE%3	0,96	0,21	1,90	0,65	16	S30PE%3	2,91	0,38	4,18	0,51
5	K40PE%3	1,36	0,34	4,91	0,90	17	S40PE%3	3,11	0,50	5,12	0,74
6	K50PE%3	1,59	0,46	6,08	2,20	18	S50PE%3	3,84	0,60	8,09	4,22
7	K30PP%0	0,84	0,15	7,40	3,41	19	S30PP%0	2,99	0,56	9,14	4,27
8	K40PP%0	1,16	0,36	10,44	1,54	20	S40PP%0	3,34	0,97	14,04	1,90
9	K50PP%0	1,72	0,62	10,84	3,27	21	S50PP%0	3,76	0,89	14,59	0,62
10	K30PP%3	0,84	0,15	5,75	0,22	22	S30PP%3	2,88	0,18	8,52	1,17
11	K40PP%3	1,08	0,26	8,03	0,42	23	S40PP%3	3,22	0,25	13,51	2,02
12	K50PP%3	1,10	0,23	8,52	0,98	24	S50PP%3	3,43	0,73	14,33	2,73
E1	E50PE%0	3,51	0,46	17,28	4,71	E3	E50PP%0	3,32	0,43	15,64	0,51
E2	E50PE%3	3,10	0,50	9,64	3,59	E4	E50PP%3	2,71	0,15	14,76	3,75
Sarıçam		42,24	0,22	33,58	1,61						

C. puteana mantarına maruz kalan örneklerde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) ağırlık kayıpları ve rutubet oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 77’de verilmiştir.

Tablo 77. OPK içeriğinin % ağırlık kaybı ve % rutubet oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

<i>C. puteana</i>	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ağırlık Kaybı (%)	Materyal Tipi (A)	213,202	2	106,601	320,016	,000
	Polimer Tipi (B)	3,940	1	3,940	11,826	,001
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	7,293	2	3,647	10,947	,000
	Odun Oranı (D)	22,611	2	11,305	33,939	,000
	A*B (İnteraksiyon)	7,458	2	3,729	11,195	,000
	A*C	5,196	4	1,299	3,900	,004
	A*D	,643	2	,321	,964	,383
	B*D	,788	2	,394	1,183	,308
	A*B*D	,743	2	,372	1,116	,329
	C*D	2,038	4	,510	1,530	,194
	A*C*D	,923	4	,231	,693	,598
	Hata	83,944	252	,333		
	Toplam	2087,369	280			
Rutubet (%)	Materyal Tipi (A)	1261,732	2	630,866	113,150	,000
	Polimer Tipi (B)	49,358	1	49,358	8,853	,003
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	774,204	2	387,102	69,430	,000
	Odun Oranı (D)	883,467	2	441,733	79,228	,000
	A*B (İnteraksiyon)	206,726	2	103,363	18,539	,000
	A*C	364,405	4	91,101	16,340	,000
	A*D	54,141	2	27,071	4,855	,009
	B*D	12,758	2	6,379	1,144	,320
	A*B*D	22,201	2	11,100	1,991	,139
	C*D	54,047	4	13,512	2,423	,049
	A*C*D	83,441	4	20,860	3,741	,006
	Hata	1405,017	252	5,575		
	Toplam	32105,175	280			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri ve odun unu oranı *C. puteana* mantarına maruz kalmış levhaların ağırlık kayıpları ve rutubet oranlarına etkisi %0,1 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. Materyal*uyumlaştırıcı dışında bu faktörlerin birlikte etkileşimi ağırlık kaybı için %5 hata payı ile önemsiz olduğu bulunmuştur. *C. puteana* mantarı için OPK içeriğinin ağırlık kaybı ve rutubet oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 78’de verilmiştir.

Tablo 78. *C. puteana* mantarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Ağırlık kaybı	% Rutubet
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	B	B
	Remidasyon	B	C
Uyumlaştırıcı	%0	C	B
	%3 MAPE	B	A
	%3 MAPP	A	B
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	B
	%50	C	C

3.3.3.2. Yumuşak Çürüklük Testi

Levhaların yumuşak çürüklük mantarına (*Chaetomium globosum*) maruz bırakılarak yürütülen çürüklük testi sonrası % ağırlık kayıplarına ve % rutubet değerlerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 79’da verilmiştir. Ayrıca test kapsamında kullanılan toprağın analizi sonucu; pH’ı 8,0 ve su tutma kapasitesi (WHC) %52 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla kullanılan toprağın ENV 807 standardına göre uygun özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 79. *C. globosum* mantarına maruz bırakılan gruplarda % ağırlık kayıpları ve % rutubet değerleri

Grup		%Ağırlık kaybı		%Rutubet		Grup		%Ağırlık kaybı		%Rutubet	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,02	0,16	3,08	0,32	13	S30PE%0	2,69	0,14	7,04	0,55
2	K40PE%0	1,75	0,17	4,54	0,88	14	S40PE%0	3,11	0,26	11,06	0,45
3	K50PE%0	1,64	0,13	5,37	0,39	15	S50PE%0	4,28	0,21	16,18	0,90
4	K30PE%3	0,85	0,19	2,28	0,26	16	S30PE%3	2,57	0,23	5,68	0,77
5	K40PE%3	0,77	0,15	2,96	0,53	17	S40PE%3	2,86	0,54	12,06	1,21
6	K50PE%3	1,96	0,16	7,64	0,31	18	S50PE%3	3,11	0,29	13,91	0,97
7	K30PP%0	1,04	0,33	4,50	1,42	19	S30PP%0	3,09	0,40	6,80	0,85
8	K40PP%0	1,51	0,41	6,93	0,53	20	S40PP%0	4,53	0,40	10,82	0,76
9	K50PP%0	1,63	0,13	8,98	2,38	21	S50PP%0	5,15	0,38	13,72	1,28
10	K30PP%3	0,77	0,06	2,95	0,10	22	S30PP%3	1,16	0,24	7,00	0,64
11	K40PP%3	0,99	0,16	5,83	0,31	23	S40PP%3	2,27	0,32	8,26	1,10
12	K50PP%3	1,43	0,33	8,05	0,31	24	S50PP%3	3,15	0,25	12,08	1,27
E1	E50PE%0	3,02	0,51	14,10	1,49	E3	E50PP%0	2,49	0,22	18,50	2,62
E2	E50PE%3	2,41	0,44	17,04	1,20	E4	E50PP%3	1,86	0,29	11,90	1,19
Sarıçam		19,23	1,96	41,36	2,82						

C. globosum mantarına maruz kalan örneklerde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) ağırlık kayıpları ve rutubet oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 80’de verilmiştir.

Tablo 80. OPK içeriğinin % ağırlık kaybı ve % rutubet oranları etkisi, ÇVA sonuçları

<i>C. globosum</i>	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Ağırlık Kaybı (%)	Materyal Tipi (A)	186,737	2	93,369	1081,130	,000
	Polimer Tipi (B)	1,114	1	1,114	12,905	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	42,564	2	21,282	246,426	,000
	Odun Oranı (D)	49,068	2	24,534	284,085	,000
	A*B (İnteraksiyon)	10,168	2	5,084	58,866	,000
	A*C	23,852	4	5,963	69,047	,000
	A*D	5,242	2	2,621	30,348	,000
	B*D	,720	2	,360	4,168	,017
	A*B*D	2,141	2	1,070	12,393	,000
	C*D	1,691	4	,423	4,895	,001
	A*C*D	6,472	4	1,618	18,735	,000
	Hata	21,763	252	,086		
	Toplam	1810,940	280			
Rutubet (%)	Materyal Tipi (A)	2011,521	2	1005,761	878,552	,000
	Polimer Tipi (B)	81,625	1	81,625	71,301	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	196,087	2	98,043	85,643	,000
	Odun Oranı (D)	1316,023	2	658,011	574,786	,000
	A*B (İnteraksiyon)	137,860	2	68,930	60,212	,000
	A*C	127,915	4	31,979	27,934	,000
	A*D	76,895	2	38,448	33,585	,000
	B*D	1,553	2	,776	,678	,508
	A*B*D	26,762	2	13,381	11,688	,000
	C*D	12,815	4	3,204	2,799	,027
	A*C*D	77,875	4	19,469	17,006	,000
	Hata	288,488	252	1,145		
	Toplam	28092,251	280			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipi, odun unu oranı ve bu faktörlerin birlikte etkileşimleri *C. globosum* mantarına maruz kalmış levhaların ağırlık kayıpları ve rutubet oranlarına etkisi %0,1 hata payı ile önemli olduğu belirlenmiştir. *C. globosum* mantarı için OPK içeriğinin ağırlık kaybı ve rutubet oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 81’de verilmiştir.

Tablo 81. *C. globosum* mantarına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	%Ağırlık kaybı	%Rutubet
Materyal	Kreozot	A	A
	Kontrol	C	B
	Remidasyon	B	C
Uyumlaştırıcı	%0	C	C
	%3 MAPE	B	B
	%3 MAPP	A	A
Odun Unu Oranı	%30	A	A
	%40	B	B
	%50	C	C

3.3.3.2.1. Darbe Direnci Kaybı

Yumuşak çürüklüğe maruz kalmış levhaların yapılan darbe testi sonrası darbe direnç kaybına ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 82’de verilmiştir.

Tablo 82. Yumuşak çürüklük sonrası % darbe direnci kaybı

Grup		% Direnç Kaybı		Grup		% Direnç Kaybı	
No	Kodu	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,72	0,67	13	S30PE%0	3,36	0,81
2	K40PE%0	3,39	0,54	14	S40PE%0	5,98	0,50
3	K50PE%0	3,84	0,82	15	S50PE%0	9,52	0,89
4	K30PE%3	1,48	0,46	16	S30PE%3	3,53	0,77
5	K40PE%3	1,22	0,25	17	S40PE%3	6,63	1,14
6	K50PE%3	2,54	0,55	18	S50PE%3	7,70	1,38
7	K30PP%0	2,80	0,77	19	S30PP%0	8,06	1,48
8	K40PP%0	5,81	1,72	20	S40PP%0	14,08	3,21
9	K50PP%0	9,38	1,02	21	S50PP%0	17,70	2,65
10	K30PP%3	3,45	1,79	22	S30PP%3	13,47	2,87
11	K40PP%3	4,65	0,87	23	S40PP%3	9,71	1,17
12	K50PP%3	5,77	0,33	24	S50PP%3	10,46	3,00
E1	E50PE%0	7,23	1,39	E3	E50PP%0	20,26	1,63
E2	E50PE%3	11,55	2,24	E4	E50PP%3	14,30	2,91
Sarıçam		30,04	6,82				

Yumuşak çürüklük mantarına maruz kalan örneklerde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı), belirlenen darbe direnci kaybına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 83’te verilmiştir.

Tablo 83. OPK içeriğinin darbe direnci kaybına etkisi, ÇVA sonuçları

Darbe Direnci Kaybı (%)	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
	Materyal Tipi (A)	1178,760	2	589,380	228,227	,000
	Polimer Tipi (B)	675,103	1	675,103	261,422	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	74,805	2	37,403	14,484	,000
	Odun Oranı (D)	189,241	2	94,620	36,640	,000
	A*B (İnteraksiyon)	122,544	2	61,272	23,727	,000
	A*C	62,858	4	15,715	6,085	,000
	A*D	2,780	2	1,390	,538	,585
	B*D	40,021	2	20,010	7,749	,001
	A*B*D	6,031	2	3,016	1,168	,315
	C*D	192,721	4	48,180	18,657	,000
	A*C*D	63,119	4	15,780	6,110	,000
	Hata	289,232	112	2,582		
	Toplam	11543,133	140			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu ve materyal*uyumlaştırıcı, uyumlaştırıcı*odun oranı, materyal*uyumlaştırıcı*odun oranı etkileşimlerinin yumuşak çürüklük mantarına maruz kalmış levhaların darbe direnci oranlarına etkisi %0,1 hata payı ile önemli, materyal*odun oranı etkileşiminin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin darbe direnci kaybına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 84'te verilmiştir.

Tablo 84. Direnç kaybına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	Darbe Direnci Kaybı
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	B
	Remidasyon	C
Uyumlaştırıcı	%0	B
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	C
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.3.3. Çürüklük Testleri Sonrası Dayanıklılık Sınıflandırması

Çürüklük testleri sonrası EN 350 (1994)'e göre yapılan dayanıklılık sınıflandırması (DS) Tablo 85-88'de verilmiştir.

Tablo 85. OPK grupların *T. versicolor* mantarı için dayanıklılık sınıfları

Grup		Kontrol OPK'ya göre		Masif Sarıçam'a göre		Grup		Masif Sarıçam'a göre	
No	Kodu	x	DS	x	DS	No	Kodu	x	DS
1	K30PE%0	0,53	OD	0,03	ÇD	13	S30PE%0	0,09	ÇD
2	K40PE%0	0,51	OD	0,03	ÇD	14	S40PE%0	0,10	ÇD
3	K50PE%0	0,56	OD	0,03	ÇD	15	S50PE%0	0,10	ÇD
4	K30PE%3	0,38	OD	0,01	ÇD	16	S30PE%3	0,09	ÇD
5	K40PE%3	0,43	OD	0,02	ÇD	17	S40PE%3	0,09	ÇD
6	K50PE%3	0,43	OD	0,03	ÇD	18	S50PE%3	0,10	ÇD
7	K30PP%0	0,37	OD	0,03	ÇD	19	S30PP%0	0,09	ÇD
8	K40PP%0	0,47	OD	0,04	ÇD	20	S40PP%0	0,10	ÇD
9	K50PP%0	0,37	OD	0,04	ÇD	21	S50PP%0	0,14	ÇD
10	K30PP%3	0,38	OD	0,03	ÇD	22	S30PP%3	0,09	ÇD
11	K40PP%3	0,35	OD	0,05	ÇD	23	S40PP%3	0,11	ÇD
12	K50PP%3	0,36	OD	0,05	ÇD	24	S50PP%3	0,13	ÇD
E1	E50PE%0	0,86	AD	0,08	ÇD				
E2	E50PE%3	0,82	AD	0,03	ÇD				
E3	E50PP%0	0,65	AD	0,07	ÇD				
E4	E50PP%3	0,63	AD	0,06	ÇD				

Tablo 86. OPK grupların *P. placenta* mantarı için dayanıklılık sınıfları

Grup		Kontrol OPK'ya göre		Masif Sarıçam'a göre		Grup		Masif Sarıçam'a göre	
No	Kodu	x	DS	x	DS	No	Kodu	x	DS
1	K30PE%0	0,51	OD	0,03	ÇD	13	S30PE%0	0,06	ÇD
2	K40PE%0	0,29	D	0,03	ÇD	14	S40PE%0	0,10	ÇD
3	K50PE%0	0,33	OD	0,03	ÇD	15	S50PE%0	0,10	ÇD
4	K30PE%3	0,28	D	0,01	ÇD	16	S30PE%3	0,04	ÇD
5	K40PE%3	0,33	OD	0,02	ÇD	17	S40PE%3	0,05	ÇD
6	K50PE%3	0,43	OD	0,03	ÇD	18	S50PE%3	0,07	ÇD
7	K30PP%0	0,69	AD	0,03	ÇD	19	S30PP%0	0,04	ÇD
8	K40PP%0	0,52	OD	0,04	ÇD	20	S40PP%0	0,08	ÇD
9	K50PP%0	0,36	OD	0,04	ÇD	21	S50PP%0	0,11	ÇD
10	K30PP%3	0,62	AD	0,03	ÇD	22	S30PP%3	0,04	ÇD
11	K40PP%3	1,13	D'sız	0,05	ÇD	23	S40PP%3	0,04	ÇD
12	K50PP%3	0,65	AD	0,05	ÇD	24	S50PP%3	0,08	ÇD
E1	E50PE%0	0,76	AD	0,08	ÇD				
E2	E50PE%3	0,53	OD	0,03	ÇD				
E3	E50PP%0	0,64	AD	0,07	ÇD				
E4	E50PP%3	0,78	AD	0,06	ÇD				

Tablo 87. OPK grupların *C. puteana* mantarı için dayanıklılık sınıfları

Grup		Kontrol OPK'ya göre		Masif Sarıçam'a göre		Grup		Masif Sarıçam'a göre	
No	Kodu	x	DS	x	DS	No	Kodu	x	DS
1	K30PE%0	0,48	OD	0,03	ÇD	13	S30PE%0	0,07	ÇD
2	K40PE%0	0,73	AD	0,05	ÇD	14	S40PE%0	0,07	ÇD
3	K50PE%0	0,71	AD	0,07	ÇD	15	S50PE%0	0,09	ÇD
4	K30PE%3	0,33	OD	0,02	ÇD	16	S30PE%3	0,07	ÇD
5	K40PE%3	0,44	OD	0,03	ÇD	17	S40PE%3	0,07	ÇD
6	K50PE%3	0,41	OD	0,04	ÇD	18	S50PE%3	0,09	ÇD
7	K30PP%0	0,28	D	0,02	ÇD	19	S30PP%0	0,07	ÇD
8	K40PP%0	0,35	OD	0,03	ÇD	20	S40PP%0	0,08	ÇD
9	K50PP%0	0,46	OD	0,04	ÇD	21	S50PP%0	0,09	ÇD
10	K30PP%3	0,29	D	0,02	ÇD	22	S30PP%3	0,07	ÇD
11	K40PP%3	0,34	OD	0,03	ÇD	23	S40PP%3	0,08	ÇD
12	K50PP%3	0,32	OD	0,03	ÇD	24	S50PP%3	0,08	ÇD
E1	E50PE%0	0,88	AD	0,08	ÇD				
E2	E50PE%3	0,81	AD	0,07	ÇD				
E3	E50PP%0	0,88	AD	0,08	ÇD				
E4	E50PP%3	0,79	AD	0,06	ÇD				

Tablo 88. OPK grupların *C. globosum* mantarı için dayanıklılık sınıfları

Grup		Kontrol OPK'ya göre		Masif Sarıçam'a göre		Grup		Masif Sarıçam'a göre	
No	Kodu	x	DS	x	DS	No	Kodu	x	DS
1	K30PE%0	0,38	OD	0,05	ÇD	13	S30PE%0	0,14	ÇD
2	K40PE%0	0,56	OD	0,09	ÇD	14	S40PE%0	0,16	D
3	K50PE%0	0,38	OD	0,09	ÇD	15	S50PE%0	0,22	D
4	K30PE%3	0,33	OD	0,04	ÇD	16	S30PE%3	0,13	ÇD
5	K40PE%3	0,27	D	0,04	ÇD	17	S40PE%3	0,15	ÇD
6	K50PE%3	0,63	AD	0,10	ÇD	18	S50PE%3	0,16	D
7	K30PP%0	0,34	OD	0,05	ÇD	19	S30PP%0	0,16	D
8	K40PP%0	0,33	OD	0,08	ÇD	20	S40PP%0	0,24	D
9	K50PP%0	0,32	OD	0,08	ÇD	21	S50PP%0	0,27	D
10	K30PP%3	0,66	AD	0,04	ÇD	22	S30PP%3	0,06	ÇD
11	K40PP%3	0,44	OD	0,05	ÇD	23	S40PP%3	0,12	ÇD
12	K50PP%3	0,45	OD	0,07	ÇD	24	S50PP%3	0,16	D
E1	E50PE%0	0,71	AD	0,16	D				
E2	E50PE%3	0,77	AD	0,13	ÇD				
E3	E50PP%0	0,48	OD	0,13	ÇD				
E4	E50PP%3	0,59	OD	0,10	ÇD				

3.3.4. Fiziksel Testlere Ait Bulgular

3.3.4.1. Su Alma Oranı ve Levha Yoğunlukları

Fiziksel testler kapsamında levhaların su alma oranlarına (%) ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 89-90'da verilmiştir. Levhaların yoğunlukları (g/cm^3) ise Tablo 90'da verilmiştir.

Tablo 89. Laboratuvar ortamında levhaların su alma oranları (%)

Grup		2. Saat		24. Saat		48. Saat		96. Saat		168. Saat		2. Hafta		3. Hafta	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	0,21	0,05	0,59	0,10	0,67	0,11	0,95	0,21	1,14	0,31	1,21	0,36	1,31	0,38
2	K40PE%0	0,35	0,04	0,95	0,12	1,08	0,17	1,43	0,22	1,72	0,32	1,99	0,42	2,22	0,49
3	K50PE%0	0,68	0,12	1,73	0,25	2,32	0,36	3,61	0,70	5,23	0,83	5,95	0,99	6,73	1,03
4	K30PE%3	0,27	0,03	0,48	0,07	0,54	0,07	0,60	0,07	0,78	0,10	0,83	0,12	0,94	0,12
5	K40PE%3	0,30	0,09	0,56	0,09	0,60	0,14	0,76	0,17	1,05	0,26	1,16	0,28	1,45	0,37
6	K50PE%3	0,44	0,05	1,06	0,07	1,35	0,10	1,78	0,16	2,68	0,29	3,37	0,39	3,95	0,48
7	K30PP%0	0,25	0,05	0,61	0,08	0,71	0,13	0,88	0,16	1,16	0,18	1,36	0,26	1,47	0,31
8	K40PP%0	0,45	0,04	0,88	0,07	1,09	0,08	1,37	0,12	1,78	0,15	2,27	0,23	2,50	0,17
9	K50PP%0	0,52	0,10	1,40	0,32	1,83	0,40	2,55	0,63	3,78	0,94	4,94	1,29	5,94	1,53
10	K30PP%3	0,22	0,02	0,41	0,04	0,40	0,03	0,58	0,11	0,63	0,07	0,19	1,25	0,69	0,04
11	K40PP%3	0,35	0,03	0,66	0,12	0,87	0,18	1,09	0,21	1,38	0,27	1,67	0,35	1,84	0,41
12	K50PP%3	0,38	0,05	0,91	0,08	1,19	0,12	1,58	0,16	2,16	0,22	2,73	0,27	3,18	0,34
13	S30PE%0	0,51	0,15	0,75	0,17	0,93	0,23	0,69	1,10	1,51	0,42	1,70	0,50	1,88	0,56
14	S40PE%0	0,61	0,10	1,27	0,18	1,70	0,27	2,21	0,44	3,08	0,65	3,75	0,82	4,36	1,00
15	S50PE%0	0,93	0,09	2,19	0,14	3,03	0,14	4,42	0,17	6,45	0,27	8,21	0,44	9,62	0,49
16	S30PE%3	0,27	0,07	0,57	0,27	0,83	0,45	1,04	0,68	1,35	0,88	1,62	1,08	1,62	1,17
17	S40PE%3	0,48	0,14	1,02	0,20	1,36	0,23	1,82	0,37	2,48	0,53	3,27	0,82	3,94	1,07
18	S50PE%3	0,56	0,12	1,31	0,22	1,81	0,35	2,52	0,57	3,36	0,81	4,10	1,07	5,50	1,33
19	S30PP%0	0,86	0,32	1,81	0,84	2,63	1,21	4,01	1,95	5,26	2,56	5,64	2,90	6,99	3,47
20	S40PP%0	0,55	0,08	1,10	0,16	1,49	0,19	2,08	0,27	2,85	0,35	3,20	0,37	4,46	0,43
21	S50PP%0	1,01	0,09	2,48	0,44	3,68	0,98	5,92	2,11	8,28	2,81	9,71	2,87	11,73	2,76
22	S30PP%3	0,51	0,14	0,76	0,36	1,25	0,56	1,64	0,90	2,29	1,37	2,57	1,79	3,39	2,16
23	S40PP%3	0,34	0,06	0,51	0,11	0,82	0,28	1,01	0,16	1,25	0,17	1,36	0,20	1,87	0,25
24	S50PP%3	0,39	0,05	0,80	0,08	1,11	0,11	1,51	0,16	2,15	0,28	2,77	0,37	3,59	0,45
E1	E50PE%0	1,42	0,77	3,11	0,47	3,87	0,31	5,70	0,40	7,61	0,61	9,26	0,51	10,85	0,55
E2	E50PE%3	0,93	0,16	2,05	0,40	2,59	0,65	3,94	1,42	5,44	2,34	7,16	3,45	8,59	4,05
E3	E50PP%0	1,33	0,27	2,89	0,73	4,15	1,31	7,41	3,43	10,24	4,24	12,22	4,29	13,80	3,87
E4	E50PP%3	0,52	0,04	0,96	0,11	1,31	0,13	1,79	0,24	2,17	0,27	2,64	0,29	3,10	0,35

Tablo 90. Laboratuvar ortamında levhaların su alma oranları (%) (devamı) ve yoğunluk değerleri

Grup		1. Ay		2. Ay		3. Ay		4. Ay		5. Ay		8. Ay		(d) g/cm ³	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	1,61	0,42	2,35	0,63	2,85	0,84	3,17	0,83	3,82	0,87	4,37	0,90	1,01	0,02
2	K40PE%0	2,72	0,65	3,54	0,92	4,29	1,19	5,60	1,39	6,13	1,79	6,80	1,75	1,00	0,01
3	K50PE%0	7,95	1,03	9,62	0,91	9,62	0,97	10,15	0,95	10,14	0,94	10,01	1,06	1,02	0,03
4	K30PE%3	1,11	0,13	1,49	0,20	1,79	0,15	2,28	0,32	2,71	0,28	3,40	0,35	1,00	0,02
5	K40PE%3	1,67	0,46	2,16	0,56	2,95	0,69	3,78	0,94	4,35	1,13	5,37	1,54	1,04	0,01
6	K50PE%3	4,87	0,63	6,60	0,92	8,80	1,33	10,36	1,37	10,79	1,06	11,24	0,93	1,07	0,01
7	K30PP%0	1,75	0,39	2,31	0,45	3,07	0,55	3,82	0,70	4,55	0,82	5,82	0,70	0,95	0,01
8	K40PP%0	3,19	0,25	4,49	0,36	6,18	0,39	7,54	0,35	8,30	0,30	8,71	0,31	1,00	0,01
9	K50PP%0	7,54	1,78	9,79	1,77	10,97	1,24	11,46	1,38	11,63	1,30	11,50	1,20	1,00	0,04
10	K30PP%3	0,93	0,08	1,17	0,10	1,47	0,14	1,84	0,11	2,74	1,38	3,17	0,17	0,96	0,02
11	K40PP%3	2,42	0,52	3,18	0,74	4,42	0,93	5,77	1,05	6,65	1,01	8,25	0,45	1,00	0,01
12	K50PP%3	4,12	0,41	5,53	0,54	7,84	0,61	10,09	0,48	10,49	0,28	10,78	0,22	1,04	0,01
13	S30PE%0	2,50	0,76	2,94	0,90	3,54	0,96	5,15	1,26	4,94	1,31	6,78	1,64	1,00	0,02
14	S40PE%0	5,48	1,18	6,74	1,29	8,17	1,27	10,20	1,16	10,25	0,97	10,64	0,90	1,03	0,02
15	S50PE%0	11,63	0,53	13,75	0,84	15,23	1,21	15,57	1,38	15,52	1,35	16,10	1,68	1,03	0,01
16	S30PE%3	1,98	1,40	2,51	1,75	2,46	1,46	3,39	2,02	4,31	2,32	5,58	2,56	1,00	0,01
17	S40PE%3	5,08	1,31	6,48	1,63	8,27	2,04	10,95	2,27	11,67	2,16	12,77	1,86	1,02	0,02
18	S50PE%3	6,96	1,55	8,80	1,83	10,94	1,71	13,13	1,32	13,45	1,01	13,79	1,06	1,08	0,03
19	S30PP%0	8,14	3,56	9,14	3,99	10,09	4,29	12,07	4,47	12,35	4,16	12,17	3,75	0,95	0,02
20	S40PP%0	5,54	0,50	7,36	0,50	9,01	0,46	10,65	0,33	10,87	0,37	11,46	0,42	1,00	0,01
21	S50PP%0	13,77	2,42	15,52	2,45	15,97	2,97	18,05	3,29	16,25	3,27	16,92	3,51	0,99	0,08
22	S30PP%3	4,40	2,59	4,89	3,03	5,98	3,41	7,63	3,65	7,77	3,30	10,92	3,07	0,98	0,01
23	S40PP%3	2,59	0,25	3,20	0,61	4,37	0,71	6,18	1,00	7,11	1,13	10,01	1,08	1,01	0,01
24	S50PP%3	4,77	0,59	6,73	0,72	9,41	0,94	11,45	0,52	11,58	0,34	13,89	0,80	1,06	0,02
E1	E50PE%0	12,73	0,43	13,94	0,39	14,61	0,35	15,34	0,27	14,17	0,30	15,52	0,39	1,01	0,00
E2	E50PE%3	10,18	4,04	12,08	3,82	14,55	3,48	15,53	3,22	14,56	3,04	15,46	3,20	1,01	0,02
E3	E50PP%0	16,39	4,12	18,36	3,68	21,26	3,95	22,69	4,44	21,30	4,35	22,21	4,38	0,96	0,02
E4	E50PP%3	2,72	0,65	3,54	0,92	7,89	0,81	10,12	0,84	10,03	0,48	11,21	0,37	0,95	0,02

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı), su alma oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 91’de verilmiştir.

Tablo 91. OPK içeriğinin su alma oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

Su Alma Oranı (%)	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
	Materyal Tipi (A)	2794,204	2	1397,102	68,413	,000
	Polimer Tipi (B)	774,136	1	774,136	37,908	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	3405,820	2	1702,910	83,387	,000
	Odun Oranı (D)	4912,256	2	2456,128	120,271	,000
	A*B (İnteraksiyon)	369,829	2	184,914	9,055	,000
	A*C	1031,671	4	257,918	12,630	,000
	A*D	14,093	2	7,047	,345	,709
	B*D	167,058	2	83,529	4,090	,019
	A*B*D	222,139	2	111,069	5,439	,005
	C*D	299,580	4	74,895	3,667	,007
	A*C*D	113,966	4	28,492	1,395	,239
	Hata	2859,034	140	20,422		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu oranı ve materyal*uyumlaştırıcı, uyumlaştırıcı*odun oranı etkileşimlerinin levhaların su alma oranlarına etkisi %0,1 hata payı ile önemli, bu faktörlerin birlikte etkileşiminin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin su alma oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 92’de verilmiştir.

Tablo 92. Su alma oranına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Su alma
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	B
	Remidasyon	C
Uyumlaştırıcı	%0	C
	%3 MAPE	B
	%3 MAPP	A
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.4.2. Kalınlık Artışı Oranı

Fiziksel testler kapsamında levhaların kalınlık artışı oranlarına (%) ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 93-94’te verilmiştir.

Tablo 93. Laboratuvar ortamında levhaların kalınlık artışı oranları (%)

Grup		2. Saat		24. Saat		48. Saat		96. Saat		168. Saat		2. Hafta		3. Hafta	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	0,51	0,70	1,38	0,21	1,42	0,20	1,48	0,30	1,65	0,53	1,68	0,81	1,88	0,75
2	K40PE%0	0,50	0,60	1,36	1,26	1,83	1,24	1,89	0,65	1,89	0,58	2,11	0,79	2,34	0,61
3	K50PE%0	0,74	0,17	0,96	0,35	1,93	0,36	2,37	0,59	2,80	1,04	2,83	1,66	4,01	0,87
4	K30PE%3	0,29	0,34	0,48	0,31	1,04	0,77	1,10	0,75	1,33	0,64	1,63	0,71	1,94	0,80
5	K40PE%3	0,37	0,15	0,70	0,73	1,36	0,62	1,51	0,38	1,59	0,41	1,85	0,64	1,89	0,41
6	K50PE%3	0,78	0,27	1,27	0,12	2,54	1,15	2,57	0,32	2,76	0,68	3,10	1,30	3,52	0,90
7	K30PP%0	0,30	0,33	0,58	0,44	0,65	0,19	0,67	0,17	0,71	0,15	0,84	0,38	1,00	0,60
8	K40PP%0	0,45	0,43	0,47	0,09	0,89	0,50	0,90	0,46	1,18	0,71	1,46	0,73	1,55	0,51
9	K50PP%0	0,12	0,06	0,62	0,39	1,27	0,53	1,80	0,71	2,45	0,99	3,07	0,93	3,91	1,04
10	K30PP%3	0,32	0,36	0,83	0,62	0,98	0,51	0,99	0,88	1,11	0,85	1,33	1,02	1,37	1,18
11	K40PP%3	0,13	0,08	0,46	0,25	0,64	0,39	0,80	0,26	1,00	0,73	1,05	0,82	1,40	0,72
12	K50PP%3	0,38	0,14	0,72	0,23	1,23	0,28	1,82	0,23	2,32	0,22	2,93	0,49	3,22	0,48
13	S30PE%0	1,48	1,39	1,49	0,95	1,53	0,31	1,64	0,24	1,67	0,21	1,71	0,47	1,86	0,62
14	S40PE%0	0,41	0,40	1,57	0,64	2,06	0,59	2,71	0,71	2,81	0,79	3,48	0,95	3,65	1,15
15	S50PE%0	0,80	0,28	1,93	0,55	2,61	0,79	3,18	0,98	4,45	1,41	5,67	1,68	6,24	1,27
16	S30PE%3	0,51	0,18	1,35	0,62	1,47	0,75	1,62	0,71	1,85	0,94	1,91	0,85	2,11	0,78
17	S40PE%3	0,84	0,36	1,40	0,66	1,48	0,93	1,87	1,08	2,14	0,98	2,65	1,10	3,00	0,92
18	S50PE%3	1,09	0,73	1,97	0,65	2,66	0,93	2,95	1,04	3,65	1,66	4,35	1,85	5,17	2,02
19	S30PP%0	0,50	0,37	1,50	0,88	2,18	1,04	2,78	1,52	3,13	1,78	3,22	1,05	3,72	1,30
20	S40PP%0	0,29	0,21	1,21	0,41	1,85	0,49	2,38	0,26	2,53	0,44	3,11	0,81	3,61	0,78
21	S50PP%0	0,39	0,18	1,66	0,52	2,86	0,62	3,94	1,00	4,66	0,94	5,43	0,83	6,12	0,40
22	S30PP%3	0,34	0,16	0,73	0,18	0,75	0,17	0,83	0,38	0,86	0,53	0,98	0,44	1,54	0,77
23	S40PP%3	0,08	0,07	0,58	0,37	0,67	0,21	1,14	0,43	1,15	0,37	1,49	0,41	1,78	0,26
24	S50PP%3	0,91	1,07	1,25	1,21	1,75	0,87	2,44	0,79	2,54	0,56	2,74	0,48	3,20	0,46
E1	E50PE%0	0,69	0,18	1,73	0,85	2,51	0,30	3,43	0,45	4,74	0,57	5,22	0,43	6,46	0,41
E2	E50PE%3	0,55	0,49	1,86	0,76	2,42	0,95	3,20	1,11	4,29	0,80	4,76	1,75	5,46	1,05
E3	E50PP%0	0,29	0,18	1,49	0,69	1,99	0,60	2,81	0,82	3,79	0,74	4,24	0,49	5,04	0,94
E4	E50PP%3	0,89	0,42	1,68	0,88	1,34	0,64	1,41	0,42	1,72	0,50	1,75	0,56	2,91	0,99

Tablo 94. Laboratuvar ortamında levhaların kalınlık artışı oranları (%) (devamı)

Grup		1. Ay		2. Ay		3. Ay		4. Ay		5. Ay		8. Ay	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	2,12	0,73	2,20	0,43	2,52	1,08	2,82	0,48	2,54	0,50	3,20	0,87
2	K40PE%0	2,35	0,88	3,16	1,11	3,30	0,84	3,43	0,38	3,97	0,71	4,20	0,55
3	K50PE%0	4,58	1,05	5,25	0,95	5,38	0,91	5,50	0,64	5,59	0,41	5,79	1,00
4	K30PE%3	1,96	0,36	2,16	0,89	2,33	1,20	2,44	0,96	2,47	0,29	3,25	2,40
5	K40PE%3	2,39	0,97	2,52	1,45	2,59	0,20	2,73	0,59	2,75	1,19	3,91	1,31
6	K50PE%3	3,90	1,19	3,96	1,15	5,88	0,86	6,01	0,77	6,30	0,62	6,54	0,84
7	K30PP%0	1,07	0,10	1,09	0,33	1,16	0,18	1,24	0,40	1,40	0,26	2,16	0,64
8	K40PP%0	1,72	0,69	2,10	0,83	2,73	0,77	3,61	0,93	3,87	0,77	4,42	0,91
9	K50PP%0	4,42	0,95	5,20	0,66	5,72	0,39	5,54	0,40	5,84	0,27	6,22	0,65
10	K30PP%3	1,88	1,79	1,83	1,48	2,23	1,82	2,36	1,84	2,88	2,60	3,09	2,64
11	K40PP%3	1,78	0,85	1,98	1,17	2,56	0,76	2,78	0,99	3,24	1,39	4,34	0,97
12	K50PP%3	3,86	0,51	4,69	0,62	5,58	0,52	6,56	0,86	6,68	0,78	7,43	1,22
13	S30PE%0	1,88	0,29	2,60	0,25	4,22	1,46	4,31	0,44	4,38	1,73	5,20	2,10
14	S40PE%0	4,19	1,34	4,83	1,37	5,63	1,18	5,81	1,09	6,04	1,37	7,54	1,71
15	S50PE%0	6,80	0,99	7,76	0,83	7,78	0,78	8,00	0,56	8,10	0,71	8,70	1,38
16	S30PE%3	2,01	0,56	2,19	0,64	2,24	0,64	2,42	0,73	2,44	0,71	2,75	0,69
17	S40PE%3	3,09	1,03	4,14	0,81	4,58	0,96	5,20	0,97	5,91	1,10	6,35	1,19
18	S50PE%3	5,48	2,14	6,29	2,16	7,15	1,48	7,40	1,68	7,45	1,45	8,33	1,31
19	S30PP%0	3,87	1,21	3,90	0,99	4,38	1,22	4,44	1,23	4,52	1,17	4,77	1,64
20	S40PP%0	3,89	0,60	4,72	0,74	5,42	0,60	6,12	0,83	6,73	0,67	7,42	0,46
21	S50PP%0	6,41	0,75	7,17	0,86	7,43	0,92	7,45	0,95	7,52	1,27	8,10	1,43
22	S30PP%3	1,66	0,75	2,10	1,06	2,19	0,88	2,58	0,91	2,58	0,88	3,28	0,78
23	S40PP%3	2,03	0,44	2,70	0,63	3,10	0,77	3,56	0,98	3,87	1,02	5,09	1,67
24	S50PP%3	3,94	0,62	5,32	0,44	6,33	0,68	7,08	0,58	7,46	0,48	8,24	0,65
E1	E50PE%0	6,84	0,52	7,29	0,56	7,39	0,61	7,71	0,73	7,71	0,24	7,72	0,72
E2	E50PE%3	5,72	1,34	6,16	0,99	6,25	0,68	6,91	0,90	7,04	0,46	7,16	1,57
E3	E50PP%0	5,93	1,22	5,95	1,26	6,20	1,51	6,30	1,51	6,30	1,04	6,88	1,51
E4	E50PP%3	3,01	0,88	3,29	1,06	4,36	0,80	5,21	1,08	5,25	0,99	6,94	1,71

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı), belirlenen kalınlık artışı oranlarına etkisi olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 95’te verilmiştir.

Tablo 95. OPK içeriğinin kalınlık artışı oranlarına etkisi, ÇVA sonuçları

Kalınlık Artışı Oranı (%)	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
	Materyal Tipi (A)	444,532	2	222,266	39,039	,000
	Polimer Tipi (B)	36,119	1	36,119	6,344	,013
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	239,466	2	119,733	21,030	,000
	Odun Oranı (D)	1780,534	2	890,267	156,367	,000
	A*B (İnteraksiyon)	40,658	2	20,329	3,571	,031
	A*C	201,999	4	50,500	8,870	,000
	A*D	29,752	2	14,876	2,613	,077
	B*D	1,553	2	,777	,136	,873
	A*B*D	31,427	2	15,713	2,760	,067
	C*D	12,437	4	3,109	,546	,702
	A*C*D	16,103	4	4,026	,707	,588
	Hata	797,084	140	5,693		

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu oranı ve materyal*odun oranı etkileşimi levhaların kalınlık artışı oranlarına etkisi %95 güven düzeyi ile önemli, diğer etkileşimlerin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin kalınlık artışı oranlarına etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 96'da verilmiştir.

Tablo 96. Kalınlık artışı oranına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	% Kalınlık artışı
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	B
	Remidasyon	C
Uyumlaştırıcı	%0	C
	%3 MAPE	B
	%3 MAPP	A
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.5. Mekaniksel Özelliklere Ait Bulgular

3.3.5.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Üretilen levhaların eğilme direnci (ED) ve eğilmede elastikiyet modülü (EM) özelliklerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 97'de verilmiştir.

Tablo 97. Eğilme direnci (ED) ve eğilmede elastikiyet modülü (EM) değerleri

Grup		ED (N/mm ²)		EM (N/mm ²)		Grup		ED (N/mm ²)		EM (N/mm ²)	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	25,72	0,95	1844	104,48	13	S30PE%0	28,36	2,00	2044	190,80
2	K40PE%0	20,58	1,94	1508	160,19	14	S40PE%0	27,64	1,76	2389	175,15
3	K50PE%0	23,53	1,43	2178	155,19	15	S50PE%0	24,49	1,21	2335	180,69
4	K30PE%3	29,94	1,61	1882	144,82	16	S30PE%3	34,81	2,42	2294	226,68
5	K40PE%3	24,94	1,73	1453	172,05	17	S40PE%3	33,80	2,82	2532	227,78
6	K50PE%3	23,41	1,65	2037	138,81	18	S50PE%3	32,09	1,14	2963	112,95
7	K30PP%0	37,10	2,19	2406	149,68	19	S30PP%0	41,74	2,52	2887	257,64
8	K40PP%0	41,77	3,26	3248	280,91	20	S40PP%0	43,06	2,82	3227	249,80
9	K50PP%0	35,56	1,40	3187	207,63	21	S50PP%0	38,30	1,40	3158	140,46
10	K30PP%3	47,67	3,32	2596	253,17	22	S30PP%3	49,45	3,08	2898	263,43
11	K40PP%3	40,55	1,07	2638	85,48	23	S40PP%3	49,04	2,23	3402	230,50
12	K50PP%3	40,89	2,77	3218	79,41	24	S50PP%3	53,45	1,83	4310	258,37
E1	E50PE%0	21,37	1,90	1900	173,01	E3	E50PP%0	31,83	1,86	2516	184,40
E2	E50PE%3	31,03	1,18	2636	270,44	E4	E50PP%3	40,34	2,05	2713	177,08
YYPE		30,83	2,26	1340	181,71	PP		31,31	1,93	923	36,01

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, polimer tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) eğilme özellikleri üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 98'de verilmiştir.

Tablo 98. OPK içeriğinin eğilme özelliklerine etkisi, ÇVA sonuçları

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Eğilme Direnci (N/mm²)	Materyal Tipi (A)	2124,326	2	1062,163	242,676	,000
	Polimer Tipi (B)	5997,334	1	5997,334	1370,230	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	2721,540	2	1360,770	310,899	,000
	Odun Oranı (D)	341,659	2	170,829	39,030	,000
	A*B (İnteraksiyon)	23,472	2	11,736	2,681	,070
	A*C	408,938	4	102,234	23,358	,000
	A*D	2124,326	2	1062,163	242,676	,000
	B*D	5997,334	1	5997,334	1370,230	,000
	A*B*D	2721,540	2	1360,770	310,899	,000
	C*D	341,659	2	170,829	39,030	,000
	A*C*D	23,472	2	11,736	2,681	,050
	Hata	1102,974	252	4,377		
	Toplam	361722,020	280			
	Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm²)	Materyal Tipi (A)	24500163,990	2	12250081,995	319,187
Polimer Tipi (B)		25115677,341	1	25115677,341	654,412	,000
Uyumlaştırıcı Tipi (C)		2516290,267	2	1258145,133	32,782	,000
Odun Oranı (D)		14492844,082	2	7246422,041	188,812	,000
A*B (İnteraksiyon)		842573,008	2	421286,504	10,977	,000
A*C		4970808,842	4	1242702,210	32,380	,000
A*D		1460401,005	2	730200,503	19,026	,000
B*D		1761991,850	2	880995,925	22,955	,000
A*B*D		1774878,517	2	887439,258	23,123	,000
C*D		3520912,683	4	880228,171	22,935	,000
A*C*D		2807127,017	4	701781,754	18,286	,000
Hata		9671506,900	252	38378,996		
Toplam		1990449821,000	280			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu oranı ve bu faktörlerin birlikte etkileşimleri levhaların eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerine etkisi %95 güven düzeyi ile önemli olduğu bulunmuştur. OPK içeriğinin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerine etkileri yapılan dunca testi analizi ile Tablo 99’da verilmiştir.

Tablo 99. Eğilme özelliklerine ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	ED-HG	EM-HG
Materyal	Kreozot	B	C
	Kontrol	A	A
	Remidasyon	C	B
Uyumlaştırıcı	%0	B	B
	%3 MAPE	C	C
	%3 MAPP	A	A
Odun Unu Oranı	%30	A	C
	%40	B	B
	%50	C	A

3.3.5.2. Çekme Direnci ve Elastikiyet Modülü

Üretilen levhaların çekme direnci (ÇD) ve çekmede elastikiyet modülü (ÇM) özelliklerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 100'de verilmiştir.

Tablo 100. Çekme direnci (ÇD) ve çekmede elastikiyet modülü (ÇM) değerleri

Grup		ÇD (N/mm ²)		ÇM (N/mm ²)		Grup		ÇD (N/mm ²)		ÇM (N/mm ²)	
No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S	\bar{X}	S
1	K30PE%0	13,21	0,65	1235	81,00	13	S30PE%0	19,12	0,46	1631	99,31
2	K40PE%0	11,19	0,46	1048	86,25	14	S40PE%0	15,48	0,67	1452	290,47
3	K50PE%0	10,13	0,27	1109	120,02	15	S50PE%0	12,24	0,50	1501	222,00
4	K30PE%3	16,08	0,13	1198	87,91	16	S30PE%3	20,93	0,51	1460	252,76
5	K40PE%3	13,82	0,67	1225	138,80	17	S40PE%3	18,52	0,83	1626	302,63
6	K50PE%3	13,33	0,65	1231	183,68	18	S50PE%3	19,86	0,60	1508	373,18
7	K30PP%0	17,64	1,05	1211	163,58	19	S30PP%0	14,78	1,55	1505	213,96
8	K40PP%0	16,27	0,34	1274	123,22	20	S40PP%0	19,56	0,25	1362	311,69
9	K50PP%0	12,96	1,87	1451	112,04	21	S50PP%0	15,42	1,31	1511	346,08
10	K30PP%3	22,96	0,78	1548	71,93	22	S30PP%3	25,01	1,08	1746	172,70
11	K40PP%3	21,87	0,86	1709	206,58	23	S40PP%3	25,93	1,24	2128	182,74
12	K50PP%3	20,31	1,07	1932	172,10	24	S50PP%3	26,45	2,25	2415	305,28
E1	E50PE%0	12,12	0,70	1211	192,95	E3	E50PP%0	16,14	0,86	1608	176,24
E2	E50PE%3	16,01	1,08	1226	159,30	E4	E50PP%3	22,08	1,35	1669	177,30
YYPE		21,72	0,59	400	20,84	PP		22,60	0,95	385	29,95

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) çekme özellikleri üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 101'de verilmiştir.

Tablo 101. OPK içeriğinin çekme özelliklerine etkisi, ÇVA sonuçları

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Çekme Direnci (N/mm ²)	Materyal Tipi (A)	853,668	2	426,834	439,034	,000
	Polimer Tipi (B)	247,565	1	247,565	254,641	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	1887,239	2	943,620	970,591	,000
	Odun Oranı (D)	179,434	2	89,717	92,282	,000
	A*B (İnteraksiyon)	77,376	2	38,688	39,794	,000
	A*C	127,705	4	31,926	32,839	,000
	A*D	42,378	2	21,189	21,794	,000
	B*D	106,064	2	53,032	54,548	,000
	A*B*D	121,250	2	60,625	62,358	,000
	C*D	106,000	4	26,500	27,257	,000
	A*C*D	62,841	4	15,710	16,159	,000
	Hata	244,997	252	,972		
	Toplam	91340,017	280			
	Çekmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)	Materyal Tipi (A)	6553161,247	2	3276580,623	76,227
Polimer Tipi (B)		425322,269	1	425322,269	9,895	,002
Uyumlaştırıcı Tipi (C)		4911333,930	2	2455666,965	57,129	,000
Odun Oranı (D)		1116728,663	2	558364,331	12,990	,000
A*B (İnteraksiyon)		634258,042	2	317129,021	7,378	,001
A*C		1752029,050	4	438007,262	10,190	,000
A*D		46024,632	2	23012,316	,535	,586
B*D		317081,717	2	158540,858	3,688	,026
A*B*D		82090,417	2	41045,208	,955	,386
C*D		1291719,333	4	322929,833	7,513	,000
A*C*D		407840,067	4	101960,017	2,372	,053
Hata		10832152,600	252	42984,733		
Toplam		658510342,000	280			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu oranı ve bu faktörlerin birlikte etkileşimleri levhaların çekme direnci değerlerine etkisi %0,1 hata payı ile önemli, materyal*odun oranı etkileşiminin ise elastikiyet modülü değerlerine etkisi %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin çekme ve çekmede elastikiyet modülü değerlerine etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 102’de verilmiştir.

Tablo 102. Çekme özelliklerine ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	ÇD-HG	ÇM-HG
Materyal	Kreozot	C	C
	Kontrol	A	A
	Remidasyon	B	B
Uyumlaştırıcı	%0	C	B
	%3 MAPE	B	B
	%3 MAPP	A	A
Odun Unu Oranı	%30	A	B
	%40	B	AB
	%50	C	A

3.3.5.3. Darbe Direnci

Üretilen levhaların darbe direnci (DE) özelliklerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 103'te verilmiştir.

Tablo 103. Darbe direnci (DE) değerleri

Grup		DE (J/m)		Grup		DE (J/m)	
No	Kodu	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S
1	K30PE%0	68,03	5,21	13	S30PE%0	61,19	4,00
2	K40PE%0	71,41	8,04	14	S40PE%0	46,71	2,51
3	K50PE%0	52,61	3,26	15	S50PE%0	42,24	3,00
4	K30PE%3	51,87	2,34	16	S30PE%3	42,46	3,30
5	K40PE%3	44,00	2,41	17	S40PE%3	34,70	1,98
6	K50PE%3	38,02	1,91	18	S50PE%3	32,87	1,94
7	K30PP%0	24,78	1,42	19	S30PP%0	23,29	3,10
8	K40PP%0	26,05	2,55	20	S40PP%0	24,58	1,91
9	K50PP%0	22,89	2,29	21	S50PP%0	25,32	0,79
10	K30PP%3	20,47	1,14	22	S30PP%3	21,60	0,95
11	K40PP%3	22,41	1,23	23	S40PP%3	22,56	1,07
12	K50PP%3	23,84	1,28	24	S50PP%3	24,65	1,32
E1	E50PE%0	48,14	3,96	E3	E50PP%0	27,37	2,95
E2	E50PE%3	38,48	3,52	E4	E50PP%3	25,69	2,86
YYPE		284	10,4	PP		29,59	0,59

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) darbe özellikleri üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 104'te verilmiştir.

Tablo 104. OPK içeriğinin darbe özelliklerine etkisi, ÇVA sonuçları

Darbe Direnci (J/m)	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
	Materyal Tipi (A)	1563,389	2	781,695	88,266	,000
	Polimer Tipi (B)	30559,780	1	30559,780	3450,689	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	7669,430	2	3834,715	433,001	,000
	Odun Oranı (D)	1376,145	2	688,073	77,694	,000
	A*B (İnteraksiyon)	1448,595	2	724,298	81,785	,000
	A*C	306,205	4	76,551	8,644	,000
	A*D	270,172	2	135,086	15,253	,000
	B*D	1510,215	2	755,108	85,264	,000
	A*B*D	403,318	2	201,659	22,771	,000
	C*D	378,196	4	94,549	10,676	,000
	A*C*D	430,594	4	107,648	12,155	,000
	Hata	2231,747	252	8,856		
	Toplam	424723,890	280			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri, odun unu oranı ve bu faktörlerin birlikte etkileşimleri levhaların darbe direnci değerlerine etkisi %0,1 hata payı ile önemli olduğu bulunmuştur. OPK içeriğinin darbe direnci değerlerine etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 105’te verilmiştir.

Tablo 105. Darbe özelliklerine ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	DE-HG
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	C
	Remidasyon	B
Uyumlaştırıcı	%0	A
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	B
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	B
	%50	C

3.3.5.4.Vida Tutma Direnci

Üretilen levhaların vida tutma direnci (W) özelliklerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 106’da verilmiştir.

Tablo 106. Levhaların vida tutma direnci (W) değerleri

Grup		W (N/mm)		Grup		W (N/mm)	
No	Kodu	\bar{X}	S	No	Kodu	\bar{X}	S
1	K30PE%0	96,90	2,16	13	S30PE%0	116,27	0,40
2	K40PE%0	101,63	0,55	14	S40PE%0	110,93	0,90
3	K50PE%0	86,67	0,15	15	S50PE%0	100,83	5,84
4	K30PE%3	83,20	57,59	16	S30PE%3	121,33	2,89
5	K40PE%3	93,90	1,50	17	S40PE%3	115,67	1,15
6	K50PE%3	97,23	0,31	18	S50PE%3	113,97	0,49
7	K30PP%0	128,60	1,54	19	S30PP%0	127,67	0,58
8	K40PP%0	143,03	0,06	20	S40PP%0	133,00	1,00
9	K50PP%0	114,40	0,53	21	S50PP%0	108,73	2,37
10	K30PP%3	145,40	1,44	22	S30PP%3	128,73	0,42
11	K40PP%3	148,07	1,01	23	S40PP%3	141,33	2,31
12	K50PP%3	144,00	0,20	24	S50PP%3	121,13	0,90
E1	E50PE%0	81,80	5,77	E3	E50PP%0	102,63	0,75
E2	E50PE%3	102,67	1,40	E4	E50PP%3	121,83	1,61
YYPE		150,20	0,72	PP		199,25	0,85

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) vida tutma direnci üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 107’de verilmiştir.

Tablo 107. OPK içeriğinin vida tutma direncine etkisi, ÇVA sonuçları

Vida Tutma Direnci (N/mm)	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
		Materyal Tipi (A)	922,953	2	461,476	3,771
	Polimer Tipi (B)	5382,608	1	5382,608	43,983	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	1679,934	2	839,967	6,864	,002
	Odun Oranı (D)	1451,419	2	725,709	5,930	,005
	A*B (İnteraksiyon)	893,171	2	446,586	3,649	,032
	A*C	589,684	4	147,421	1,205	,319
	A*D	305,578	2	152,789	1,248	,295
	B*D	311,312	2	155,656	1,272	,288
	A*B*D	,351	2	,175	,001	,999
	C*D	803,151	4	200,788	1,641	,177
	A*C*D	296,202	4	74,051	,605	,661
	Hata	6853,267	56	122,380		
	Toplam	1155940,470	84			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal, uyumlaştırıcı tipleri ve odun unu oranı levhaların vida tutma direnci değerlerine etkisi %95 güven düzeyi ile önemli, bu faktörlerin birlikte

etkileşimlerinin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu belirlenmiştir. OPK içeriğinin vida tutma direnci değerlerine etkileri yapılan duncan testi analizi ile Tablo 108’de verilmiştir.

Tablo 108. Vida tutma özelliklerine ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	W-HG
Materyal	Kreozot	A
	Kontrol	A
	Remidasyon	B
Uyumlaştırıcı	%0	B
	%3 MAPE	C
	%3 MAPP	A
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	A
	%50	B

3.3.6. Termal Özelliklere Ait Bulgular

3.3.6.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz kapsamında levhaların bozunma basamakları ve 545 °C’de kalan madde miktarları Tablo 109-111’de verilmiştir.

Tablo 109. Kreozot içeren levhaların bozunma basamaklarında % ağırlık kayıpları ve % kalıntı miktarları

Grup		%Ağırlık Kaybı							%Kalıntı Oranı
No	Kodu	% 5	% 10	% 20	% 40	% 60	% 80	% 90	
1	K30PE%0	256	320	372	473	488	498	506	5,503
2	K40PE%0	269	323	372	476	489	499	506	5,914
3	K50PE%0	259	314	364	469	488	499	509	7,796
4	K30PE%3	284	333	381	476	489	498	505	5,843
5	K40PE%3	288	332	375	473	489	499	508	7,463
6	K50PE%3	269	317	361	457	486	498	524	9,717
7	K30PP%0	294	337	381	457	470	480	488	6,163
8	K40PP%0	284	329	375	456	471	481	490	6,031
9	K50PP%0	270	315	358	439	470	484	536	9,887
10	K30PP%3	302	345	388	459	471	481	489	5,238
11	K40PP%3	281	325	370	453	470	482	493	7,670
12	K50PP%3	256	306	351	417	469	485	496	10,761

Tablo 110. Kontrol levhaların bozunma basamaklarında % ağırlık kayıpları ve % kalıntı miktarları

Grup		%Ağırlık Kaybı							%Kalıntı Oranı
No	Kodu	% 5	% 10	% 20	% 40	% 60	% 80	% 90	
13	S30PE%0	315	353	409	479	489	497	503	4,798
14	S40PE%0	293	333	376	475	489	498	505	5,893
15	S50PE%0	294	329	366	461	486	499	545	10,294
16	S30PE%3	298	339	383	476	489	497	504	5,028
17	S40PE%3	294	331	371	469	486	497	501	7,708
18	S50PE%3	287	324	363	458	485	495	514	9,371
19	S30PP%0	292	330	370	451	471	482	497	8,272
20	S40PP%0	287	325	364	444	469	482	502	9,108
21	S50PP%0	285	323	362	440	471	486	534	9,852
22	S30PP%3	288	327	367	448	470	482	514	9,585
23	S40PP%3	290	327	366	447	469	481	503	9,355
24	S50PP%3	281	320	358	428	466	482	547	10,740

Tablo 111. Remidasyon gruplarının ve ana materyallerin bozunma basamaklarında % ağırlık kayıpları ve % kalıntı miktarları

Grup		%Ağırlık Kaybı							%Kalıntı Oranı
No	Kodu	% 5	% 10	% 20	% 40	% 60	% 80	% 90	
E1	E50PE%0	273	317	359	457	486	498	510	8,785
E2	E50PE%3	286	322	359	446	486	499	535	9,889
E3	E50PP%0	292	328	368	448	471	484	510	9,602
E4	E50PP%3	285	325	365	446	469	481	497	9,037
Kreozot Kontrol		139	193	251	335	374	474	546	18,029
Sarıçam Kontrol		105	258	311	354	380	508	546	18,997
Saf YYPE		466	474	480	487	492	496	500	-
Saf PP		427	439	450	461	467	474	479	-

Bütün gruplara ait TGA ve DTG termogramları Ek-Şekiller dizininde Ek Şekil 39-50'de verilmiştir.

3.3.6.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

%50 odun unu içeren levhaların ve ham materyallerin DSC analizi sonucu hesaplanan entalpi değerleri ve kristallenme dereceleri Tablo 112'de verilmiştir. Levhaların kristallenme derecelerinin belirlenmesinde kullanılan analiz verileri ise Ek-Tablolar dizininde Ek Tablo 2'de verilmiştir. Saf YYPE ve PP'nin erime sıcaklıkları sırasıyla 132 °C ve 165 °C olarak belirlenmiştir.

Tablo 112. DSC analizi sonucu elde edilen entalpi ve kristallenme dereceleri

Grup ^a		T _{mi} ^b (°C)	T _o ^c (°C)	T _c ^d (°C)	ΔH _c ^e (j/g)	T _{mII} ^f (°C)	ΔH _{II} ^g (j/g)	X _c ^h (%)
No	Kodu							
3	K50PE%0	130,17	120,38	118,18	-67,13	133,76	70,19	47,91
6	K50PE%3	129,09	120,41	118,18	-78,33	133,60	80,54	54,98
9	K50PP%0	163,59	116,32	112,45	-36,81	161,10	27,89	26,69
12	K50PP%3	162,63	120,53	115,69	-44,15	162,07	28,72	27,48
15	S50PE%0	132,24	121,09	118,59	-84,54	135,00	86,61	59,12
18	S50PE%3	131,39	120,83	118,70	-75,04	134,05	75,93	51,83
21	S50PP%0	164,88	120,26	115,59	-42,42	162,31	26,96	25,80
24	S50PP%3	164,49	121,62	117,14	-40,00	162,37	25,99	24,87
E1	E50PE%0	131,87	114,71	118,15	-87,41	134,64	87,30	59,59
E2	E50PE%3	131,36	120,71	118,63	-68,24	133,74	71,28	48,66
E3	E50PP%0	164,49	118,08	113,75	-38,04	161,55	23,70	22,68
E4	E50PP%3	163,99	121,06	116,60	-40,13	161,83	26,81	25,65

a; Levha grubu, b; ilk erime sıcaklık piki, c; kristallenmenin başlama sıcaklığı, d; kristallenmenin sıcaklık piki, e; kristallenme entalpisi, f; ikinci erime sıcaklık piki, g; ikinci erime entalpisi, h; kristallenme derecesi.

Bütün gruplara ait DSC grafikleri Ek-Şekiller dizininde Ek Şekil 51-53'te verilmiştir.

3.3.6.3. Limit Oksijen İndeksi (LOİ)

LOİ analizi sonucu belirlenen indeksler (%O₂) Tablo 113'te verilmiştir.

Tablo 113. Limit oksijen indeksi (LOİ) değerleri

Grup		(%O ₂)	Grup		(%O ₂)
No	Kodu		No	Kodu	
1	K30PE%0	20	13	S30PE%0	23
2	K40PE%0	19	14	S40PE%0	22
3	K50PE%0	19	15	S50PE%0	20
4	K30PE%3	21	16	S30PE%3	23
5	K40PE%3	20	17	S40PE%3	23
6	K50PE%3	20	18	S50PE%3	22
7	K30PP%0	19	19	S30PP%0	20
8	K40PP%0	18	20	S40PP%0	20
9	K50PP%0	18	21	S50PP%0	19
10	K30PP%3	20	22	S30PP%3	21
11	K40PP%3	19	23	S40PP%3	20
12	K50PP%3	19	24	S50PP%3	20
E1	E50PE%0	20	YYPE		19
E2	E50PE%3	22	PP		17

"Tablo 113'ün devamı"				
E3	E50PP%0	20	Sarıçam	22
E4	E50PP%3	21		

3.3.6.4. Alevin Lineer Yayılma Hızı

Levhaların alevin yayılma hızı (FV) özelliklerine ait ortalama (\bar{X}) ve standart sapma (S) değerleri Tablo 114'te verilmiştir.

Tablo 114. OPK grupların alevin yayılma hızı (FV) değerleri

Grup		FV (mm/dk)			Grup		FV (mm/dk)		
No	Kodu	\bar{X}	S	V	No	Kodu	\bar{X}	S	V
1	K30PE%0	26,44	1,34	5,07	13	S30PE%0	26,65	3,04	11,40
2	K40PE%0	26,93	2,26	8,41	14	S40PE%0	26,04	0,66	2,53
3	K50PE%0	29,72	2,91	9,79	15	S50PE%0	24,41	1,24	5,06
4	K30PE%3	26,54	1,79	6,76	16	S30PE%3	27,81	1,80	6,48
5	K40PE%3	28,11	2,19	7,77	17	S40PE%3	26,93	1,46	5,44
6	K50PE%3	30,34	1,93	6,35	18	S50PE%3	24,85	1,42	5,73
7	K30PP%0	26,96	8,53	31,64	19	S30PP%0	34,04	5,77	16,97
8	K40PP%0	37,98	5,51	14,52	20	S40PP%0	32,06	2,14	6,69
9	K50PP%0	31,67	2,83	8,92	21	S50PP%0	29,99	2,13	7,09
10	K30PP%3	35,48	2,56	7,22	22	S30PP%3	32,13	1,08	3,36
11	K40PP%3	36,04	6,12	16,97	23	S40PP%3	31,11	2,15	6,92
12	K50PP%3	35,95	4,82	13,40	24	S50PP%3	30,23	1,02	3,37
E1	E50PE%0	26,45	1,27	4,81	E3	E50PP%0	33,06	1,75	5,29
E2	E50PE%3	26,63	1,18	4,44	E4	E50PP%3	33,39	1,52	4,57
YYPE		27,23	3,57	13,10	PP		29,63	1,32	4,46

OPK üretiminde malzeme içeriğinin (materyal tipi, uyumlaştırıcı tipi, odun oranı) alevin yayılma hızı üzerine etkilerinin önemli olup olmadığını belirlemek için yapılan ÇVA sonuçları Tablo 115'te verilmiştir.

Tablo 115. OPK içeriğinin alevin yayılma hızına etkisi, ÇVA sonuçları

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Düzeyi
Alevin Lineer Yayılma Hızı (mm/dk)	Materyal Tipi (A)	162,964	2	81,482	8,099	,001
	Polimer Tipi (B)	553,353	1	553,353	54,998	,000
	Uyumlaştırıcı Tipi (C)	21,880	2	10,940	1,087	,341
	Odun Oranı (D)	20,220	2	10,110	1,005	,369
	A*B (İnteraksiyon)	25,931	2	12,965	1,289	,280
	A*C	82,321	4	20,580	2,045	,093
	A*D	159,764	2	79,882	7,940	,001
	B*D	72,891	2	36,445	3,622	,030
	A*B*D	94,562	2	47,281	4,699	,011
	C*D	63,075	4	15,769	1,567	,188
	A*C*D	83,340	4	20,835	2,071	,089
	Hata	1126,86	112	10,061		
	Toplam	128430	140			

ÇVA sonuçlarına göre; materyal ve materyal*odun oranı birlikte etkileşiminin OPK gruplarında alevin yayılma hızı değerlerine etkisi %95 güven düzeyi ile önemli olduğu belirlenmiştir. Uyumlaştırıcı, odun oranı ve bu faktörlerin birlikte etkileşimlerinin ise %5 hata payı ile önemsiz olduğu bulunmuştur. OPK içeriğinin alevin yayılma hızı özellikleri üzerine etkisi yapılan duncan testi analizi ile Tablo 116'da verilmiştir.

Tablo 116. Alevin yayılma hızına ait homojenlik grupları

Ölçüt	Tip	FV-HG
Materyal	Krezot	C
	Kontrol	A
	Remidasyon	AB
Uyumlaştırıcı	%0	B
	%3 MAPE	A
	%3 MAPP	C
Odun Unu Oranı	%30	A
	%40	A
	%50	A

3.3.7. Levhaların Morfolojik (SEM) Özelliklerinin Belirlenmesi

Levhaların SEM analizi sonucu elde edilen görüntüler Şekil 78-80'de ve Ek Şekil 54-57'de verilmiştir.

4. İRDELEME

4.1. Tür Teşhisi

Kreozot içeren tel direklerinin *Pinus sylvestris* L. (Sarıçam) olduğu tespit edilmiştir. Sarıçam gerek doğal yayılışı (37°-70° Kuzey ve 7°-137° Doğu koordinatlarını kapsayan geniş bir yayılış alanı) gerekse de sahip olduğu fiziksel ve mekaniksel özelliklerinden dolayı; mobilya, kâğıt hamuru, levha, ambalaj sandıkları vb. üretiminde olmak üzere yuvarlak halde çit, maden ve tel direği gibi birçok alanda değerlendirilmektedir. Emprenye işlemi açısından diri oduna göre kolay, öz oduna göre ise orta derecede güç emprenye olan tür sınıfına girmektedir (Dündar, 2005; Alan vd., 2008).

Kısaca mikroskopik özelliklerine değinilirse; yıllık halka sınırları belirgin, yaz odunu traheitleri radyal yönde yassılaştırmış, kalın çeperli ve dar lümenlidir. Traheitlerin teğet çapı 10-15 µm olup uzunlukları 1800-4500 µm'dir. İlkbahar odununda radyal çeperler üzerinde kenarlı geçitler büyük ve tek sıralıdır. Boyuna paranzim bulunmamaktadır. Öz ışınları heterojen tek sıralı olup reçine kanalı ihtiva etmektedir. Öz ışınları traheitleri her iki tarafta 1-3 sıralı ve bazen de öz ışını içerisinde yer almaktadır. Karşılaşma yerlerindeki geçitler genellikle pencere tipindedir. Ayrıca karşılaşma yeri geçitlerinde dış şeklinde kalınlaşan enine traheitler ile diğer türlerden ayrılmaktadır. Boyuna paranzim hücreleri bulunmamakla birlikte reçine kanallarının ortalama %37'si ilkbahar odununda, %63'ü yaz odununda bulunmaktadır (Bozkurt vd., 1995; Merve, 2003; Dündar, 2005).

Bu bilgiler ışığında mikroskop altında yapılan incelemelerde kreozot, özellikle yaz odunu traheitleri/lümen boşluklarında sıkışıp kaldığı belirlenmiştir. İlkbahar odununda ise penetrasyon aralıklı olarak devam etmiştir. Yüksek molekül ağırlığından dolayı yağlı karakterdeki emprenye maddelerinin emprenyesi suda çözünen emprenye maddelerinden daha zordur. Dolayısıyla ön ısıtma ve yüksek basınç uygulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da odun hücrelerinde bazı deformasyonlara neden olabilmektedir. Emprenye maddesinin reçine kanalına neredeyse hiç penetre olmamıştır.

Kreozot ile emprenye edilmiş ve daha sonra dış ortama maruz kalmış odun örneklerinin ışık mikroskopundaki incelemelerinde; reçine etrafındaki epitel hücrelerinin etkilendiği ve buna bağlı olarak kontrol grubuna kıyasla hücreler arası geçişlerde düzensizlikler olduğu görülmüştür. Büyük lümenli reçine kanalları tam olarak emprenye

olmamıştır. Bunun nedeni doğal koruma sağlayan reçinenin iticiliği ve uygulanan empenye tekniği olduğu sanılmaktadır.

4.2. Kreozot İçeren Odun Örneklerinin Yapı Aydınlatması

4.2.1. Kreozot İçeriğinin Belirlenmesi

Standart (toluen) temel alındığında hizmet ömrünü (26 yıl) tamamlamış tel direklerinde % kreozot içeriği, ortalama %39,11 olmuştur. Alkol-benzen ekstraksiyonu kullanıldığında ise bu oran %52,31 olduğu belirlenmiştir. En düşük oran ise hekzan çözücüsünde (%30,49) elde edilmiştir. Burada amaç ileride yapılacak çalışmalarda tolüenin yanında hekzan ve alkol-benzen gibi çözücülerin kreozot analizlerinde etkinliğini belirlemektir. Alkol-benzen çözücüsünde bu oranın yüksek çıkması, kreozot ile birlikte odundan ekstraktifleri de uzaklaştırdığı anlamına gelmektedir.

Roliadi vd. (2000) yaptıkları çalışmada kreozot oranı; taze halde, 5 yıllık ve 25 yıllık tel direklerinde sırasıyla yaklaşık olarak %35, %15 ve %12 olarak bulunmuştur. Benzer çalışmada Shupe vd. (2006) kreozot içeriğini %34,18 (taze), %9,12 (5 yıl) ve %2,84 (25 yıl) olarak belirlemişlerdir. Bu azalmanın nedeni hizmet süresi uzadıkça kreozotun, odun hücre gözeneklerinden kanaması veya yıkanmasına bağlanmaktadır. Ayrıca yer çekiminden dolayı direğin dip kısmına doğru ve permeabilitenin artmasıyla yüzeylerden öze doğru kreozot içeriği artmaktadır. Diğer çalışmalarda da hizmet süresi boyunca kreozotun %10-50 arasında odundan uzaklaştığı belirtilmiştir (Brudermann, 2008; Webb ve Gauntt, 2010; Lebow vd., 2013).

%39,11 olarak belirlenen kreozot içeriğine göre tez kapsamında kullanılan örneklerde kreozot tutunma miktarı yaklaşık olarak 62 kg/m^3 olmuştur. AWPA standardına göre ahşap malzemede kreozotun retensiyonu kullanım yerine ve istenen hizmet süresine göre değişkenlik göstermektedir. Genel olarak toprak üstü kullanım yerlerinde $80-128 \text{ kg/m}^3$, toprakla temas eden yerlerde 160 kg/m^3 , şiddetli ve yüksek koruma istenen yerlerde 192 kg/m^3 retensiyon istenmektedir. Bu oranlar çit gibi küçük ebatlardaki ürünlerde ise 80 kg/m^3 'e düşmektedir (AWPA C2, 2001; C-EPA, 2004).

Kreozotun odundan uzaklaştırılması amacıyla biyoremediasyon ve çözücü ekstraksiyon yöntemleri oldukça sık kullanılmaktadır. Her iki yöntem ile kreozotun neredeyse tamamı uzaklaştırılabilmektedir. Fakat biyoremediasyonun zaman alması ve

ekstraksiyon yönteminin de maliyetli olması bu yöntemlerin en önemli dezavantajları olmuştur (Shupe, 2006). Bununla birlikte sokslet ekstraksiyonunda uygulanan sıcaklık ve partikül büyüklüğü ekstraksiyon verimini doğrudan etkilediği bilinmektedir (Hoşgün ve Bozan, 2010). Ekstraksiyon verimi bakımından; en yüksek alkol-benzen çözücüsünde (%77,16) ve en düşük hekzan çözücüsünde (%61,35) olup tolüende ise %69,93 oranında belirlenmiştir. Tez kapsamında hekzan çözücüsü kullanılarak yapılan remidasyon işleminde ekstraksiyon verimi, yeterli olduğu görülmektedir.

Şekil 40'ta verilen ekstraksiyon sonrası FTIR spektrumlarında sarıçam kontrol örneğinde bulunan aldehitlerde, eşleşmemiş ketonlarda, esterlerde ve karboksilik asitlerde C=O gerilme titreşimlerini gösteren $1720-1740\text{ cm}^{-1}$ piklerinin kreozot örneğinde kaybolmuştur. Lignin yapısındaki aromatik halkaların C=C gerilme bağlarını ifade eden $1500-1515\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki piklerin değişmediği görülmüş olup ekstraksiyon işleminin ve çözücü tipinin etkisi olmadığı belirlenmiştir. Fakat $1600-1660\text{ cm}^{-1}$ piki arasında tolüen ile ekstraksiyon işlemine tabi tutulan örnekte absorbansın arttığı gözlenmiştir. Bu değişimin kullanılan çözücünün yeni karbonil bileşiklerin oluşumuna neden olmasıyla açıklanabilmekte olup aromatik yapı titreşimi ve COO^- antisimetrik yapı titreşiminden kaynaklandığı bildirilmiştir (Temiz, 2005).

Toluen ve hekzan gibi çözücüler asetona göre odun hücre bileşenlerini daha az bozundurmaktadır. Fakat toluen özellikle selülozdaki hidrolizi hızlandırmakta olup lignin bantlarında da etkisi olduğu söylenebilmektedir. C-O bağı gibi asimetric ve simetric hidroksil bağlarında artış gözlenmekle beraber çözücü ekstraksiyonu sonrası aseton ile muamele edilen örneklerde 1646 cm^{-1} pikindeki bağlarda su moleküllerinin aseton ile yer değiştirip odun-aseton kompleks bağlarını oluşturduğu gözlenmektedir (Darwish ve Hadidi, 2008).

4.2.2. TGA-FTIR Seri Analizi (FTIR Bağlantılı TGA Analizi)

Bilindiği üzere malzemenin TGA analizi, fiziksel özelliklerin sıcaklığa bağlı olarak değişiminin incelendiği bir yöntemdir. Bu yüzden malzemenin yapısında meydana gelen kimyasal değişimleri tam olarak anlayabilmek için spektrometrik bir yöntem daha ihtiyaç vardır. Kreozot içeren odun örneklerinin termal bozunma ile çıkan gaz ürünler Şekil 42'de verilmiştir. Odunda hücre bileşenlerinin (selüloz, hemiselüloz, lignin) termal bozunması

genellikle 200 °C'den yüksek sıcaklıklarda başlamaktadır. Şekil 41'de görüldüğü gibi başlangıçta hızlı bir bozunmanın olduğu görülmektedir. Bunun nedeni kreozot bileşenlerinin yanında, örnekteki suyun da buharlaşmasıdır. 380 °C'ye kadar olan ağırlık kaybını öncelikle hemiselüloz, selüloz ve daha sonra kreozot yağının bozunması oluşturmaktadır. DTG eğrisinde ise ligninin bozunma bölgesi olan 380 °C'de ağırlık kaybı kademeli olarak azalmasına rağmen gaz çıkışının bu sıcaklığa kadar artarak devam ettiği görülmektedir. Dolayısıyla OPK üretimi esnasında ekstrüder sisteminde gerek zararlı gaz formlarının açığa çıkmaması gerekse de odun hücre bileşenlerinin bozunmasını engellemek için 190 °C'yi aşılmaması sağlanmıştır. Becker vd. (2001) yaptıkları çalışmada kreozotun ve kreozot içeren odunun termal bozunması; 75 °C'de kurutma işlemi ile başladığı, ardından kreozot bileşenlerinin 180-400 °C arasında buharlaştığı, 300-400 °C arasında odundaki oksidatif reaksiyonlar nedeniyle kreozot bileşiklerinde 400-600 °C arasında mineralleşmenin olduğunu belirlemişlerdir. 220-290 °C arasında kreozotun ana bileşikleri buharlaşmaktadır. Bu sıcaklıklar kreozotun naftalen (218 °C), metilnaftalen (245 °C) ve dibenzofuran (287 °C) gibi ana bileşenlerinin kaynama noktalarını kapsamaktadır. 545 °C'de ise kreozotun kalıntı bileşikleri CO₂'e oksitlenmektedir.

FTIR spektrumunda ise çıkan gaz ürünlerin zamana bağlı olarak CO gazının azalıp CO₂ gazının arttığı gözlemlenmektedir. Spektrumda, 3567 cm⁻¹ piki su buharını (H₂O), 2345 cm⁻¹ piki karbondioksiti (CO₂), 1744 cm⁻¹ ve 1103 cm⁻¹ pikleri asidik gazlar olarak bilinen asetik asit (CH₃COOH) ve formik asit (HCOOH) gazlarını, 1044 cm⁻¹ piki metanolü (CH₃OH) ve 666 cm⁻¹ piki CO₂ gazını temsil etmektedir. Sıcaklık yoluyla dekarboksilasyon ve de-metoksilasyon yoluyla odundan CO, CO₂, H₂O, CH₄, CH₃OH bileşenlerinin uzaklaştığı bilinmektedir. Burada aktif termal bozunmanın 268 °C'ye kadar olan birinci bölgesinde %21 ağırlık kaybı gerçekleşmiştir. 380 °C'ye kadarki ikinci bölgede ise %60'lara varan ağırlık kaybı olmuştur. Karbonizasyon bölgesi olarak bilinen üçüncü bölgede basit süstitüe aromatik bileşenler uzaklaştığı için diğer bölgelere nazaran daha yavaş olmakta ve materyal gitgide kararsız molekül yapıya dönüşerek ağırlık kaybı %90'a çıkmaktadır (Gürkahraman ve Pehlivan, 1998; Konuklar, 2011; Jung vd., 2013).

4.2.3. Genel GC/MS Analizi

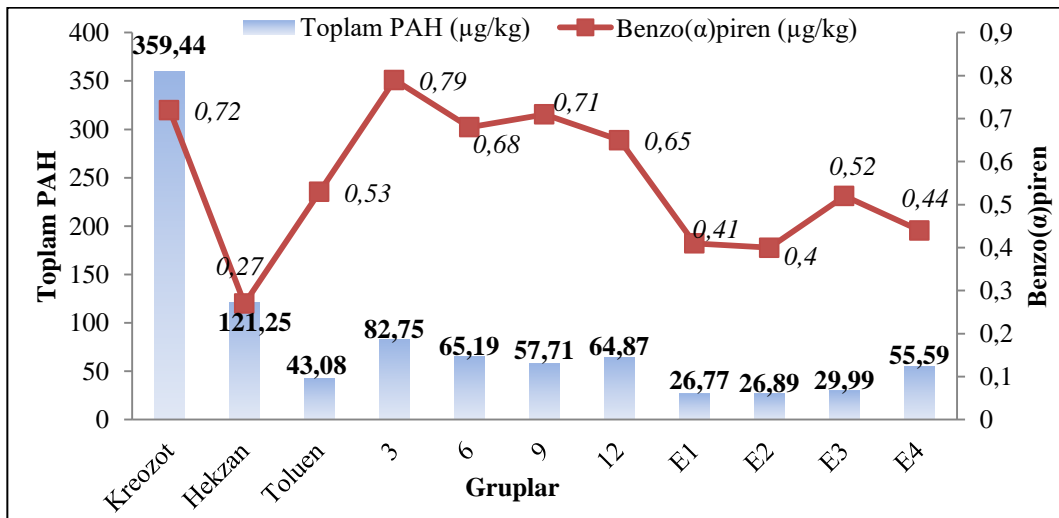
GC/MS analizi sonucu belirlenen 250 bileşik Ek Tablo 1'de verilmiştir. Naftalen, asenaftalen, fluoren, fenantren, piren ve bu bileşiklerin yan ürünleri/türevleri kreozot

içeriğini oluşturmaktadır. Kreozotun tanımlanabilen bileşen sayısı üretim şekline ve uygulanan sıcaklıklara göre değişebilmekte ve en az 155'ten başlayarak (Corn vd., 2010), 200 (Milton, 1995), 300 (CEPA, 2004) ve 1000'den fazla (EPA, 2008; Mateus vd., 2010) bileşenin var olduğu bilinmektedir. Bu bileşikler arasında en büyük payı nötral bileşikler almaktadır. Kreozotun %70-90'ını PAH'lar, %10'unu fenolik bileşikler, %3'ten azını mono-aromatik hidrokarbonlar (BTEX) ve %3-15'ini ise çok halkalı bileşikler içeren N (azot), O (oksijen) veya S (kükürt)'ün halkada yer aldığı heterosiklik bileşikler oluşturmaktadır. Dolayısıyla kreozotun ana bileşiklerini %90 oranında alifatik hidrokarbonlar oluşturmaktadır (Milton, 1995; Ibach, 1999; CEPA, 2004; Brudermann, 2008; Mateus vd., 2010; CEPA, 2013).

Tez kapsamında kullanılan ve yapısı %91 oranında aydınlatılan kreozotun %41'lik bölümü PAH bileşiklerinden oluştuğu tespit edilmiştir. Roliadi vd. (2000) yaptığı çalışmada; hizmet süresi arttıkça PAH bileşiklerinin büyük kısmı “weathering” (yaşlandırma) ile uzaklaştığı vurgulanmıştır. Fakat direklerin dip kısmına doğru empenye maddesi çöktüğü için bu bölgede PAH oranları yüksek olduğu belirtilmiştir.

4.2.4. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH-18) Belirlenmesi

Çözücü ekstraksiyon ile yapılan remidasyon işlemi sonrası; odun örneklerinde ve ekstraksiyona uğratılmış/ uğratılmamış odun unu içeren OPK gruplarında toplam PAH ve benzo(α)piren oranları Şekil 43'te özetlenmiştir.



Şekil 43. Toplam PAH bileşikleri ve benzo(α)piren oranlarındaki değişim

Buna göre; ham kreozot odun örneklerinin hekzan çözücüsü ile yapılan remidasyon işlemi sonucu toplam PAH ve benzo(α)piren azalış oranları sırasıyla %66 ve %62 olurken toluen çözücüsü ile yapılan remidasyon işleminde bu oranlar %88 ve %26 olmuştur. Burada toplam PAH miktarları için toluenin, benzo(α)piren için ise hekzanın etkinliği söz konusu olmuştur.

Remidasyona uğratılmış odun unu içeren levhalarda toplam PAH ve benzo(α)piren oranlarında sırasıyla %85-93 ve %29-44 arasında bir azalma meydana gelmiştir. Remidasyona uğratılmayan odun unu içeren levhalarda ise toplam PAH oranlarında %77-84 arasında bir azalma meydana gelirken benzo(α)piren oranlarında ise önemli bir artış dikkat çekmektedir. Bu durum, kreozot içeren odun örnekleri OPK üretiminde sürecinde (ekstrüzyon ve pres) PAH bileşiklerinin buharlaşarak uzaklaşması veya başka formlara dönüşmesi ile açıklanabilmektedir. Ayrıca uygulanan sıcaklık parametrelerinin benzo(α)piren oranını arttırdığı gözlenmiştir. Remidasyona uğratılan levha gruplarında ise YYPE ile üretilen ve uyumlaştırıcı kullanılan levhalarda benzo(α)piren oranında azalma olmuştur. Bu duruma kullanılan atık polimerler içinde var olan PAH bileşiklerinin neden olduğu düşünülmektedir.

Remidasyon işlemi sonrası benzo(α)piren dışında diğer PAH bileşiklerinde de önemli azalmalar olurken en öne çıkan bileşikler ve azalma oranları sırasıyla asenaften (%98), fluoren (%97), fenantren (%95), piren (%91) ve krisen (%86) olmuştur. PAH'lar en az 100 tekil bileşikten oluşmakla beraber öne çıkan bileşikler asenaften, antrasen, benzo(a)antrasen, benzo(α)piren, fluoranten, fluoren, naftelen, fenantren ve pirenlerdir. Bu bileşikler içerisinde en önemli kanserojen madde ise benzo(α)pirendir. Biyolojik olarak naftalenler kolay bozunabilirken fluoren, krisen, antrasen ve pirenler çok zor bozunmaktadır (Bergknut, 2006; Zhang vd., 2006; Wang vd., 2010; Alver vd., 2012).

Remidasyon sonrası üretilen OPK gruplarında toplam PAH oranları YYPE gruplarında ortalama 27 mg/kg, PP gruplarında ortalama 42,79 mg/kg olmuştur. Benzo(α)piren oranları ise YYPE'de ortalama 0,40 mg/kg, PP'de ortalama 0,48 mg/kg olmuştur. Dolayısıyla EPA sınıflandırması kapsamında (Tablo 12) üretilen OPK'lar benzo(α)piren oranlarına göre II. kategoride, toplam PAH oranlarına göre ise II. kategoriye çok yakın olmakla birlikte III. kategoride yer almıştır.

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar iki ya da daha fazla benzen halkasına sahip hidrofobik karakterli organik bileşikler olup düşük buhar basıncı, yüksek erime ve kaynama noktalarına sahiptirler. Bu nedenle suda çözünmezken organik karakterli güçlü

asitlerde rahatlıkla çözünebilmektedir (Zapff-Gilje vd., 2001; Zuydam, 2007). Kreozotun uzaklaştırılmasında en etkili iki yolun biyoremidasyon ve çözücü ekstraksiyon yöntemleri olduğu vurgulanmıştır. Fakat biyoremidasyonun uzun zaman aldığı, süper kritik su yönteminin de maliyetli olduğu vurgulanmıştır. Çözücü ekstraksiyon ise örnek miktarına bağlı olarak uzun süre gerektirmesi ve ekstraksiyon sonrası zehirli çözeltilerin kalıntı olarak kalması dezavantaj olarak vurgulanmaktadır (Portier vd., 1993; Zhou, 2012). Morrell (2004) ekstraksiyon yöntemi ile kreozotun büyük ölçüde uzaklaştırılabileceği fakat maliyet sorunun öne çıktığını belirtmiştir. Son yıllarda, birçok sağlık kuruluşu ve araştırma grupları tarafından kreozotun ana yapısını oluşturan PAH bileşikleri ele alınmaktadır. Kreozotun içerdiği bileşik sayısının çok çeşitli olması ve bu bileşiklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin büyük ölçüde benzerlik göstermesi nedeniyle analizi, bir analitik handikap olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla kreozotun odundan uzaklaştırılıp analizinin yapılması belirlenen son yöntemler ve cihazlarla dahi zor olmakta, söz konusu yöntemler de sürekli güncellenmektedir (Zuydam, 2007; Mateus vd, 2010).

Uygulanan sokslet ekstraksiyonu çok etkili bir yöntem olmasının yanında US-EPA TO-13A ve ISO 12884 standardına göre PAH bileşiklerinin ekstraksiyonunda oldukça sık kullanılmaktadır. Bu yöntem dünya genelinde en yaygın ekstraksiyon tipidir. Sokslet ekstraksiyonunun en önemli avantajı çözücü ile sürekli yıkanması ve ekstraksiyon kontrolü yapılarak bileşenlerin bozunmasını önlemesidir. Yapılan bazı çalışmalarda kreozot ile emprenye edilmiş odunlardan sokslet ekstraksiyonu yardımıyla PAH bileşikleri %95 düzeyinde uzaklaştığı belirtilmiştir (Guerin, 1999; Zhou, 2012).

Mateus vd. (2010) yaptıkları çalışmada elektrokinetik yöntemle kreozotun uzaklaştırılması çalışılmış olup bu yöntemle fenol ve bazı heterosiklik bileşikler üzerinde etkili olduğu fakat genel PAH bileşikleri üzerinde etkin olmadığı belirlenmiştir. Dolayısıyla bu yöntemin kimyasal bir çözücü kullanılarak etkinliğinin artırılabilir ve daha sonra biyoremidasyon için ön işlem olarak kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Yapılan çalışmalarda hizmet süresi sona ermiş emprenye maddesi içeren odunları buharlama ve termal işlemler ile zararlı maddelerin uzaklaştırılabileceği belirlenmiş olup bu işlemler sonrası yapılacak ekstraksiyon veya bakteriyel fermantasyon özellikle ağır metallerin uzaklaştırılmasında etkili olabileceği vurgulanmıştır. Çünkü buharlama işleminin odunda geçirgenliği arttırdığı belirtilmiştir (Clusen ve Smith, 1998; Shiau vd., 2000). Bununla birlikte Shupe vd. (2006) yaptıkları çalışmada buharlama işleminin özellikle kreozotun kimyasal olarak fikse olmadığı bölgelerde etkili olduğu fakat yüksek kaynama noktasına

sahip olan bileşikler için etkili olmadığı bulunmuştur. Bu nedenle genel anlamda bir uzaklaştırılma için ekstraksiyon veya biyoremedasyon yöntemlerinin yapılması öngörülmektedir.

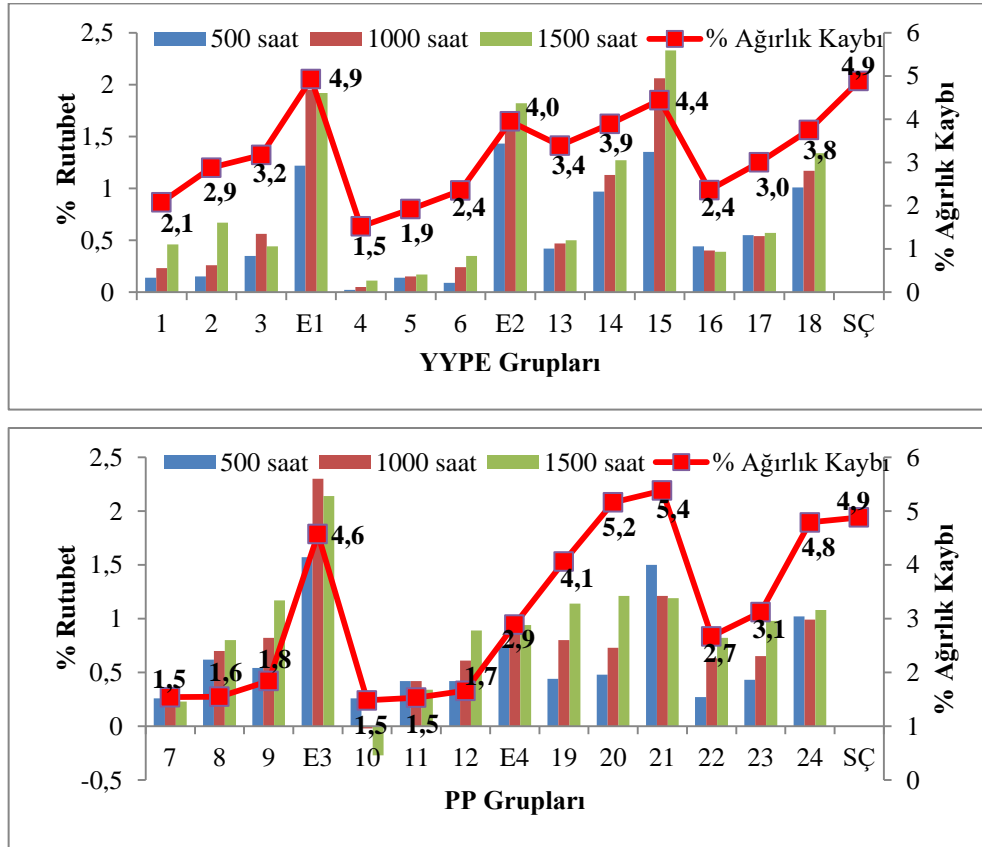
4.3. Levha Özelliklerinin Belirlenmesi

4.3.1. Dış Ortam Testleri

4.3.1.1. Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı

• Benzetilmiş Dış Ortam Testi

Benzetilmiş dış ortam testi süresince levha gruplarında meydana gelen % rutubet değişimi (denge rutubet değişimlerini kapsamakta) ve test sonundaki % ağırlık kaybı değerleri Şekil 44'te gösterilmiştir.

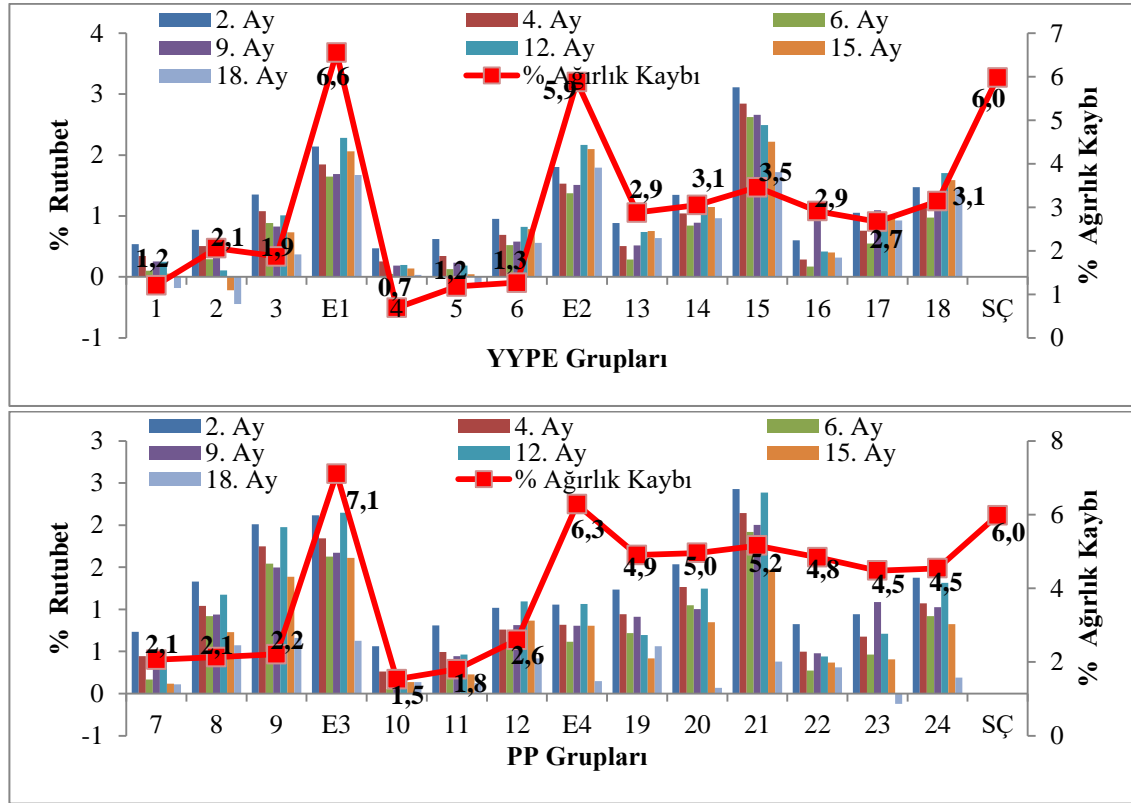


Şekil 44. Benzetilmiş dış ortam testi; % rutubet değişimi ve % ağırlık kaybı

Buna göre; kreozot gruplarındaki rutubet değişimi ve ağırlık kaybı remidasyon ve kontrol gruplarına göre daha düşük olmuştur. Zamana bağlı olarak rutubet içeriği genellikle arttığı gözlenmiştir. Test sonunda YYPE gruplarında en düşük ağırlık kaybı 4. (K30PE%3) grupta (%1,52), en yüksek E1 (E50PE%0) grubunda (%4,93) elde edilmiştir. PP gruplarında ise en düşük ağırlık kaybı 10. (K30PP%3) grupta (%1,48), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (%5,38) elde edilmiştir. Odun oranının artmasıyla levhalardaki rutubet içeriği ve ağırlık kayıplarının arttığı, uyumlaştırıcı ilavesiyle de azaldığı görülmektedir. Uyumlaştırıcı içermeyen PP kontrol gruplarında YYPE'ye göre daha yüksek ağırlık kayıpları görülmüştür. Uyumlaştırıcı ilavesiyle remidasyon gruplarında ağırlık kayıpları YYPE'de %18, PP'de %40 azalmıştır. Masif sarıçamda ise ağırlık kaybı %4,88 olmuştur.

• Toprak Üstü Testi

Toprak üstü test süresince levha gruplarında meydana gelen % rutubet değişimi ve test sonundaki % ağırlık kaybı değerleri Şekil 45'te gösterilmiştir.



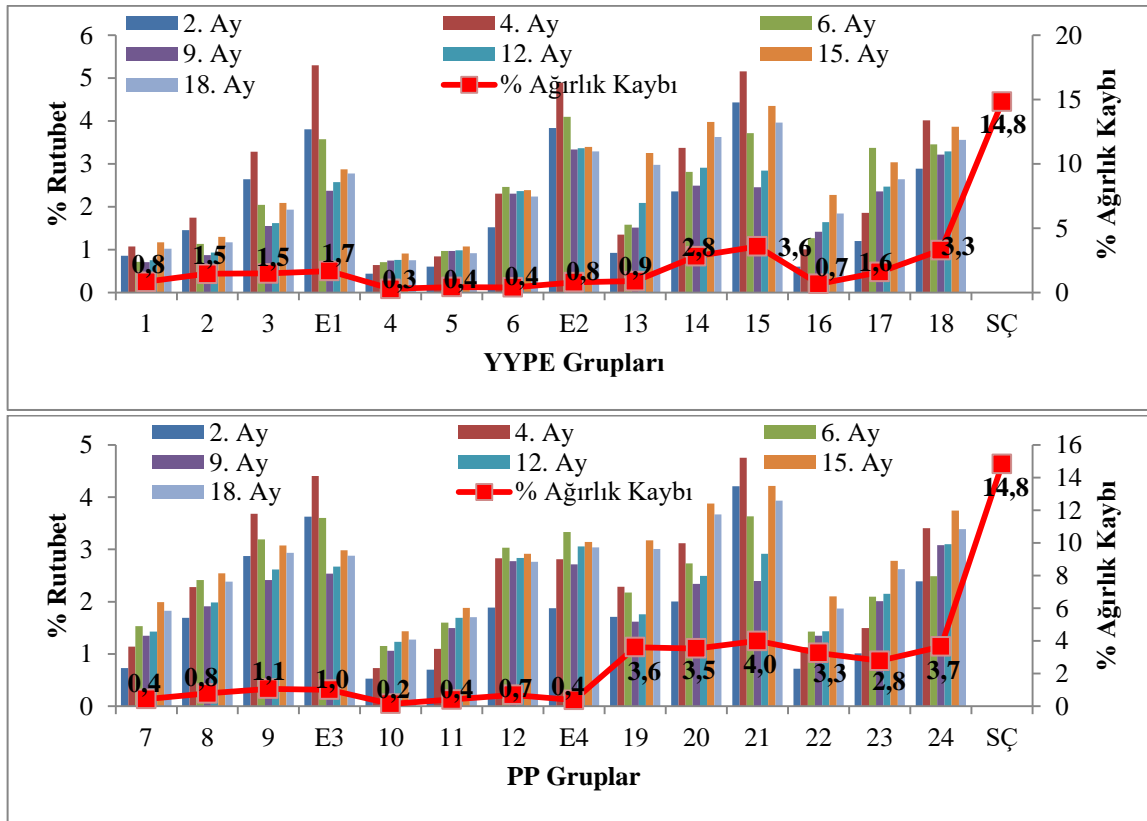
Şekil 45. Toprak üstü testi; % rutubet değişimi ve % ağırlık kaybı oranları

Buna göre; kreozot gruplarındaki rutubet değişimi ve ağırlık kaybı remidasyon ve kontrol gruplarına göre daha düşük olmuştur. Genellikle zamana bağlı olarak rutubet

içeriği arttığı gözlemlenirse de aylara göre inişler ve çıkışlar görülmektedir. Özellikle 2. ay ve 12. ayda rutubet içeriğinde belirgin bir artışın olduğu, 6. ay ve 18. ay sonunda ise belirgin bir azalmanın olduğu görülmektedir. Test sonunda YYPE gruplarında en düşük ağırlık kaybı 4. (K30PE%3) grupta (%0,69), en yüksek E1 (E50PE%0) grubunda (%6,55) elde edilmiştir. PP gruplarında ise en düşük ağırlık kaybı 10. (K30PP%3) grupta (%1,53), en yüksek E3 (E50PP%0) grubunda (%7,11) elde edilmiştir. Odun oranının artmasıyla levhalardaki rutubet içeriği ve ağırlık kayıplarının genellikle arttığı, uyumlaştırıcı ilavesiyle de azaldığı görülmektedir. PP gruplarında YYPE'ye göre daha yüksek ağırlık kayıpları görülmüştür. Uyumlaştırıcı ilavesiyle remidasyon gruplarında ağırlık kayıpları YYPE ve PP'de %11 azalmıştır. Masif sarıçamda ise ağırlık kaybı %5,98 olmuştur.

• Toprakla Temas Testi

Toprakla temas testi süresince levha gruplarında meydana gelen % rutubet değişimi ve test sonundaki % ağırlık kaybı değerleri Şekil 46'da gösterilmiştir.



Şekil 46. Toprakla temas testi; % rutubet değişimi ve % ağırlık kaybı oranları

Buna göre; kreozot gruplarındaki rutubet değişimi ve ağırlık kaybı remidasyon ve kontrol gruplarına göre daha düşük olmuştur. Genellikle zamana bağlı olarak rutubet

içeriği arttığı gözlene de aylara göre inişler ve çıkışlar görülmektedir. Özellikle 2. ay ve 4. ayda rutubet içeriğinde belirgin bir artışın olduğu, 9. ay sonunda ise belirgin bir azalmanın olduğu görülmektedir. Test sonunda YYPE gruplarında en düşük ağırlık kaybı 4. (K30PE%3) grupta (%0,28), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (%3,58) elde edilmiştir. PP gruplarında ise en düşük ağırlık kaybı 10. (K30PP%3) grupta (%0,15), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (%4,00) elde edilmiştir. Odun oranının artmasıyla levhalardaki rutubet içeriği ve ağırlık kayıplarının genellikle arttığı, uyumlaştırıcı ilavesiyle de azaldığı görülmektedir. Kreozot içeren PP gruplarında YYPE'ye göre daha düşük ağırlık kayıpları görülmüştür. Uyumlaştırıcı ilavesiyle remidasyon gruplarında ağırlık kayıpları YYPE'de %53, PP'de %60 azalmıştır. Masif sarıçamda ise ağırlık kaybı %14,82 olmuştur.

- Genel Değerlendirme

OPK malzemeler, alternatif malzemelere göre birçok avantajı bulunmakta ve endüstrideki pazar payını giderek arttırmaktadır. Bilimsel çalışmalar, giderek yaygınlaşan bu ürünlerin kullanım yerlerindeki dayanıklılığı üzerine yoğunlaşmaktadır. OPK'ların "weathering" olarak tabir edilen dış ortam testleri üzerine oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Adhikary vd., 2010; Robert vd., 2011). Dış ortamda OPK'ları etkileyen 3 temel unsur vardır. Bunlar su, UV ve güneşlenme şiddetinin (solar radyasyon) etkisiyle sıcaklıktır. OPK'lar su alma ile boyutsal stabiliteleri kararsız hale gelmekte ve biyolojik aktiviteye açık hale gelmektedir. Birçok çalışmada çürütücü mantarların etkisinin OPK'lardaki rutubet içeriği ile doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varmıştır (Morris ve Cooper, 1997; Manning ve Ascherl, 2007; Gnatowski, 2007).

Difüzyon teorisi ile açıklanan OPK'ların rutubet alış verişine açık olması, malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca rutubet artışının yüksek olması sonucu biyotik faktörlere karşı direnç değerlerini de düşürmektedir. Bu nedenle uyumlaştırıcı ajan kullanılarak odun ve polimer matris arasında yüksek bağlanma kuvveti; boyutsal kararlılık sağlamak ve mekanik özellikleri iyileştirmektedir (Şekil 44-46). Adhikary vd. (2009) yaptıkları çalışmada 50:50 oranındaki (PP:odun) örneklerde %5 uyumlaştırıcı ajan katılmasıyla, su almayı %79 oranında düşürmüştür. Fakat dış ortam testi sonrasında aynı OPK örneklerinde su alma oranları %70 artmıştır. Dolayısıyla dış ortam süresince uyumlaştırıcı ajan etkinliği azaldığı söylenebilmektedir. Şekil 46'da görüleceği gibi özellikle toprakla temas testinde uyumlaştırıcı kullanılan PP gruplarında dahi rutubet artışının giderek arttığı belirlenmiştir

(Jayamol vd., 2001; Lin vd., 2002; Keener vd., 2004; Lu vd., 2005; Wang vd., 2006; Adhikary, 2008).

Gnatowski (2010) yaptığı çalışmada OPK'ların dış ortam testinde zamana bağlı olarak rutubet artışının devam ettiğini bildirmiştir. Odun oranı rutubet değişiminde en önemli etken olduğu bilinmektedir. Örneğin benzetilmiş dış ortam testi sonunda en yüksek rutubet içeriğine sahip 15. (S50PE%0) grup (50:50 plastik/odun oranı), %30 odun unu içeren 13. (S30PE%0) gruba göre % 31 daha fazla rutubet içermiştir. Bununla birlikte yapılan bir çalışmada kreozot içeren atıl haldeki traverslerin yonga levha üretiminde değerlendirilmiştir. %25 ve %50 kreozot odunu içeren levhalarda su alma değerlerinde önemli ölçüde düşüş belirlenmiştir (Bazyar vd., 2011). Böylelikle kreozotun hidrofobik özellikteki bileşikleri OPK gruplarına su iticilik kazandırdığı söylenebilmektedir (Şekil 44-46).

Selüloz ve hemiselüloz önemli ölçüde hidrojen bağları yoluyla su moleküllerine bağlanmayı sağlayan serbest hidroksil grupları (-OH) ve karboksil grupları (-COOH) içermektedir. OPK'nın dış ortama maruz kalması ile hidrokarbonlar, vakslar ve lignin gibi hidrofobik karakterdeki bileşenlerinin uzaklaşması sonucu su alma hızlanmaktadır. Bununla birlikte yüzeysel mikro çatlakların artması OPK'ların hızla su almasına neden olmaktadır (Colom vd., 2003; Adhikary vd., 2009). Dış ortamın etkisiyle hidroksil gruplarına ulaşılabilirlik artmakta olup yüksek su alma, boyutsal değişimler (şişme) olmaktadır. %3 uyumlaştırıcı ilavesi yoluyla; odun ve polimer matris arasında yüzeyler arası bağlanmanın odundaki hidroksil gruplar ile uyumlaştırıcı ajanın anhidrit bölgeleri arasında selüloz-su bağlanması yerine selüloz-ajan bağlanması olmaktadır. Böylelikle su alma azalmaktadır (Matuana vd., 2001).

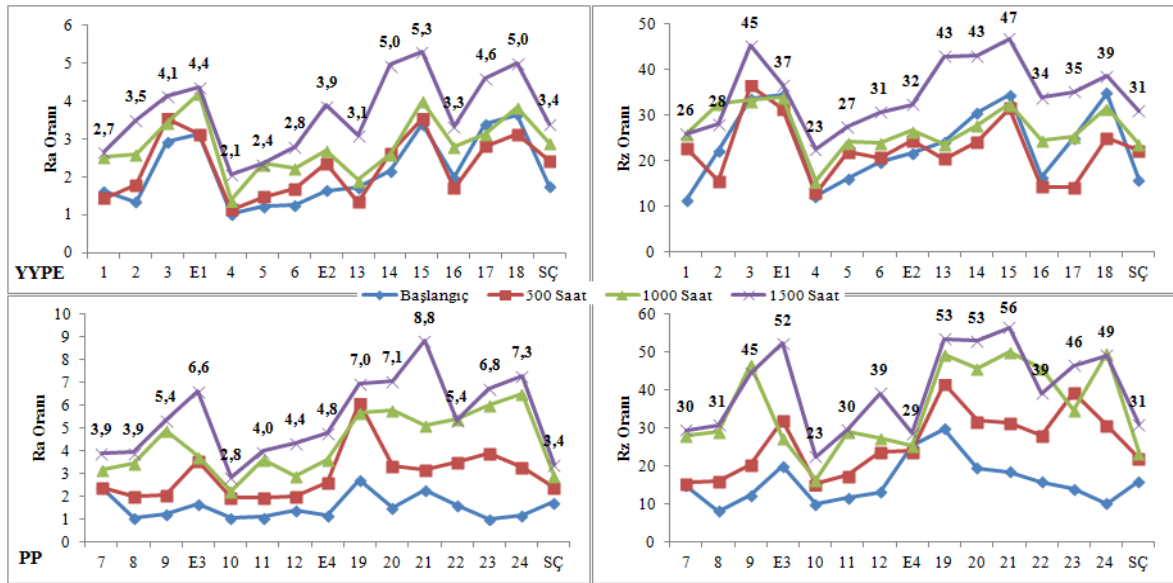
OPK'lar kullanım yerinde biyotik ve abiyotik faktörler nedeniyle, tebeşirlenme (tozuma), renk değişikliği, direnç değerlerinde düşüş olmakta ve polimerin UV etkisiyle bozunması sonucu ağırlık kayıpları meydana gelmektedir (Stark ve Matuana, 2004a; Kiguchi vd., 2007; Gnatowski, 2010; Lee vd., 2012). Özellikle benzetilmiş dış ortam testinde levha gruplarındaki ağırlık kaybının doğal dış ortam testlerine göre yüksek olması bu testin şartlarının bir hayli yıpratıcı olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Yapılan benzer çalışmalarda 750 saat benzetilmiş dış ortam ve 365 gün doğal dış ortama bırakılan levhalarda, benzetilmiş dış ortam testinin doğal dış ortam testlerine göre etkilerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedenini dış ortamda daha çok görülebilir ışığın bulunduğunu QUV test kabiniinde ise sadece UV ışınlarının olmasıdır (Chaochanchaikul

vd., 2013). Bununla birlikte toprakla temas testindeki ağırlık kayıpları, UV etkisiyle beraber yüksek rutubet sonucu levha gruplarının çürüklüğe maruz kalmasıyla açıklanmaktadır. Ayrıca çürüklük mantarıyla (*T. versicolor*) beraber ortamdaki küf mantarının varlığı kontrol grupları üzerinde tespit edilmiştir. Referans masif sarıçam örneklerinde ise test sonunda termit (*R. lucifugus*) zararı söz konusu olmuştur (Ek Şekil 36-38).

4.3.1.2. Pürüzlülük Değişimi

• Benzetilmiş Dış Ortam Testi

Benzetilmiş dış ortam testi süresince levha gruplarında meydana gelen pürüzlülük değişimi (Ra ve Rz) değerleri Şekil 47’de gösterilmiştir.



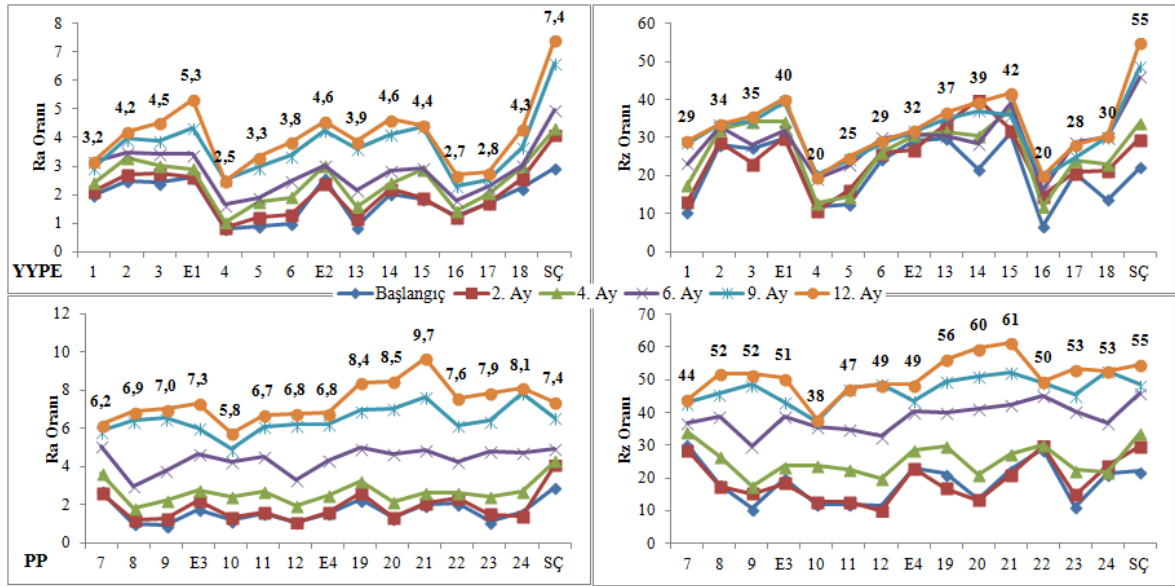
Şekil 47. Benzetilmiş dış ortam testi; Ra ve Rz oranları

Buna göre; 1500 saat sonunda YYPE gruplarında en düşük Ra (2,08) ve Rz (23) oranı 4. (K30PE%3) grupta, en yüksek Ra (5,31) ve Rz (47) oranı 15. (S50PE%0) grupta gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük Ra (2,84) ve Rz (23) oranı 10. (K30PP%3) grupta, en yüksek Ra (8,84) ve Rz (56) oranı 21. (S50PP%0) grupta gerçekleşmiştir. Benzetilmiş dış ortam test periyotlarında yüzey pürüzlülük değerleri zamana bağlı olarak genellikle artmakta olup test sonunda kreozot içeren gruplarda pürüzlülük değişimi kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Remidasyon gruplarında ise

pürüzlülük değişimi kreozot gruplarına göre daha yüksek çıkmıştır. Polimer tipi olarak yüzey pürüzlülük değerleri PP gruplarında daha yüksek olduğu görülmektedir. Odun oranı arttığında yüzey pürüzlülük değerlerinde de artış olmaktadır. Pürüzlülük oranları uyumlaştırıcı ilavesiyle yüksek oranda düşmektedir. Remedasyon gruplarında uyumlaştırıcı ilavesi ile Ra-Rz değerlerinde YYPE için %11 ve %14, PP için %27 ve %44 oranında düşme belirlenmiştir. Masif sarıçamda ise Ra oranı 3,42 ve Rz oranı 31 olmuştur.

• Toprak Üstü Testi

Toprak üstü testi süresince levha gruplarında meydana gelen pürüzlülük değişimi (Ra ve Rz) değerleri Şekil 48’de gösterilmiştir.



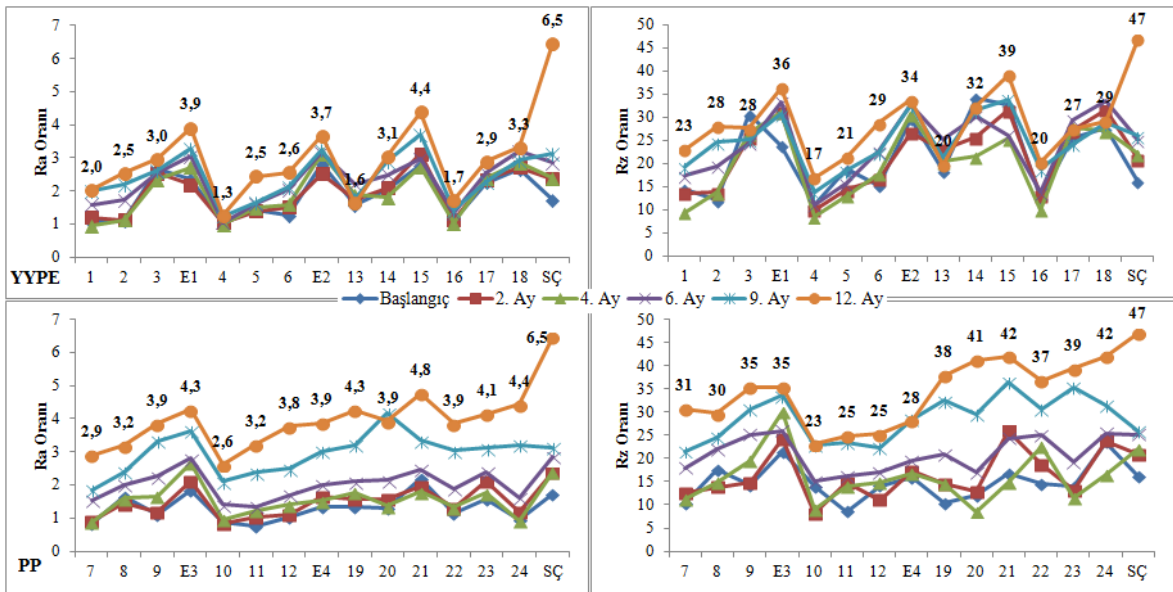
Şekil 48. Toprak üstü testi; Ra ve Rz oranları

Buna göre; 12. ayın sonunda YYPE gruplarında en düşük Ra (2,49) ve Rz (20) oranı 4. (K30PE%3) grupta, en yüksek Ra (5,34) ve Rz (40) oranı E1 (E50PE%0) grubunda gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük Ra (5,75) ve Rz (38) oranı 10. (K30PP%3) grupta, en yüksek Ra (9,68) ve Rz (61) oranı 21. (S50PP%0) grupta gerçekleşmiştir. Test periyotlarında yüzey pürüzlülük değerleri zamana bağlı olarak genellikle artmakta olup özellikle 6. ay sonunda bu artış daha da belirginleşmiştir. Test sonunda kreozot içeren gruplarda pürüzlülük değişimi kontrol gruplarına göre çok düşük olmuştur. Remedasyon gruplarında ise pürüzlülük değişimi kreozot gruplarına göre yüksek çıkmıştır. Polimer tipi olarak yüzey pürüzlülük değerleri PP gruplarında daha yüksek olduğu görülmektedir. Odun oranı arttığında yüzey pürüzlülük değerlerinde genellikle artış olmasına rağmen PP

gruplarında özellikle 4. ay sonuna kadar odun oranı ile pürüzlülük değerleri ters orantıda değişmektedir. Fakat 6. aydan itibaren doğru orantıda devam etmiştir. Pürüzlülük oranları uyumlaştırıcı ilavesiyle yüksek oranda düşmektedir. Remidasyon gruplarında uyumlaştırıcı ilavesi ile Ra-Rz değerlerinde YYPE için %13 ve %20, PP için %7 ve %4 oranında düşme belirlenmiştir. Masif sarıçamda ise Ra oranı 7,40 ve Rz oranı 55 olmuştur.

- Toprakla Temas Testi

Toprakla temas testi süresince levha gruplarında meydana gelen pürüzlülük değişimi (Ra ve Rz) değerleri Şekil 49’da gösterilmiştir.



Şekil 49. Toprakla temas testi; Ra ve Rz oranları

Buna göre; 12. ayın sonunda YYPE gruplarında en düşük Ra (1,26) ve Rz (17) oranı 4. (K30PE%3) grupta, en yüksek Ra (4,39) ve Rz (39) oranı 15. (S50PE%0) grupta gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük Ra (2,61) ve Rz (23) oranı 10. (K30PP%3) grupta, en yüksek Ra (4,77) ve Rz (42) oranı 21. (S50PP%0) grupta gerçekleşmiştir. Test periyotlarında yüzey pürüzlülük değerleri zamana bağlı olarak genellikle artmakta olup özellikle 9. ay sonunda bu artış daha da belirginleşmiştir. Test sonunda kreozot içeren gruplarda, pürüzlülük değişimi kontrol gruplarına göre çok daha düşük olmuştur. Remidasyon gruplarında ise pürüzlülük değişimi kreozot gruplarına göre yüksek çıkmıştır. Polimer tipi olarak yüzey pürüzlülük değerleri, PP gruplarında daha yüksek olduğu görülmektedir. Odun oranı arttığında yüzey pürüzlülük değerlerinde genellikle artış olmasına rağmen PP gruplarında özellikle 4. ay sonuna kadar odun oranı ile pürüzlülük

değerleri ters orantıda değişmektedir. Fakat 6. aydan itibaren doğru orantıda artmıştır. Pürüzlülük oranları uyumlaştırıcı ilavesiyle yüksek oranda düşmektedir. Remidasyon gruplarında uyumlaştırıcı ilavesi ile Ra-Rz değerlerinde YYPE için %5 ve %6, PP için %9 ve %20 oranında düşme belirlenmiştir. Masif sarıçamda ise Ra oranı 6,50 ve Rz oranı 47 olmuştur.

- Genel Değerlendirme

OPK ürünler, estetik açıdan diğer malzemelere göre üstün olduklarından deklerde, çitlerde, menfezlerde ve yapı elemanlarında oldukça sık tercih edilmektedirler. Estetik açıdan dış ortam şartlarında yüzey (pürüzlülük) ve renk özellikleri en çok etkilenen parametreler arasındadır. Dış ortam şartlarında yüzey özellikleri de büyük ölçüde değişmekte olup bir çok çalışmada benzetilmiş ve doğal dış ortam testleri sonrası meydana gelen yüzeysel mikro çatlaklara dikkat çekilmektedir (Stark ve Matuana, 2004a; Kiguchi vd., 2007; Gnatowski, 2010; Hyvarinen, 2014; Li vd., 2014; Cademartori vd., 2015). Mikro çatlakların artmasıyla OPK yüzeyinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Böylelikle ileri safhalarda yüksek Ra (ortalama pürüzlülük) ve Rz (en yüksek ve en alçak noktalar arası ortalama yükseklik) değerlerinde OPK yüzeyi kahverenginden genellikle kireç beyazına dönüşmekte olup boyanma özellikleri olumsuz etkilenmektedir. OPK'da yüzeysel bozunma; ligninin bozunmasıyla birlikte polimer molekül zincirlerinin kopması/ayrılmasından ileri gelmekte olup çatlakların artmasıyla malzemede rutubet alış veriş de hızlanmaktadır. Dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü polimer ve dolgu maddesi arasındaki bağlanma kapasitesini de düşürmektedir (Rabello ve White, 1997; Hyvarinen, 2014; Cademartori vd., 2015; Peng vd., 2015).

Odun unu miktarı aynı olan OPK grupların başlangıç pürüzlülük değerleri birbirlerine çok yakın olmakla beraber dış ortam etkisiyle bu değerlerin hızla arttığı görülmüştür. Ayrıca odun partiküllerinin homojen dağılması pürüzlülük değerlerindeki kademeli artışın nedenini de açıklamaktadır (Şekil 47-49). Benzer şekilde odun unu ile üretilen OPK'ların lif kompozitlerine göre daha pürüzlü olmalarını, Wechsler ve Hiziroglu (2007) partikül büyüklükleri ile alakalı olduğunu belirlemişlerdir (Laks vd., 2005; Kaymakci vd., 2013; Peng vd., 2015).

Uyumlaştırıcı ajan kullanımı ile yüzey özelliklerinin iyileştiği bilinmektedir (Şekil 47-49). Adhikary vd. (2009) atık PP ile yaptıkları çalışmada benzetilmiş dış ortam testi kapsamında 2000 saat sonunda uyumlaştırıcı ilave edilen gruplarda daha düşük pürüzlülük değerlerine ulaşmışlardır. Bir çok çalışma söz konusu ajanların OPK'da yoğunluğu

arttırdığı dolayısıyla porozite azaldığı için yüzey özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir (Raj ve Kokta, 1991; Wang vd., 2003; Lu vd., 2005).

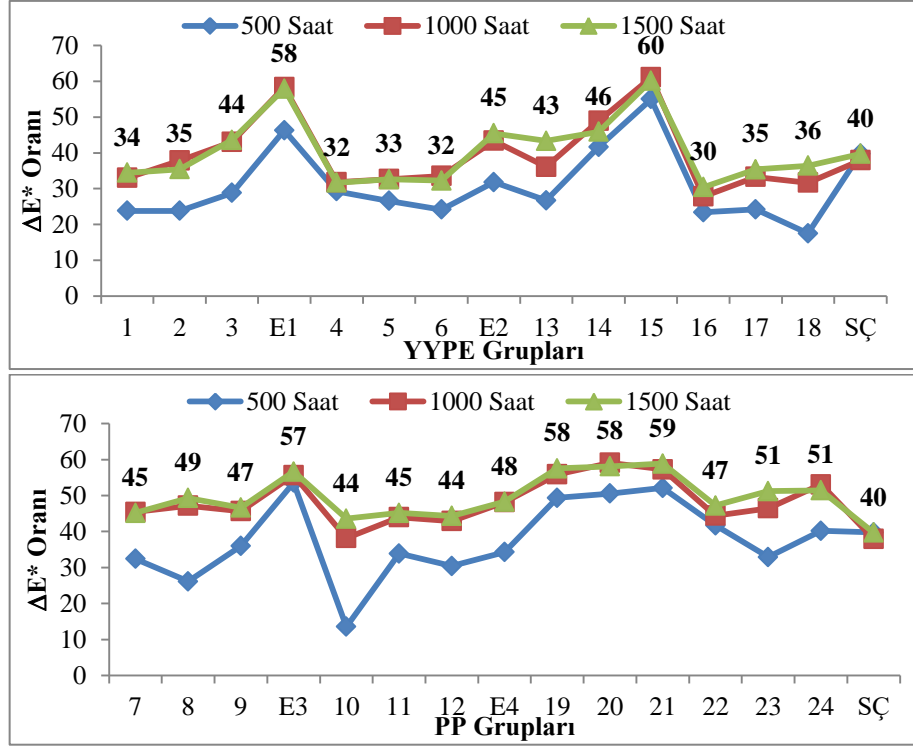
OPK'lardaki yüzey değişimini, Darabi vd. (2012) kimyasal bozunmaya dayandırmıştır. Benzer şekilde OPK yüzeyinde meydana gelen foto-oksidasyon ile sadece renk değişikliği olmamakta aynı zamanda yüzey pürüzlülüğün de arttığı çalışmalarda kanıtlanmıştır. OPK yüzeyindeki odun liflerinde, lignin bozunmasıyla yüzeysel çatlaklar oluşmakta ve içe doğru liflere ulaşılabilirlik artmaktadır. Hidroksil ve odun indekslerindeki artışla beraber lignin miktarının azalması sonucu lifler iyice açığa çıkmakta ve OPK ıslanabilirliği artmaktadır. Böylelikle Ra ve Rz değerlerinde artış olmaktadır (Benavente vd., 2009; Matuana vd., 2011).

OPK üretiminde polimer/odun oranı ve kullanılan katkı maddeleri yüzey özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Gwon vd., 2010). Zimmermann ve Zattera (2013) remidasyon işleminden geçirilen CCA içeren odun örneklerinin OPK üretiminde denemişlerdir. CCA'nın sülfürik asit ile muamelesinin kontrol gruplarına göre yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı belirtilmiştir. Dolayısıyla kreozot içeren odun örneklerinin remidasyonu sonrası üretilen OPK'lar kontrol gruplarına göre pürüzlülük değerlerinin yüksek olması kullanılan çözücü oranına ve liflerin uğradığı hasarla doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir.

4.3.1.3. Renk Değişimi

- Benzetilmiş Dış Ortam Testi

Benzetilmiş dış ortam testi süresince levha gruplarında meydana gelen renk değişimi (ΔE^*) Şekil 50'de gösterilmiştir.

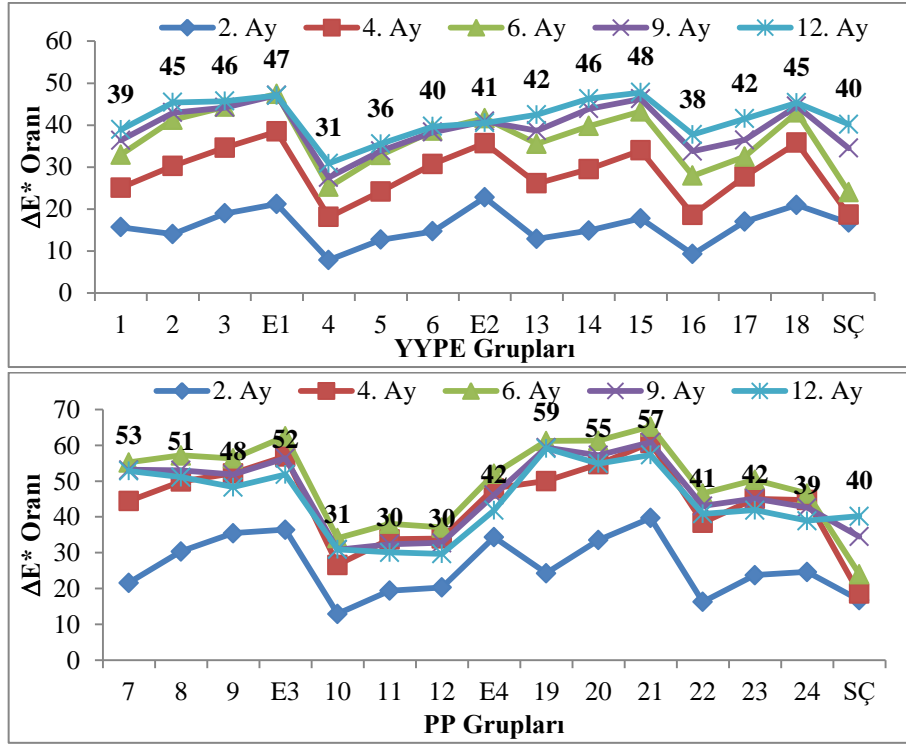


Şekil 50. Benzetilmiş dış ortam testi; renk değişimi (ΔE^*) oranları

Buna göre; 1500 saat sonunda YYPE gruplarında renk değişimi (ΔE^*) en düşük oran 4. (K30PE%3) grupta (31,66), en yüksek oran 15. (S50PE%0) grupta (60,17) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük oran 10. (K30PP%3) grupta (43,56), en yüksek oran 21. (S50PP%0) grupta (58,88) gerçekleşmiştir. Benzetilmiş dış ortam test periyotlarında ΔE^* değerleri 500 saat ve 1000 saat periyotlarında artmış olup 1500 saat sonra ise önemli bir değişiklik olmamıştır. Ayrıca kreozot içeren gruplarda ΔE^* değerleri kontrol gruplarına göre daha düşük olmuştur. Polimer tipi olarak ΔE^* değerleri PP gruplarında daha yüksek olduğu görülmektedir. Renk değişimi (ΔE^*) değerleri kompozitteki odun oranına paralel olarak artarken uyumlaştırıcı ilavesiyle azalmaktadır. Remidasyon gruplarında ise uyumlaştırıcı ilavesi ile renk değişimi oranlarında YYPE’de %22’lik, PP’de ise %16’lık bir azalış gözlenmiştir. Masif sarıçamda ΔE^* değerlerinde başlangıç değerlerine göre %56’lık bir artış belirlenmiş olup 1000 saat ve 1500 saat periyotlarında önemli bir değişiklik olmamıştır.

• Toprak Üstü Testi

Toprak üstü testi süresince levha gruplarında meydana gelen renk değişimi (ΔE^*) Şekil 51’de gösterilmiştir.

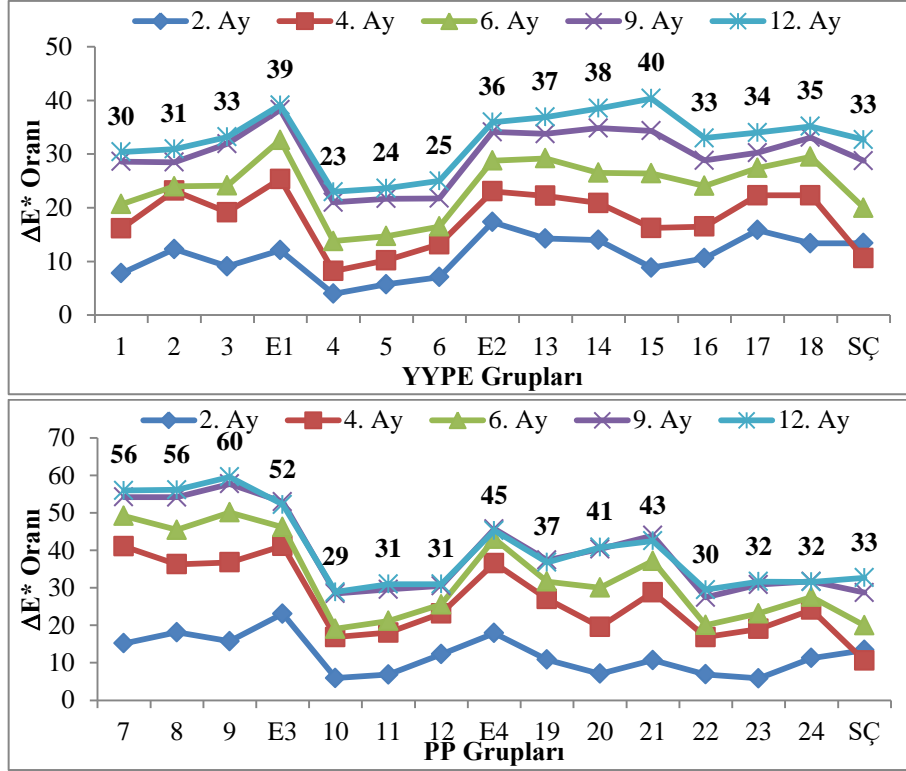


Şekil 51. Toprak üstü testi; renk değişimi (ΔE^*) oranları

Buna göre; 12 ay sonunda YYPE gruplarında renk değişimi (ΔE^*) en düşük oran 4. (K30PE%3) grupta (30,86), en yüksek oran 15. (S50PE%0) grupta (47,76) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük oran 12. (K50PP%3) grupta (29,69), en yüksek oran 19. (S30PP%0) grupta (59,17) gerçekleşmiştir. Test periyotlarında ΔE^* değerleri zamana bağlı olarak YYPE’de sürekli yükselen bir eğilimde olup PP’de ise 6. aya kadar artarken 9. ve 12. aylarda tekrar düşmüştür. Ayrıca kreozot içeren gruplarda ΔE^* değerleri kontrol gruplarına göre daha düşük olmuştur. Polimer tipi olarak PP gruplarında YYPE’ye göre ΔE^* değerlerinde bir artışın olduğu söylenebilmektedir. Renk değişimi (ΔE^*) değerleri kompozitteki odun oranına paralel olarak artarken uyumlaştırıcı ilavesiyle azalmaktadır. Fakat PP’de 9. ay sonrası odun unu artmasıyla ΔE^* değerleri düşmektedir. Remidasyon gruplarında ise uyumlaştırıcı ilavesi ile ΔE^* değerlerinde YYPE’de %13’lük, PP’de ise %19’lük bir azalış gözlenmiştir. Masif sarıçamda ΔE^* değerlerinde başlangıç değerlerine göre %54’lük bir artış belirlenmiş olup zamana göre artma eğilimi göstermiştir.

• Toprakla Temas Testi

Toprakla temas testi süresince levha gruplarında meydana gelen renk değişimi (ΔE^*) Şekil 52’de gösterilmiştir.



Şekil 52. Toprakla temas testi; renk değişimi (ΔE^*) oranları

Buna göre; 12 ay sonunda YYPE gruplarında renk değişimi (ΔE^*) en düşük oran 4. (K30PE%3) grupta (22,97), en yüksek oran 15. (S50PE%0) grupta (40,34) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük oran 10. (K30PP%3) grupta (28,91), en yüksek oran 9. (K50PP%0) grupta (59,62) gerçekleşmiştir. Test periyotlarında ΔE^* değerleri zamana bağlı olarak artmış olup 9. ay sonunda bu artış yavaşlamıştır. Kreozot içeren gruplarda ΔE^* değerleri kontrol gruplarına göre YYPE’de daha düşük, PP’de ise daha yüksek olmuştur. Fakat gruplara uyumlaştırıcı ilavesi ile kreozot grupları kontrol gruplarına göre daha düşük ΔE^* değerlerine sahip olmuştur. Polimer tipi olarak ΔE^* değerlerinde PP gruplarında YYPE’ye göre bir artışın olduğu söylenebilmektedir. Renk değişimi (ΔE^*) değerleri kompozitteki odun oranına paralel olarak artarken uyumlaştırıcı ilavesiyle azalmaktadır. Remidasyon gruplarında ise uyumlaştırıcı ilavesi ile ΔE^* değerlerinde YYPE’de %8’lik, PP’de ise %13’lük bir azalış gözlenmiştir. Masif sarıçamda ΔE^* değerlerinde başlangıç değerlerine göre %55’lik bir artış belirlenmiş olup test periyotlarında artma eğilimi göstermiştir.

- Genel Değerlendirme

OPK endüstrisi dış ortam dekorasyon işlerinde, yapı elemanlarında ve bina malzemelerinde kullanılmak üzere yeni ürünlerle pazar segmentini her geçen gün büyütmektedir (Deng ve Tang, 2010; Fabiyi ve McDonald, 2010). Dolayısıyla hizmet süresi boyunca bu malzemelerin dış ortamda dayanıklılığı önemli bir konu haline gelmiştir. OPK'lar atık odun ve atık plastikten üretilmesiyle geri dönüştürülebilir çevre dostu materyallerdir. Fakat özellikle dış ortam faktörlerine karşı dirençleri oldukça düşük olmaktadır. Bu nedenle OPK'ların renk değiştirmesi, kireçlenmesi ve boyutsal değişiklikleri bir çok çalışmaya konu olmuştur (Kiguchi vd., 2007).

Güneş ışınları (özellikle direk gelen UV ışınları), rutubet, sıcaklık, biyotik faktörler ve bu faktörler yoluyla meydana gelen kimyasal ve fiziksel değişimler OPK'nın yapısını bozan önemli çevresel faktörlerdir. İşte bu faktörlerin bir arada olabileceği dış ortam testleri üzerinde çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Tüm ışınların %7'sini oluşturan UV ışınları yüklü enerjiye sahip olmalarıyla önemli bir yer tutmaktadır. Kısa dalga boyundaki ışınlar yüksek enerji fotonları içermekte ve potansiyel zarar teşkil etmektedir. Özellikle 100 nm-290 nm arasındaki dalga boyları en çok zarar veren ışınlardır (Klyosov, 2007). UV ışınları malzemelerin yüzeyine yakın bölgelerde kimyasal reaksiyonlara ve foto-degradasyona neden olmakla birlikte malzemenin fiziksel ve mekanik dirençlerini düşürmesine neden olmaktadır. Ayrıca foto-degradasyon, malzemenin estetik özelliklerini de olumsuz etkilemektedir (Andrady vd., 1998; Muasher ve Sain, 2006; Fabiyi ve McDonald, 2010; Hyvarinen, 2014).

OPK'da odunun varlığı, foto-degradasyonu hızlandırdığı ve saf polimerlere göre dış ortamda daha fazla etkilendiği belirlenmiştir (Stark ve Matuana, 2004a; Stark ve Matuana, 2004b). Her ne kadar odunun tüm bileşenleri foto-degradasyona açık olsa da odunu %25-30 oranında temsil eden ve UV ışınlarının %80-95'ini absorplayan lignindeki kromofor grupları veya karbonil grupları buna neden olmaktadır (Morrell vd., 2006; Klyosov, 2007). Benzer şekilde Filson vd. (2009)'de OPK'daki renk değişikliğini UV etkisiyle konjuge ketonların ve ligninin azalmasına, selülozun ise neredeyse zarar görmemesine bağlamışlardır.

UV ışınlarıyla beraber suyun varlığı, sadece UV ışını olmasına göre daha çok bozunduruca etkiye sahiptir (Stark, 2006; Stark ve Matuana, 2007). Bu mekanizma; odun hücrelerinde rutubet alıp verme durumunda OPK yüzeyinde oluşan mikro-çatlaklardan UV ışınlarının daha derinlere penetre olması ve iç matrisin büyük ölçüde bozunmasıyla açıklanmaktadır (Fabiyi ve McDonald, 2010). Böylelikle uyumlaştırıcının etkisiyle daha

düşük rutubet içeren levha grupları kontrol gruplarına göre daha düşük foto-degradasyona maruz kalması sağlanmaktadır (Şekil 50-52). Toprakla temas eden PP gruplarında renk değişikliğinin yüksek olması, levha gruplarının yüksek rutubet içeriği (Şekil 52) ile yakından ilişkili olduğu sonucunu işaret etmektedir. OPK'daki odun hücreleri su girişi ile şişmekte ve böylece OPK matrisi içerisine UV ışınları girebilmektedir. Dolayısıyla mikrofibrillerdeki amorf bölgelerde su alma ile odun/polimer matrisi arasındaki bağ zarar görerek OPK'nın fiziksel ve mekaniksel dirençlerini önemli ölçüde düşürmektedir (Stark, 2006; Bengtsson vd., 2007; Fabiyi vd, 2008).

OPK'da renk değişikliğinin ana nedeni, CIELAB renk mekanizmasındaki ışık stabilitesinin (ΔL^*) bir başka deyişle renk açıklığının artması olup toplam renk değişikliğini (ΔE^*) de arttırmaktadır (Adhikary vd., 2009).

Levha gruplarındaki foto-degradasyon oranı malzemedeki ana bileşenlerle (odun ve plastik matrisler) doğrudan ilişkilidir (Matuana vd., 2011). Yapılan benzetilmiş dış ortam ve doğal dış ortam testlerinde odun oranı arttıkça renk değişikliğinin (ΔE^*) de arttığı belirlenmiştir (Şekil 50-52). Adhikary vd. (2009) yaptıkları benzer çalışmada benzetilmiş dış ortam testinde ΔE^* oranı 500 saat sonunda 0,42'den 8,83'e, 2000 saat sonrası ise 14,03'e çıkmıştır. Yang vd. (2015) polipropilen ve sarıçam/ladin/gökmar karışımı atık odunlardan ürettikleri OPK ile yaptıkları 1 yıl süren doğal dış ortam testinde ilk 3 ayda yüksek renk değişikliği olduğu ve ardından değişim hızının 9. ay sonunda düştüğü ve daha sonra tekrar yükseldiğini belirlemişlerdir. Odun oranı arttıkça renk değişikliğinin de arttığı belirlenen çalışmada aylık 5-17 gün arası yağış alan şiddetli iklim koşullarında ve subtropikal bölgede yürütüldüğü için renk değişikliği oranları benzer çalışmalara göre yüksek olduğu vurgulanmıştır. Aynı şekilde Catto vd. (2014) iklimik faktörlerin OPK'daki foto-degradasyonu etkilediği belirlemişlerdir.

Polimerlerde foto-degradasyona; yapılarındaki oksijen bileşikleri, büyük ölçüde tepkimeye girmemiş kalıntılar, hidroperoksit grupları, karbonil grupları ve çifte bağlar neden olmaktadır. Düşük seviyede UV absorplamalarında dahi polimer zincirlerinde önemli parçalanmalar olduğu yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır (Fabiyi ve McDonald, 2010).

Polimer tipi kıyaslandığında elde edilen ΔE^* değerleri, PP gruplarında YYPE'ye göre daha yüksek çıkmıştır. Polipropilenin (PP), yüksek yoğunluklu polietilene (YYPE) göre renk stabilitesi daha düşük olduğu önceki çalışmalarda da belirlenmiştir (Stark ve Matuana, 2003; Fabiyi vd., 2008; Lee vd., 2012). Ayrıca yapılan çalışmalarda renk

stabilitesi bakımından atık polimerlerin saf polimerlere göre benzer veya daha üstün sonuçlar verdiği dolayısıyla bu ürünlerin dış ortamda kullanılabileceği vurgulanmıştır (Falk vd., 2000; Adhikary, 2008). Bunun nedeni yüksek yoğunluk (düşük porozite) kazanan OPK'nın su almayı düşürerek bozunmayı önlemesi gösterilmektedir.

Bununla birlikte yüzeysel çatlakların renk değişikliğini arttırdığı belirlenmiştir (Rowell vd., 2000; Li, 2000; Selden vd., 2004). Çatlakların artmasıyla OPK su absorplamakta, odun/polimer matrisinde ayrılmalar meydana gelmekte ve renk değişikliği hızlanmaktadır (Hyvarinen, 2014). Yapılan yüzey pürüzlülüğü sonuçlarıyla doğru orantılı olarak (Şekil 47-49) renk değişiminin arttığı görülmektedir.

OPK dış ortam testleri kapsamında genellikle odun oranı artması ve uygulanan test periyodunun uzaması renk değişikliğini arttırdığı çalışmalarda genel bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır (Lee vd., 2012). Bununla birlikte dış ortam testlerinde zamana göre ΔE^* değerlerinde başlangıçta hızlı bir artış olmakla birlikte düşüşlerde görülmektedir (Şekil 50-52). Fabiyi vd. (2008) benzer çalışmada HDPE/PP/sarıçam kullanılarak ürettikleri OPK ürünleri 2000 saat benzetilmiş dış ortam ve iki yıl doğal dış ortam testine tabi tutmuşlardır. Testler sonunda PP gruplarında 1200 saate kadar hızla yükseldiği ve daha sonra düştüğü belirlenmiştir. 7. Aya kadar hızla arttığı daha sonra düştükten sonra değişim olmadığı görülmüştür. Benzer çalışmada Peng vd. (2014a) antioksidant katarak ürettikleri odun/polipropilen kompozitlerini benzetilmiş dış ortam testine tabi tutarak renk değişikliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada zamana göre tüm gruplarda renk değişiklikleri artmış olup 240 saate kadar antioksidantların etkisini göstererek kontrol gruplarına göre daha düşük renk değişiklikleri olmuştur. Fakat 240 saatten sonra 960 saate kadar devam eden testte antioksidantlar etkisini yitirerek kontrol gruplarına göre daha yüksek foto-degradasyona maruz kalmışlardır. Bunun nedenini antioksidanların içinde var olan karbon-karbon çifte bağları, karbonil grupları gibi kromoforik grupların foto-reaksiyonları belirli bir zamandan sonra UV etkisiyle harekete geçirdikleri için renk değişikliğini arttırdıkları öne sürülmüştür.

Dış ortam testlerinde zaman zaman ΔE^* oranlarında öncelikle hızlı bir yükselme, daha sonra sabit kalma ve en sonunda tekrar yükselme görülmektedir. Ya da zaman zaman ΔE^* değerlerinde bir düşmenin olduğu görülmektedir. Odun oranının artmasıyla renk değişikliğinin arttığı sonucuna varan Homkhiew vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada OPK'da renk değişikliğini üç aşamayla açıklanmaktadır. Örneklerde dış ortamın ilk safhasında hızlı bir foto-degradasyon, daha sonra bir koyulaşma/kararma ve uzun süre dış

ortama maruz kalan örneklerde tekrar renk açılması olmaktadır. Bu süreçte oluşan foto-degradasyonun (ΔE^* 'nin artması) ana nedeni odundaki ligninden kaynaklandığı ve koyulaşma/kararmanın (ΔE^* 'nin düşmesi) ise OPK'daki yüzeysel oksidasyon olduğu yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır (Adhikary, 2008; Yang vd., 2015).

OPK'da uyumlaştırıcı ilavesi, ΔE^* oranını düşürmekte fakat tam olarak yüzeysel koruma sağlayamamaktadır. Bununla birlikte polimer matrisindeki foto-degradasyon ile kristallenmenin yükselmesi OPK'da renk değişikliğini arttırmaktadır. Foto-degradasyon ile odun bileşenlerinin yıkanması ortamda su moleküllerinin varlığı ile daha da artmaktadır. Bunun nedeni selüloz mikrofibrillerinin su molekülleri ile şişmesi sonucu UV ışınlarının daha derin bölgelere nüfuz etmesidir (Rabello ve White, 1997). Yine su molekülleri ile doğal UV koruyucu olan ekstraktifleri uzaklaştırmasıyla renk değişikliği artmaktadır. Dolayısıyla ortamda uyumlaştırıcı ajan kullanılarak OPK'nın su almasını önlemesi ve boyutsal kararlılığı arttırması gibi avantajlarının yanında renk stabilitesini de arttırdığı söylenebilmektedir. Bununla birlikte kreozotun hidrofobik karakterde olması levha gruplarında renk stabilitesini arttırdığı görülmektedir (Şekil 50-52).

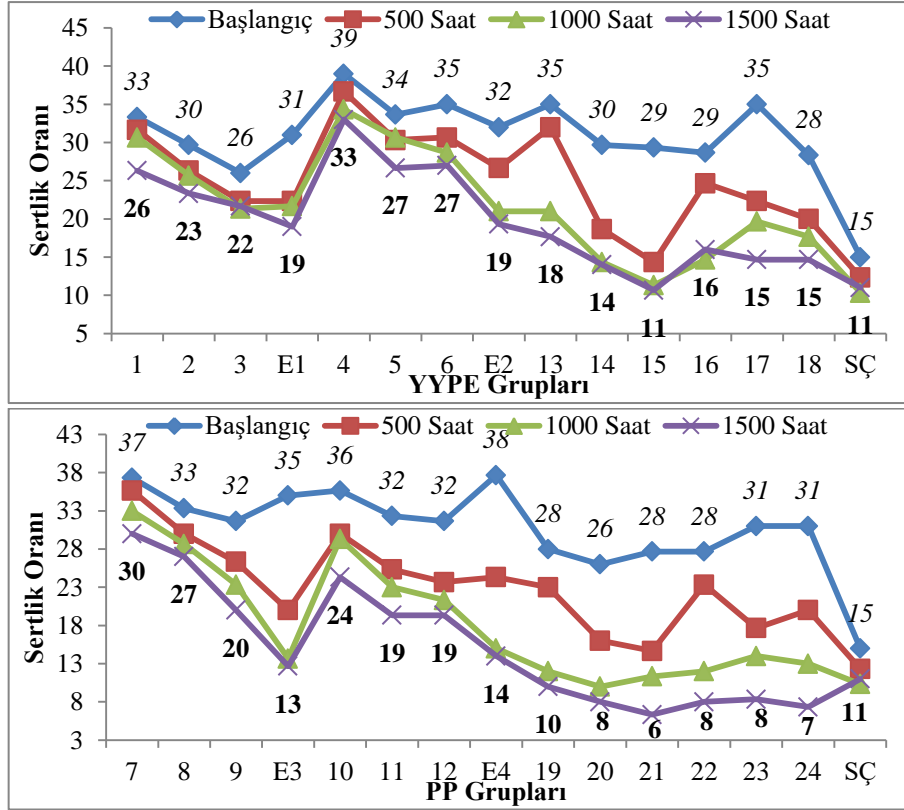
Kiguchi vd. (2007) ve Hyvarinen (2014) yaptıkları çalışmada ürettikleri OPK gruplarını 1 yıl boyunca doğal dış ortama tabi tutmuşlardır. Test sonunda koyu pigment içeren levha gruplarında daha düşük renk değişikliği olduğu belirlenmiştir. Yapılan renk ölçümlerinde kreozot gruplarında genellikle kontrol gruplarına göre daha düşük renk değişikliği (ΔE^*) olmuştur (Şekil 50-52). Bunun nedeni kreozottaki koyu PAH partiküllerin hücre lümenlerini doldurarak UV girişini engellemesi olduğu sanılmaktadır.

Remidasyon gruplarında kreozot gruplarına göre renk değişimi yüksek olmuştur. Bunun nedeni kullanılan çözücü ve ekstraksiyon tipi olduğu düşünülmektedir. Hung vd. (2012) yaptıkları çalışmada bambunun kimyasal modifikasyon ile daha hidrofob olması sağlanmış ve daha sonra OPK üretiminde kullanılmıştır. Yapılan doğal dış ortam testinde asetillendirilmiş bambu kullanılarak üretilen OPK levhaların kontrol gruplarına göre daha yüksek renk değiştirdikleri belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda kimyasal muamele sonucu odun hücre bileşenlerinin UV'ye karşı direnci düşürdüğü belirlenmiştir.

4.3.1.4. Sertlik Değişimi

• Benzetilmiş Dış Ortam Testi

Benzetilmiş dış ortam testi süresince levha gruplarında meydana gelen sertlik değişimi Şekil 53'te gösterilmiştir.



Şekil 53. Benzetilmiş dış ortam testi; sertlik değişimi oranları

Buna göre; 1500 saat sonunda YYPE gruplarında en düşük sertlik değeri 15. (S50PE%0) grupta (10,67), en yüksek değer 4. (K30PE%3) grupta (33,00) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük sertlik değeri 21. (S50PP%0) grupta (6,33), en yüksek değer 7. (K30PP%0) grupta (30,00) gerçekleşmiştir. Benzetilmiş dış ortam test periyotlarında zamana bağlı olarak sertlik değerleri azalmıştır. Ayrıca kreozot içeren gruplarda sertlik değeri kontrol gruplarına göre daha yüksek olmuştur. Polimer tipi olarak PP gruplarında sertlik değerleri zamana bağlı olarak YYPE'ye göre daha yüksek oranda düşmüştür. Odun oranı arttığında sertlik değerleri genellikle düştüğü tespit edilmiştir. Test sonunda uyumlaştırıcı içeren PP gruplarında uyumlaştırıcı içermeyen gruplara göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu durumda PP gruplarında sertlik değerleri için kullanılan

uyumlaştırıcı benzetilmiş dış ortam testi sonunda etkinliğini kaybettiği söylenebilmektedir. Masif sarıçamda sertlik değeri başlangıç değerlerine göre %27'lik bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.

- Genel Değerlendirme

OPK ürünlerin kullanım yerine uygunluğu büyük ölçüde; eğilme, çekme, şok, sertlik, su alma ve yoğunluk gibi fiziksel ve mekaniksel özelliklerine bağlıdır. Yapı elemanı olarak kullanılan ürünlerde basıncı karşılaması ve dağıtmasında önemli bir özellik olan sertlik değerleri eğilme ve çekme dirençleriyle de yakından ilişkilidir (Kaymakci ve Ayrilmis, 2014).

Dış ortama maruz kalma süresinin uzamasına göre sertlik değerlerinde düşme görülmektedir. Bununla birlikte odun oranının artmasıyla yüzeydeki polimer zincir sayısının düşmesi sonucu sertlik değerlerinde azalma olması beklenen bir durumdur. Sertlik değerlerinde ani düşüşlerin nedeni yüzeyde meydana gelen mikro-çatlaklar olup bu duruma polimer zincirinde kopmalar neden olmaktadır. Zincirdeki kopmalar arttıkça mekanik özellikler de düşmektedir (Du vd., 2010; Homkhiew vd., 2014).

Aslında sertlik değerleri ile eğilme özellikleri arasında ters bir orantı olduğu görülmektedir (Şekil 70 eğilme grafiği). Yüksek sertlik değerlerine sahip gruplarda eğilme dirençlerinin düştüğü önceki çalışmalarda da belirlenmiştir (Rahman vd., 2009). Bunun aksine Kaymakci ve Ayrilmis (2014) yaptıkları çalışmada ise sertlik değerleri ile çekme dirençleri arasında güçlü bir korelasyon olduğu ve doğru orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir (Şekil 71 çekme grafiği). Aynı çalışmada uyumlaştırıcı ilavesiyle sertlik değerlerinin artmasını, yüzeyler arası yüksek bağlanma kuvvetine bağlanmıştır (Şekil 53).

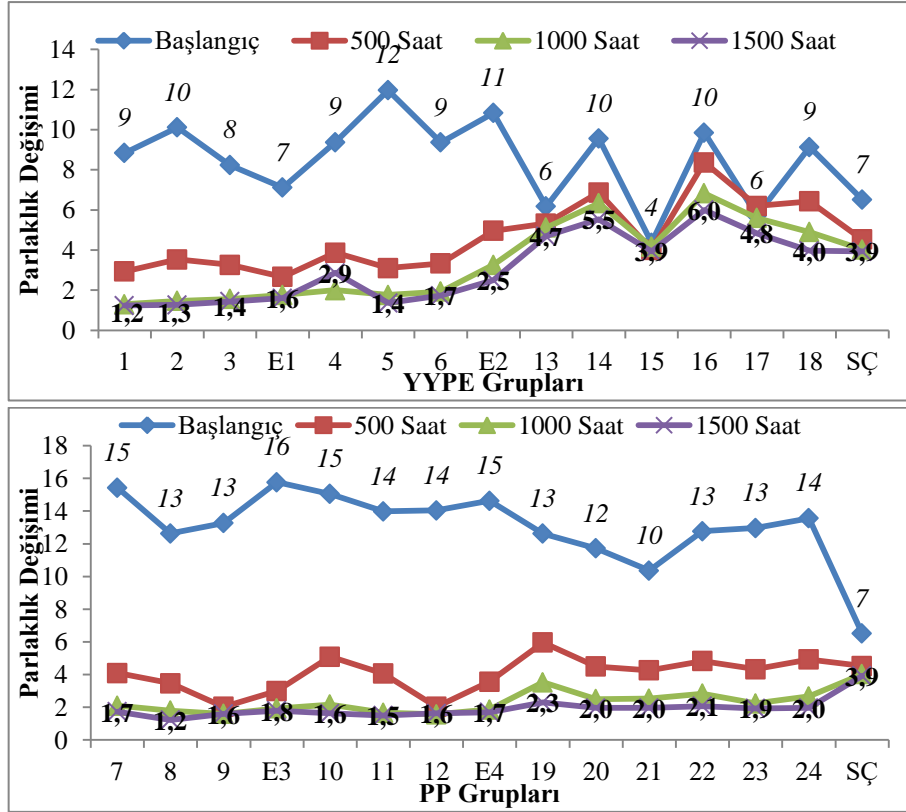
Kreozot gruplarında sertlik değerlerinin yüksek olması içeriğinde hidrokarbon bileşiklerinin olmasından ileri geldiği sanılmaktadır. Çünkü pigment olarak kullanılan karbon siyahı sertlik oranını arttırdığı, iyi bir renk koruyucusu ve UV direncine sahip olduğu yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Brewer, 2004; Stroh, 2005).

Polimerlerin geri dönüştürülmesi ile sertlik oranlarında da artış olduğunu belirlenmiş olup dolayısıyla sertlik oranları malzemenin yoğunlukları ile de doğru orantılıdır. Dış ortam şartlarında ve hidrotermal yaşlandırmada saf plastiklerin sertlik değerleri OPK ürünlere göre daha fazla düşmektedir. Ayrıca rutubet artışına paralel olarak sertliklerde düşme görülmektedir (Beg, 2007; Ghahri vd., 2012).

4.3.1.5. Parlaklık Değişimi

• Benzetilmiş Dış Ortam Testi

Benzetilmiş dış ortam testi süresince levha gruplarında meydana gelen parlaklık değişimi Şekil 54'te gösterilmiştir.



Şekil 54. Benzetilmiş dış ortam testi; parlaklık değişimi oranları

Buna göre; 1500 saat sonunda YYPE gruplarında en düşük parlaklık değeri 1. (K30PE%0) grupta (1,23), en yüksek değer 16. (S30PE%3) grupta (6,00) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük parlaklık değeri 8. (K40PP%0) grupta (1,23), en yüksek oran 19. (S30PP%0) grupta (2,30) gerçekleşmiştir. Benzetilmiş dış ortam test periyotlarında zamana bağlı olarak parlaklık değerleri ilk 500 saat sonrası yüksek bir düşüş gözlenmiştir. Ayrıca test başlangıcında kreozot içeren gruplarda parlaklık değerleri kontrol gruplarına göre daha yüksek iken test sonunda daha düşük olmuştur. Polimer tipi olarak PP'de başlangıç parlaklık değerleri daha yüksek iken test sonrasında YYPE'ye göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Odun oranı arttığında parlaklık değerleri genellikle düştüğü tespit edilmiş olup en yüksek düşüş %50 odununu içeren gruplarda olmuştur. Uyumlaştırıcı

ilavesiyle parlaklık değerlerinde düşük bir artışın olduğu söylenebilmektedir. Remidasyon gruplarında uyumlaştırıcı ilavesi ile başlangıç parlaklık değerlerinde YYPE'de %57'lik bir artış olup PP'de ise %6'lık bir düşüş olmuştur. Masif sarıçamda parlaklık değeri başlangıç değerlerine göre test sonunda %40'lık bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.

- Genel Değerlendirme

Parlaklık, yüzey düzgünlüğü ile alakalı olan ve malzemenin ışığı yansıtma derecesini ifade eden bir özelliktir. Benzetlenmiş dış ortam testinde özellikle başlangıç değerlerine göre yüksek bir düşüşün olduğu görülmektedir. Benzer bir çalışmada Peng vd. (2014a) PP/odun ile ürettikleri OPK'ların 960 saatlik benzetlenmiş dış ortam testine tabi tutmuşlardır. Test sonunda başlangıç değerlerine göre tüm gruplarda yüksek bir düşüşün olduğu vurgulanmıştır. Bu durum test sonunda çekilen resimlerde de çıplak gözle görülebilmektedir (Ek Şekiller 30-35). Yapılan çalışmalarda ekstrüzyon siteminde karışımın akışkanlık derecesi de parlaklığı etkilediği belirlenmiştir. Polimerin kireçlenmesi/tozuması ve odun partiküllerinin çıkıntılı olması da parlaklık oranlarını etkilemektedir. 1000 saat sonrasında ise parlaklık değerlerinde önemli bir düşüşün olmadığı görülmektedir (Şekil 54). Peng vd. (2014b) yaptıkları çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş olup UV'ye maruz kalma süresi uzadıkça OPK gruplarında parlaklık değerleri düşmektedir. Başlangıç parlaklık değerlerinde tüm gruplar yüksek değerler elde edildiği halde UV etkisiyle yüksek bir düşüş gözlenmiştir. Bu nedenle lignoselülozik dolgu maddeleri polimerin daha hızlı bozunmasına ve parlaklık değerlerinin düşmesine neden olduğu söylenebilmektedir (Stark ve Matuana, 2003).

4.3.1.6. Levhaların Yüzey Kimyası Analizi

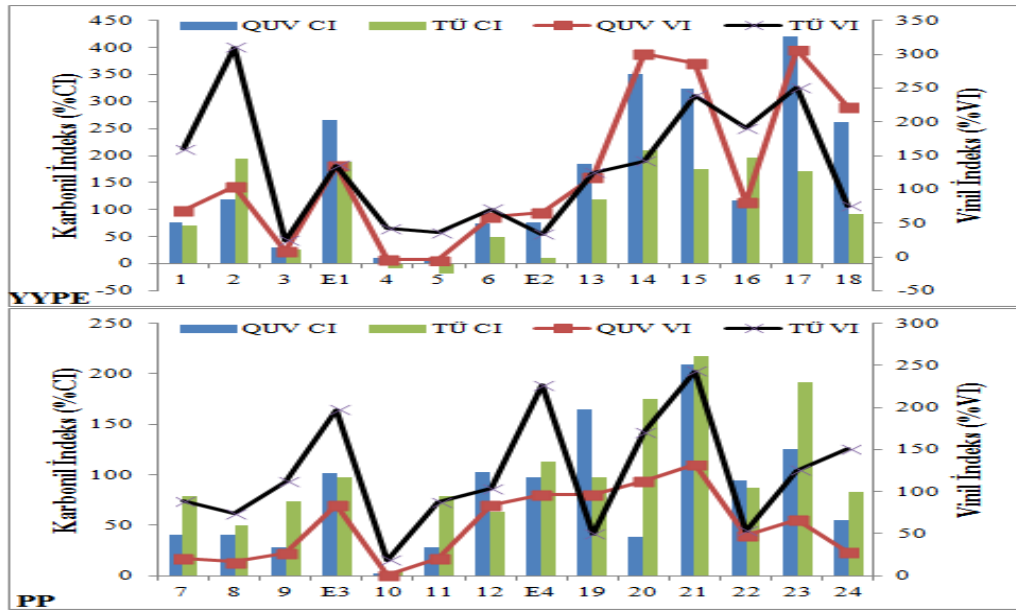
Benzetlenmiş dış ortam testi (QUV) ve toprak üstü (TÜ) testi kapsamında levha gruplarında FTIR-ATR yardımıyla elde edilen indeks değerleri (CI: karbonil indeks, VI: vinil indeks, PI: polimer indeks, WI: odun indeks, LI: lignin indeks ve HI: hidroksil indeks) Şekil 55-57'de gösterilmiştir.

- Karbonil ve Vinil İndeksi

1500 saat süren benzetlenmiş dış ortam testi sonunda YYPE gruplarında karbonil indeks artışı en düşük 5. (K40PE%3) grupta (%7), en yüksek 17. (S40PE%3) grupta (%420) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (%2), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (%209) olmuştur. YYPE gruplarında vinil indeks artışı en düşük 5.

(K40PE%3) grupta (-%4), en yüksek 17. (S40PE%3) grupta (%307) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (%0), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (%132) olmuştur.

12 ay süren toprak üstü testi sonunda YYPE gruplarında karbonil indeks artışı en düşük 5. (K40PE%3) grupta (-%19), en yüksek 14. (S40PE%0) grupta (%209) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (%4), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (%218) olmuştur. YYPE gruplarında vinil indeks artışı en düşük E2 (E50PE%3) grubunda (%33), en yüksek 2. (K40PE%0) grupta (%310) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (%18), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (%243) olmuştur.



Şekil 55. Karbonil ve vinil indeks değişimi

Dış ortam testleri sonunda 4. (K30PE%3) ve 5. (K40PE%3) grup hariç bütün gruplarda CI ve VI değerleri artmıştır. En düşük CI ve VI değişimi uyumlaştırıcı içeren kreozot gruplarında olmuştur. Kontrol gruplarında ise kreozot gruplarına göre yüksek bir artış belirlenmiştir. Genel olarak uyumlaştırıcı ajanın CI ve VI değerlerini düşürdüğü görülmektedir. YYPE içeren remedasyon grubunda uyumlaştırıcı ilavesiyle CI ve VI değerlerinde belirgin bir düşüş olurken, PP içeren remedasyon grubunda önemli bir farklılık olmamıştır. CI ve VI değerlerindeki değişim büyük benzerlik göstermektedir. YYPE içeren gruplarda CI ve VI değerleri PP'ye göre genellikle daha yüksek olmuştur. YYPE içeren gruplarda CI değerleri benzetilmiş dış ortam testinde daha yüksek olurken PP içeren gruplarda ise CI değerleri toprak üstü testte daha yüksek olmuştur. YYPE

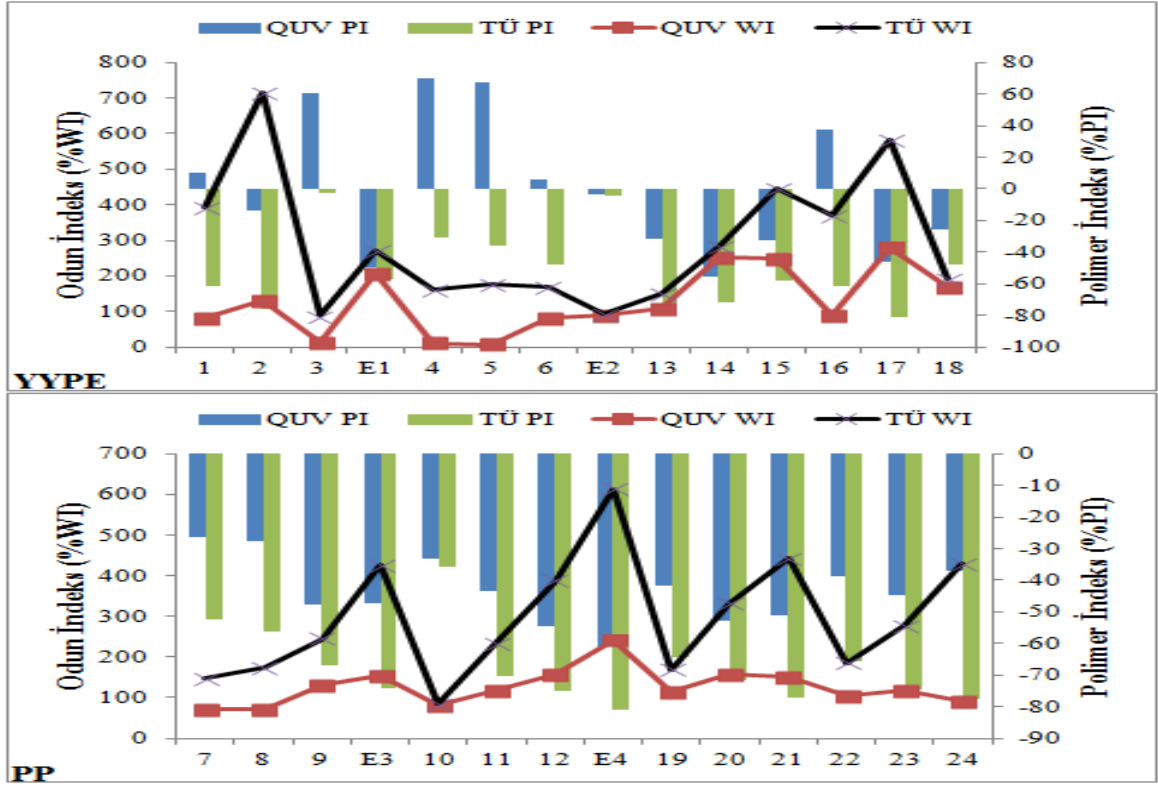
gruplarında özellikle %40 odun içeren gruplardaki CI ve VI değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Ayrıca bu grupların benzetilmiş dış ortam ve toprak üstü test arasında genellikle yüksek farklar gözükmektedir.

- Polimer ve Odun İndeksi

1500 saat süren benzetilmiş dış ortam testi sonunda YYPE gruplarında polimer indeks azalışı en düşük 4. (K30PE%3) grupta (%70), en yüksek 14. (S40PE%0) grupta (-%56) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 7. (K30PP%0) grupta (-%26), en yüksek E4 (E50PP%3) grubunda (-%61) olmuştur. YYPE gruplarında odun indeks artışı en düşük 5. (K40PE%3) grupta (%7), en yüksek 17. (S40PE%3) grupta (%280) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 8. (K40PP%0) grupta (%70), en yüksek E4 (E50PP%3) grubunda (%243) olmuştur.

12 ay süren toprak üstü testi sonunda YYPE gruplarında polimer indeks azalışı en düşük 3. (K50PE%0) grupta (-%3), en yüksek 17. (S40PE%3) grupta (-%81) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (-%36), en yüksek E4 (E50PP%3) grubunda (-%81) olmuştur. YYPE gruplarında odun indeks artışı en düşük E1 (E50PE%0) grubunda (%88), en yüksek 2. (K40PE%0) grupta (%715) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (%86), en yüksek E4 (E50PP%3) grubunda (%614) olmuştur.

Dış ortam testleri sonunda bütün gruplarda genellikle PI değerleri azalmış olup WI değerleri artmıştır. Levha gruplarında genellikle PI ve WI değerleri kreozot gruplarında daha düşük olmuştur. Kontrol gruplarında ise kreozot gruplarına göre yüksek bir artış belirlenmiştir. Uyumlaştırıcı ajan ilavesi PI ve WI değerlerini düşürmede herhangi bir etkisi olmadığı hatta bazı gruplarda bu değerleri arttırdığı belirlenmiştir. Fakat sadece YYPE içeren remidasyon grubunda uyumlaştırıcı ilavesiyle PI ve WI değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenirken, PP içeren remidasyon grubunda artış olmuştur. PI ve WI değerlerindeki değişim büyük benzerlik göstermektedir. Toprak üstü testte PI ve WI benzetilmiş dış ortam testine göre daha yüksek olmuştur. PI bakımından YYPE gruplarında genel olarak PP'ye göre daha dirençli olduğu belirlenmiştir. PP gruplarında odun oranı arttıkça PI değerleri her iki testte de düştüğü gözlenmektedir.

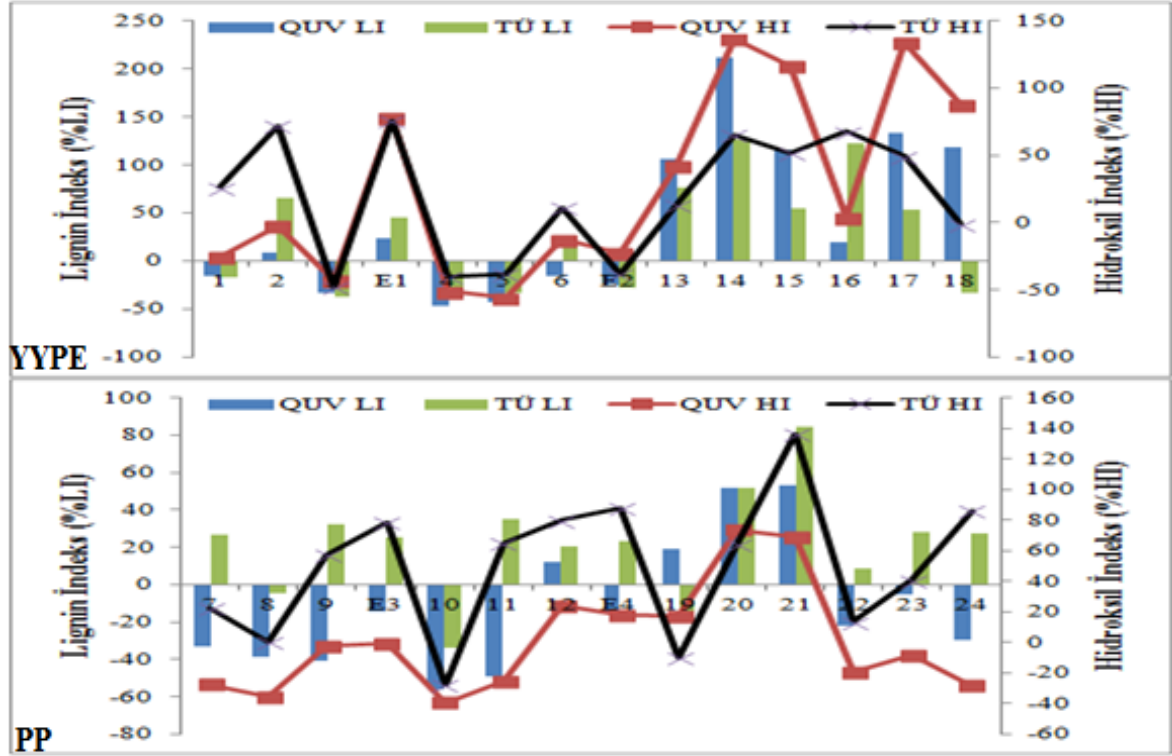


Şekil 56. Polimer ve odun indeks değişimi

• Lignin ve Hidroksil İndeksi

1500 saat süren benzetilmiş dış ortam testi sonunda YYPE gruplarında lignin indeks azalışı en düşük 14. (S40PE%0) grupta (%211), en yüksek 4. (K30PE%3) grupta (-%46) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 21. (S50PP%0) grupta (%53), en yüksek 10. (K30PP%3) grupta (-%56) olmuştur. YYPE gruplarında hidroksil indeks azalışı en düşük 14. (S40PE%0) grupta (%137), en yüksek 5. (K40PE%3) grupta (-%56) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 20. (S40PP%0) grupta (%73), en yüksek 10. (K30PP%3) grupta (-%40) olmuştur.

12 ay süren toprak üstü testi sonunda YYPE gruplarında lignin indeks azalışı en düşük 14. (S40PE%0) grupta (%127), en yüksek 3. (K50PE%0) grupta (-%37) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 21. (S50PP%0) grupta (%84), en yüksek 10. (K30PP%3) grupta (-%34) olmuştur. YYPE gruplarında hidroksil indeks azalışı en düşük E1 (E50PE%0) grubunda (%76), en yüksek 3. (K50PE%0) grupta (-%48) olmuştur. PP gruplarında ise en düşük 21. (S50PP%0) grupta (%136), en yüksek 10. (K30PP%3) grupta (-%28) olmuştur. Dış ortam testleri sonunda LI ve HI değerleri genellikle kreozot gruplarında azalırken kontrol gruplarında artmaktadır.



Şekil 57. Lignin ve hidroksil indeks değişimi

- Genel Değerlendirme

Bilindiği gibi levha içeriğini oluşturan materyaller ve bu materyallerin polimer matris içinde yayılışı fiziksel, mekaniksel ve morfolojik özelliklerin yanında birbirleriyle olan kimyasal bağları da etkilemektedir. Bu nedenle levhaların yüzey kimyasını belirlemek amacıyla kullanışlı bir yöntem olan FTIR-ATR analizi tercih edilmektedir. Levhaların benzetilmiş ve doğal dış ortam şartlarındaki değişimi hakkında literatürde sınırlı bilgi bulunmaktadır.

Endüstride her ne kadar benzetilmiş dış ortam testi hızlı ve daha popüler olsa da doğal dış ortam testi ile korelasyonu zorunlu hale gelmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda 1000 saat UV, 1 yıl doğal dış ortam testine tekabül ettiği belirlenmesine rağmen kullanılan cihaz ve uygulanan parametrelerin yanında doğal dış ortamın yapıldığı bölge özellikleri bu sonuçları değiştirebilmektedir. Ayrıca benzetilmiş dış ortam, doğal dış ortama göre yüksek oranda bozundurma etkisi olduğu bazı çalışmalarda belirlenmiştir. Bunun nedeni; benzetilmiş dış ortam testinde UV ışınının daha yüksek oluşu ve farklı dalga boylarındaki ışık spektrumlarının üretilmesidir. İki tip test arasında korelasyonu arttırmak için UV

yerine xenon-arc lambaları veya UVA 340 lambaları kabul edilebilir sonuçlar vermektedir (Rana vd., 2008; Chaochanchaikul vd., 2013).

Foto-kimyanın ilk kuralında fotokimyasal bir reaksiyonun meydana gelmesi için malzemedeki bazı bileşenlerin ışığı absorbe etmesi gerektiği bildirilmiştir (Temiz vd., 2004b; Temiz, 2005). Polimerlerde foto-bozunmaya; karbonil gruplarla birlikte bazı fonksiyonel gruplar (ketonlar, karboksil asitler ve vinil gruplar) neden olmaktadır. Bu durum Norrish tip I ve tip II olmak üzere iki reaksiyonla açıklanmaktadır. Norrish tip I, UV etkisiyle karbonil grupların serbest radikallere dönüşmesidir. Daha sonra bu serbest radikallerin poliolefine saldırarak polimer zincirinde kopmalara neden olmaktadır. Norrish tip II ise karbonil gruplarındaki reaksiyonlar sonucu polimer zincirinde vinil ve karbonil grupları oluşturmaktadır. Çapraz bağlanmalar ile polimer zincirindeki kopmalar sonucu yüksek kristallenme, düşük erime noktası, düşük eğilme direnci ve molekül ağırlıklarında değişme olmaktadır (Stark ve Matuana, 2004a; Taib vd., 2010; Chaochanchaikul vd., 2012; Lee vd., 2012; Yang vd., 2015). Bir başka deyişle; Norrish tip I, UV etkisiyle serbest radikallerdeki aldehit ve ketonların kopmasıyla oluşmaktadır. Norrish tip II ise devam eden reaksiyonlar sonucu amorf bölgelerde karbonil ve vinil gruplarında artış böylelikle kısa moleküllerdeki kristallenme ile sonuçlanmaktadır (Fabiya vd., 2008). Dolayısıyla polimerlerin bozunmasına en büyük neden, ana kromoforik bileşenler içeren karbonil gruplarıdır. Ayrıca 313 nm dalga boyuna sahip UV ışınları polimerdeki C-C bağlarını koparmaya yeterli enerjiye sahip olduğu bilinmektedir (Chaochanchaikul vd., 2012).

Odununda ise lignindeki UV absorplayan kromoforik gruplardan dolayı foto-bozunma gerçekleşmektedir. Burada iki mekanizma vardır. Birincisi 250 saat UV ye maruz kalarak perkinon kromoforik yapıların neden olduğu ligninin oksidasyonu, ikincisi ise 250 saatten fazla UV ye maruz kalma ile lignindeki perkinon yapıların hidrokinonlara indirgenmesidir (Chaochanchaikul vd., 2012). Odun bileşenlerindeki kromoforik gruplar (karbonil, karboksil, kinon, peroksit, hidroperoksit, konjuge çifte bağlar, asetil grupları vb.) UV ışınlarını absorbe edici özellikte olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla mikro düzeyde güneş ışığı (UV) odununda C-C, C-O, C-H gibi bağları bozundurabilmekte olup yüzey kimyasını değiştirebilmektedir. Işık absorplama oranı bakımından odun bileşenleri alçaktan yükseğe doğru ekstraktifler (%2), karbonhidratlar (%5-20) ve lignin (%80-90) şeklinde olmaktadır (Temiz vd., 2004b; Temiz, 2005). Görünebilir ışığın (400-700 nm) taşıdığı enerji 292,9 kJ/mol'den daha düşük olduğu için odun bileşenlerindeki (selüloz, hemiselüloz, lignin) bağlarını parçalayamamaktadır. Böylelikle foto-bozunmaya sebep olarak UV ışınları

gösterilmektedir. Aromatik ve serbest radikal grupların reaksiyona girmesiyle lignin bozunmaktadır (Matuana vd., 2011).

OPK saf polimere göre daha fazla oksidasyona uğramaktadır. Çünkü odunun varlığı OPK'da radikaller oluşturarak kimyasal reaksiyonları hızlandırmakta olup lignindeki kromoforik gruplar ayrıca foto-bozunmaya neden olmaktadır (Stark ve Matuana, 2004a; Chaochanchaikul vd., 2012). Tablo 117'de odun ve polimerde (YYPE-PP) elde edilen pikler özetlenmiştir.

Tablo 117. FTIR spektrumunda elde edilen absorpsiyon pikleri (Stark, 2003; Matuana vd., 2011; Hyvarinen, 2014; Özgenç, 2014).

Materyal	Frekans (cm ⁻¹)	Grup ve Fonksiyonu
Odun	3080-3500	Selülozda (hidroksil grupları) O-H gerilimi
	2903	Metilen gruplarındaki CH gerilimi
	1714-1740	Eşlenmiş keton, aldehit ve karbonil gruplarındaki C=O gerilimi
	1630-1660	Para-OH katılmış aril keton, kinonda C=O gerilimi, karbonhidratlar tarafından absorbe edilen H ₂ O, alkinlerdeki C=O gerilimi
	1591-1610	Aromatik halkalardaki (lignin) C=O ve COO- simetrik olmayan gerilim
	1505-1511	Aromatik halkalardaki (lignin) C=O ve COO- simetrik olmayan gerilim
	1450-1465	Selüloz ve hemiselülozdaki CH ₂ bozunması (asimetrik)
	1365-1376	Selüloz ve hemiselülozdaki CH bozunması (eğilme)
	1230-1270	Lignin ve hemiselülozdaki C-O gerilimi ve guayasil halkasındaki titreşim
	1145-1163	Selülozdaki asimetrik titreşimler (C-O-C)
	1030-1060	Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilimi
YYPE	897	Glikoz halkalarındaki C-H bozunması
	2916	CH ₃ ve CH ₂ 'de asimetrik CH ₂ gerilimi
	2847	Simetrik CH ₂
	1713	Karbonil asitlerdeki C=O gerilimi
	1472	CH ₂ 'deki makaslama titreşim deformasyonu (kristal bölgede)
	1462	CH ₂ 'deki makaslama titreşim deformasyonu (amorf bölgede)
	1176	Esterlerdeki C-O bağı
	730	CH ₂ sallanma titreşimi (kristal bölgede)
718	CH ₂ sallanma titreşimi (amorf bölgede)	
PP	2838-2952	C-H gerilmesi
	2720	CH bağlanması ve CH ₃ gerilimi
	1456	CH ₃ asimetrik deformasyonu
	1376	CH ₃ simetrik deformasyonu
	1165	Üçlü karbon titreşim bağları
	808, 841 ve 974	C-H deformasyonu

Dış ortam şartlarında polimerin odundan daha fazla bozunduğu, FTIR analizlerinde belirlenmiştir (Mantia ve Morreale, 2008). Yapılan çalışmalarda dış ortam süresince bu ürünlerin karbonil ve hidroksil indeksleri yüzey kimyasını incelemede çok etkin bir araç olduğu belirlenmiştir (Stark ve Matuana, 2004a; Muasher ve Sain, 2006; Catto vd., 2014).

Dış ortam kullanım alanlarında YYPE ve PP bazlı OPK'ların kimyasal değişime uğradıkları birçok çalışmada belirlenmiş olup bu iki polimer arasında da farklılıklar bulunmaktadır. Fabiyi vd. (2008) 2000 saat benzetilmiş dış ortam testine ve 2 yıl süreyle doğal dış ortam testine tabi tuttıkları levha gruplarında PP gruplarının YYPE'ye göre daha fazla bozunduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte dış ortam süresince UV'ye maruz kalan levhalardan polimer ve odun bileşenleri yıkanarak uzaklaşmakta olup buna bağlı ağırlık kayıpları da artmaktadır (Chaochanchaikul vd., 2012).

FTIR spektrumunda $1650-1800\text{ cm}^{-1}$ bandı fonksiyonel karbonil gruplar için oldukça önemlidir. Karbonil bölge; konjuge ketonları ($1675-1700\text{ cm}^{-1}$), karboksil asitlere bağlı hidrojenleri ($1710-1725\text{ cm}^{-1}$) ve esterleri ($1720-1735\text{ cm}^{-1}$) içermektedir. Karbonil grupların artması kimyasal oksidasyona işaret etmekte olup ileri safhalarda foto-bozunma gerçekleşmektedir (Fabiyi vd., 2008; Rajakumar vd., 2009; Fabiyi ve McDonald, 2010). Yang vd. (2015) 12 ay süreyle doğal dış ortam testine tabi tuttıkları levha gruplarında (atık odun/PP) karboksil asitlerdeki hidrojen bağlarında (1714 cm^{-1}) ve esterlerde (1735 cm^{-1}) artış belirlemiştir. Zaman zaman tüm indeks değerlerinde artış yerine düşüş olabilmektedir. Bunun nedeni bileşenlerin yıkanarak uzaklaşması veya partiküllerin dışarıya doğru uzamasıdır. Aynı çalışmada %70 PP içeren levha gruplarında başlangıç karbonil indeksi %15 iken test sonunda %30'a çıktığı vurgulanmış olup karbonil indekslerdeki yüksek artışın nedenini şiddetli güneş ışınları ve yağışa sahip subtropikal iklim koşullarına bağlanmıştır.

Odundaki kromoforik grupların foto-oksidasyonu artırması ile karbonil indeksler artmaktadır (Lundin vd., 2004). Benzer şekilde ligninin bozunmasıyla karbonil indekslerde artış görülmekte olup UV absorban/stabilizör veya uyumlaştırıcı ajan katılmasıyla da düşmektedir (Stark ve Matuana, 2007). Selden vd. (2004) ise uyumlaştırıcı ajanların karbonil indeksleri düşürme etkisi olmadığını bildirmiştir. Bunun aksine Catto vd. (2014) PP/odun levhalarında doğal dış ortam testi sonunda uyumlaştırıcı ajanın karbonil indeksi düşürdüğü belirlemiştir. Ayrıca odun oranı arttıkça karbonil indeksler de arttığı Mantia ve Morreale (2008) tarafından belirlenmiştir. Lee vd. (2012) 2000 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tuttıkları levha gruplarında (YYPE, LDPE, PP, PS/odun) karbonil

indekslerin zamana göre arttığını belirlemişlerdir. Chaochanchaikul vd. (2012) 720 saat benzetilmiş dış ortam testine tabi tuttıkları levha gruplarında (YYPE/odun) başlangıç karbonil indekslerin benzerlik göstermesini, polimerin odun partiküllerini hapsetmesine/sarmasına bağlamış olup UV'ye maruz kalma süresine bağlı olarak karbonil indekslerin de arttığı vurgulanmıştır. Lignin oranı yüksek olan gruplarda bu artış daha yüksek olmaktadır. Stark ve Matuana (2004a) 2000 saat benzetilmiş dış ortam testine (xenon-arc) tabi tuttıkları levha gruplarında (YYPE/odun) polimer zincirindeki kopmalar ile karbonil indeksin arttığı belirlenmiştir. Stark ve Matuana (2004b) yaptıkları benzer çalışmada dış ortam testi sonrası karbonil indeks arttığı belirlenmiştir.

Vinil gruplar, foto-bozunmaya neden olan bir diğer fonksiyonel gruptur. Karbonil indekse benzer şekilde UV'ye maruz kalma süresine bağlı olarak artmaktadır (Chaochanchaikul vd., 2012). Karbonil indeksin artmasıyla Norrish tip II reaksiyonları başlamakta ve vinil indeks de artmaktadır (Fabiya vd., 2008). Vinil indeksin odunla ilişkili olmadığı doğrudan polimerle ilişkili olduğu belirlenmiştir (Stark ve Matuana, 2004a). Yang vd. (2015) 12 ay süreyle doğal dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (atık odun/PP) da benzer şekilde vinil gruplarında önemli bir artış olduğu bulunmuştur. Taib vd. (2010) doğal dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/odun) polimer zincirinde kopmalar ile karbonil (1715 cm^{-1}) ve terminal vinil (908 cm^{-1}) gruplarında absorpsiyon şiddetinde artış belirlemişlerdir.

YYPE, LDPE ve PP polimerlerinde $2912\text{-}2917 \text{ cm}^{-1}$ bandında oluşan pik metilen gruplarındaki asimetric CH_2 gerilimlerini temsil etmektedir. $3400\text{-}3200 \text{ cm}^{-1}$ geniş bandında oluşan pik ise genel olarak selülozdaki hidroksil grupları ($-\text{OH}$) tarafından oluşmaktadır. 1023 cm^{-1} piki ise lignin temel alkollerindeki C-O deformasyonu ve selülozdaki C-O bağlarının her ikisini temsil etmektedir. $2912\text{-}2917 \text{ cm}^{-1}$ bandında oluşan pik polimerler için çok güçlü iken sarıçam odunu için çok zayıftır. Aynı şekilde $1023\text{-}1033$ bandında oluşan pik sarıçam için çok güçlü iken polimer için bu pik spektrumda gözükmemektedir. Bu iki piki kullanarak polimer indeksi (PI) ve odun indeksi (WI) belirlenebilmektedir (Stark ve Matuana, 2007; Fabiya vd., 2008; Rana vd., 2008; Lee vd., 2010; Darabi vd., 2012). Chaochanchaikul vd. (2013) 1 yıl süreyle doğal dış ortam testine ve 729 saat benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/odun) polimer indeksi arttığı belirlenmiş olup benzetilmiş dış ortamda daha şiddetli bozunma olduğu belirlenmiştir.

Wei vd. (2013) benzetilmiş dış ortam testine (xenon-arc) tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/odun) karbonil indeks artarken odun indeksinin düştüğü belirtilmiştir. Darabi vd. (2012) 1440 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/şeker kamışı) odun indeksinin düştüğü belirtilmiştir.

Chaochanchaikul vd. (2012) 720 saat benzetilmiş dış ortam testine tabi tuttukları levha gruplarında (YYPE/odun) odun indeksi önce yükselmekte ve daha sonra düşmektedir. UV'ye maruz kalma safhasında odun indeksinin artması levha yüzeyinde odun partiküllerinin dışarıya uzanmasından kaynaklanmaktadır. UV'ye maruz kalan OPK'da daha açık olmakta ve odun bileşenleri su alma ile şişmektedir. Buda polimer-odun arasındaki birlikteliği bozarak mikro-çatlaklara neden olmaktadır. Bu çatlaklar neticesinde de odun partikülleri dışarıya uzaması söz konusu olmaktadır (Chaochanchaikul vd., 2012). Fakat 720 saat sonunda ise dışarıya uzanan odun bileşenlerinin yıkanarak uzaklaşması sonucu odun indeksinde düşmeye neden olmaktadır. Krehula vd. (2014) benzetilmiş dış ortam testine (xenon-arc) tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/odun unu) odun indeksinin azalmakta olduğunu, karbonil indeksinin ise arttığını belirlemişlerdir. Stark ve Matuana (2007) 3000 saat benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/odun unu) odun indeksinin düşmesini levha yüzeyindeki odunun uzaklaşması ile açıklamaktadır. Matuana vd. (2011) 2000 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/odun) oksidasyon reaksiyonları ile karbonil indekslerinde artış, odun indekslerinde düşüş belirlemişlerdir.

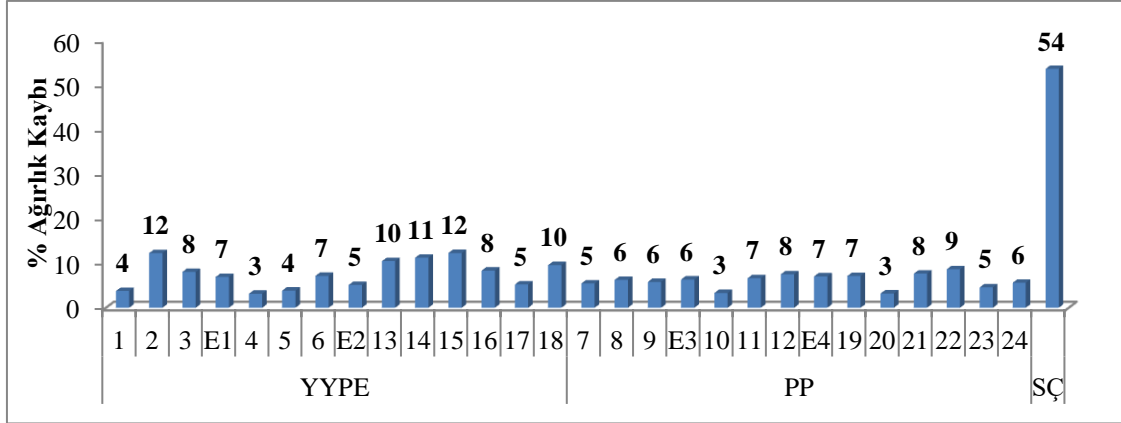
Lignin 350 nm dalga boyundan düşük değerlerde kolaylıkla bozunmaya uğramaktadır (Temiz vd., 2004b). Lignin indeksi belirlemede 1508 piki aromatik iskelet titreşimini, 2920 ise metilen gruplarını temsil etmektedir (Hyvarinen, 2014). Yang vd. (2015) 12 ay süreyle doğal dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (atık odun/PP) lignin eter gruplarını temsil eden 1510-1595 cm^{-1} aralığındaki absorpsiyon pikleri ve lignindeki aromatik karbonların C-O gerilimini temsil eden 1240 cm^{-1} piki ilk 3 ayda kaybolmuştur. Dolayısıyla lignin indeksi düşmüştür. Peng vd. (2014) 960 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (PP/odun) lignindeki kromoforik grupların UV ışınları tarafından hızlı bir şekilde bozunduğunu ve foto-bozunmayı hızlandırdığı bildirilmiştir. Hyvarinen (2014) 2000 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında ilk 200 saat sonunda lignin indeksi ani düşme gösterip daha sonra sabit kalırken, karbonil indeksleri genelde artış göstermiştir. UV etkisine maruz kalan odunda karbonil indekslerinde artış görülürken lignin indekslerinde

düşüş meydana gelmektedir. Karbonil gruplarındaki artışa selüloz ve ligninin oksidasyonu neden olurken, lignin içeriğinin düşmesine ise lignindeki çözünebilir ürünlerin odun yüzeyinden uzaklaşması olarak gösterilmektedir (Temiz vd., 2004b). Darabi vd. (2012) 1440 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/şeker kamışı) lignin indeksinin düştüğü belirtilmiştir. 1595, 1510, 1465 pikleri lignini temsil etmektedir. Bu pikler UV ye maruz kalma süresine göre düşmektedir (Chaochanchaikul vd., 2012). Matuana vd. (2011) 2000 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/odun) test döngüsünde püskürtülen su ile ligninin uzaklaştığı bildirilmiştir.

FTIR spektrumunda $3050-3600\text{ cm}^{-1}$ polisakkaritlerdeki hidroksil gruplarını temsil etmekte (Rajakumar vd., 2009; Fabiyi ve McDonald, 2010) olup, $3568-3577\text{ cm}^{-1}$ bandı ise fenolik gruplardaki molekül içi hidrojen bağımlı temsil etmektedir (Peng vd., 2015). Yang vd. (2015) 12 ay süreyle doğal dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (atık odun/PP) polisakkaritlerdeki hidroksil gruplarını temsil eden $3050-3600\text{ cm}^{-1}$ absorpsiyon piklerinin düştüğü belirtilmiştir. Peng vd. (2015) 960 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında $3050-3600\text{ cm}^{-1}$ arası bandı temsil eden hidroksil gruplarında (-OH) yükselme olduğu görülmüştür. Darabi vd. (2012) 1440 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/şeker kamışı) hidroksil indeksinin düştüğü belirtilmiştir. Matuana vd. (2011) 2000 saat süreyle benzetilmiş dış ortam testine tabi tutulan levha gruplarında (YYPE/odun) 192 saat sonunda $3300-3354\text{ cm}^{-1}$ (selülozdaki OH) ve $1029-1033\text{ cm}^{-1}$ (selülozdaki C-O ve lignindeki temel alkol grupları) piklerinde azalma belirlemişlerdir.

4.3.1.7. Deniz Testi

Hopa limanında yürütülen deniz testi sonrasında levha gruplarında meydana gelen % ağırlık kaybı değerleri Şekil 58'de gösterilmiştir.



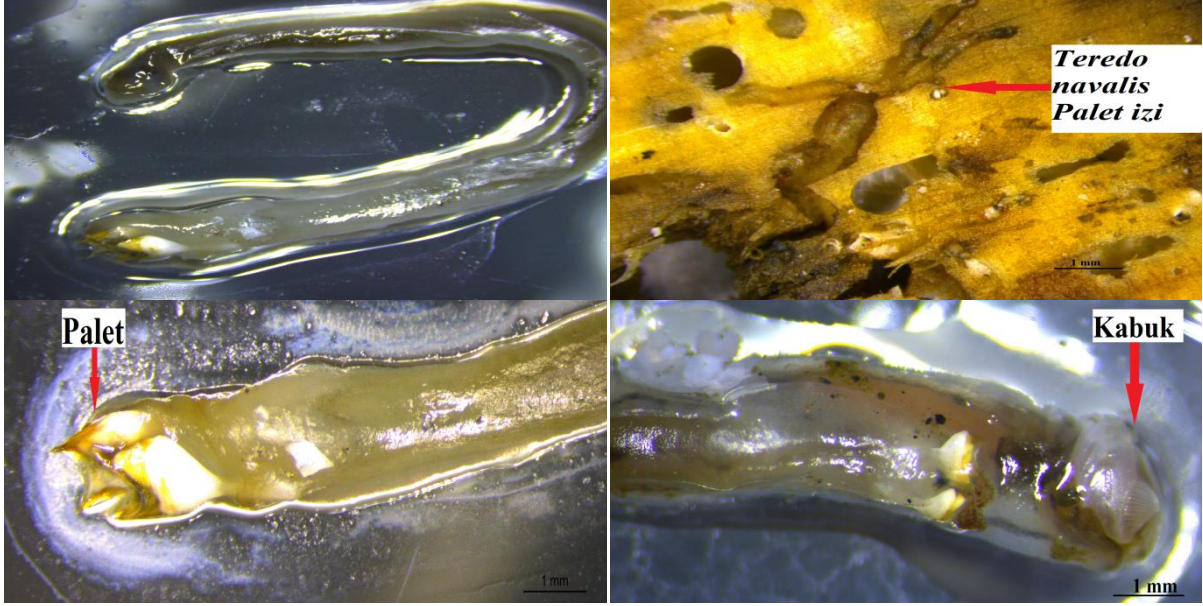
Şekil 58. Deniz testi; % ağırlık kaybı değerleri

Buna göre; test sonunda YYPE gruplarında en düşük ağırlık kaybı 4. (K30PE%3) grupta (%3,15), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (%12,29) elde edilmiştir. PP gruplarında ise en düşük ağırlık kaybı 20. (S40PP%0) grupta (%3,21), en yüksek 22. (S30PP%3) grupta (%8,66) elde edilmiştir. İstatistiksel analiz sonucu ağırlık kaybı en düşük kreozot gruplarında en yüksek kontrol gruplarında olmuştur. Ağırlık kayıpları uyumlaştırıcı ilavesiyle düşmekte olup odun oranı artmasıyla da artmaktadır. Test sonunda referans olarak yerleştirilen masif sarıçam örneklerin büyük bir bölümü tahrip edilmiş olup ağırlık kayıpları en az %53,64 seviyelerinde olmuştur. Deniz suyu sıcaklığının arttığı Mayıs ayında deniz zararlıları örneklerle konukçu olarak yerleşmiş olup, Eylül ayına kadar özellikle referans örnekleri şiddetli tahribata uğramışlardır.

Deniz suyu ile temas eden ürünler ve demiryolu traversleri OPK'ların en önemli uygulama alanlarındandır. Günümüzde özellikle bu alanlarda hizmet veren ve zehirli bileşenler içeren emprenyeli ahşap ürünlerin yerine OPK'lar tercih edilmektedir (Adhikary, 2008). Odun delici organizmalar; yumuşakçalar ve kabuklular olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Her iki grupta en önemli türler sırasıyla *Teredo navalis* ve *Limnoria tripunctata*'dır. *Limnoria sp.* (Şekil 59 ve Şekil 61) odunu delerek beslenmekte olup selüloz enzimini kullanarak odundaki selülozu bozundurmaktadırlar. Bu türler kreozot içeren iğne yapraklıları tahrip eden deniz zararlısı olarak ta bilinirler. Genellikle bir başka kabuklu olan *Chelura* ile beraber bulunmaktadır (Sivrikaya, 2004).

Örnekler üzerinde konukçu olarak gemi kurdu ve solucanları (*T. navalis*), odun delici kabuklular (*L. tripunctata*, *Chelura*), midyeler (*Bivalvia sp.*), deniz eteği ve ağız organizmalar (*C. intestinalis*, *P. triqueter*) yerleştiği belirlenmiştir. *T. navalis* (Şekil 59) özellikle örneklerin radyal kesitlerinden tahribata başlamakta olup örnek içerisinde birçok

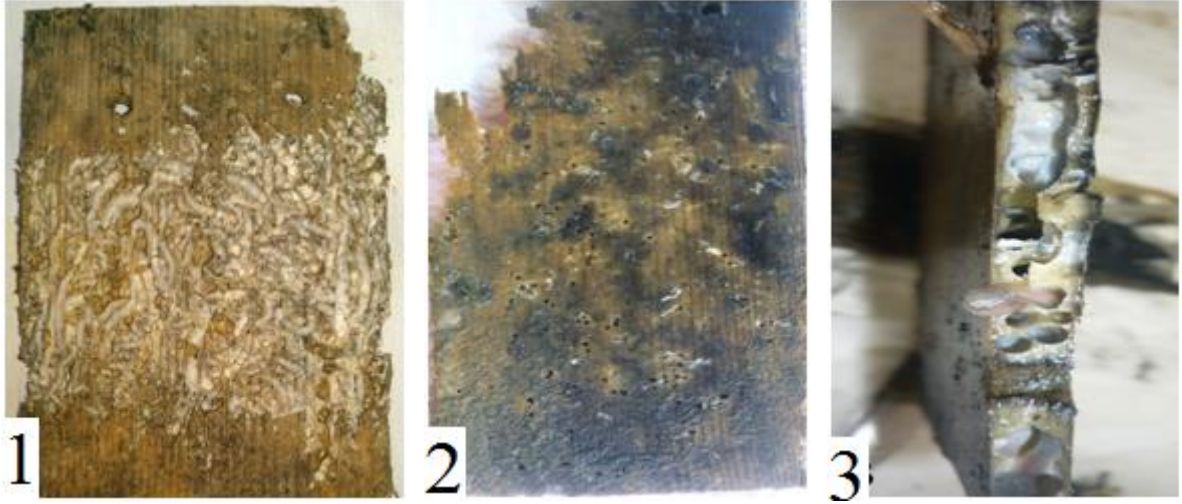
kanal açtığı belirlenmiştir. Masif sarıçam üzerinde şiddetli tahribata yol açarken (Şekil 60) kontrol OPK gruplarında yüzeysel zarar oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 51). *L. tripunctata* ve *Chelura* ise örnekleri delerek zarar verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 59. *Teredo navalis*

Sınırlı süreler için yapılan deniz testlerinde masif odun türleri tamamen bozunurken OPK'lar tahrip edilmemektedir (Stark ve Gardner, 2008). Pendleton ve Hoffar (2000) Hawaii'de yaptıkları çalışmada deniz zararlılarının OPK'ları bozundurmadağını bildirmişlerdir. Plastiklerin deniz zararlılarına karşı oldukça büyük direnci olmakla beraber yapılan çalışmalarda deniz zararlıları direkt olarak OPK'ları tahrip etmediği, ancak bazı yumuşakçaların yüzeysel tahribatı söz konusu olduğu belirtilmiştir (Morrel vd., 2006). Schirp vd. (2008) %50 odun içeren OPK'larda 3 yıl süren test kapsamında deniz zararlıların etkili olmadığı fakat bazı midyelerin örnek yüzeyine yapıştığı görülmüştür.

Bu çalışmaların aksine Westin vd. (2008) %60 odun içeren OPK grupların deniz kurdu (*T. navalis*) tarafından tahrip edildiğini belirlemiştir. Benzer şekilde Segerholm (2012) doktora tezinde %70 odun içeren OPK'larda yapılan deniz testin sonunda (2 yıl) deniz kurdu (*T. navalis*) tarafından örneklerin şiddetli tahribata uğradıkları bildirmiştir.



Şekil 60. Deniz zararlıları tarafından tahrip olan sarıçam örnekleri (1-*T. navalis* kanal yapısı, 2-*L. tripunctata* delikçik yapısı, 3-Radyal kesitte açılan kanallar)



Şekil 61. OPK üzerindeki *L. tripunctata* (1), *Bivalvia* sp.(2) ve radyal kesitte *T. navalis* (3)

4.3.1.8. Levhaların Dayanıklılık Sınıflandırması

OPK ürünler daha çok dış ortamda kullanılmaktadır. Dolayısıyla dış ortam şartları (güneşlenme şiddeti/süresi, yağış miktarı, nispi nem ve sıcaklık) bu ürünlerin hizmet süresini büyük ölçüde etkilemekte olup özellikle polimer matrisin odunu tamamen sarmadığı durumlarda fiziksel ve mekaniksel dirençleri önemli ölçüde düşürmektedir (Stark ve Matuana, 2004a; Kiguchi vd., 2007). Polimerin dış ortamda bozunma derecesi iklim şartlarına, güneş ışınlarına, sıcaklığa, yağmura, neme, kirliliğe, termal döngülere ve oksijen içeriğine bağlı olmaktadır. Tüm bu parametreler bölgeden bölgeye değişmektedir.

Scheffer (1971) metoduna göre 2013 ve 2014 yılı meteorolojik veriler yardımıyla hesaplanan iklim indeksi Artvin ili için 60,6 olarak belirlenmiştir. Ocak-Mart ve Ekim-Kasım dönemlerine göre iki kat artış gösteren maksimum sıcaklık ve güneşlenme şiddeti; Nisan-Eylül döneminde sırasıyla ortalama 32 °C ve 443 Cal/cm² olmaktadır. Yine Nisan-Eylül döneminde yıllık ortalama nispi nem %62 olmakta ve deniz suyu sıcaklığı 21 °C'ye çıkmaktadır. Scheffer (1971) metoduna göre mantar çürüklüğü bakımından <35 indeks değeri düşük riskli, 35≤indeks≤65 orta derece riskli ve >65 yüksek riskli bölge olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla Artvin ili çürüklük riski orta derecede ve yarı nemli bölgede olmasına rağmen, yüksek riskli bölge sınıfına oldukça yakındır. Bu şartlar altında yürütülen dış ortam testlerinde levha gruplarının ilgili standartlar yardımıyla dayanıklılık sınıfları belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre; toprak üstü testinde “dayanıksız” levha grubu bulunmamaktadır. Uyumlaştırıcı ilavesiyle kreozot içeren gruplar “çok dayanıklı” sınıfına girmektedir. Remidasyon gruplarında da uyumlaştırıcının dayanıklılığı arttırdığı belirlenmiştir. Kontrol grubunda odun oranı arttıkça dayanıklılık sınıfı düşmektedir. Öyle ki %50 sarıçam içeren 21. (S50PP%0) grup “az dayanıklı” sınıfına girmiştir. PP gruplarında dayanıklılık sınıfları genellikle YYPE'ye göre daha düşük olmuştur. Masif sarıçam örnekleri ise “dayanıksız” sınıfına girmiştir.

Toprakla temas testinde kreozot içeren gruplar genellikle “çok dayanıklı” sınıfına girerken PP içeren kontrol grupları genellikle “dayanıksız” sınıfında yer almıştır. Uyumlaştırıcı ilavesi ile dayanıklılık sınıfları artarken PP içeren kontrol gruplarında önemli bir etkisi olmamıştır. Benzer şekilde remidasyon gruplarında da uyumlaştırıcının etkisi bulunmamaktadır. PP gruplarında dayanıklılık sınıfları genellikle YYPE'ye göre daha düşük olmuştur. PP içeren kontrol gruplarında örneklerin yüzey ve kenarlarında beyaz çürüklük ve küf mantarları belirlenmiştir. Bunun nedeni toprakla temas eden kontrol gruplarının yüksek rutubet içeriği olduğu düşünülmektedir. Masif sarıçam örnekleri ise *T. versicolor* mantarı ve *R. lucifugus* termi tarafından önemli oranda tahrip edilerek “dayanıksız” sınıfına girmiştir.

Deniz testinde ise kreozot içeren bütün gruplar “çok dayanıklı” ve “dayanıklı” sınıfına girerken “orta derece dayanıklı” sınıfına %50 odun içeren kontrol grupları ve PP içeren remidasyon grupları girmiştir. Masif sarıçam örnekleri ise deniz zararlıları tarafından tamamen tahrip edilerek “dayanıksız” sınıfına girmiştir.

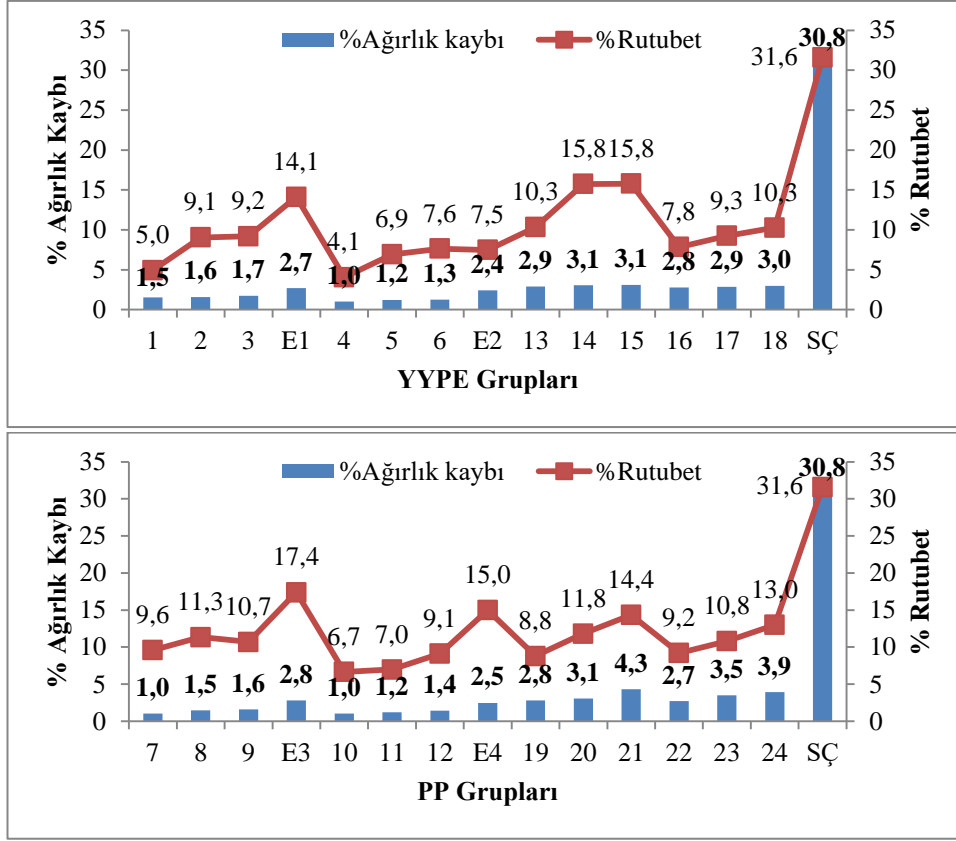
Dış ortam testleri değerlendirildiğinde benzetilmiş ve doğal dış ortam testleri arasında önemli farklılıklar olduğu hesaba katılmalıdır. Doğal dış ortam testlerinde

levhalar iklim şartları donma-erime döngüsüne ve güçlü güneş ışınlarına direk maruz kalmaktadır. Benzetilmiş dış ortam testinde ise sadece dış ortam şartlarının birkaçı oluşturulabilmektedir. Her iki yöntemde de UV ışınları ve rutubet-sıcaklık değişimlerinden söz edilebilmektedir. Doğal dış ortam testlerinde ise bunlarla beraber hava kirliliği, biyotik faktör ve diğer çevresel faktörlerde hesaba katılmalıdır. Her iki tip testi ve bölgesel farklılıklardan ileri gelen test sonuçlarını karşılaştırma adına yapılan çalışmalar mevcuttur. Örneğin; Gnatowski (2010) ılıman iklim kuşağında olan Vancouver (Kanada) ve tropik iklim kuşağında olan Hilo (Hawaii) şehirlerinde üretilen OPK levhaları 6 yıl boyunca dış ortam testine ve benzetilmiş dış ortam testine tabi tutmuştur. Güneşli Vancouver'da yürütülen 4 ay doğal dış ortam testinin, benzetilmiş dış ortam testinin 400 saatine eşit olduğu belirlenmiştir. Bunun aksine bulutlu kış mevsimindeki Hilo'da yürütülen 4 ay doğal dış ortam testinin, 200 saat benzetilmiş dış ortam testine eşit olduğunu belirlenmiştir. Bu çalışmada seçilen farklı bölgelerde Hilo bölgesinde (dünyanın en yüksek agresif hava şartlarının olduğu yer olarak ifade edilmekte) Scheffer indeksi 350 olmasına rağmen Scheffer indeksi 50 olan Vancouver bölgesinde OPK'ların dış ortam testinde daha yüksek rutubet içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni her ne kadar Hilo bölgesi daha sıcak ve nemli olsa da tropikal güneş etkinliğinden dolayı buharlaşmanın da yüksek olması ve Vancouver'ın ise kış ayları dahil olmak üzere levhalarda rutubetin hapsolmesi olarak açıklanmıştır. Dolayısıyla Vancouver'a iklim indeksi olarak yakın olan Artvin'de yürütülen dış ortam testlerinde örnek rutubetinin yüksek olması ve levha grupların büyük ölçüde biyotik ve abiyotik faktörlere maruz kalması benzer durum ile açıklanabilmektedir.

4.3.2. Çürüklük Testleri

- *Trametes versicolor*

T. versicolor mantarına ait levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri Şekil 62'de gösterilmiştir.

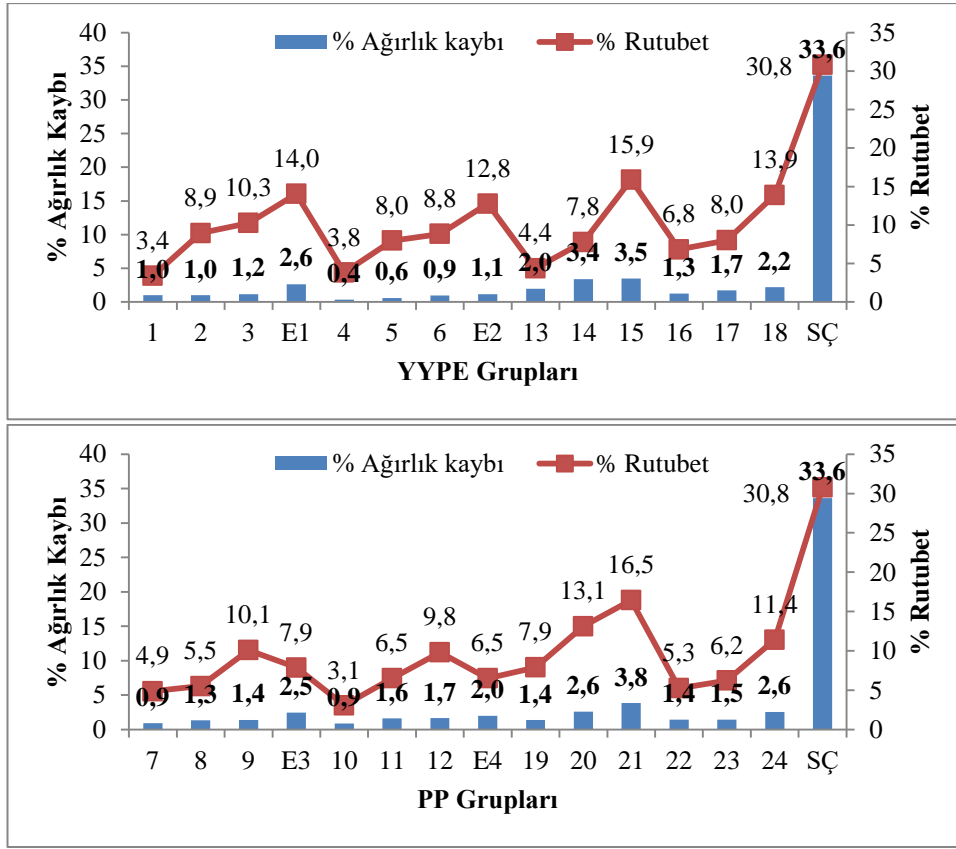


Şekil 62. *T. versicolor* mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri

Buna göre; 6 ay boyunca *T. versicolor* mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı değerleri sırasıyla YYPE gruplarında en düşük 4. (K30PE%3) grupta (1,00), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (3,12) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (1,03), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (4,31) gerçekleşmiştir. Levha ağırlık kayıpları örnek rutubeti ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Kreozot içeren gruplarda ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Odun oranı arttığında ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği genellikle artmakta olup uyumlaştırıcı ilavesiyle de düşmektedir. Remidasyon gruplarında ağırlık kayıpları kreozot gruplarına göre yüksek, kontrol gruplarına göre düşük bulunmuştur. Masif sarıçamda ağırlık kaybı ise %30,79 olmuştur. EN 350 standardı yardımıyla belirlenen levhaların dayanıklılık sınıfları *T. versicolor* için sarıçama göre “çok dayanıklı” sınıfına girmiştir. Kreozot ve remidasyon grupları kontrol gruplarına göre sırasıyla “orta dayanıklı” ve “az dayanıklı” sınıflarına girmiştir.

• *Postia placenta*

P. placenta mantarına ait levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri Şekil 63'te gösterilmiştir.



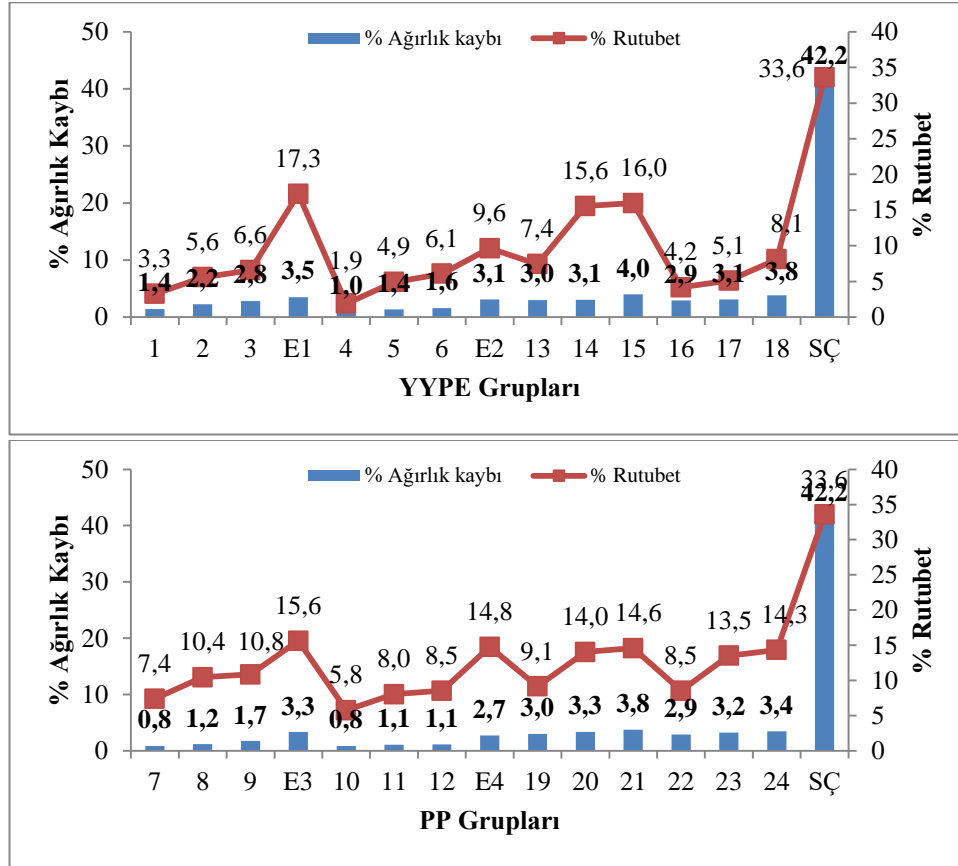
Şekil 63. *P. placenta* mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri

Buna göre; 6 ay boyunca *P. placenta* mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı sırasıyla YYPE gruplarında en düşük 4. (K30PE%3) grupta (0,35), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (3,48) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (0,88), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (3,84) gerçekleşmiştir. Levha ağırlık kayıpları örnek rutubeti ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Kreozot içeren gruplarda ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Odun oranı arttığında ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği genellikle artmakta olup uyumlaştırıcı ilavesiyle de düşmektedir. Remidasyon gruplarında ağırlık kayıpları kreozot gruplarına göre yüksek, kontrol gruplarına göre düşük bulunmuştur. Masif sarıçamda ağırlık kaybı ise %33,63 olmuştur. EN 350 standardı yardımıyla belirlenen levhaların dayanıklılık sınıfları *P. placenta* için masif sarıçama göre “çok dayanıklı” sınıfına girmiştir. Kontrol gruplarına göre; YYPE içeren kreozot grupları

“dayanıklı” ve “orta dayanıklı” sınıflarında, PP içeren kreozot grupları ise “dayaniksız”, “az dayanıklı” ve “orta dayanıklı” sınıflarına girmiştir. Remidasyon gruplarında ise “orta dayanıklı” ve “az dayanıklı” sınıflarına girmiştir.

• *Coniophora puteana*

C. puteana mantarına ait levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri Şekil 64’te gösterilmiştir.



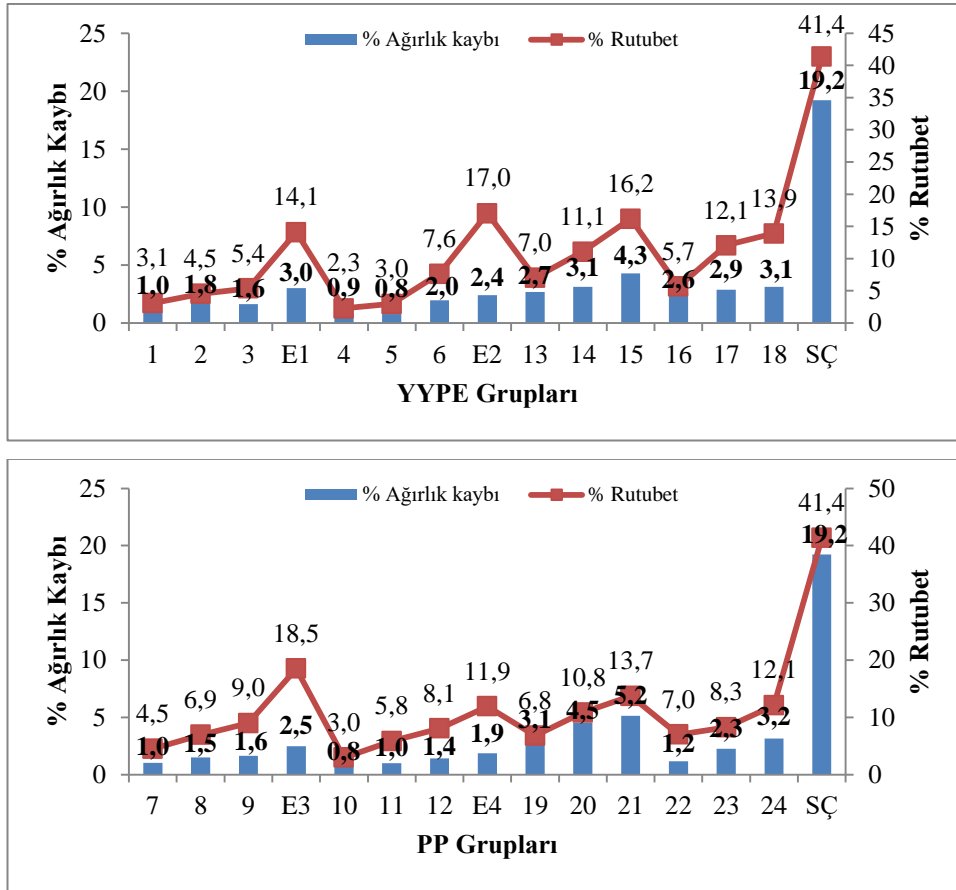
Şekil 64. *C. puteana* mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri

Buna göre; 6 ay boyunca *C. puteana* mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı sırasıyla YYPE gruplarında en düşük 4. (K30PE%3) grupta (0,96), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (3,99) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (0,84), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (3,76) gerçekleşmiştir. Levha ağırlık kayıpları örnek rutubeti ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Kreozot içeren gruplarda ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Odun oranı arttığında ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği genellikle

artmakta olup uyumlaştırıcı ilavesiyle de düşmektedir. Remidasyon gruplarında ağırlık kayıpları kreozot gruplarına göre yüksek, kontrol gruplarına göre düşük bulunmuştur. Masif sarıçamda ağırlık kaybı ise % 42,24 olmuştur. EN 350 standardı yardımıyla belirlenen levhaların dayanıklılık sınıfları *C. puteana* için masif sarıçama göre “çok dayanıklı” sınıfına girmiştir. Kontrol gruplarına göre; kreozot ve remidasyon grupları “dayanıklı”, “orta dayanıklı” ve “az dayanıklı” sınıflarında yer almıştır.

• *Chaetomium globosum*

C. globosum mantarına ait levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri Şekil 65’te gösterilmiştir.



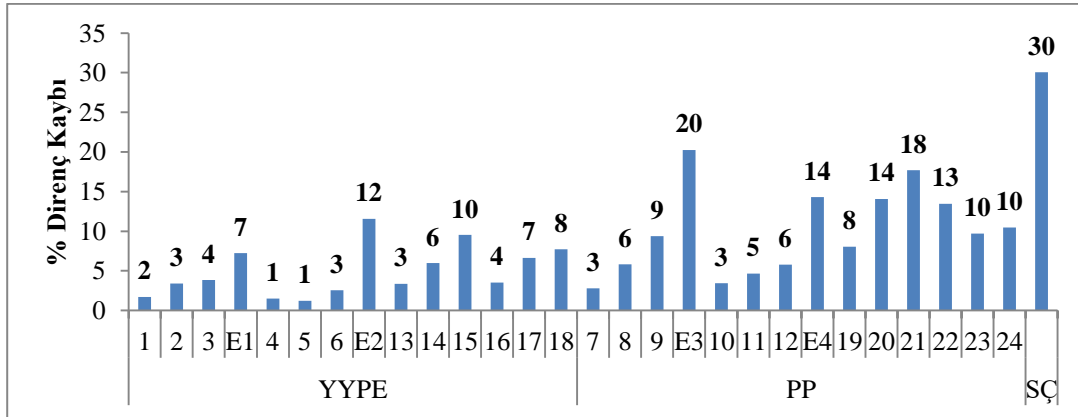
Şekil 65. *C. globosum* mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı ve % rutubet değerleri

Buna göre; 8 ay boyunca *C. globosum* mantarına maruz bırakılan levhalardaki % ağırlık kaybı sırasıyla YYPE gruplarında en düşük 5. (K40PE%3) grupta (0,77), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (4,28) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük 10. (K30PP%3) grupta (0,77), en yüksek 21. (S50PP%0) grupta (5,15) gerçekleşmiştir. Levha ağırlık

kayıpları örnek rutubeti ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Kreozot içeren gruplarda ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği değeri kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Odun oranı arttığında ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği genellikle artmakta olup uyumlaştırıcı ilavesiyle de düşmektedir. Remidasyon gruplarında ağırlık kayıpları kreozot gruplarına göre yüksek, kontrol gruplarına göre düşük bulunmuştur. Masif sarıçamda ağırlık kaybı ise %19,2 olmuştur. EN 350 standardı yardımıyla belirlenen kreozot içeren levhaların dayanıklılık sınıfları *C. globosum* için masif sarıçama göre “çok dayanıklı” sınıflarına girmiştir. Kontrol grupları ise “çok dayanıklı” ve “dayanıklı” sınıflarında yer almıştır. Kreozot içeren gruplar kontrol gruplarına göre “orta dayanıklı”, “dayanıklı” ve “az dayanıklı” sınıflarında yer almıştır.

• Direnç Kaybı

Yumuşak çürüklük sonrası levhalardaki % darbe direnç kaybı değerleri Şekil 66’da gösterilmiştir.



Şekil 66. Yumuşak çürüklük sonrası levhalardaki direnç kaybı

Buna göre; yumuşak çürüklük sonrası levhalardaki % direnç kaybı değerleri sırasıyla YYPE gruplarında en düşük 5. (K40PE%3) grupta (1,22), en yüksek E2 (E50PE%3) grubunda (11,55) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise en düşük 7. (K30PP%0) grupta (2,80), en yüksek E3 (E50PP%0) grubunda (20,26) gerçekleşmiştir. Kreozot içeren gruplarda direnç kayıpları kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Polimer tipi olarak PP gruplarında direnç kayıpları YYPE’ye göre daha yüksek olmuştur. Odun oranı arttığında direnç kayıpları da genellikle artmakta olup uyumlaştırıcı ilavesiyle de düşmektedir. Remidasyon gruplarında direnç kayıpları yüksek olduğu belirlenmiştir. Masif sarıçamda direnç kaybı ise %30,04 olmuştur.

- Genel Değerlendirme

Başlangıçta OPK üreticileri, polimerlerin odun partiküllerini tamamen sardığını düşünerek bu ürünlerin çürüklüğe uğramayacağını savunmuşlardır. Bu düşüncüyü destekleyen bir diğer sebep ise polimerlerin abiyotik oksidasyonu dışında bozunmaya dirençli karbon atomlarıyla kurulmuş iskeletin çürüklüğe karşı çok dirençli olmasıdır (Schirp vd, 2008). Fakat ilk olarak Morris ve Cooper (1997) yaptıkları çalışmada OPK'da mantar çürüklüğünü ve mavi renklenmeyi, kullanımda olan dekler (50:50) üzerinde belirlemişlerdir.

OPK'nın fiziksel, mekaniksel, termal özellikleri, biyotik faktörlere karşı dayanıklılığı ve işlenebilirliği, içerdiği materyal tiplerine ve bütün bunların yanında üretim sistemlerine bağlı olmaktadır. OPK'da odun bileşenleri; sağlamlık, termal kararlılık, UV direnci ve işlenebilirlik kazandırmaktayken, termoplastik bileşenler ise; su itici özellik, çürüklüğe karşı direnç, termal şekillenebilirlik gibi özellikler kazandırmaktadır (Wolcott, 2007; Scirp vd., 2008). OPK'ların biyolojik bozunması çürüklük mantarları, küf mantarları, algler, termitler ve deniz zararlıları tarafından olmaktadır. Bunun dışında rutubet, UV ışınları, sıcaklık gibi abiyotik faktörlerde biyotik etkinliği arttırmaktadır (Wang ve Morrell, 2004; Gnatowski, 2005).

Emprenyeli ahşap ürünlere alternatif olmasıyla her geçen gün cazibesi artan OPK'lar, gerçek alan testleri ve laboratuvar testleri ile biyotik faktörlere karşı dirençleri son zamanlarda ilgi duyulan konular arasındadır. OPK'da yoğunluk, odun partikül büyüklüğü ve oranı, rutubet içeriği, katkı maddeleri gibi faktörler biyolojik dayanıklılığı etkilemektedir (Klyosov, 2007; McDonald vd., 2009). Biyolojik dayanımı üzerine yürütülen test standartlarında literatürde çeşitlilik arz etmektedir (Clemons ve Ibach, 2004; Kim vd., 2008). Bununla birlikte son zamanlarda çürüklük testleri öncesi levha grupları oda sıcaklığında veya belirli bir sıcaklıkta/sürede suya batırılıp rutubetin yükselmesi oldukça sık denenmekte veya önerilmektedir (Chow vd., 2000; Sellers vd., 2000; AWWA, 2012; Segerholm, 2007; Segerholm, 2012; Kartal vd., 2013). Bu tez çalışmasında da benzer şekilde biyotik faktörlerin etkinliği artırılması amacıyla levha grupları 2 hafta süreyle suya batırılmıştır.

OPK'nın çürüklük testleri üzerine yapılan çalışmalarda ağırlık kayıpları genelde %10'u geçmemektedir. Odun oranı %50 ve üzerinde olan OPK'larda mantar etkinliği artmaktadır. Verhey vd. (2001) ve Pendleton vd. (2002) yaptıkları çalışmada %70 odun içeren levhaların 12 hafta süren çürüklük testi sonunda *P. placenta* için %8,5 ve *T.*

versicolor için %6 olurken, odun oranı %49'a düşürüldüğünde ağırlık kayıpları her iki mantar için %1'e düşmektedir. Dolayısıyla doğru üretim şartlarında çürüklük kontrol altına alınabilmektedir (Schirp vd., 2008).

Levha gruplarına uyumlaştırıcı ilavesiyle oluşan esterifikasyon reaksiyonu sayesinde rutubet oranları ve buna bağlı mantar etkinliği düşmektedir (Şekil 62-65). Yapılan çalışmalarda rutubet içeriği ile ağırlık kayıpları arasında ciddi korelasyonun olduğu belirlenmiştir (Wei vd., 2013). OPK'da düşük rutubet, çürüklüğe karşı daha iyi direnç ve yüksek boyutsal kararlılık sağlamaktadır (Clemons, 2002; Yadama, 2006; Ibach vd., 2012; Hyvarinen, 2014). OPK rutubet girişi olduğu andan itibaren yavaş bir şekilde mikro çatlaklardan oksijen girişi olmakta ve biyo-bozunmaya açık hale gelmektedir (Wang ve Morrell, 2004; Gnatowski, 2005; Schirp vd., 2008). Bir çok çalışmada çürüklüğün önlenmesi için OPK rutubetinin %20'nin altında olması veya mantar etkinliğinin olması için rutubetin %25 civarında olması gerekliliği vurgulanmıştır (Clemons ve Ibach, 2003; Gnatowski, 2005; Schirp ve Wolcott, 2005; Stark ve Matuana, 2006; Kim vd., 2008; Schirp vd., 2008; Defoirdt vd., 2010; Gnatowski, 2010; Fabiyi vd., 2011; Segerholm vd., 2012; Ibach vd., 2012). Burada önemli olana husus 50:50 karışımdaki levha gruplarında odun rutubeti %20 olduğu yani OPK rutubetinin %10 olması durumunda (polimerler rutubet içermez) çürüklük başlamaktadır (Carll ve Highley, 1999; Stark ve Gardner, 2008). Dolayısıyla %10'dan yüksek rutubet içeren levhalarda ağırlık kayıpları artmaktadır (Mankowski ve Morrell, 2000; Verhey vd., 2001; Ibach vd., 2014).

Bununla birlikte odun partikül boyutlarının artması sonucu ağırlık kayıplarının artışının sebebini polimerin odunu yeterince sarmamasından kaynaklandığını belirlemişlerdir (Pendleton vd., 2002; Verhey ve Laks, 2002). Kartal vd. (2013) ise yüksek bambu oranı ve düşük partikül büyüklüğünde yüksek ağırlık kaybı olduğunu belirlemişlerdir.

Levha gruplarında çürüklüğe karşı direnci arttırmak için ilave katkı maddeleri eklenmekte, dayanıklı türler kullanılmakta ve odun modifikasyonu yapılmaktadır. Birçok çalışmada biyosit katılarak çürüklüğe karşı direnç arttırılmaya çalışılmaktadır (Verhey vd., 2001; Simonsen vd., 2004; Westin vd., 2006; Manning and Ascherl, 2007; Schirp vd., 2008; Westin vd., 2008). Öte yandan çinko borat ilavesi ile biyotik zararlılara karşı etkinliğin arttığı bilinmektedir (Pendleton vd., 2002; Tascioglu vd., 2013). Segerholm (2012) doktora tezinde odun bileşenlerinin kimyasal modifikasyonu sonucu OPK'nın boyutsal kararlılığı ve çürüklüğe karşı direnç arttırdığını bildirmiştir. Son zamanlarda ise

emprenye maddesi içeren odunların OPK üretiminde değerlendirilmesi revaçtadır. Zaten içeriğinde etkin biyosit bileşen içeren emprenyeli odunlar OPK ürünlerinde ağırlık kaybını büyük oranda düşürmektedir. Örneğin Kamdem vd. (2004) yaptıkları çürüklük testinde kontrol gruplarına göre CCA içeren OPK örneklerinde ağırlık kayıpları çok düşük olmuştur. Bütün OPK gruplarında ise ağırlık kayıpları %12'yi geçmemiştir. Tascioglu vd. (2014) CCA içeren OPK örneklerinde biyolojik direncin kontrole göre yüksek olduğu ve uyumlaştırıcı ajan kullanımı ile ağırlık kayıplarının yüksek oranda düştüğü belirlenmiştir. Aynı çalışmada OPK örneklerinde ağırlık kayıpları %5'i geçmemiştir. Kreozot en iyi fungusit ve insektisit maddelerden birisidir. Öyle ki hizmet süresi 2-3 yıl olan kayının kreozot ile emprenyesi sonrası bu süre 30 yıldan daha uzun olabilmektedir (Becker vd., 2001). Kreozot ile emprenye edilen ahşap malzemede esmer çürüklük mantarlarının etkinliği beyaz çürüklük mantarlarına göre daha yüksek olmaktadır. Yapılan bir çalışmada hizmet süresi sona eren (25 yıl) kreozot içeren tel direğin çürüklük testi sonrası taze halde emprenye edilmiş örneklerle göre ağırlık kayıpları daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni hizmet süresinde kreozotun etkin maddelerinin uzaklaşmasına bağlanmıştır (Chow ve Bajwa, 1998).

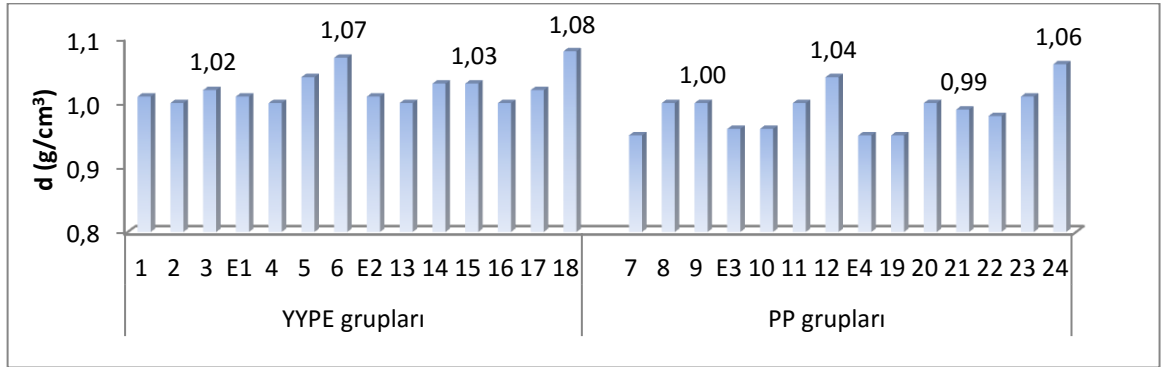
Westin vd. (2008) ve Naumann vd. (2012a) beyaz ve esmer çürüklük mantarı kullanarak yaptıkları çalışmalarda tez kapsamında yürütülen testlere benzer sonuçlar elde etmişlerdir. 40 hafta süren yumuşak çürüklük (ENV 807) testi sonunda %70 odun içeren gruplarda ağırlık kayıpları %10 olurken beyaz ve esmer çürüklükte ise yaklaşık %5 olmuştur. Isıl işlem görmüş odun içeren OPK da %2,5-3 arasında ağırlık kaybı olurken asetillendirilmiş odun içeren OPK'larda ağırlık kaybı yaklaşık %0,5 oranında olmuştur (Segerholm, 2007). Tez kapsamında yürütülen yumuşak çürüklük testinde kontrol gruplarında %5,15 ağırlık kaybı olmuştur.

Çürüklük testleri için kullanılan masif sarıçam örneklerinde; *T. versicolor* için %30,8, *P. placenta* için %33,6, *C. puteana* için %42,2 oranında ağırlık kaybı olmuştur. Dolayısıyla *C. puteana* esmer çürüklük mantarının diğer mantar türlerine göre etkinliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Böylelikle *C. puteana*'ya maruz kalan OPK gruplarında daha yüksek ağırlık kayıpları olmuştur. İstatistiksel olarak *T. versicolor* ve *P. placenta* için ağırlık kayıpları gruplara göre Kreozot<Remidasyon<Kontrol şeklinde olmuştur. *C. puteana* mantarında ise remidasyon grupları ile kontrol grupları arasında bir fark bulunmamıştır.

4.3.3. Fiziksel Özellikler

4.3.3.1. Levha Yoğunlukları

OPK ürünlerin önemli bir avantajı, sahip oldukları düşük yoğunluk değerleridir (Klyosov, 2007). Çalışma kapsamında üretilen levhaların yoğunluk değerleri Şekil 67’de gösterilmiştir. Buna göre YYPE gruplarında en düşük değer $1,00 \text{ g/cm}^3$, en yüksek $1,07 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiş olup PP gruplarında ise bu değerler sırasıyla $0,95 \text{ g/cm}^3$ ve $1,06 \text{ g/cm}^3$ ’tür. Kreozot içeren gruplar ile kontrol grupları arasında belirgin bir fark görülmemiş olup remidasyon gruplarında ise kontrol gruplarına göre yoğunluk oranlarında bir azalma olduğu söylenebilmektedir. Bununla birlikte saf HDPE ve PP’ye göre remidasyon gruplarında yoğunluklar artmıştır. Oysa CCA’nın kimyasal ekstraksiyon sonrası üretilen OPK çalışmasında levha yoğunlukları saf plastiklere göre düşük olduğu bildirilmiştir (Zimmermann ve Zattera, 2013). Aynı polimer tipine sahip gruplarda çok yüksek bir farkın olmamasının nedeni ekstrüder sisteminden ileri gelen üretimde odun unlarının aynı boyutta ve homojen olarak karışmasıdır. Kartal vd. (2013) yaptığı çalışmada partikül boyutu arttırıldığında yoğunluğunda arttığı belirtilmiştir.



Şekil 67. Levha yoğunluk değerleri

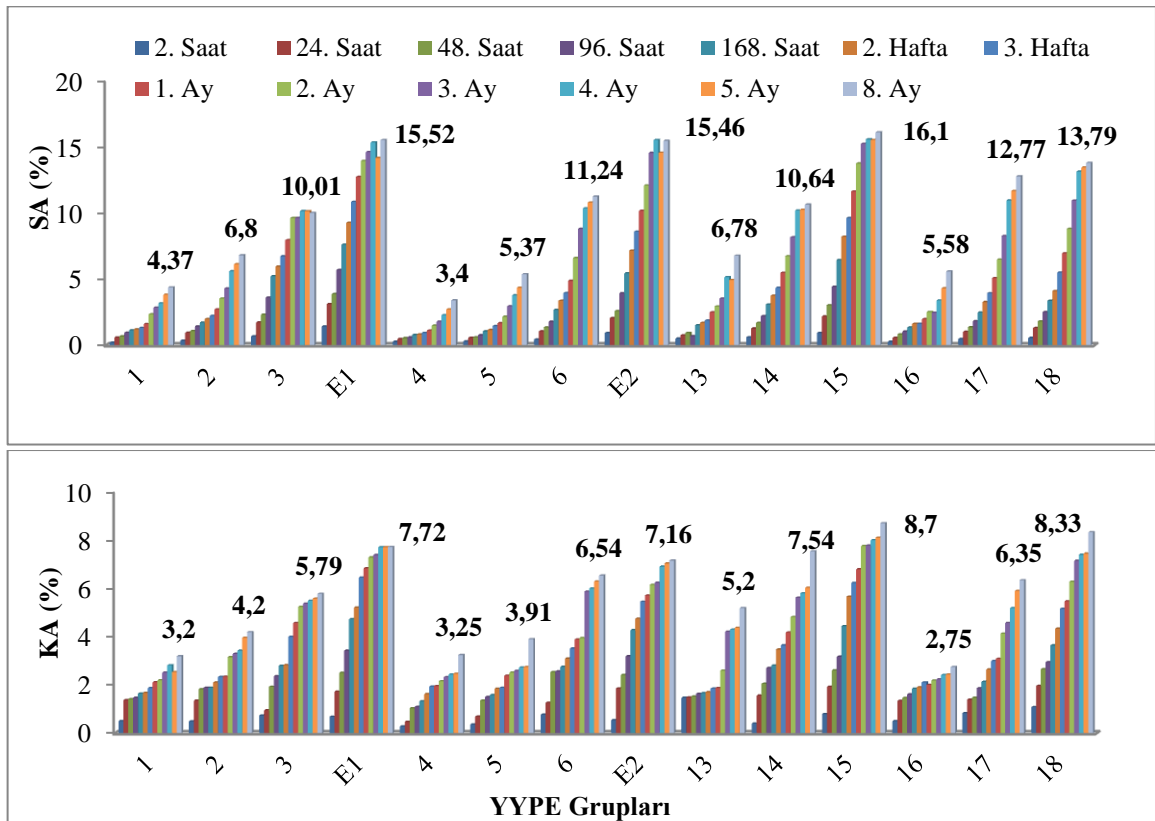
Genel olarak bakıldığında YYPE gruplarının yoğunluk değerleri PP gruplarına göre daha yüksek çıkması doğal bir durumdur. Bilindiği gibi YYPE’nin yoğunluğu $0,94-0,96 \text{ g/cm}^3$ ve PP’nin ise $0,85-0,95 \text{ g/cm}^3$ arasındadır (Klyosov, 2007; Beg, 2007). Plastiklerin geri dönüştürülmesiyle yoğunlukların da belirgin şekilde artış görüldüğü literatürde vurgulanmıştır. Ayrıca, odun unu miktarı artması ve uyumlaştırıcı ajan kullanımı ile kompozit yoğunluklarının genellikle arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni, dolgu maddesi

(iğne yapraklılar için ortalama $1,4 \text{ g/cm}^3$) yoğunluğunun YYPE ve PP'den daha yüksek olmasıdır (Michael ve Markus, 2002; Beg, 2007). Bir diğer nedeni ise uyumlaştırıcı ajanların poroziteyi azaltmasıdır (Raj ve Kokta, 1991; Wang vd., 2003; Lu vd., 2005).

4.3.3.2. Su Alma ve Kalınlık Artışı Oranı

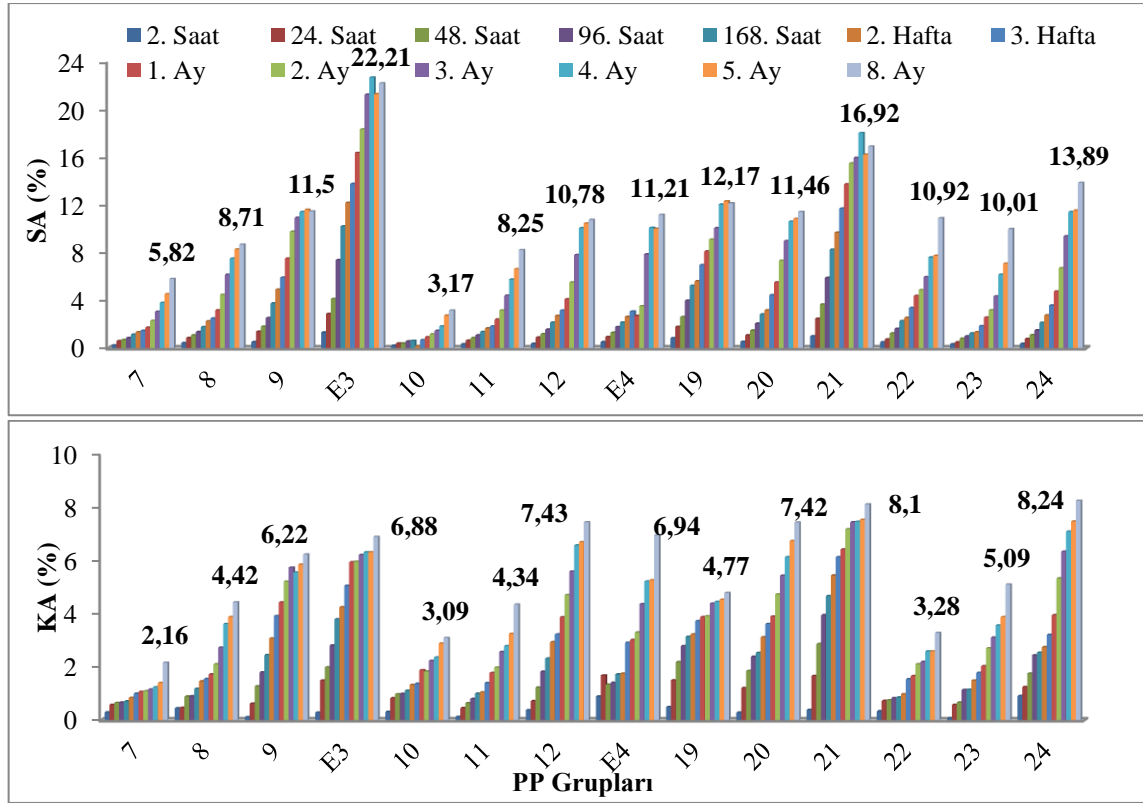
YYPE ve PP gruplarına ait su alma ve kalınlık artışı oranları Şekil 68 ve Şekil 69'da özetlenmeye çalışılmıştır. YYPE gruplarında, su alma oranı en düşük oran 4. (K30PE%3) grupta (%3,4) ve en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (% 6,1) belirlenmiştir. PP gruplarında ise; en düşük oran 10. (K30PP%3) grupta (%3,17), en yüksek oran E3 (E50PP%0) remidasyon grubunda (%22,21) gerçekleşmiştir.

YYPE gruplarında, kalınlık artışı en düşük oran 16. (S30PE%3) grupta (%2,75), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (%8,7) belirlenmiştir. PP gruplarında ise; en düşük oran 7. (K30PP%0) grupta (%2,16), en yüksek oran 24. (S50PP%3) grupta (%8,24) gerçekleşmiştir.



Şekil 68. YYPE gruplarına ait su alma ve kalınlık artışı oranları

Odun oranının artmasıyla genellikle su alma ve kalınlık artışı oranları artmaktadır. Uyumlaştırıcı ajan ilavesiyle de bu oranlarda önemli bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kreozotun sahip olduğu su itici özellikteki bileşikler su alma ve kalınlık artışı oranlarını önemli oranda düşürmüştür ve kontrol gruplarına göre üstün özellik göstermiştir. Bazı vd. (2011) kreozot içeren atıl haldeki traversleri yonga levha üretiminde değerlendirmişlerdir. %25 ve %50 kreozot odunu içeren levhalarda su alma ve kalınlık artışı değerlerinde önemli ölçüde düşüş belirlenmiştir. Bununla birlikte yağlı empenye maddelerinin odun hücre boşluklarını doldurarak su alma oranlarını azalttığı yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır (Hyvönen vd., 2006; Koksi, 2008). Kreozotun remidasyonu sonrası ise söz konusu bileşiklerin uzaklaştırılması sonucu bu etkinliğin kaybolması su alma ve kalınlık artışı oranlarının bir hayli artmasına neden olmuştur.



Şekil 69. PP gruplarına ait su alma ve kalınlık artışı oranları

Kamdem vd. (2004) yaptığı çalışmada kreozota benzer olarak CCA'nında su itici özellik göstererek kalınlık artışını azalttığı belirlemiştir. Benzer durum Tascioglu vd. (2014) tarafından da CCA içeren grupların kontrol gruplarına göre boyutsal kararlılığın daha yüksek olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte YYPE gruplarında PP gruplarına

göre su alma oranları genellikle daha düşük çıkmıştır. Bu durumu Klyosov (2007) her iki malzeme arasındaki yoğunluk farkına bağlamakta olup yüksek yoğunluklu malzemelerin su alma ve kalınlık artış oranının daha düşük olduğunu belirlemiştir.

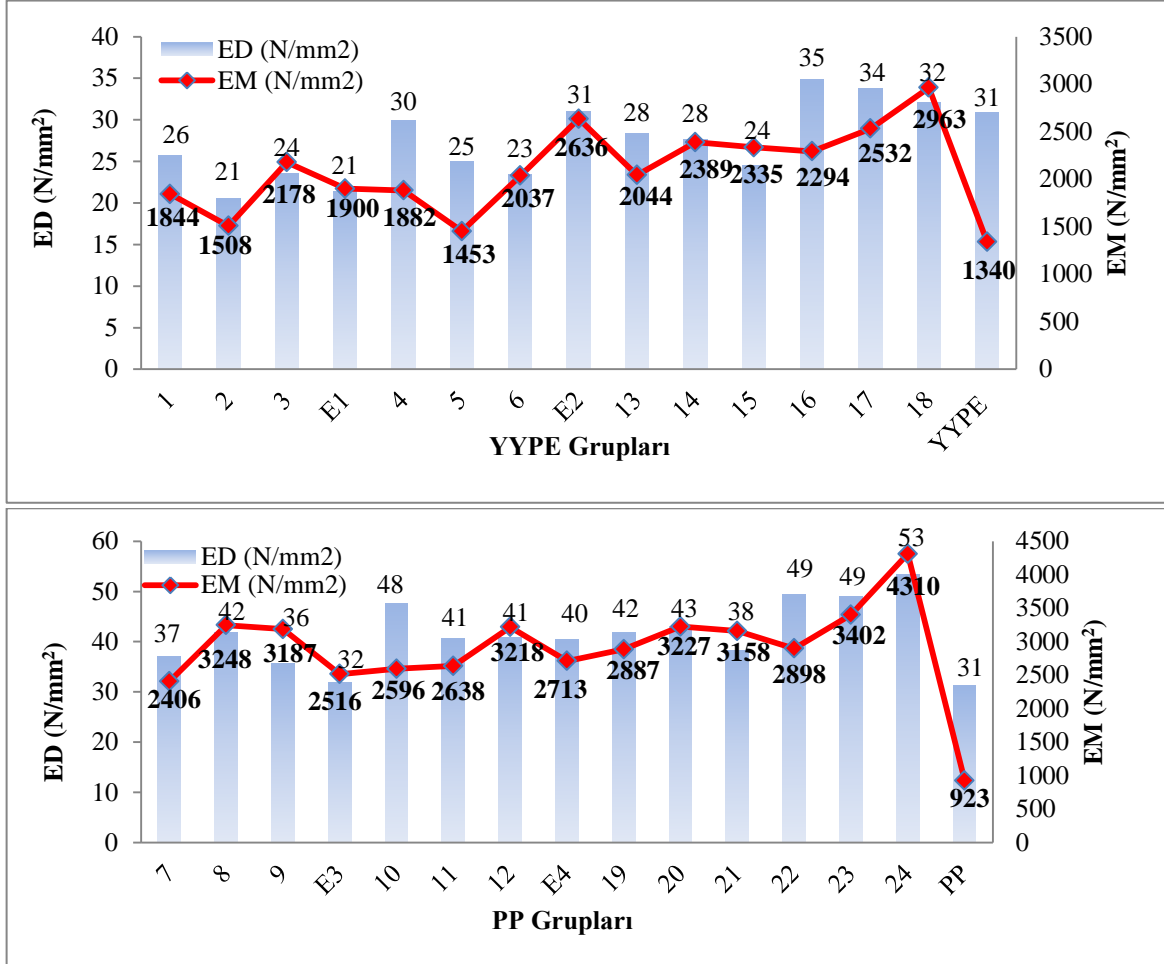
OPK yüzeyinde genellikle düzgün ve ince bir polimer tabakası oluşmaktadır. Polimerce zengin bu yüzey, malzemenin rutubet almasını önlemektedir. Fakat OPK, UV ışınlarına ve/veya suya devamlı surette temas ettiğinde söz konusu yüzey bozunmakta olup boyutsal kararlılığı düşürmektedir (Clemons, 2002; Sundar, 2005; Rowell, 2006; Segerholm, 2012; Kartal vd., 2013). Bilindiği gibi su alma, OPK yüzeyindeki mikro çatlaklar ve açıklıklar yoluyla olmaktadır. Odun hücre duvarındaki selüloz ve hemiselüloz bileşenleri serbest hidroksil (-OH) ve karboksil (-COOH) gruplar içerdiğinden hidrofilik (su emici), termoplastiklerin ise hidrofobik (su itici) özellikte olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla OPK ürünlerde, su alma ve boyutsal değişimi doğrudan odun bileşenlerinden kaynaklanmaktadır (Colom vd., 2003; Adhikary vd., 2008). Beg (2007) ve Fabiyi vd. (2011) tarafından odun partikülleri ile polimer arasındaki yüksek bağlanma kuvveti ölçüsünde, kompozit malzemenin su iticiliği ve boyutsal kararlılığı iyileştiği vurgulanmıştır. Dolayısıyla OPK üretimine ilave edilen MAPE ve MAPP gibi uyumlaştırıcı ajan ve katkı maddeleri bu etkilere karşı önemli avantaj sağlamaktadır (Adhikary, 2008). Bunun dışında klasik enjeksiyon sistemi ile kıyaslandığında ekstrüder sisteminde su alma ve kalınlık artışı daha yüksek olduğu Caulfield vd. (2005) tarafından belirlenmiştir. Clemons ve Ibach (2004) ekstrüzyon, pres kalıplama ve enjeksiyon sistemleri kullanarak ürettikleri levha gruplarını iki hafta süre ile 70 °C'deki suda beklettiklerinde; en çok su alma ekstrüzyon daha sonra pres kalıplama olurken en az su alma enjeksiyon sistemi ile üretilen gruplarda olmuştur.

4.3.4. Mekaniksel Özellikler

4.3.4.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü

YYPE ve PP gruplarına ait eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 70'te özetlenmiştir. Buna göre; YYPE gruplarında eğilme direnci değerleri en düşük 2. (K40PE%0) grupta (20,58 N/mm²), en yüksek 16. (S30PE%3) grupta (34,81 N/mm²), eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise en düşük 5. (K40PE%3) grupta (1453 N/mm²), en yüksek 18. (S50PE%3) grupta (2963 N/mm²) gerçekleşmiştir. PP gruplarında eğilme

direnci değerleri en düşük E3 (E50PP%0) grubunda ($31,83 \text{ N/mm}^2$), en yüksek 24. (S50PP%3) grupta ($53,45 \text{ N/mm}^2$), eğilmeye elastikiyet modülü değerleri ise en düşük 7. (K30PP%0) grupta (2406 N/mm^2), en yüksek 24. (S50PP%3) grupta (4310 N/mm^2) gerçekleşmiştir.



Şekil 70. YYPE ve PP gruplarına ait eğilme özellikleri

Genel olarak bakıldığında; kreozot gruplarında eğilme direnci ve eğilmeye elastikiyet modülü değerleri kontrol gruplarına göre daha düşük çıkmıştır. Dolayısıyla yağlı bir empenye maddesi olan kreozotun homojen karışmasına rağmen eğilme dirençlerini düşürdüğü söylenebilmektedir. Kamdem vd. (2004) CCA içeren odun ile ürettikleri OPK'da CCA'nın içerdiği ağır metallerin hücre içinde hapsolmesiyle direnç değerlerinin artırdığı belirlenmiştir. Aynı çalışma da atık YYPE'nin saf YYPE'ye göre daha düşük dirençlere sahip olduğunu vurgulamış olup bunun nedenini atık plastik üretiminde karışımdaki problemlere dikkat çekilmiştir. Fakat, Najafi (2013) atık polimerlerin OPK

üretiminde değerlendirilmesinin önemli bir avantaj olacağını vurgulamıştır. Bununla birlikte kreozot içeren kompozit malzemenin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri Kamdem vd. (2004) yaptığı çalışmaya göre bir hayli yüksek çıkmıştır. Bunun nedenini ekstrüder sisteminin pres kalıplama sistemlerine göre mekanik özellikler açısından daha iyi performans sağlamasıdır. Yine Tascioglu vd. (2014) CCA ve saf YYPE kullanarak yaptıkları çalışmada CCA içeren grupların direnç özelliklerini arttırdığı belirlenmesine rağmen Zimmermann ve Zattera (2013) yaptığı çalışmada eğilme dirençlerinde azalmanın olduğu vurgulanmıştır.

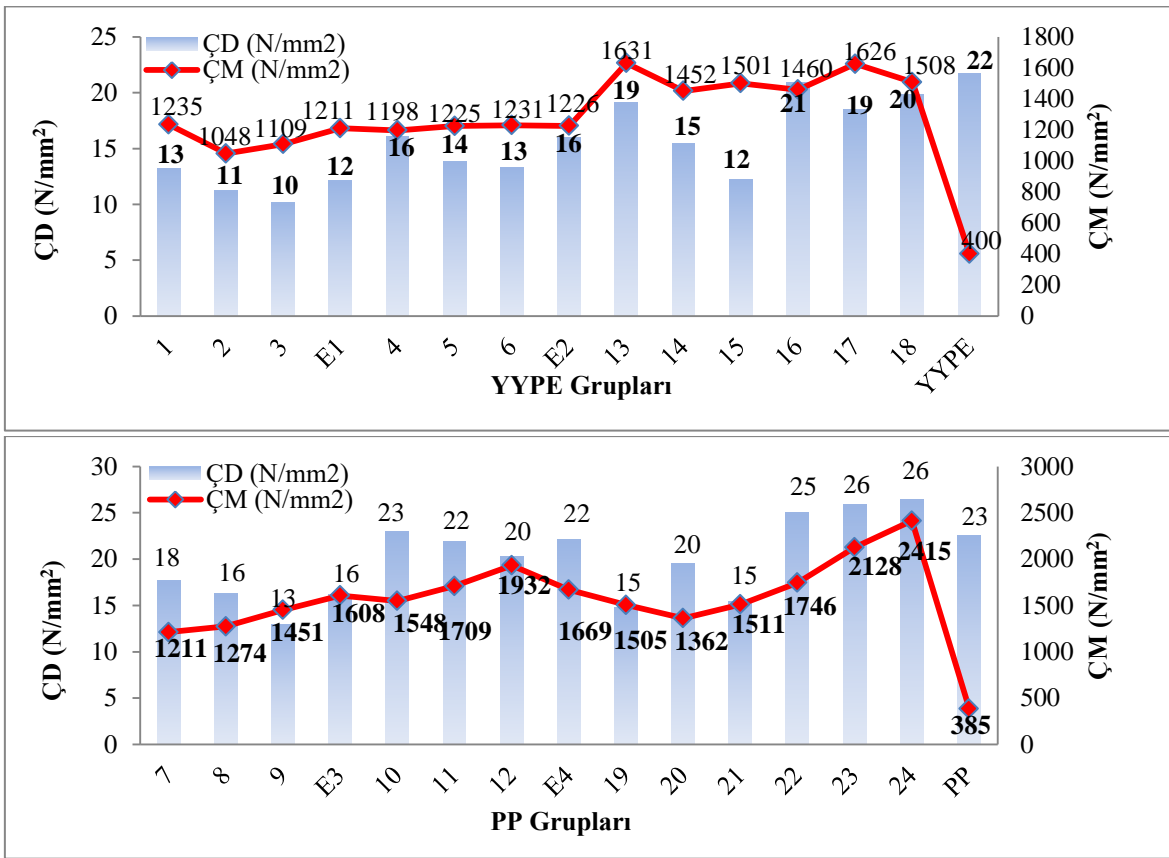
Polimer tipleri kıyaslandığında ise PP gruplarının YYPE'ye göre daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan bir çok çalışmada da benzer durum söz konusu olup bunun nedeni PP'nin daha katı bir yüzey oluşturmasıdır (Najafi vd., 2006; Kuo vd., 2009). Bununla birlikte odun oranı artmasıyla eğilme dirençlerinde düşüş, elastikiyet modülünde ise artış meydana gelmiştir. %3 oranında kullanılan uyumlaştırıcı ajan ile eğilme dirençlerinde önemli düzeyde artış meydana gelmiştir. Remidasyon gruplarına uyumlaştırıcı ilavesi, eğilme dirençlerinde yaklaşık %33'e varan, elastikiyet modülü değerlerinde ise %39'lara varan bir artış meydana getirmiştir. Uyumlaştırıcı ilavesi ile E4 (E50PP%3) remidasyon grubunda eğilme direnci saf PP'ye göre % 29'luk bir artış göstermiştir (Adhikary, 2008; Adhikary vd., 2009). Odun hücre duvarındaki selüloz ve hemiselüloz bileşenlerinin hidrofilik (su emici), termoplastiklerin ise hidrofobik (su itici) özellikte olduğu bilinmektedir. Bu iki fazda olan malzemelerin bağ yapabilmesi için bir ara yüze ihtiyaç duyulmaktadır. Hidroksil gruplara bağlanmak suretiyle yüzeyler arasındaki uyumsuzluğu gidermesi, bağlanmayı artırması sayesinde fiziksel ve mekaniksel özelliklerde iyileşme olduğu bir çok çalışmada kanıtlanmıştır (Lu vd., 2000; Rowell, 2006; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Sidharta, 2011; Tascioglu vd., 2014).

4.3.4.2. Çekme Direnci ve Elastikiyet Modülü

YYPE ve PP gruplarına ait çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 71'de özetlenmiştir. Buna göre; YYPE gruplarında çekme direnci değerleri en düşük 3. (K50PE%0) grupta ($10,13 \text{ N/mm}^2$), en yüksek 16. (S30PE%3) grupta ($20,93 \text{ N/mm}^2$), çekmede elastikiyet modülü değerleri ise en düşük 2. (K40PE%0) grupta (1048 N/mm^2), en yüksek 13. (S30PE%0) grupta (1631 N/mm^2) gerçekleşmiştir. PP gruplarında çekme direnci değerleri en düşük 9. (K50PP%0) grupta ($12,96 \text{ N/mm}^2$), en yüksek 24. (S50PP%3)

grupta ($26,45 \text{ N/mm}^2$), çekmede elastikiyet modülü değerleri ise en düşük 7. (K30PP%0) grupta (1211 N/mm^2), en yüksek 24. (S50PP%3) grupta (2415 N/mm^2) gerçekleşmiştir.

Genel olarak bakıldığında; kreozot gruplarında çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü değerleri kontrol gruplarına göre daha düşük çıkmıştır. Polimer tipleri kıyaslandığında ise PP gruplarının YYPE'ye göre daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir (Najafi vd., 2006; Kuo vd., 2009). Mekanik özellikler OPK'larda $\text{PP} > \text{PS} > \text{YYPE} > \text{LDPE}$ sırasındadır. Burada Atık plastiklerin OPK üretimine uygun olduğu görülmektedir (Shibata vd., 2002).



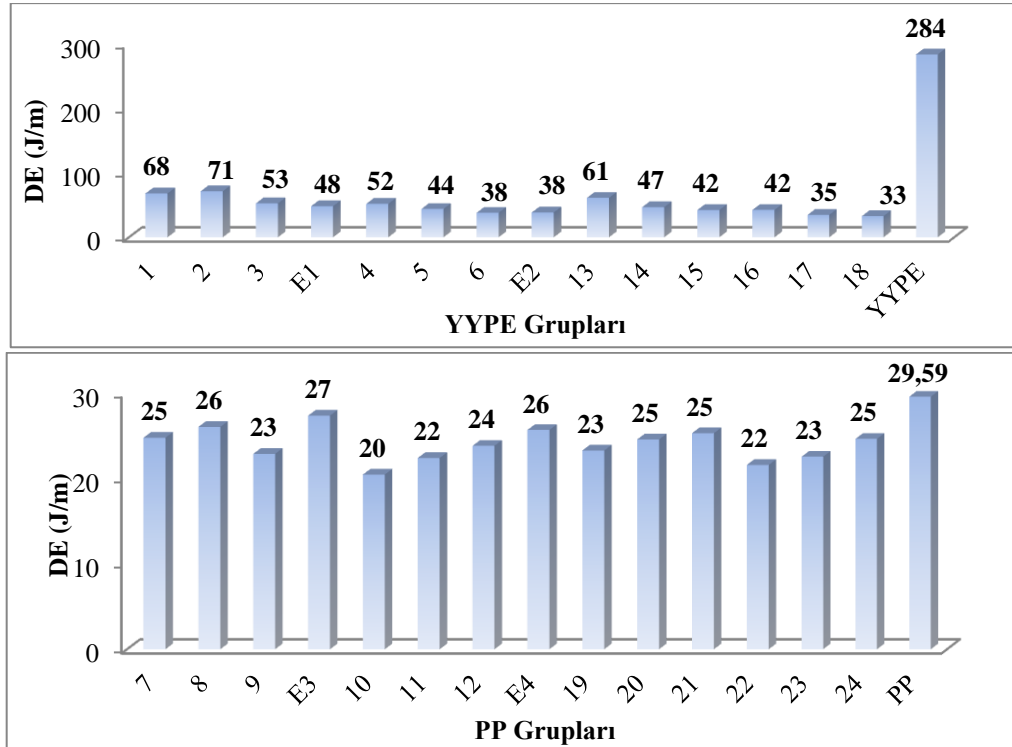
Şekil 71. YYPE ve PP gruplarına ait çekme özellikleri

Bununla birlikte odun oranının artmasıyla çekme dirençlerinde düşüş, çekmede elastikiyet modülünde ise artış meydana gelmiştir. %3 oranında karışıma ilave edilen uyumlaştırıcı ajan ile çekme dirençlerinde önemli düzeyde artış meydana gelmiştir. Örneğin remidasyon gruplarına uyumlaştırıcı ilavesi, çekme dirençlerinde yaklaşık %37'ye varan bir artış olmuştur. Tascioglu vd. (2014) yaptığı çalışmada CCA içeren odun unu içeren grupların kontrole kıyasla düşük de olsa direnç değerlerinde artış gözlemlemiştir.

Fakat çalışmada öne çıkan sonuç %5 MAPE ilavesiyle çekme dirençlerinde %85'e varan bir artışın olduğudur. Eğilme özelliklerinde olduğu gibi odun ve polimerin uyumlaştırıcı ajan kullanılarak daha kuvvetli bağ yapmaları mümkün olmakta ve çekme özelliklerini iyileştirmektedir (Lu vd., 2000; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Rowell, 2006; Sidharta, 2011; Tascioglu vd., 2014). Rana vd. (2008) %3-5 oranında uyumlaştırıcı kullanımı ile boyutsal kararlılık, eğilme ve çekme özellikleri büyük oranda iyileştiğini belirlemişlerdir.

4.3.4.3. Darbe Direnci

YYPE ve PP gruplarına ait darbe direnci değerleri Şekil 72'de özetlenmiştir. Buna göre; YYPE gruplarında darbe direnci değerleri en düşük 18. (S50PE%3) grupta (32,87 J/m), en yüksek 2. (K40PE%0) grupta (71,42 J/m) gerçekleşmiştir. PP gruplarında darbe direnci değerleri en düşük 10. (K30PP%3) grupta (20,47 J/m), en yüksek E3 (E50PP%0) grubunda (27,37 J/m) gerçekleşmiştir.



Şekil 72. YYPE ve PP gruplarına ait darbe direnci özellikleri

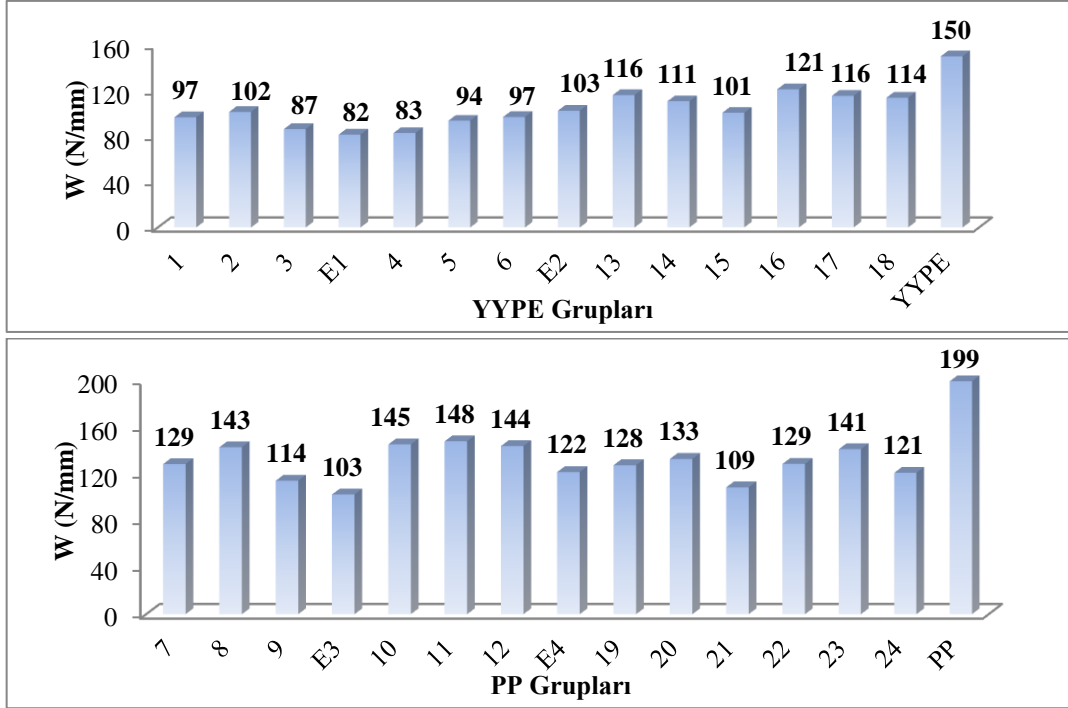
Eğilme ve çekme dirençlerinin aksine YYPE gruplarında PP'ye göre çok daha yüksek darbe direnç değerleri elde edilmiştir. Bu durum saf YYPE'nin (284 J/m) saf PP'ye (29,59 J/m) göre sahip olduğu yüksek darbe direncinden ileri geldiği düşünülmektedir. Yine dikkat çekecek bir sonuç ise YYPE gruplarında odun oranı arttığında darbe dirençleri düşerken PP gruplarında az da olsa bir artış gözlemlenmiştir.

Genel olarak; YYPE gruplarında kreozot içeren gruplar, kontrol gruplarına göre önemli bir üstünlük göstermiş olup bu durum PP gruplarında uyumlaştırıcı ajan içermeyen gruplarda da söz konusudur. Ayrıca uyumlaştırıcı ajan kullanımı ile darbe dirençlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Tascioglu vd. (2014) yaptıkları çalışmada da benzer sonuç elde edilmiştir. Bu durum kompozit malzeme üretiminde odun oranının arttırılması ve/veya uyumlaştırıcı ilavesi malzemenin daha sert ve gevrek bir hale gelmesiyle açıklanmaktadır (Clemons, 2002; Mengeloğlu ve Matuana, 2003).

4.3.4.4. Vida Tutma Direnci

YYPE ve PP gruplarına ait vida tutma direnç değerleri Şekil 73'te özetlenmiştir. Buna göre; YYPE gruplarında direnç değerleri en düşük E1 (E50PE%0) grubunda (81,80 N/mm), en yüksek 16. (S30PE%3) grupta (121,33 N/mm) gerçekleşmiştir. PP gruplarında direnç değerleri en düşük E3 (E50PP%0) grubunda (102,63 N/mm), en yüksek 11. (K40PP%3) grupta (148,07 N/mm) gerçekleşmiştir.

PP gruplarında vida tutma direnç değerleri eğilme ve çekme dirençlerine benzer şekilde YYPE gruplarından daha yüksek olmuştur. Bu durum saf PP'nin (199,25 N/mm) sahip olduğu yüksek vida tutma direncinden ileri geldiği düşünülmektedir. Genel olarak %30 ve %40 odun oranı içeren levha grupları arasında istatistiksel olarak fark gözükmesi de %50 odun oranı içeren gruplarda direnç değerleri daha düşük olmuştur. YYPE için kontrol gruplarında, PP için kreozot gruplarında daha yüksek direnç değerlerine ulaşılmıştır. Uyumlaştırıcı ilavesiyle vida tutma dirençleri genellikle arttığı belirlenmiştir. Remidayon gruplarında ise uyumlaştırıcı ilavesiyle YYPE gruplarında %26'lık, PP gruplarında ise %18'lik bir artış olmuştur.



Şekil 73. YYPE ve PP gruplarına ait vida tutma direnç özellikleri

Genel olarak; OPK'lara olan talebin her geçen gün artması sonucu fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine birçok akademik çalışma yürütülmektedir. Kompozit panellerin (MDF, yonga levha vb.) vida/çivi tutma özellikleri üzerine bir çok çalışma bulunmaktayken (Celebi ve Kilic, 2007; Salari vd., 2013), odun plastik kompozitleri üzerine literatüre çok az çalışma girmiştir (Chaharmahali vd., 2008; Madhoushi vd., 2009; Haftkhani vd., 2011; Zahedi vd., 2013; Ghanbari vd., 2014). Öyle ki bu çalışmalarda kompozit paneller için belirlenen ASTM D1037 (1999) standardı modifiye edilerek OPK testlerinde kullanılmaktadır (Falk vd., 2001; Madhoushi vd., 2009; Valente vd., 2011; Ghanbari vd., 2014). Fakat OPK ürünlerin (özellikle profiller, kaplamalar, dekler, çatı elemanları, pencere doğramaları vb.) bağlantı elemanlarıyla (vida/çivi tutma direnci) olan ilişkileri ve kullanım yeri performansları mutlaka bilinmesi gerekmektedir.

Tez kapsamında yürütülen çalışma sonunda istatistiksel olarak odun unu oranları bakımından vida tutma dirençleri %30=%40>%50 şeklinde olmuştur. Falk vd. (2001) odun oranı arttıkça vida tutma dirençlerinin azaldığını belirlemiştir. Chaharmahali vd. (2008) odun oranı %60'ın altında olduğu zaman vida tutma direnci diğer kompozit panellere (MDF, yonga levha vb.) göre yüksek olduğunu vurgulamıştır (Haftkhani vd., 2011). Örneğin vida tutma direnci yaklaşık olarak MDF için 37-80 N/mm ve yongalevhada 60-

105 N/mm olarak belirlenmişken tez kapsamında yürütülen vida tutma testinde özellikle PP gruplarında direnç değerleri benzer şekilde diğer kompozit panellere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Falk vd., 2001; Sidharta, 2011).

Madhoushi vd. (2009) pirinç sapları/YYPE/PP ile ürettikleri termoplastik kompozitlerinde kuru ve rutubetli halde vida tutma dirençlerini belirlemeye çalışmışlardır. %2 oranda uyumlaştırıcı ilave edilen gruplarda direnç değerlerinde önemli bir artış tespit edilmiş olup lignoselülozik oran %50'nin üzerine çıktığında ise direnç değerlerinde düşme olduğu vurgulanmıştır. Chavooshi vd. (2014) kuru şartlarda yapılan vida tutma testinde rutubetli hale göre daha yüksek direnç değerleri elde edilmiştir. Söz konusu dirençlerin kullanım yerinde kuru ve ıslak ortamlarda değişkenlik göstereceği Madhoushi vd. (2009) tarafından da vurgulanmıştır. Benzer şekilde tez kapsamında yapılan testte uyumlaştırıcı ilavesiyle direnç değerlerinde genellik artış olduğunu belirlenmiştir.

Valente vd. (2011) cam yünü/LDPE/PP ile ürettikleri OPK'larda vida tutma dirençlerini belirlemiş olup odun oranı arttıkça direnç değerlerinde düşme gözlenmiştir. Bu durum önceki çalışmalarda da benzerlik göstermiştir (Chaharmahali vd., 2008; Madhoushi vd., 2009). Ayrıca PP gruplarında LDPE'den daha iyi direnç değerleri elde edilmiştir. Najafi vd. (2011) pirinç kabuğu/odun/YYPE ile ürettikleri OPK örneklerinde vida tutma dirençleri odun oranı arttıkça direnç değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Benzer çalışmada Zahedi vd. (2013) ceviz kabuğu/PP ile ürettikleri OPK'larda lignoselülozik oran arttıkça direnç değerlerinde düşme görülmüştür.

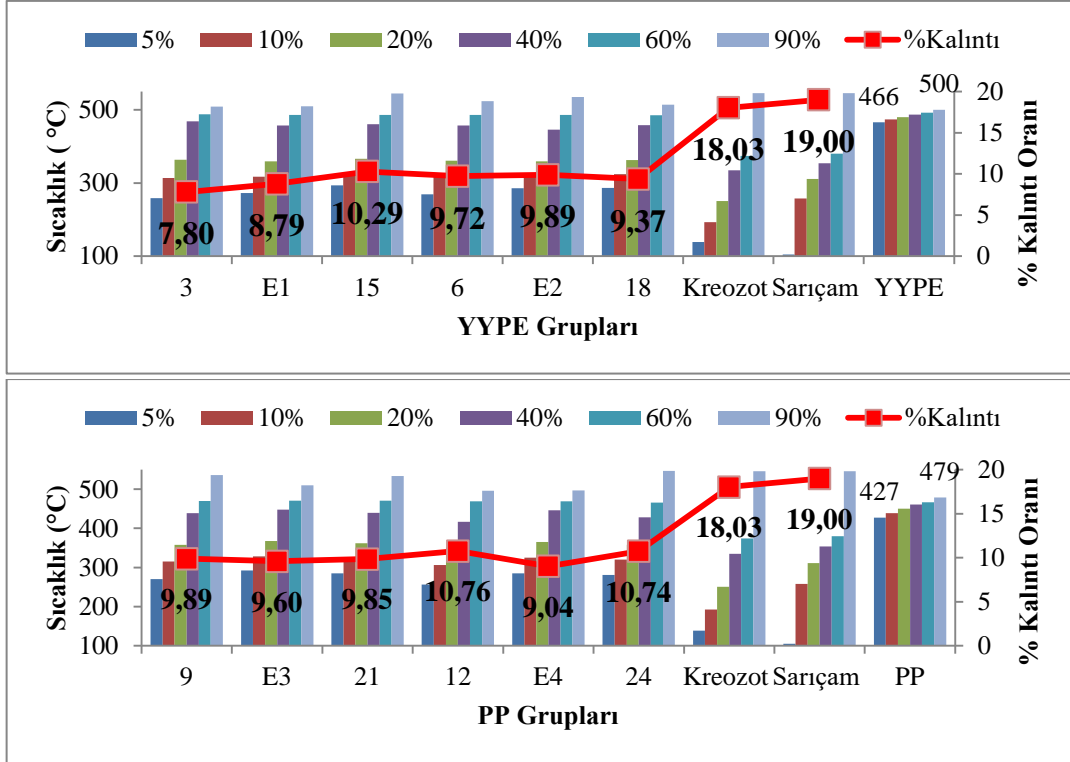
Ghanbari vd. (2014) farklı tip materyaller (kavak odunu ve pirinç sapları), oranlar (%45-60-75), partikül boyutları (20-40 ve 40-60 mesh) ve üretim sistemleri (pres kalıplama ve ekstrüzyon) ile ürettikleri OPK gruplarında vida tutma dirençleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda odun unu/pirinç sapı oranları ve partikül boyutları arttıkça vida tutma dirençleri düşmüş olup levha yoğunluklarının artması sonucunda ise direnç değerlerinde artış görülmüştür. Dolayısıyla diğer direnç özelliklerinde olduğu gibi vida tutma özellikleri de polimer- lignoselülozik madde arasındaki bağlanmayla doğrudan ilişkilidir.

4.3.5. Termal Özellikler

4.3.5.1. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Analizi sonrası bütün gruplara ait elde edilen TGA ve DTG termogramları (Ek-Şekiller dizininde Ek Şekil 39-50) sayısallaştırılarak Tablo 109-111 elde edilmiştir. Buna göre; analiz sonunda YYPE gruplarında kalıntı miktarı en düşük 13. (S30PE%0) grupta (%4,79), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (%10,29) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise kalıntı miktarı en düşük 10. (K30PP%3) grupta (%5,23), en yüksek 12. (K50PP%3) grupta (%10,76) gerçekleşmiştir. Odun oranının artması ve uyumlaştırıcı ilavesi termal bozunma sonunda kalıntı madde miktarını arttırmaktadır. Ayrıca PP gruplarında kalıntı madde miktarları genellikle YYPE'den daha yüksek olmuştur. Kalıntı miktarı ne kadar düşükse o ürünün hizmet sonunda enerji eldesi için geri dönüştürülme potansiyeli o kadar yüksek olmaktadır (Mariotti vd., 2014).

%50 odun unu içeren gruplara ve ana materyallere ait termal bozunmaya bağlı ağırlık kayıpları ve 545 °C'de % kalıntı oranları Şekil 74'te özetlenmiştir. Burada özellikle odun bileşenlerinin bozuma evrelerine dikkat çekilmektedir. Hemiselüloz sıcaklığa karşı en zayıf bileşik olup selüloz ve ligninden daha düşük sıcaklıklarda bozunmaktadır. Kontrollü ısıtmada odunun termal bozunması üç ana evrede meydana gelmektedir. İlk evre, yaklaşık 110 °C'nin altında ve içerdiği suyun veya uçucu ekstraktif maddelerin buharlaşmasıyla oluşmaktadır. İkinci evre, polisakkaratlerin ve hemiselülozun bozunması, selülozun glikolik asit içeren bileşenleri koptuğu ve ligninin bozunmaya başladığı sıcaklık aralığıdır. Üçüncü evre ise lignin ve selülozun tamamen bozunduğu sıcaklık aralığıdır. Böylelikle odunun termal bozunmasında hemiselüloz 180-350 °C arasında depolimerize olmakta, 275-350 °C arasında selüloz ve 250-500 °C arasında ise lignin bozunmaktadır (Kim vd., 2006; Poletto vd., 2012; Zimmermann ve Zattera, 2013; Mariotti vd., 2014). Fakat hızlı ısıtma olursa bu aralıklar değişebilmekte ve aynı anda bütün bileşenler bozunabilmektedir (Di-Blasi, 2008).



Şekil 74. YYPE ve PP gruplarının TGA analizi

Odunun termal stabilitesi 200 °C'den daha düşük olduğundan birçok polimere göre (PE, PP, PS ve PVC) daha önce bozunmaktadır. Dolayısıyla OPK içeriğinde odunun bozunmasıyla oluşan serbest radikaller termal bozunmayı hızlandırmakta ve polimerlerin daha düşük sıcaklıkta bozunmasına neden olmaktadır (Li ve He, 2004; Adhikary, 2008).

Kreozot gruplarının termal bozunması kontrol gruplarına göre daha düşük sıcaklıklarda başlamıştır. Dolayısıyla kontrol gruplarında termal kararlılığın daha yüksek olduğu söylenebilmektedir. Remidasyon gruplarında ise kreozot gruplarına göre termal kararlılık artmasıyla birlikte kalıntı oranları da artmıştır. Ana materyal olarak kreozot içeren odunda, bağlı suyun daha geç uzaklaşması veya rutubetin düşük olmasından dolayı başlangıçta sarıçama göre daha yüksek sıcaklıkta (139 °C) %5 ağırlık kaybı olmuştur. Fakat %10'luk ağırlık kaybına bakıldığında kreozotun termal kararlılığı sarıçama göre düştüğü belirlenmiş olup %1'lik kalıntı madde farkının ise ekstraktif maddelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Saf PP ise YYPE'ye göre daha düşük sıcaklıklarda termal bozunmaya uğradığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada uyumlaştırıcı ajanın termal kararlılığa etkisi, önemsiz kabul edilmiştir. Yapılan çalışmalarda uyumlaştırıcının etkisi üzerine farklı görüşler olduğu bilinmektedir

(Çavdar, 2011). Uyumlaştırıcı ajanların termal stabiliteyi çok düşük oranda da olsa artırması, selüloz hidroksilleri ve uyumlaştırıcı ajanlar arasındaki bağlanmayla ve yüksek kovalent bağlarla açıklanmıştır (Mohanty vd., 2004; Kim vd., 2006; Doan vd., 2007; Lei vd., 2007). Bunun aksine bazı çalışmalarda ise uyumlaştırıcı ajanların düşük termal özelliklerinden dolayı olumsuz etkisi olduğu vurgulanmıştır (Luyt ve Malunka, 2005; Tajvidi ve Takemura, 2010).

Remidasyon işlemiyle kreozotun aktif bileşenlerinin uzaklaşması sonucu kreozot gruplarına göre düşüğe olsa termal kararlılığı arttığı söylenebilmektedir. Hosseinaei vd. (2012) de yaptığı çalışmaya göre hemiselülozun ekstraksiyonu sonrası üretilen OPK malzemede hemiselülozun uzaklaşmasıyla fiziksel ve mekanik özellikler iyileşmesiyle beraber termal stabilitenin de arttığı belirlenmiştir. Fakat Zimmermann ve Zattera (2013) CCA'nın sülfürik asit muamelesi sonrası daha çok lignin uzaklaştığı için termal kararlılık düşmüştür. Böylelikle emprenye maddesi içeren odunların remidasyonu sonrası üretilen levha gruplarında remidasyon tipinin, kullanılan çözücülerin ve konsantrasyonlarının levhaların fiziksel, termal ve morfolojik özelliklerini etkilediği anlaşılmaktadır.

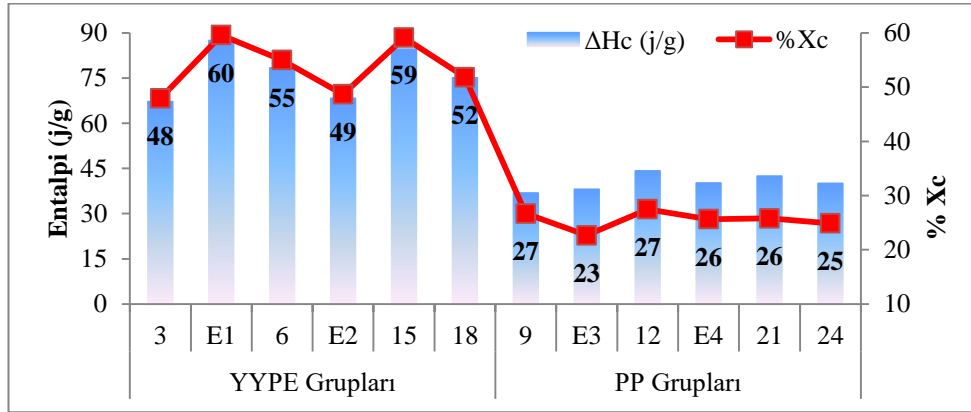
Ek Şekil 39-50'da verilen termogramlara bakıldığında eğrilerin 2 bölgeye ayrıldığı görülmektedir. Bunlardan ilki oda sıcaklığından yaklaşık 400 °C'ye kadar olan bölge, ikincisi 400 °C'den sonraki bölgedir. Keskin bir şekilde ayrılan bu iki bölgeden ilki odunun bozunmasından kaynaklanan bir ağırlık kaybının olduğu ve ikincisinde ise daha çok polimerlerin (YYPE ve PP) bozunduğu sıcaklık aralığı olmaktadır (Chaharmahali vd., 2014). Bununla birlikte kreozot içeren odunun termogramındaki dalgalanmanın nedeni kreozot içeriğindeki ana ürünlerin stabil olmaması veya uçucu birleşiklerin sıcaklığa bağlı olarak kararsız hale gelmesinden ileri geldiği düşünülmektedir (Ek Şekil 50).

4.3.5.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

DSC analiz sonucu %50 odun unu içeren grupların kristallenme oranları Şekil 75'te özetlenmiştir. YYPE gruplarında kristallenme oranları, PP gruplarına göre yaklaşık %60'lık bir artış göstermektedir. Bununla birlikte uyumlaştırıcı ajan kullanımı ile kreozot içeren gruplarda kristallenme oranı artmaktayken kontrol gruplarında ise azalmaktadır. Erime sıcaklıkları bakımından (Tablo 112) kreozot içeren gruplar kontrol gruplarına göre daha düşük sıcaklıklarda erimeye başladığı belirlenmiştir. Remidasyon gruplarında ise kreozot gruplarına göre erime sıcaklıklarının arttığı belirlenmiştir. Uyumlaştırıcı ilavesiyle

erime sıcaklıkları biraz da olsa düşmektedir. Tez kapsamında kullanılan PP gruplarında erime sıcaklığı ortalama 163,56 °C iken Adhikary (2008) PP'nin erime sıcaklığını 165,7 °C olarak belirlemiştir. Dolayısıyla OPK üretiminde kullanılan polimer tipinin (YYPE, PP vb. veya saf-atık polimer) erime sıcaklıklarını etkilediği anlaşılmaktadır.

Plastiklerin amorf ve kristalin olmak üzere iki esas yapısı vardır. Amorf bölgelerde moleküller rastgele bağlanmaktadır. Bu tip polimerlerin çekme dirençleri yüksektir. Kristalin bölgelerde ise molekül zincirleri üç boyutlu yapıda olup polimerin daha rijit olmasını, daha yüksek ve belirgin erime sıcaklıklarını, yüksek ısı mukavemetini ve yoğunluğu sağlamaktadır. Kristal bölgeler, katılığı oluştururken amorf bölgeler tokluğu arttırmaktadır. Buna rağmen polimerlerin geçirgenlik ve boyanabilirlik gibi özellikleri kristallenme derecesiyle ters orantılıdır. %5-10 kristallikte malzeme esnek, %20-60'ta malzeme tok, %60-80'de ise malzeme sert ve dayanıklıdır. Buna göre PP gruplarında esneklik daha yüksek olmakta YYPE grupları ise daha sert ve tok olmaktadır.



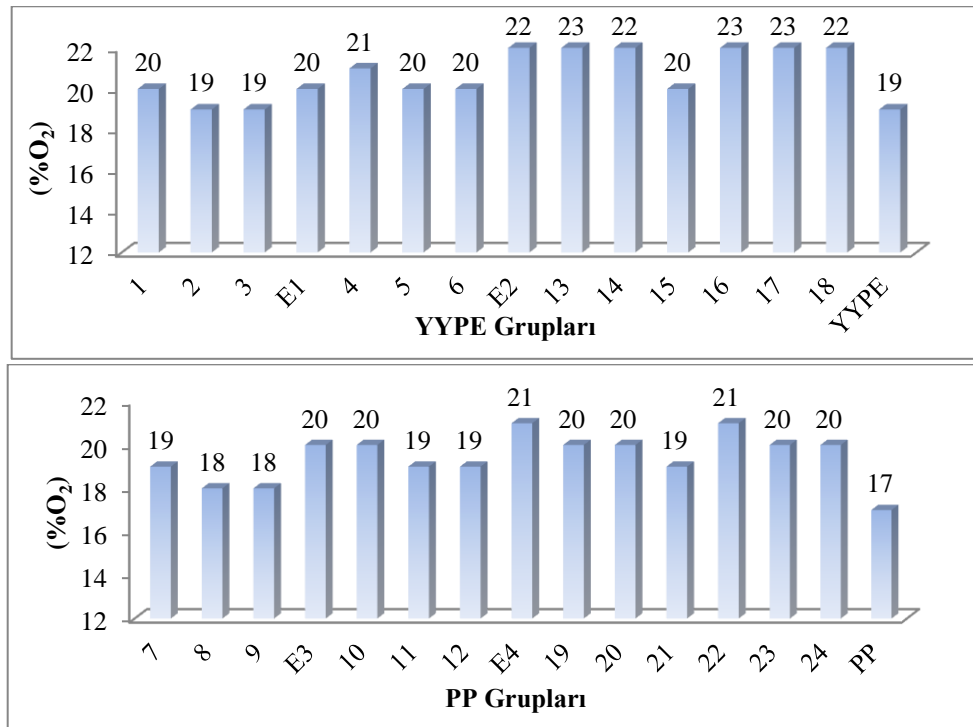
Şekil 75. Levha gruplarına ait kristallenme entalpileri ve % kristallenme oranları

Polimerin yüksek kristalite oranı güçlü bağ ve sağlamlığı (rijitliği), çözünmeye ve sıcaklığa karşı yüksek direnci ifade etmektedir (Adhikary, 2008). Kristalit bölgeler yüksek sıcaklıklarda rijidite sağlamakta olup amorf bölgeler ise esneklik ve yüksek şok direnci sağlamaktadır (Ndlovu, 2011). OPK'lardaki kristallenme oranı ise genellikle odun bileşenlerinin varlığı ile değişmektedir. Odun liflerindeki heterojen dallanmış yapılar polimer kristallenmesini arttırmaktadır. Dolayısıyla odun oranı arttıkça kristallenme oranı arttığı yapılan çalışmalarda belirlenmiştir (Bouafif vd., 2009; Tajvidi ve Takemura, 2010; Ndlovu, 2011). Bunun aksini belirten çalışmalarda vardır. Örneğin Sewda ve Maiti (2007) kristalite ve odun oranı arasında ters orantı olduğunu bildirmiştir. Bunun dışında bazı

çalışmalarda odun oranı arttıkça kristalite ve kristallenme entalpisi oranının azalmasını, odun polimer zincirlerinin hareket etmeyi engellemesine bağlamışlardır (Gwon, vd., 2010; Ayrılmış vd., 2014). Ayrıca yapılan çalışmalarda uyumlaştırıcı ajanların polimer ve odun arasındaki bağlanmayı arttırdıkları için kristaliteyi de arttırdığı belirtilmiştir (Ndlovu, 2011; Adhikary, 2008; Tisserat vd., 2014).

4.3.5.3. Limit Oksijen İndeksi (LOİ)

LOİ (%O₂) analizinde elde edilen değerler Şekil 76'da gösterilmiştir. LOİ değerleri YYPE grupları için 18-23, PP grupları için 18-21 arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 76. YYPE ve PP gruplarına ait LOİ değerleri

Krezot gruplarının LOİ değerleri kontrole göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda odun oranı arttıkça LOİ değerlerinde genellikle düşme gözlenmektedir. PP grupları, yanma için daha düşük oksijen gereksinimi duymaktadır. Ana materyal olarak kullanılan masif sarıçamın LOİ değeri 22 olurken YYPE ve PP'nin sırasıyla 19 ve 17 olmuştur. LOİ değerlerinin düşük olması öncelikle kullanılan atık plastiklerden ileri geldiği

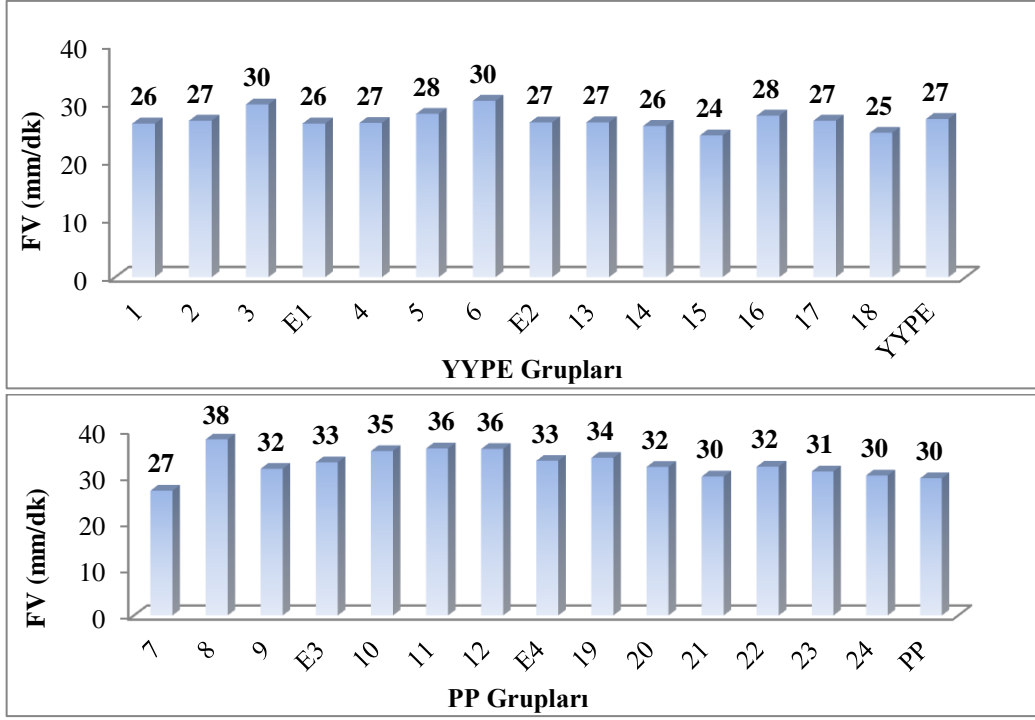
anlaşılmaktadır. Remidasyon işlemine tabi tutulan örneklerde LOİ değerlerinde artış gözlenmiştir.

Limit oksijen indeksi (LOİ) test metodu, malzemelerin alevlenebilirliği ve yanma karakteristiklerini görme açısından en iyi metotlardan birisidir. LOİ değeri, bir materyalin havada yanmaya devam etmesi için gereksinim duyduğu % oksijen miktarı anlamına gelmektedir. Yüksek LOİ değeri standart atmosfer ortamlarında o malzemenin daha zor yanma karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir. Normal şartlarda havada %21 oranında oksijen bulunmakta olup LOİ değeri 25'ten büyük olan materyal, havada genelde kendiliğinden sönmektedir. ISO 4589 (1996) standardına göre LOİ değeri 23'ten düşük olan malzemeler kolay yanabilir malzeme sınıfına girmektedir (ASTM D2863, 2009; Devi vd., 2012). Bu nedenle kreozot içeren grupların tamamı LOİ değerlerine göre kolay yanabilen malzeme sınıfına girmektedir. Standartlara göre saf PP'nin LOİ değeri 18,6 olarak belirlenmişken (Demirel, 2007) tez kapsamında kullanılan atık PP'de ise bu değer 17 olmuştur. Dolayısıyla PP gruplarındaki düşüşün nedeni doğrudan kullanılan polimerle ilgili olduğu söylenebilmektedir.

Polimerler yüksek oranda karbon, hidrojen, oksijen içerdikleri için kolay ve hızlı yanmaktadırlar (odundan 4 kat daha hızlı). Polimerlerin yanması esnasında zehirli ve yanıcı gazlar ortaya çıkmaktadır. Açığa çıkan gazlar yanmayı daha da hızlandırmaktadırlar. Örneğin polipropilenin (PP) yanması sırasında propan gazı açığa çıkmakta ve bu gaz PP'den daha yanıcı olmaktadır (Demirel, 2007).

4.3.5.4. Alevin Lineer Yayılma Hızı

Test sonunda alevin yayılma hızlarına ait değerler Şekil 77'de görülmektedir. Buna göre; YYPE gruplarında yayılma hızı en düşük 15. (S50PE%0) grupta (24,41 mm/dk), en yüksek 6. (K50PE%3) grupta (30,34 mm/dk), PP gruplarında ise en düşük 7. (K30PP%0) grupta (26,96 mm/dk), en yüksek 8. (K40PP%0) grupta (37,98 mm/dk) elde edilmiştir. Odun oranı arttıkça kreozot içeren gruplarda alevin yayılma hızı genellikle artmakta olup kontrol gruplarında ise azalmaktadır.



Şekil 77. YYPE ve PP gruplarına ait alev yayılma hızları

Alev yayılma hızı, LOİ değerlerine benzer olarak PP gruplarında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Kreozot içeriği yanma hızını arttırdığı anlaşılmaktadır. İstatistiksel olarak yanma hızları Kreozot>Remidasyon>Kontrol şeklinde olmuştur. Remidasyon gruplarında genellikle kreozot içeren gruplara göre yanma hızı düştüğü söylenebilmekte olup bu gruplarda ayrıca uyumlaştırıcının etkisi olduğu söylenebilmektedir.

Birer organik malzeme olan polimer ve odun yanmaya karşı oldukça hassas olması yakıt olarak değerlendirildiğinde avantajlı, yapı elemanı olarak kullanıldığında ise dezavantajlı olmaktadır. Dolayısıyla yapı elemanlarında kullanılan OPK'ların yanma özellikleri iyileştirilme zorunluluğu vardır (Baysal vd., 2007).

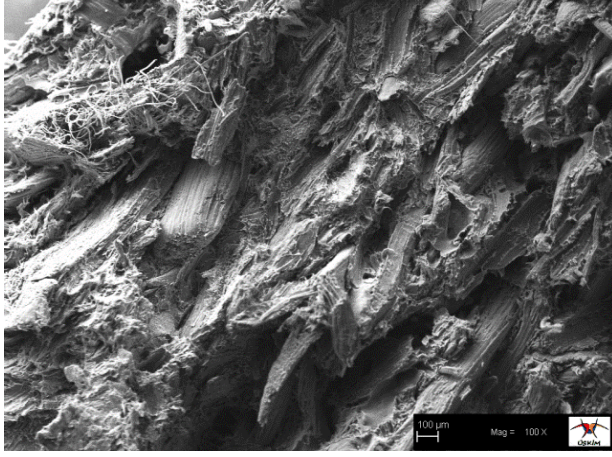
OPK ürünlerin yüksek tutuşma özelliği kullanım alanlarını da sınırlandırmaktadır (Naumann vd., 2012b). Kullanım yerleri için bu ürünlerin yanma özellikleri Seefeldt ve Braun (2011) tarafından belirlenmiş olup odundaki rutubetin yanmayı geciktirdiği vurgulanmıştır. İğne yapraklı ağaçlar içerdikleri reçine ve ekstraktiflerden dolayı yapraklılara göre daha hızlı yanmaktadır (Binhussain ve El-Tonsy, 2013). Tez kapsamında üretilen tüm gruplarda sarıçam kullanılması yanma hızlarının yüksek olmasını tetiklemiş olabilir. Çünkü literatürde genellikle bu testlerde yanmaya karşı direnç gösteren türler denenmektedir. Ayrıca Yalınkılıç (1992) kreozot ile emprenye edilen masif sarıçam ve

doğu kayını örneklerinde kontrol gruplarına göre yanma değerlerinde artış olduğu belirtilmiştir. Yani kreozottaki aktif karbon bileşiklerinden dolayı yanmaya karşı direnç azaldığı düşünölmektedir. Yanmaya karşı direnç kazandırmak için OPK ürünler katkı maddeleri ile desteklenmektedir. Bu alanda oldukça sınırlı çalışma olmasının yanında hala tam olarak yanma özellikleri aydınlatılabilmif değildir. Yanma özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmaların çoğunda borlu ve fosfat bileşikleri denenmektedir (Baysal vd., 2007; Stain vd., 2007; Ayırlmis vd., 2012; Binhussain ve El-Tonsy, 2013; Arao vd., 2014).

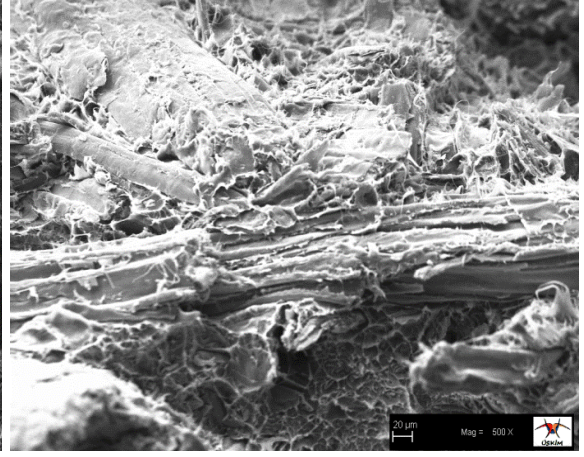
Ayırlmis vd. (2012) yaptıkları çalışmada uyumlaştırıcı ajanın yanma özelliklerine önemli bir etkisi bulunmadığı belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında uyumlaştırıcı etkisi sadece remidasyon gruplarında bahsedilebilmekte olup diğer gruplarda önemli bir etkisi olmamıştır. Arao vd. (2014) saf PP'de yanma hızını 27,4 mm/dk olarak belirlemiş olup %3 uyumlaştırıcı ajan ilavesiyle yanma hızı (32,4 mm/dk) artmıştır. Dolayısıyla bu çalışmaya göre ilk olarak atık PP'nin yanma hızını arttırdığı söylenebilir. Benzer çalışmalarda uyumlaştırıcının olumlu veya olumsuz sonuçlarının olması üretim şartları, kullanılan polimer/odun materyallerinin tipi gibi etmenlere bağlı olduğu düşünölmektedir.

4.3.6. Morfolojik Özelliklerin Belirlenmesi

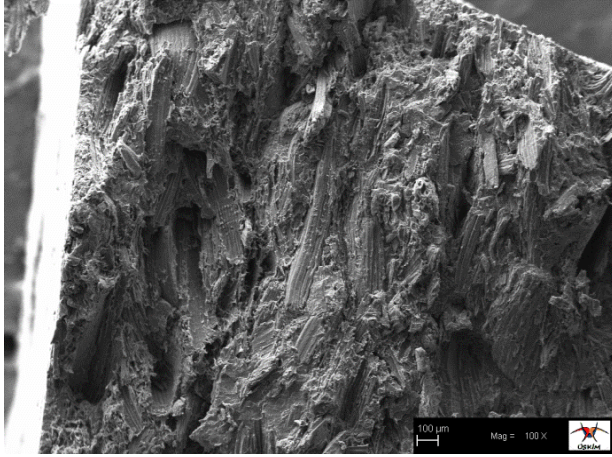
OPK'yı oluşturan polimerler, lignoselülozikler, uyumlaştırıcı ajanlar ve katkı maddelerinin matris içerisinde büyüklükleri, dağılımları, yönlenmeleri ve uyumu fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine büyük etkileri vardır. Bu yüzden bir çok çalışmada OPK'ların yüzey ve iç morfolojisi araştırmalarında SEM analizine başvurulmaktadır (Chen vd., 2006; Wang, 2007; Rana vd., 2008). Levhalara ait SEM görüntüleri şekil 78-80'de ve Ek şekil 54-57'de verilmiştir.



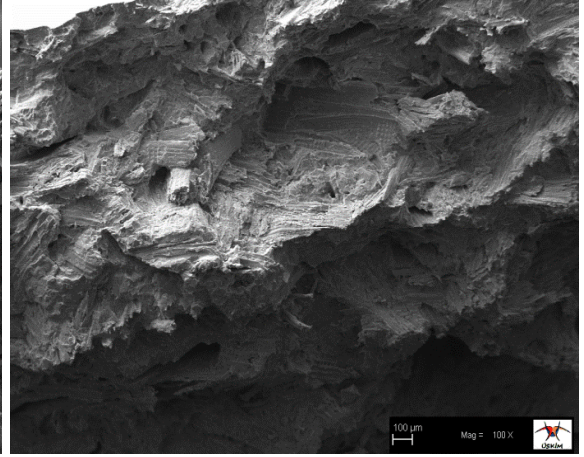
3. (K50PE%0) grup



6. (K50PE%3) grup



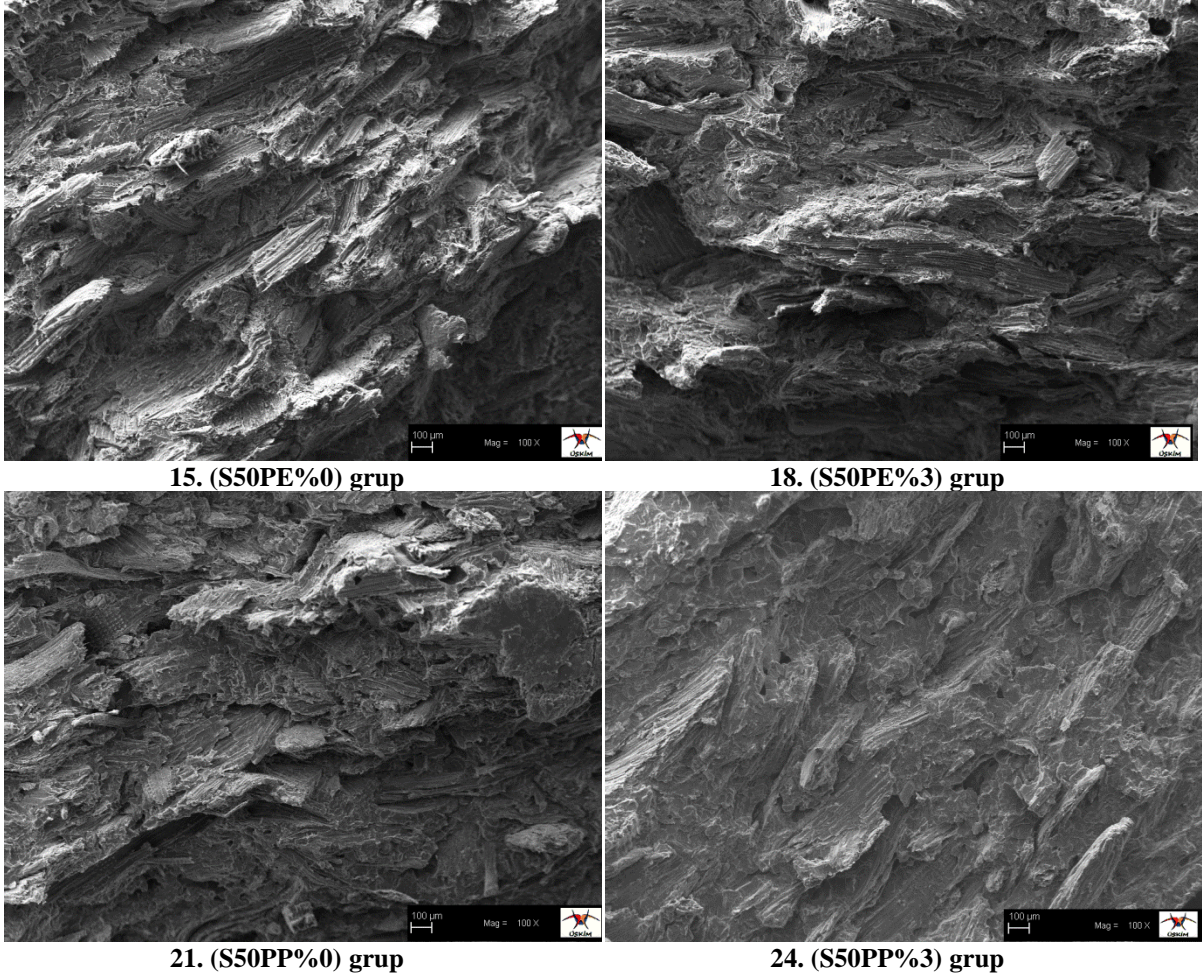
9. (K50PP%0) grup



12. (K50PP%3) grup

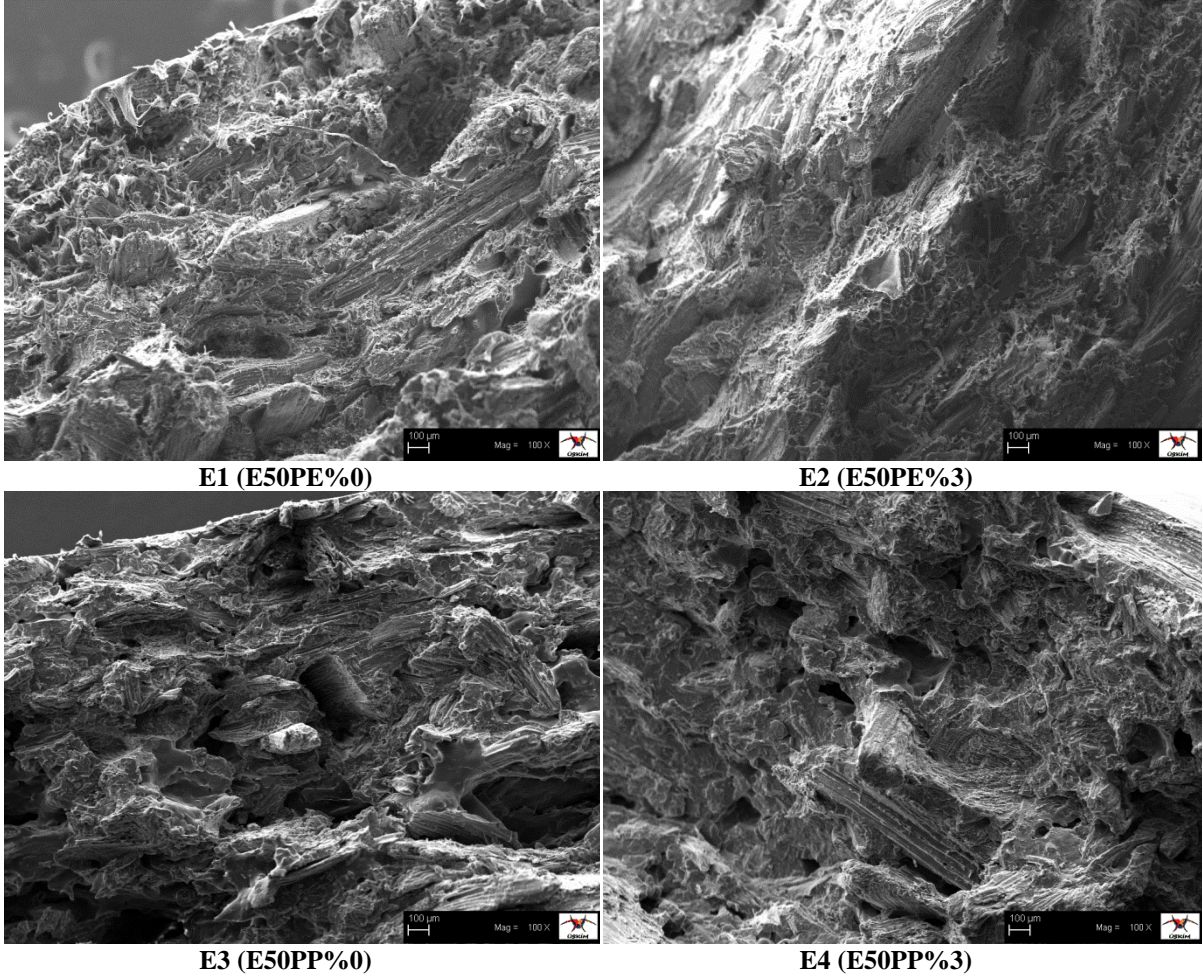
Şekil 78. %50 odun içeren kreozot gruplarının SEM görüntüleri

SEM görüntüleri incelendiğinde; uyumlaştırıcı içermeyen gruplarda (Şekil 78-80) odun ile polimer matrisi arasında oyuklar dikkat çekmektedir. Bu oyukların nedeni odun unu ile polimer matrisi arasında zayıf bağlanmadır (Adhikary, 2008). Odun oranı arttırıldığında odun liflerinin yayılışı homojen olmadığından polimer matrisi ve odun unu arasında zayıf bağlanma olduğu yapılan çalışmalarda da belirlenmiştir (Adhikary, 2008; Adhikary, 2009).



Şekil 79. %50 odun içeren kontrol gruplarının SEM görüntüleri

OPK'da en temel problemler polimer ve lignoselülozik madde arasında uyumsuzluk (bağlanamama) ve karışmazlıktır. Bunlara polimerlerin apolar ve hidrofobik olması, lignoselülozik bileşiklerin ise polar ve hidrofilik olması neden olmaktadır. Bu problemi çözmek için polimerlerin/odunun modifiye edilmesi ve çeşitli katkı maddelerinin karışma eklenmesi olmak üzere, bir çok yöntem denenmektedir (Li vd., 2012; Adhikary vd., 2008; Nourbakhsh ve Ashori, 2009). Hanif vd. (2014) yaptıkları çalışmada uyumlaştırıcı ilave edilen gruplarda SEM analizi sonucu polimer matris ve odun arasında kontrole göre daha iyi bir tutunma olduğu belirlenmiştir. Uyumlaştırıcı içeren gruplarda esterifikasyon mekanizması ile odun ve polimer matrisi arasında bağlanma iyileşmektedir. Böylelikle polimer yüzeylerinde daha az çatlak ve boşluk olmaktadır (Şekil 78-80). Ayrıca bazı odun hücre lümenlerinin polimer ile dolduğu görülmektedir. Böylelikle mekanik dirençler artmaktadır (Adhikary, 2008; Adhikary, 2009).



Şekil 80. %50 odun içeren remidasyon gruplarının SEM görüntüleri

Atık polimerlerde saf polimerlere göre odun liflerinin homojen dağılması bağlanmayı arttırdığı düşünülmektedir. Uyumlaştırıcı ilave edilen remidasyon gruplarında (Şekil 80) SEM görüntüleri kontrole göre daha parlak olması, odun ununun aşırı modifikasyona uğramasından ileri gelmektedir (Adhikary, 2008). Zimmermann ve Zattera (2013) CCA'nın kimyasal ekstraksiyonu sonrası çekilen SEM görüntülerinde yüzeylerde dalgalanma ve pürüzlülüğün arttığını vurgulamıştır. Kamdem vd. (2004) CCA ile yaptıkları çalışmada, CCA içeren odunun kontrole göre daha hidrofobik olduğunu dolayısıyla daha iyi bağ yaptığı için polimer ve odun unu arasında güçlü bağ yaptığını ifade etmiştir.

5. SONUÇLAR

5.1. Kreozotun Yapı Aydınlatması

1. Hizmet ömrünü (26 yıl) tamamlamış tel direklerinde % kreozot içeriği, ortalama %39,11 (63 kg/m^3) olmuştur. Buna göre hizmet süresi uzadıkça kreozotun, odun hücre gözeneklerinden kanaması veya yıkanması sonucu kreozot içeriği azaldığı belirlenmiştir. Ekstraksiyon verimi sırasıyla; hekzan (%61,35), tolüen (%69,93) ve alkol-benzen (%77,16) şeklinde olmuştur. Yapılan remidasyon işleminde verim %50'yi geçtiğinden hekzan çözücüsü kreozotun remidasyonu için uygun olduğu belirlenmiştir.

2. TGA-FTIR seri analizi yardımıyla kreozotun $380 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar olan ağırlık kaybını öncelikle hemiselüloz, selüloz ve daha sonra kreozot yağının bozunması oluşturduğu belirlenmiştir. DTG eğrisinde ligninin bozunma bölgesi olan $380 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ağırlık kaybı kademeli olarak azalmasına rağmen gaz çıkışının bu sıcaklığa kadar artarak devam ettiği görülmüştür. Dolayısıyla kreozot içeren odun ile OPK üretimi esnasında, ekstrüder sisteminde gerek zararlı gaz formlarının açığa çıkmaması gerekse de odun hücre bileşenlerinin bozunmaması için sistem sıcaklığının $190 \text{ }^\circ\text{C}$ 'in üzerinde olmaması gerekmektedir. FTIR spektrumunda ise çıkan gaz ürünlerin zamana bağlı olarak CO gazının azalıp CO₂ gazının arttığı gözlemlenmiştir.

3. GC/MS analizi yardımıyla %91 oranında yapısı aydınlatılan kreozotun 250 bileşikten oluştuğu ve bunun %40'ının PAH bileşenlerini temsil ettiği belirlenmiştir. Dolayısıyla hizmet süresi arttıkça PAH bileşenlerinin büyük kısmı "weathering" (yaşlandırma) ile uzaklaştığı anlaşılmıştır.

4. Ham kreozot odun örneklerinin hekzan çözücüsü ile yapılan remidasyon işlemi sonucu toplam PAH ve benzo(α)piren azalış oranları sırasıyla %66 ve %62 olurken toluen çözücüsü ile yapılan remidasyon işleminde bu oranlar %88 ve %26 olmuştur. Burada toplam PAH miktarları için toluenin, benzo(α)piren için ise hekzanın etkinliği söz konusu olmuştur. Remidasyona uğratılmış odun unu içeren gruplarda toplam PAH ve benzo(α)piren oranlarında sırasıyla %85-93 ve %29-44 arasında bir azalma meydana gelmiştir. Ham kreozot odun unu içeren gruplarda ise toplam PAH oranlarında %77-84 arasında bir azalma meydana gelirken benzo(α)piren oranlarında ise önemli bir artış dikkat çekmektedir. Bu durum OPK üretiminde sürecinde kreozot içeren odun örneklerindeki

(ekstrüzyon ve pres) PAH bileşiklerinin buharlaşarak uzaklaşması veya başka formlara dönüşmesi ile açıklanabilmektedir. Remedasyon işlemi sonrası benzo(α)piren dışında diğer PAH bileşiklerinde de önemli azalmalar olurken en öne çıkan bileşikler ve azalma oranları sırasıyla; asenaften (%98), fluoren (%97), fluoranten (%95), piren (%91) ve krisen (%86) olmuştur. Remedasyon sonrası üretilen OPK gruplarında toplam PAH oranları YYPE gruplarında ortalama 27 mg/kg, PP gruplarında ortalama 42,79 mg/kg olmuştur. Benzo(α)piren oranları ise YYPE'de ortalama 0,40 mg/kg, PP'de ortalama 0,48 mg/kg olmuştur. Dolayısıyla EPA sınıflandırması kapsamında; üretilen OPK'lar benzo(α)piren oranlarına göre II. kategoride (30 saniyeden daha uzun süre temas edilebilir malzeme), toplam PAH oranlarına göre ise II. kategoriye çok yakın olmakla birlikte III. Kategoride (30 saniyeye kadar temas edilebilir malzeme) yer almıştır.

5.2. Levha Özelliklerinin Belirlenmesi

5.2.1. Dış Ortam Testleri

1. Rutubet Değişimi ve Ağırlık Kaybı: Dış ortam testlerinde kreozot içeren gruplarındaki rutubet değişimi ve ağırlık kaybı, remedasyon ve kontrol gruplarına göre daha düşük olmuştur. Benzetilmiş dış ortam testinde, rutubet içeriği zaman bağlı olarak genellikle arttığı belirlenmiş olup toprak üstü ve toprakla temas testlerinde ise zaman bağlı olarak rutubet içeriği arttığı gözlemlenmiş de aylara göre inişler ve çıkışlar belirlenmiştir. Odun oranının artmasıyla levhalardaki rutubet içeriği ve ağırlık kayıplarının arttığı, uyumlaştırıcı ilavesiyle de azaldığı belirlenmiştir. Uyumlaştırıcı ilavesiyle remedasyon gruplarının ağırlık kayıpları benzetilmiş dış ortam testinde; %18 (YYPE) ve %40 (PP), toprak üstü testinde; %11 (YYPE ve PP), toprakla temas testinde; %53 (YYPE) ve %60 (PP) azalmıştır. PP gruplarında YYPE gruplarına göre genellikle daha yüksek ağırlık kayıpları olmuştur. Özellikle toprakla temas testinde uyumlaştırıcı kullanılan PP gruplarında dahi rutubet artışının giderek arttığı belirlenmiştir. Dolayısıyla yüksek rutubet içeriği ve UV etkisi sonucu masif sarıçam ve kontrol grupları çürüklüğe (*T. versicolor*) maruz kalmıştır. Ayrıca çürüklük mantarıyla beraber ortamdaki küf mantarının varlığı kontrol grupları üzerinde tespit edilmiştir. Referans masif sarıçam örneklerinde ise test sonunda termit (*R. lucifugus*) zararı söz konusu olmuştur.

2. Pürüzlülük Değişimi: Dış ortam test periyotlarında yüzey pürüzlülük değerleri zamana bağlı olarak genellikle artmakta olup test sonunda kreozot içeren gruplarda pürüzlülük değişimi kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Remidasyon gruplarında ise pürüzlülük değişimi kreozot gruplarına göre daha yüksek çıkmıştır. Polimer tipi olarak yüzey pürüzlülük değerleri PP gruplarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Odun oranı arttığında yüzey pürüzlülük değerleri artmakta olup uyumlaştırıcı ilavesiyle büyük oranda düşmektedir. Uyumlaştırıcı ilavesiyle remidasyon gruplarında Ra-Rz değerleri benzetilmiş dış ortam testinde; %11-%14 (YYPE) ve %27-%44 (PP), toprak üstü testinde; %13-%20 (YYPE) ve %7-%4 (PP), toprakla temas testinde; %5-%6 (YYPE) ve %9-%20 (PP) oranında düşme (iyileşme) belirlenmiştir.

3. Renk Değişimi: Benzetilmiş dış ortam test periyotlarında ΔE^* değerleri 1000 saate kadar artmış olup 1500 saat sonra ise önemli bir değişiklik olmamıştır. Toprak üstü testte ΔE^* değerleri zamana bağlı olarak YYPE’de sürekli yükselen bir eğilimde olup PP’de ise 6. aya kadar artarken 9. ve 12. aylarda tekrar düşmüştür. Toprakla temas testinde ΔE^* değerleri zamana bağlı olarak artmış olup 9. ay sonunda bu artış yavaşlamıştır. Toprakla temas testinde PP gruplarının ΔE^* değerleri yüksek olması, levha gruplarının yüksek rutubet içeriği ile yakından ilişkili olduğu sonucunu işaret etmektedir. Kreozot içeren grupların ΔE^* değerleri, kontrol gruplarına göre genellikle daha düşük olmuştur. Remidasyon gruplarında ise kreozot gruplarına göre renk değişimi daha yüksek olmuştur. Dolayısıyla kimyasal muamele sonucu odun hücre bileşenlerinin, UV’ye karşı direnci düşürdüğü belirlenmiştir. Polimer tipi olarak PP gruplarında ΔE^* değerleri YYPE’ye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Polipropilenin (PP), yüksek yoğunluklu polietilene (YYPE) göre renk stabilitesi daha düşük olduğu literatürle benzerlik göstermektedir. Renk değişimi (ΔE^*) değerleri kompozitteki odun oranına paralel olarak artarken uyumlaştırıcı ilavesiyle azalmaktadır. Dolayısıyla uyumlaştırıcının etkisiyle daha düşük rutubet içeren levha grupları düşük foto-degradasyona maruz kaldığı belirlenmiştir. Uyumlaştırıcı ilavesiyle remidasyon gruplarında ΔE^* değerleri benzetilmiş dış ortam testinde; %22 (YYPE), %16 (PP), toprak üstü testinde; %13 (YYPE), %19 (PP), toprakla temas testinde; %8 (YYPE), %13 (PP) oranında düşme belirlenmiştir. Fakat uyumlaştırıcı ajanın tam olarak yüzeysel koruma sağlayamadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte yüzeysel çatlakların renk değişikliğini arttırdığı belirlenmiştir. Yapılan yüzey pürüzlülüğü sonuçlarıyla doğru orantılı olarak renk değişiminin arttığı tespit edilmiştir.

4. Sertlik Değişimi: Benzetilmiş dış ortam test periyotlarında zamana bağlı olarak sertlik değerleri azalmış olup kreozot içeren gruplarda sertlik değeri kontrol gruplarına göre daha yüksek olmuştur. Polimer tipi olarak PP gruplarında sertlik değerleri zamana bağlı olarak YYPE'ye göre daha yüksek oranda düşmüştür. Odun oranı arttığında sertlik değerleri genellikle düştüğü tespit edilmiştir. Yüzeyleyler arası yüksek bağlanma kuvveti sağlaması ile uyumlaştırıcı ajan sertlik değerlerini arttırmaktadır. Fakat test sonunda uyumlaştırıcı içeren PP gruplarında sertlik değerleri uyumlaştırıcı içermeyen gruplara göre daha düşük olmuştur. Böylelikle PP gruplarında sertlik değerleri için kullanılan uyumlaştırıcı benzetilmiş dış ortam testi sonunda etkinliğini kaybettiği söylenebilmektedir. Sertlik değerleri ile eğilme özellikleri arasında ters bir orantı olduğu çekme dirençleri arasında ise güçlü bir korelasyon olduğu ve doğru orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir.

5. Parlaklık Değişimi: Benzetilmiş dış ortam testinde 500 saat sonrası parlaklık değerlerinde yüksek bir düşüş gözlenmiştir. Ayrıca test başlangıcında kreozot içeren gruplarda parlaklık değerleri kontrol gruplarına göre daha yüksek iken test sonunda daha düşük olmuştur. Polimer tipi olarak PP'de başlangıç parlaklık değerleri daha yüksek iken test sonrasında YYPE'ye göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Odun oranı arttığında parlaklık değerleri genellikle düştüğü tespit edilmiş olup en yüksek düşüş %50 odun unu içeren gruplarda olmuştur. Uyumlaştırıcı ilavesiyle parlaklık değerlerinde düşük bir artışın olduğu söylenebilmektedir. Remidasyon gruplarında uyumlaştırıcı ilavesi ile başlangıç parlaklık değerlerinde YYPE'de %57 oranında artış olmasına rağmen PP'de %6'lık bir düşüş belirlenmiştir.

6. Levhaların Yüzey Kimyası Analizi

• Karbonil ve Vinil İndeksi: Dış ortam testleri sonunda kreozot içeren 4. ve 5. gruplar hariç diğer gruplarda karbonil indeks (CI) ve vinil indeks (VI) değerleri artmıştır. En düşük CI ve VI değişimi uyumlaştırıcı içeren kreozot gruplarında olmuştur. Kontrol gruplarında ise kreozot gruplarına göre yüksek bir artış belirlenmiştir. Genel olarak uyumlaştırıcı ajanın CI ve VI değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. YYPE içeren remidasyon grubunda uyumlaştırıcı ilavesiyle CI ve VI değerlerinde belirgin bir düşüş olurken, PP içeren remidasyon grubunda önemli bir farklılık olmamıştır. CI ve VI değerlerindeki değişim büyük benzerlik göstermiştir. YYPE içeren gruplarda CI ve VI değerleri PP'ye göre genellikle daha yüksek olmuştur. Test tipleri kıyaslandığında ise benzetilmiş dış ortam testinde YYPE içeren grupların CI değerleri daha yüksek olurken toprak üstü testte PP

içeren grupların CI değerleri daha yüksek olmuştur. YYPE gruplarında özellikle %40 odun içeren gruplardaki CI ve VI değerlerindeki artış dikkat çekmiştir.

- Polimer ve Odun İndeksi: Dış ortam testleri sonunda genellikle polimer indeks (PI) değerleri azalırken odun indeks (WI) değerleri artmıştır. PI ve WI değerleri kreozot gruplarında daha düşük, kontrol gruplarında ise yüksek bir artış belirlenmiştir. Uyumlaştırıcı ajan PI ve WI değerlerini düşürmede herhangi bir etkisi olmayıp bazı gruplarda arttırıcı etkisi olduğu söylenebilmektedir. Sadece YYPE içeren remidasyon grubunda uyumlaştırıcı ilavesiyle PI ve WI değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. PI ve WI değerlerindeki değişim büyük benzerlik göstermektedir. Toprak üstü testte PI ve WI değerleri benzetilmiş dış ortam testine göre daha yüksek olmuştur. PI bakımından YYPE grupları genel olarak PP'ye göre daha dirençli olduğu belirlenmiştir. PP gruplarında odun oranı arttıkça PI değerleri her iki testte de düştüğü gözlenmiştir.

- Lignin ve Hidroksil İndeksi: Dış ortam testleri sonunda lignin indeks (LI) ve hidroksil indeks (HI) değerleri genellikle kreozot gruplarında azalırken kontrol gruplarında artmıştır. UV ye maruz kalan odun bileşenleri su alma ile şiştiğinden polimer-odun arasındaki birlikteliği bozarak mikro-çatlaklara neden olmuştur. Bu çatlaklar neticesinde de odun partikülleri dışarıya uzaması söz konusu olduğundan zaman zaman lignin ve hidroksil indekslerinde iniş-çıkışlar gözlenmiştir.

7. Deniz testi

- Ağırlık Kaybı: İstatistiksel analiz sonucu ağırlık kaybı en düşük kreozot gruplarında, en yüksek kontrol gruplarında olmuştur. Ağırlık kayıpları; uyumlaştırıcı ilavesiyle düşmekte olup odun oranı artmasıyla doğru orantılı şekilde artmaktadır. Referans olarak yerleştirilen masif sarıçam örneklerin büyük bir bölümü deniz zararlıları tarafından tahrip edilmiş olup ağırlık kayıpları en az %53,64 seviyelerinde olmuş veya tamamen tahrip edilmiştir. Deniz suyu sıcaklığının arttığı Mayıs ayında, deniz zararlıları örneklere konukçu olarak yerleşmiş olup Eylül ayına kadar özellikle referans örnekleri üzerinde şiddetli tahribata yol açmışlardır.

- Deniz Zararlıları: Örnekler üzerinde konukçu olarak gemi kurdu ve solucanları (*T. navalis*), odun delici kabuklular (*L. tripunctata*, *Chelura*), midyeler (*Bivalvia sp.*), deniz eteği ve ağsı organizmalar (*C. intestinalis*, *P. triqueter*) yerleştiği belirlenmiştir. *T. navalis* özellikle örneklerin radyal kesitlerinden tahribata başlamakta olup örnek içerisinde birçok kanal açtığı belirlenmiştir. *T. navalis* masif sarıçamı neredeyse tamamen tahrip ederken

kontrol OPK gruplarında yüzeysel zarar oluşturduğu belirlenmiştir. *L. tripunctata* ve *Chelura* ise referans örneklerini delerek zarar verdiği tespit edilmiştir.

8. Levhaların Dayanıklılık Sınıflandırması

- Scheffer metoduna göre iklim indeksi Artvin ili için 60,6 olmuştur. Ocak-Mart ve Ekim-Kasım dönemlerine göre iki kat artış gösteren maksimum sıcaklık ve güneşlenme şiddeti; Nisan-Eylül döneminde sırasıyla ortalama 32 °C ve 443 Cal/cm² olmuştur. Nisan-Eylül döneminde yıllık ortalama nispi nem %62 olmakta ve deniz suyu sıcaklığı 21 °C'ye çıkmaktadır. Scheffer metoduna göre Artvin ili çürüklük riski bakımından orta derecede ve yarı nemli bölgede olmasına rağmen yüksek riskli bölge sınıfına oldukça yakın olduğu belirlenmiştir.

- Toprak üstü testinde “dayaniksız” levha grubu bulunmamakta olup uyumlaştırıcı ilavesiyle kreozot içeren gruplar “çok dayanıklı” sınıfına girmiştir. Remidasyon gruplarında uyumlaştırıcı ajanın dayanıklılığı arttırdığı belirlenmiştir. Kontrol grubunda ise odun oranı arttıkça dayanıklılık sınıfı düşmüştür. Öyle ki %50 sarıçam içeren 21. grup “az dayanıklı” sınıfına girmiştir. PP gruplarında dayanıklılık sınıfları genellikle YYPE’ye göre daha düşük olmuştur. Masif sarıçam örnekleri ise “dayaniksız” sınıfına girmiştir.

- Toprakla temas testinde kreozot içeren gruplar genellikle “çok dayanıklı” sınıfına girerken PP içeren kontrol grupları genellikle “dayaniksız” sınıfında yer almıştır. Uyumlaştırıcı ilavesi dayanıklılık sınıfları artarken PP içeren kontrol gruplarında önemli bir etkisi olmamıştır. Benzer şekilde remidasyon gruplarında da uyumlaştırıcının etkisi bulunmamıştır. PP gruplarında dayanıklılık sınıfları genellikle YYPE’ye göre daha düşük olmuştur. PP içeren kontrol gruplarında rutubet içeriğinin yüksek olmasından dolayı örneklerin yüzey ve kenarlarında beyaz çürüklük ve küf mantarları belirlenmiştir. Masif sarıçam örnekleri ise beyaz çürüklük mantarları tarafından önemli oranda tahrip edilerek “dayaniksız” sınıfına girmiştir.

- Deniz testinde ise kreozot içeren bütün gruplar “çok dayanıklı” ve “dayanıklı” sınıfına girerken “orta derece dayanıklı” sınıfına %50 odun içeren kontrol grupları ve PP içeren remidasyon grupları girmiştir. Masif sarıçam örnekleri ise deniz zararlıları tarafından tamamen tahrip edilerek “dayaniksız” sınıfına girmiştir.

5.2.2. Çürüklük Testleri

• Rutubet içeriği ile ağırlık kayıpları arasında ciddi korelasyonun olduğu belirlenmiştir. Ağırlık kaybı oranları literatür ile benzerlik göstermiştir. Kreozot içeren gruplarda ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Odun oranı arttığında ağırlık kayıpları ve rutubet içeriği genellikle artmıştır. Levha gruplarına uyumlaştırıcı ilavesiyle oluşan esterifikasyon reaksiyonu sayesinde rutubet oranları ve buna bağlı mantar etkinliği düşmüştür. Remidasyon gruplarında ağırlık kayıpları kreozot gruplarına göre yüksek, kontrol gruplarına göre düşük bulunmuştur. Çürüklük testlerinde referans olarak kullanılan masif sarıçam örneklerinde; *T. versicolor* için %30,8, *P. placenta* için %33,6, *C. puteana* için %42,2 ve yumuşak çürüklük mantarı olan *C. globosum* için %19,2 oranında ağırlık kaybı olmuştur. Dolayısıyla *C. puteana* esmer çürüklük mantarının diğer mantar türlerine göre etkinliğinin daha yüksek olduğu söylenebilmektedir. Böylelikle *C. puteana*'ya maruz kalan OPK gruplarında daha yüksek ağırlık kayıpları belirlenmiştir. İstatistiksel olarak; *T. versicolor*, *P. placenta* ve *C. globosum* için ağırlık kayıpları Kreozot<Remidasyon<Kontrol şeklinde olmuştur. *C. puteana* mantarında ise remidasyon grupları ile kontrol grupları arasında bir fark bulunmamıştır. EN 350 standardı yardımıyla belirlenen levhaların dayanıklılık sınıfları bakımından tüm levha grupları referans sarıçama göre “çok dayanıklı” sınıfına girmiştir.

• Yumuşak çürüklük sonrası kreozot içeren gruplarda darbe direnci kaybı kontrol gruplarına göre belirgin bir şekilde düşük olmuştur. Polimer tipi olarak PP gruplarında direnç kayıpları YYPE'ye göre daha yüksek olmuştur. Odun oranı arttığında direnç kayıpları da genellikle artmakta olup uyumlaştırıcı ilavesiyle de düşmektedir. Remidasyon gruplarında direnç kayıpları yüksek olduğu belirlenmiştir. Masif sarıçamda direnç kaybı ise %30,04 olmuştur.

5.2.3. Fiziksel Özellikler

• Levha Yoğunlukları: YYPE gruplarında en düşük değer $1,00 \text{ g/cm}^3$, en yüksek $1,07 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenirken PP gruplarında bu değerler sırasıyla $0,95 \text{ g/cm}^3$ ve $1,06 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Kreozot içeren gruplar ile kontrol grupları arasında yoğunluk değerleri bakımından belirgin bir fark görülmemiş olup remidasyon gruplarında ise kontrol

gruplarına göre bir azalma olduğunu söylemek mümkündür. Polimer tipi aynı olan gruplarda belirgin bir farkın olmaması, ekstrüder ile yapılan üretimde odun unlarının aynı boyutta ve homojen olarak karışmasından ileri gelmektedir. Ayrıca, YYPE gruplarının yoğunluk değerleri PP gruplarına göre daha yüksek çıkması literatür ile benzerlik göstermektedir.

- Su Alma ve Kalınlık Artışı Oranı: Odun oranının artmasıyla genellikle su alma ve kalınlık artışı oranları artmaktadır. Uyumlaştırıcı ajan ilavesiyle de bu oranlarda önemli bir azalmanın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kreozotun sahip olduğu su itici özellikteki bileşikler su alma ve kalınlık artışı oranlarını önemli oranda düşürmüş ve kontrol gruplarına göre üstün özellik göstermiştir. Kreozotun remidasyonu sonrası ise söz konusu bileşiklerin uzaklaştırılması sonucu bu etkinliğin kaybolarak su alma ve kalınlık artışı oranlarının artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte YYPE gruplarında PP gruplarına göre su alma oranları genellikle daha düşük çıkmıştır.

5.2.4. Mekaniksel Özellikler

- Eğilme ve Çekme Dirençleri: Kreozot gruplarında eğilme/çekme direnci ve eğilmede/çekmede elastikiyet modülü değerleri kontrol gruplarına göre daha düşük çıkmıştır. Dolayısıyla yağlı bir emprenye maddesi olan kreozotun homojen karışmasına rağmen eğilme/çekme dirençlerini düşürdüğü söylenebilmektedir. Buna rağmen kreozot içeren kompozit malzemenin eğilme/çekme direnci ve eğilmede/çekmede elastikiyet modülü değerleri benzer çalışmalara göre bir hayli yüksek çıkmıştır. Polimer tipleri kıyaslandığında ise PP gruplarının eğilme ve çekme özellikleri YYPE'ye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Literatürde mekanik dirençler genellikle sırasıyla PP>PS>YYPE>LDPE şeklinde azalmakta olup bu çalışma ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca atık plastikler ile üretilen OPK levhaların ilgili standartlara uygun direnç değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte odun oranı artmasıyla eğilme/çekme dirençlerinde düşüş, eğilmede/çekmede elastikiyet modülü değerlerinde ise artış meydana gelmiştir. %3 oranında ilave edilen uyumlaştırıcı ajan ile eğilme ve çekme dirençlerinde yüksek oranda artış meydana gelmiştir. Örneğin uyumlaştırıcı ilavesi ile remidasyon gruplarında; eğilme dirençlerinde yaklaşık %33, çekme dirençlerinde %37 ve elastikiyet modülü değerlerinde ise % 39'lara varan bir artış olmuştur.

- Darbe Direnci: Eğilme ve çekme dirençlerinin aksine YYPE gruplarında PP'ye göre çok daha yüksek darbe direnç değerleri elde edilmiştir. Bu durum saf YYPE'nin (284 J/m) saf PP'ye (29,59 J/m) göre sahip olduğu yüksek darbe direncinden ileri geldiği belirlenmiştir. Yine dikkat çekecek bir sonuç ise YYPE gruplarında odun oranı arttığında darbe dirençleri düşerken PP gruplarında az da olsa bir artış olduğudur. Kreozot içeren YYPE grupların darbe direnci bakımından kontrol gruplarına göre önemli bir üstünlük göstermiş olup bu durum uyumlaştırıcı ajan içermeyen PP gruplarında da benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte uyumlaştırıcı ajan kullanımı ile darbe dirençlerinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bu durum kompozit malzeme üretiminde odun oranının arttırılması ve/veya uyumlaştırıcı ilavesi malzemenin daha sert ve gevrek bir hale gelmesiyle açıklanmakta olup literatürle benzerlik göstermektedir.

- Vida Tutma Direnci: PP gruplarında vida tutma direnç değerleri, eğilme ve çekme dirençlerine benzer şekilde YYPE gruplarından daha yüksek olmuştur. Bu durum saf PP'nin (199,25 N/mm) sahip olduğu yüksek vida tutma direncinden ileri gelmekte ve literatürle benzerlik göstermektedir. Genel olarak %30 ve %40 odun oranı içeren grupları arasında istatistiksel olarak fark gözükme de %50 odun unu içeren gruplarda vida tutma direnç değerleri daha düşük olmuştur. Bununla birlikte, YYPE için kontrol grupları PP için kreozot grupları daha yüksek direnç değerlerine ulaşılmıştır. Uyumlaştırıcı ilavesiyle vida tutma dirençleri genellikle arttığı belirlenmiş olup remidayon gruplarında uyumlaştırıcı ilavesiyle YYPE'de %26'lık, PP'de %18'lik bir artış belirlenmiştir. Tez kapsamında yürütülen çalışma sonunda istatistiksel olarak odun unu oranları bakımından vida tutma dirençleri %30=%40>%50 şeklinde olmuştur. PP gruplarında elde edilen vida tutma dirençleri panel levhalara (yonga levha, MDF vb.) göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

5.2.5. Termal Özellikler

- Termogravimetrik Analiz (TGA): YYPE gruplarında kalıntı miktarı en düşük 13. (S30PE%0) grupta (%4,79), en yüksek 15. (S50PE%0) grupta (%10,29) gerçekleşmiştir. PP gruplarında ise kalıntı miktarı en düşük 10. (K30PP%3) grupta (%5,23), en yüksek 12. (K50PP%3) grupta (%10,76) gerçekleşmiştir. Odun oranının artması ve uyumlaştırıcı ilavesi, termal bozunma sonunda kalıntı madde miktarını arttırmıştır. Ayrıca, PP gruplarında kalıntı madde miktarları genellikle YYPE'den daha yüksek olmuştur. Kreozot gruplarının termal bozunması kontrol gruplarına göre daha düşük sıcaklıklarda başlamıştır.

Dolayısıyla kontrol gruplarında termal kararlılık daha yüksek olmuştur. Remidasyon işlemiyle kreozotun aktif bileşenlerinin uzaklaşması sonucu kreozot gruplarına göre düşükte olsa termal kararlılığı arttığı söylenebilmekte olup analiz sonunda kalıntı oranı da artmıştır.

Ana materyal olarak kreozot içeren odunda bağlı suyun daha geç uzaklaşması veya rutubetin düşük olmasından dolayı başlangıçta sarıçama göre daha yüksek sıcaklıkta (139 °C) %5 ağırlık kaybı olmuştur. Fakat %10'luk ağırlık kaybına bakıldığında kreozotun termal kararlılığı sarıçama göre düştüğü belirlenmiş olup test sonunda %1'lik kalıntı madde farkının ise ekstraktif maddelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Saf PP ise YYPE'ye göre daha düşük sıcaklıklarda termal bozunmaya uğradığı belirlenmiştir. Bu çalışmada uyumlaştırıcı ajanın termal kararlılığa etkisi önemsiz kabul edilmiştir. Literatürde de olukça sık belirtilen TGA termogramları 2 bölgeye ayrıldığı görülmüştür. Bunlardan ilki oda sıcaklığından yaklaşık 400 °C'ye kadar olan bölge, ikincisi 400 °C'den sonraki bölgedir. Keskin bir şekilde ayrılan bu iki bölgeden ilki odunun bozunmasından kaynaklanan bir ağırlık kaybının olduğu ve ikincisinde ise daha çok polimerlerin (YYPE ve PP) bozunduğu sıcaklık aralığı olmuştur.

- Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC): YYPE gruplarında kristallenme oranları, PP gruplarına göre yaklaşık %60'luk bir artış göstermektedir. Bununla birlikte uyumlaştırıcı ajan kullanımı ile kreozot içeren gruplarda kristallenme oranı artmaktayken kontrol gruplarında ise azalmaktadır. Erime sıcaklıkları bakımından kreozot içeren gruplar kontrol gruplarına göre daha düşük sıcaklıklarda erimeye başladığı belirlenmiştir. Remidasyon gruplarında ise kreozot gruplarına göre erime sıcaklıklarının arttığı belirlenmiştir. Uyumlaştırıcı ilavesiyle erime sıcaklıklarının biraz da olsa düşmüştür. Tez kapsamında kullanılan PP gruplarında erime sıcaklığı ortalama 163,56 °C iken literatürde kullanılan saf PP'nin erime sıcaklığını 165,7 °C olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla OPK üretiminde kullanılan polimer tipinin (atık YYPE ve PP) erime sıcaklıklarını düşürdüğü söylenebilmektedir.

- Limit Oksijen İndeksi (LOİ): LOİ değerleri YYPE grupları için 18-23, PP grupları için 18-21 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kreozot gruplarının LOİ değerleri kontrole göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda kreozot içeren odun oranı arttıkça LOİ değerlerinde genellikle düşme belirlenmiştir. Yanma için PP grupları, YYPE gruplarına göre daha düşük oksijen gereksinimi duymuştur. Ana materyal olarak kullanılan masif sarıçamın LOİ değeri 22 olurken YYPE ve PP'nin sırasıyla 19 ve 17 olmuştur. LOİ

değerlerinin düşük olması öncelikle kullanılan atık plastiklerden ileri geldiği belirlenmiştir. Remidasyon işlemine tabi tutulan örneklerde ise LOİ değerlerinde artış gözlenmiştir. ISO 4589 (1996) standardına göre kreozot içeren grupların tamamı, LOİ değerlerine göre kolay yanabilen malzeme sınıfına girmiştir. Standartlara göre saf PP'nin LOİ değeri 18,6 olarak belirlenmişken tez kapsamında kullanılan atık PP'de ise bu değer 17 olmuştur. Dolayısıyla PP gruplarındaki düşüşün nedeni doğrudan kullanılan polimerle ilgili olduğu da söylenebilmektedir.

- Alevin Lineer Yayılma Hızı: YYPE gruplarında yayılma hızı en düşük 15. (S50PE%0) grupta (24,41 mm/dk), en yüksek 6. (K50PE%3) grupta (30,34 mm/dk), PP gruplarında ise en düşük yayılma hızı 7. (K30PP%0) grupta (26,96 mm/dk), en yüksek 8. (K40PP%0) grupta (37,98 mm/dk) elde edilmiştir. Odun oranı arttıkça kreozot içeren gruplarda alevin yayılma hızı genellikle artmış olup kontrol gruplarında ise azalmıştır. LOİ değerlerine benzer olarak PP gruplarında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Kreozot içeriği yanma hızını arttırdığı belirlenmiştir. İstatistiksel olarak yanma hızları Kreozot>Remidasyon>Kontrol şeklinde olmuştur. Remidasyon gruplarında genellikle kreozot içeren gruplara göre yanma hızı düştüğü söylenebilmekte olup aynı zamanda uyumlaştırıcının da etkisi olduğu söylenebilmektedir. Tez kapsamında üretilen tüm gruplarda sarıçam (yüksek reçine içeriği) kullanılması yanma hızlarının yüksek olmasını tetiklemiş olduğu düşünülmektedir.

5.2.6. Morfolojik Özellikler

- Morfolojik Özelliklerin Belirlenmesi: Uyumlaştırıcı içermeyen gruplarda odun ile polimer matrisi arasında oyuklar dikkat çekmiştir. Bu oyukların nedeni odun unu ile polimer matrisi arasında zayıf bağlanma olduğu anlaşılmıştır. Benzer şekilde özellikle kontrol gruplarında odun oranı arttırıldığında odun liflerinin yayılışı homojen olmadığından zayıf bağlanma olduğu gözlenmiştir. Uyumlaştırıcı içeren gruplarda ise bağlanmanın iyileştiği ve daha düzgün yüzeyler elde edildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte uyumlaştırıcı ilave edilen remidasyon gruplarında, uygulanan kimyasal remidasyon işlemi sonrası diğer gruplara göre daha parlak SEM görüntüleri elde edilmiştir.

6. ÖNERİLER

- Çevresel ve Sektörel Öneriler

- Bu çalışmada hizmet süresi sona ermiş kreozot içeren telefon direklerinin remidasyonu, geri dönüşümü ve yeniden kullanımı sistemleri ile ekolojik, ekonomik ve ileri mühendislik ürünü olan OPK üretiminde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Emprenyeli ürünlerin hizmet süresi sonunda bertarafı/geri dönüşümü giderek öne çıkan bir konudur. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda emprenye maddeleri içeren atık telefon direklerinin yeşil ve hibrit kompozit olarak kullanılmasıyla her geçen gün artan atık miktarına karşı bir çözüm getireceği ifade edilmektedir. Önceki yapılan çalışmalarda atıl haldeki CCA ürünlerin OPK üretiminde değerlendirilmesinde ön remidasyon işlemi yapılmamıştır. Hâlbuki bu emprenye maddeleri içerdikleri zehirli bileşiklerden dolayı gerek üretimde gerekse de kullanım yerlerinde tehlike arz etmektedir. Tez çalışmasında olduğu gibi çözücü ekstraksiyon ve benzeri remidasyon yöntemleri ile zararlı bileşenler uzaklaştırılarak daha çevreci ürün elde edilebilmekte ve söz konusu ürünlerin kullanım alanları genişleyebilmektedir.

- Atıl haldeki emprenye ürünlerin OPK'da değerlendirilmesi sadece kreozot, CCA, PCP ve ACQ için değil aynı zamanda yeni nesil emprenye maddeleri için de denenmelidir. Çünkü yeni nesil emprenye maddeleri remidasyon işlemlerine ihtiyaç duymadan OPK üretiminde kullanılması mümkün olmaktadır. Böylelikle lignoselülozik atıklar ve atık plastikler OPK üretiminde değerlendirilerek hem geri dönüştürülmekte hem de ekonomik fayda sağlamaktadır.

- Daha temiz ve yaşanabilir bir çevre için atık miktarının azaltılması gerekmektedir. Bunun gerçekleştirilmesi ise ancak ihtiyatlı malzeme kullanımı, atık oluşumunun azaltılması, geri dönüşüm ve yeniden kullanımın artırılması ve doğal kaynakların rasyonel bir şekilde değerlendirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu kapsamda birçok gelişmiş ülkede "3R" kuralı hayata geçirilmiştir. Bu sistemde amaç ilk olarak atıkların azaltılması (Reduce), daha sonra bir ürünün yeniden kullanılmasını (Reuse) ve bir malzemenin geri dönüşümünün (Recycle) gerçekleştirilmesidir. Daha dayanıklı malzemenin kullanılması, daha az hammadde gerektiren tasarımların hayata geçirilmesi ile azaltma (Reduce) sağlanabilmektedir. Yeniden kullanma (Reuse) ise malzemenin tamir edilmesi ya da tekrar

kullanılmasının sağlanması ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle geri dönüşüm sistemlerinin kurulması ve yaygınlaştırılması gerekmekte olup ilgili yasal direktiflerle bu amaç kalıcı hale getirilmelidir.

- Emprenyeli odunların çevresel etkileri ve güvenilirliği kritik bir konudur. Günümüzde çevresel kaygılar ve düzenlemeler öncelikli konular arasına girmiştir. Dolayısıyla bu ürünlerin yaşam döngüsü analizleri (life cycle analysis) ve üretimden bertarafına kadar ki (cradle-to-grave; beşikten mezara) sürecin belirlenmesi zaruridir. Odun koruma amacı güdülererek bu maddelerin kullanılma zorunluluğunun yanında çevresel yönler ve ekonomik maliyetler düşünülerek tarafsız bir gözle değerlendirme yapılmalıdır.

- Emprenyeli ürün tipleri de en az bertarafında kullanılan yöntemler kadar önemli olmaktadır. Değerli bir kaynak olarak atıl haldeki emprenyeli ürünlerin bertarafı için yakma ve ikincil ürün seçenekleri dışında sayısız yöntem ele alınabilmektedir. Fakat bu yöntemlerin ekonomik ve çevresel zehirlilik etkisi olmayan yönleri olması gerekmektedir.

- Emprenyeli ürünlerin sadece servis ömrü sona ermesiyle değil aynı zamanda çeşitli nedenlerle kullanım dışı kalmaktadır. Örneğin Artvin ilinde yapılan barajlar dolayısıyla her yıl yaklaşık 2000 tel direği yerinden sökülüp atıl hale gelmektedir. Ülkemizde atıl haldeki telefon direklerinin öncelikle depolarda bekletildiği ve daha sonra doğrudan satışı ile herhangi bir işlem yapmadan alternatif yerlerde (çit yapımı, çatı elemanı, yakacak odun vb.) kullanılması sağlanmaktadır. Hâlbuki gelişmiş ülkelerde hizmet ömrünü doldurmuş ahşap malzemelerin bir takım geri dönüşüm proseslerinden geçirildikten sonra endüstri kollarında tekrar kullanıma girmesi sağlanmaktadır. Bahsi geçen geri dönüşüm sistemlerinden bir tanesi de odun plastik kompozitleri (OPK) olmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında kreozot içeren emprenyeli odunlarla birlikte atık plastiklerin değerlendirilerek OPK üretilmiştir.

- Biyo-bozunur kompozit üretimi (yeni nesil OPK) atık ürünlerin kullanımı ile daha etkin olabilmekte ve amacına ulaşabilmektedir. Dolayısıyla atık malzemelerin değerlendirilmesi ilgili sektörün yasal mevzuatlarla teşvik edilmesi gerekmektedir.

- OPK Ürünlerin Performanslarına Yönelik Öneriler

- Çalışma kapsamında üretilen OPK varyasyonlarından (bütün bulgular ışığında) %3 uyumlaştırıcı ajan içeren ve %30-40 kreozot içeren levhalar bütün dış ortam şartlarında kullanılabilir. Remidasyon grupları ise daha çok insan temasının direkt olacağı yerlerde kullanılacak ürünlerde denenebilir.

- OPK ürünlerin dış ortam faktörlerinden daha az etkilenmesi ve performanslarının artırılması için lignoselülozik materyallerin termal veya kimyasal modifikasyonu yapılabilir. Ayrıca çeşitli UV absorbanlar/stabilizatörler, titanyum dioksit, demir oksit, çinko sülfid, çinko oksit ve farklı pigmentler üretim sürecinde denenebilir.

- OPK ürünlerin, dış ortamda bozunma derecesi iklim şartlarına, güneş ışınlarına, sıcaklığa, yağmura, nem, kirliliğe, termal döngülere ve oksijen içeriğine bağlı olmaktadır. Tüm bu parametreler bölgeden bölgeye değişmekte ve önemli farklılıklar oluşturmaktadır. Bu nedenle söz konusu çalışmaların farklı iklim koşullarında yapılarak hizmet süresi belirlenebilir. Test yöntemi olarak her ne kadar doğal dış ortam testleri daha iyi ve kabul edilebilir sonuç verse de sertifikasyon ve kalite kontrol gibi işlemler için benzetilmiş dış ortam testleri hızlı ve pratik olmasıyla daha çok tercih edilmektedir. Dolayısıyla doğal dış ortam ve benzetilmiş dış ortam testleri arasında korelasyon ve modellemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

- OPK ürünlerin mantar zararlılarına karşı direnç özellikleri önemlidir. Dolayısıyla bu ürünlerin dış ortamda kullanılmadan önce mutlaka laboratuvar şartlarında çürüklük testlerine tabi tutulması gerekmektedir. Ayrıca, yeni akademik çalışmalarda OPK ürünlerin çürüklük testleri öncesi mutlaka rutubetlendirilmesi önerilmekte, bu şekilde test etkinliği artırılarak daha doğru sonuçlar alınmaktadır.

- OPK ürünlerin bağlantı elemanları ile ilişkileri içerdikleri rutubete ve kullanım yeri şartlarına göre değişebilmektedir. Dolayısıyla özellikle vida/çivi tutma testlerinin hava kurusu rutubet dışında, yüksek rutubetli veya su alma testi sonrasında da yapılarak vida/çivi tutma direnç özellikleri incelenmelidir.

- Özellikle emprenye maddesi içeren levhalarda yıkanma testinin yapılması kullanım yeri için önemli olmaktadır. Aynı zamanda bu ürünlerin metallerle birlikte kullanılması sonucu korozyon dirençleri de bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla yıkanma ve korozyon testleri yapılması önerilmektedir.

- Deniz testlerinde levha örneklerinin içyapısında ki değişiklikleri ve deniz zararlılarının tahribat oranını daha iyi belirlemek için X-ray görüntüleme önerilmektedir.

- TGA ve DSC ile birlikte termal özellikleri belirlemede, Alevin yayılma hızı ve LOİ testleri de yapılmalıdır. Nitekim yapılan çalışmalarda sadece TGA analizi ile bu ürünlerin termal özellikleri tam olarak anlaşılammamaktadır. OPK ürünlerin alev alma hızı, tutuşma seviyeleri ve yanmaları için gerekli oksijen miktarı gibi veriler kullanım yeri için önemli

olmaktadır. Ayrıca termal kararlılığı arttırmak için borlu ve fosfat bileşikleri üretim sürecine dahil edilmesi önerilmektedir.

•OPK ürünlerin dış ortam testleri süresince dinamik mekanik dirençler ve SEM yardımıyla da iç morfolojilerindeki zamansal değişim incelenmelidir. Benzer şekilde TGA, DSC, LOİ ve alevin yayılma hızı gibi termal özellikler dış ortam testleri periyotlarında değişimi belirlenmelidir.

7. KAYNAKLAR

- Abdelkader, S. ve Hamed, M., 2013. In-vitro Studies on Wood Degradation in Soil by Soft-rot Fungi: *Aspergillus Niger* and *Penicillium chrysogenum*, International Biodeterioration&Biodegradation, 78, 98-102.
- Abeyasinghe, U.M., 2011. Pressure and Non Pressure Preservation Methods for Rubber (*Hevea brasiliensis*) Wood Treatment by Boron Preservatives, Bsc Thesis, Depart. of Forestry and Env. Science, Faculty of App. Sci., University of Sri Jayewardenepura, Nugegoda, Sri Lanka, 106 p.
- Adhikary, K.B., 2008. Development of Wood Flour-Recycled Polymer Composite Panels As Building Materials, PhD Thesis, University of Canterbury, Chemical and Process Engineering, New Zealand, 212 p.
- Adhikary, K.B., Pang, S. ve Staiger, M.P., 2008. Long-Term Moisture Absorption and Thickness Swelling Behavior of Recycled Thermoplastics Reinforced with *Pinus radiata* Sawdust, Chem. Eng. J., 142, 190-198.
- Adhikary, K.B., Pang, S. ve Staiger, M.P., 2009. Accelerated Ultraviolet Weathering of Recycled Polypropylene-Sawdust Composites, J. of Thermoplastic Composite Materials, 22, 6, 661-679.
- Adhikary, K.B., Pang, S. ve Staiger, M.P., 2010. Effects of the Accelerated Freeze-Thaw Cycling on Physical and Mechanical Properties of Wood Flour-Recycled Thermoplastic Composites, Polym. Compos., 31, 185-194.
- Akbaş, S., Güleç, T., Tufan, M., Taşçıoğlu, C. ve Peker, H., 2013a. Fındık Kabuklarının Polipropilen Esaslı Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 14,1, 50-56.
- Akbaş, S., Tufan, M., Güleç, T. ve Temiz, A., 2013b. Utilization of Walnut Shells as Filler in Polymer Composites, International Caucasian Forestry Symposium, October 2013, Artvin-Turkey, Bildiriler Kitabı, 947-953.
- Akyüz, Ö.F., 2001. Plastik ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş, PAGEV Yayınları, İstanbul, 58-65.
- Alan, M., Öztürk, H., Şıklar, S., Ezen, T., Korkmaz, B., Çalışkan, B., Özler, H. ve Derilgen, I., 2008. İç Anadolu Batı İslah Zonu'nda (1300-1700 m) Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Döl Denemeleri (6. Yaş Sonuçları), Orman Ağaçları ve Tohumları İslah Araştırma Müdürlüğü, Ankara, 31 s.
- Alma, M.H., 2007. Odun Bileşenlerinden Faydalanma Ders Notu, KSU Orman Fakültesi (Basılmamış Ders Notları), Kahramanmaraş, 212 s.

- Alver, E., Demirci, A. ve Özcimder, M., 2012. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar ve Sağlığa Etkileri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31, 45-52.
- Andrady, A.L., Hamid, S.H., Hu, X. ve Torikai, A., 1998. Effects of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Materials, J. of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 46, 96-103.
- Anonim, 1971. Creosote for Wood Preservation, the International Research Group on Wood Preservation, Forest Products Research Laboratory, Buckinghamshire, England, IRG/WP.
- Anonim, 1998. Artvin İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, Rapor No 10165.
- Arao, Y., Nakamura, S., Tomita, Y., Takakuwa, K., Umemura, T. ve Tanaka, T., 2014. Improvement on Fire Retardancy of Wood Flour/Polypropylene Composite Using Various Fire Retardants, Polymer Degradation and Stability, 100, 79-85.
- Archer, K. ve Lebow, S., 2006. Wood Preservation, Primary Wood Processing Principles and Practice, Dordrecht, Netherlands, Chapter 9, 297-338.
- Ashori, A. ve Nourbakhsh, A., 2009. Characteristics of Wood-Fiber Plastic Composites Made of Recycled Materials, Waste Management, 29, 1291-1295.
- ASTM D1037, 1999. Standard Test Method for Evaluating Properties of Wood-base Fiber and Particle Panel Materials, American Society for Testing and Materials West Conshohocken, USA, 32 p.
- ASTM D2481, 1994. Standard Test Method for Accelerated Evaluation of Wood Preservatives for Marine Services by Means of Small Size Specimens, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 4 p.
- ASTM D256, 2010. Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 20 p.
- ASTM D2863, 2009. Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index), American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 14 p.
- ASTM D390, 1999. Standard Specification for Coal-Tar Creosote for the Preservative Treatment of Piles, Poles, and Timbers for Marine, Land, and Freshwater Use, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 2 p.
- ASTM D4366, 1995. Standard Test Methods for Hardness of Organic Coatings by Pendulum Damping Tests, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 4 p.

- ASTM D523, 2008. Standard Test Methods for Specular Gloss, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 5 p.
- ASTM D635, 2014. Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastic in A Horizontal Position, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 7 p.
- ASTM D638, 2010. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 17 p.
- ASTM D790, 2010. Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 11 p.
- ASTM D792, 2004. Density of Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 6 p.
- ASTM G154, 2006. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, USA, 12 p.
- AWPA A6, 2006. Methods for the Determination of Oil-type Preservative and Water in Wood, American Wood Protection Association, Granbury, USA, 7 p.
- AWPA C2, 2001. Lumber, Timber, Bridge Ties and Mine Ties-Preservative Treatment by Pressure Processes, American Wood Protection Association, Granbury, USA, 12 p.
- AWPA E7, 2006. Standard Method of Evaluating Wood Preservatives by Field Tests with Stakes, American Wood Protection Association, Granbury, USA, 10 p.
- AWPA E9, 2006. Standard Field Test for the Evaluation of Wood Preservatives to be Used in Non-Soil Contact (UC3A and UC3B), American Wood Protection Association, Granbury, USA, 5 p.
- AWPA, 2012. Annual Book of AWPA Standards, American Wood Protection Association, Birmingham, Alabama, USA, 633 p.
- Ayrilmis, N., Akbulut, T., Dundar, T., White, R.H., Mengeloglu, F., Buyuksari, U., Candan, Z. ve Avci, E., 2012. Effect of Boron and Phosphate Compounds on Physical, Mechanical, and Fire Properties of Wood-Polypropylene Composites, Construction and Building Materials, 33, 63-69.
- Ayrilmis, N., Dundar, T., Kaymakci, A., Ozdemir, F. ve Kwon, J.H., 2014. Mechanical and Thermal Properties of Wood-Plastic Composites Reinforced with Hexagonal Boron Nitride, Polymer Comp., 35, 1, 194-200.

- Barbara, L.I., Yang, V.W. ve Ferge, L., 2000. Bioprocessing Preservative-Treated Waste Wood, Annual Meeting, Kona, Hawaii, USA, IRG/WP 00-50145, 11 p.
- Bartos, T., Cupr, P., Klánová, J. ve Holoubek, I., 2009. Which Compounds Contributed Most to Elevated Airborne Exposure and Corresponding Health Risks in the Western Balkans, Environment International, 35, 1066–1071.
- Baysal, E., Yalinkilic, M.K., Altinok, M., Sonmez, A., Peker, H. ve Colak, M., 2007. Some Physical, Biological, Mechanical, and Fire Properties of Wood Polymer Composite (WPC) Pretreated with Boric acid and Borax Mixture, Construction and Building Materials, 21, 1879-1885.
- Bazyar, B., Tichi, A.H. ve Rangavar, H., 2011. Particleboard Made from Fast Growing Aspen Wood and Old Rail Road Ties, Australian J. of Basic and Applied Sciences, 5,8, 548-553.
- Becker, L., Matuschek, G., Lenoir, D. ve Kettrup, A., 2001. Thermal Degradation of Wood Treated with Creosote, J. of Analytical and Applied Pyrolysis, 57, 15-36.
- Beg, M.D.H., 2007. The Improvement of Interfacial Bonding, Weathering and Recycling of Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites, PhD Thesis, University of Waikato, New Zealand, March 2007, 194 p.
- Benavente, D., Martínez, F.V., Bernabeu, A., Viqueira, V., Fort, R. ve Cura, M.A., 2009. Influence of Surface Roughness on Color Changes in Building Stones, Color Res. Appl., 28,5, 343-51.
- Bengtsson, M., Stark, N.M. ve Oksman, K., 2007. Durability and Mechanical Properties of Silane Cross-Linked Wood Thermoplastic Composites, Composites Science and Technology, 67, 2728–2738.
- Bergknut, M., 2006. Characterization of PAH-Contaminated Soils Focusing on Availability, Chemical Composition and Biological Effects, Environmental Toxicology and Chemistry, 23,8, 1861-1866.
- Bestari, K.T.J., Robinson, R.D. ve Steel, T.S., 1998. Distribution of PAH in Microcosm Treated with Impregnated Creosote, J. of Environmental Toxicological Chemistry, 17, 2369-2377.
- Binhussain, M.A. ve El-Tonsy, M.M., 2013. Palm Leave and Plastic Waste Wood Composite for Out-door Structures, Constr. and Buil. Materials, 47, 1431-1435.
- Bledzki, A.K., Franciszczak, P. ve Mamun, A., 2014. The Utilization of Biochemically Modified Microfibers from Grain by-Products as Reinforcement for Polypropylene Biocomposite, eXPRESS Polymer Letters, 8, 10, 767-778.

- Bolin, C.A. ve Smith, S.T., 2010. End of Life Management of Preserved Wood The Case for Reuse for Energy, Western Wood Preservers Institute, Technical Review And Use Recommendations Stratus Consulting, November 2010, 44 p.
- Bouafif, H., Koubaa, A., Perre, P., Cloutier, A. ve Riedl, B., 2009. High-Density Polyethylene Composites: Thermal Sensitivity and Nucleating Ability of Wood Particles, J. of Applied Polymer Science, 113, 593-600.
- Bozkurt, A.Y. ve Erdin, N., 1997. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İÜ Yayını, No: 3998, Fakülte Yayın No: 445, İstanbul, 372 s.
- Bozkurt, A.Y. ve Kurdoğlu, A., 1982. Türkiye’de Binalarda Kullanılan Ağaç Malzemenin Çürümesi ile İlgili İklim Endeksleri, İÜ Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 32, 2, 92-102.
- Bozkurt, A.Y., Erdin, N. ve Ünligül, H., 1995. Odun Patolojisi Ders Kitabı, İ.Ü. Yayınları, İstanbul, 398 s.
- Bozkurt, A.Y., Göker, Y. ve Erdin, N., 1993. Emprenye Tekniği, İÜ Yayın No: 3779, Fakülte Yayın No: 425, İstanbul, 429 s.
- Brewer, S.A., 2004. Carbon Black Pigments for Plastics, In: Charvat, R.A. Coloring of Plastics, Fundamentals, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, USA, 159-174.
- Brooks, K.M., 2000. Assesment of the Environmental Effects Associated with Wooden Bridges Preserved with Creosote, Pentaclorophenol, or Chromated Copper Arsenate. Res. Pap. FPL-RP-587. Madison, US, 100 p.
- Brooks, K.M., 2002. Characterizing the Environmental Response to Pressure-Treated Wood, In Enhancing the Durability of Lumber and Engineered Wood Products, Forest Products Society, Madison, Wisconsin, 59-71.
- Brooks, K.M., 2006. Creosote-Treated Wood in Aquatic Environments: Technical Review and Use Recommendations, Creosote Treated Timber in the Alaskan Marine Environmnet: A Report to the Alaska Department of Transportation and Public Facilities, Draft Final Report, 27 p.
- Brudermann, G.E., 2008. An Inventory of Creosote In Ontario, Report Prepared for Environment Canada, Ontario Region Under Contract No: KW405-07-0933, Frido Consulting Inc., Canada, 35 p.
- Bumpus, J.A., Tien, M., Wright, D. ve Aust, S.D., 1985. Oxidation of Persist Environmental Pollutants By A White-Rot Fungus, Science J., 228, 1434-1436.
- Cademartori, P.H.G., Missio, A.L., Mattos, B.D., Gatto, D.A., Magalhaes, W.L.E. ve Lima, E.A., 2015. Roughness and Color Evaluation of Wood Polymer Composites Filled by Household Waste of Mate-Tea, Maderas-Cienc Tecnol., 17,3, 457-468.

- Cademartori, P.H.G.D., Mattos, B.D., Missio, A.L. ve Gatto, D.A., 2014. Color Responses of Two Fast-Growing Hardwoods to Thermal Treatment, Materials Research, 17, 2, 487-493.
- Carll, C.G. ve Highley, T.L., 1999. Decay of Wood and Wood-Based Products Above Ground in Buildings, J. of Testing and Evaluation, 27, 2, 150-158.
- Catallo, J.W. ve Shupe, T.F., 2003. Hydrothermal Treatment of Creosote-Impregnated Wood, Wood and Fiber Science, 35, 4, 524-531.
- Catto, A.L., Almada, S.H. ve Santana, R.M.C., 2014. Abiotic Degradation of Recycled Polymer/Wood Composites Exposed to Outdoor Applications, J. of Materials Science and Engineering A, 4, 11, 321-329.
- Caulfield, D.F., Clemons, C., Jacobson, R.E. ve Rowell, R.M., 2005. Wood Thermoplastic Composites, Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Chapter 13, CRC Press, 14 p.
- Çavdar, A.D., 2011. Farklı Lignoselülozik ve Termoplastik Maddelerle Üretilen Odun-Plastik Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 268 s.
- Celebi, G. ve Kilic, M., 2007. Nail and Screw Withdrawal Strength of Laminated Veneer Lumber Made up Hardwood and Softwood Layers, Constr. Build. Mater., 21, 894-900.
- C-EPA, 1994. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Priority Substances List Assessment Report, Government of Canada, Canadian Environmental Protection Act., No. En40-215/42e, ISBN 0-662-22209-1, 41 p.
- C-EPA, 2004. Industrial Treated Wood Users Guidance Document, Environment Canada, Wood Preservation Strategic Options Preprocess Guideline Development Working Group, Canadian Environmental Protection Act., ISBN En4-42/2004E-PDF 0-662-37885-7, 83 p
- C-EPA, 2013. Recommendations for the Design and Operation of Wood Preservation Facilities, Technical Recommendations Document (TRD), December 2013, The Pest Management Regulatory Agency of Health Canada & Wood Preservation Canada, Canadian Environmental Protection Act., 33 p.
- Çetin, N.S., Alma, M.H. ve Baştürk, M.A., 2000. Yeni Kompozitler Üretmek Amacıyla Doğal Lignoselülozik Lifler ile Sentetik Polimerler Arasında Uyum Sağlayan Birleştirici Maddeler ve Metotlar, KSU Fen ve Mühendislik Dergisi, 3, 2, 58-68.
- Chaharmahali, M., Hamzeh, Y., Ebrahimi, G., Ashori, A. ve Ghasemi, I., 2014. Effect of Nano-Graphene on the Physico Mechanical Properties of Bagasse/Polypropylene Composites, Polymer Bull., 71, 337-349.

- Chaharmahali, M., Tajvidi, M. ve Najafi, A.K., 2008. Mechanical Properties of Wood Plastic Composite Panels Made from Waste Fiberboard and Particleboard, Polym. Compos., 29, 606–610.
- Chakraborty, A., 2001. Investigation of the Loss of Creosote Components from Railroad Ties, Master Thesis, Chemical Engineering and Applied Chemistry University of Toronto, Canada, 157 p.
- Chaochanchaikul, K., Jayaraman, K., Rosarpitak, V. ve Sombatsompop, N., 2012. Influence of Lignin Content on Photodegradation in Wood/HDPE Composites Under UV Weathering, BioResources, 7, 1, 38-55.
- Chaochanchaikul, K., Rosarpitak, V. ve Sombatsompop, N., 2013. Photodegradation Profiles of PVC Compound and Wood/PVC Composites Under UV Weathering, eXPRESS Polymer Letters, 7, 2, 146-160.
- Chavooshi, A., Madhoushi, M., Navi, M. ve Abareshi, M.Y., 2014. MDF Dust/PP Composites Reinforced with Nanoclay: Morphology, Long-Term Physical Properties and Withdrawal Strength of Fasteners in Dry and Saturated Conditions, Const. and Buil. Materials, 52, 324-330.
- Chow, P. ve Bajwa, D.S., 1998. Weathering Effects on the Decay Resistance of Creosote-Treated Oak, American Wood-Preservers' Association, 94th Annual Meeting, May 1998, Arizona, US, 9 p.
- Chow, P., Lambert, R.J. ve Bowers, C.T., 2000. Physical and Mechanical Properties of Composite Panels Made from Kenaf Plant Fibers and Plastics, International Kenaf Symposium, Yasuura, Hiroshima, Japan, 139-143.
- CITW, 1997. Best Management Practices for the Use of Treated Wood in Aquatic Environments, Canadian Institute of Treated Wood, Vancouver, 26 p.
- Clausen, C.A. ve Lebow, S.T., 2011. Reuse and Disposal, Managing Treated Wood in Aquatic Environments, Chapter 12, 435-450, ISBN 978-1-892529-59-6.
- Clausen, C.A. ve Smith, R.L., 1998. Removal of CCA from Treated Wood by Oxalic Acid Extraction, Steam Explosion, and Bacterial Fermentation, J. Indust. Microbiol. & Bact., 20, 251-257.
- Clausen, C.A., 2003. Reusing Remediated CCA-Treated Wood, Managing the Treated Wood Resource-II, American Wood Preservers' Association, 49–56.
- Clemons, C., 2002. Wood Plastic Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries, Forest Products J., 52, 6, 10-8.
- Clemons, C.M. ve Ibach, R.E., 2003. Application of Laboratory Fungal Resistance Test to Solid Wood and Wood-Plastic Composite, Plast. Build. Construct., 27, 2, 7-14.

- Clemons, C.M. ve Ibach, R.E., 2004, The Effects of Processing Method and Moisture History on the Laboratory Fungal Resistance of Wood-HDPE Composites, Forest Prod J., 54, 4, 50-57.
- Clemons, C.M. ve Caulfield, D., 2005. Functional Fillers for the Thermoplastics, In Natural Fibers, Wiley-VCH Verlag, GmbH&Co.KGaA, Chapter 11, 195-206.
- ÇOB, 2009. Türkiye’de Sanayinden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetiminin İyileştirilmesi, Tehlikeli Atıkların Sınıflandırılması, Çevre ve Orman Bak., Cilt I. Life “Hawaman” Projesi, Ankara, LIFE06 TCY/TR/000292, 113 p.
- Cole, F., ve Clausen, C.A., 1997. Bacterial Biodegradation of CCA Treated Waste Wood, In: Proceedings Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Prod. Soc., Madison, WI, 201–204.
- Colom, X., Carrillo, F., Nogues, F. ve Garriga, P., 2003. Structural Analysis of Photodegraded Wood by Means of FTIR Spectroscopy, Polym. Degrad. Stabil., 80, 543–549.
- Conell, M., 1999. Waste Management Options in the Wood Production Industry, J. of the Institute of Wood Science, 15, 1, 51-8.
- Conlon, P., 1992. Crosstie Disposal Problem or Opportunity? Proceedings of the Treated Wood Life-Cycle Management Workshop, American Wood Preservers Institute, Vienna, 18-26.
- Cooper, P.A., 1993. Leaching of CCA: Is it a Problem? Disposal of Treated Wood Removed from Service: The issues; Proceedings from the Environmental Consideration in the Manufacture, Use and Disposal of Preservative Treated Wood, Carolinas’ Chesapeake Section of Forest Products Society, Richmond, 45-54.
- Cooper, P.A., 1994. Disposal of Treated Wood Removed from Service; The issues, Environmental Considerations in the Manufacture, Use and Disposal of Preservative-Treated Wood Proceedings, Forest Products Society, Wisconsin, USA, 85-90.
- Cooper, P.A., 2003. A Review of Issues and Technical Options for Managing Spent CCA Treated Wood, Presented at American Wood Preservation Association (AWPA) Annual Meeting, Boston, Mass., April 2003, 17 p.
- Cooper, P.A., Ung, Y.T., Huang, C. ve Wang, X., 1998. Cement Bonded Boards Using CCA Treated Wood Removed from Service, In Proc. Bonded Wood and Fiber Composites Materials, Idaho State U., 6, 330-348.
- Cooper., P.A., 1990. Disposal of Treated Wood, the International Research Group on Wood Preservation, Cannes, France, IRG/WP/3563, 241-248.

- Corn, M.R., Corn, J. M. ve Marotta P.J., 2010. Analysis of the Vapor Plume at the End of the Creosote Wood Treatment Cycle, *AquaEter*, Brentwood, Tennessee, 9 p.
- Cui, Y., Lee, S., Noruziaan, B., Cheung, M. ve Tao, J., 2008. Fabrication and Interfacial Modification of Wood/Recycled Plastic Composite Materials, *Composites Part A*, 39, 4, 655–661.
- Dabestani, R. ve Ivanov, I.N., 1999. A Complication of Physical, Spectroscopic and Photophysical Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, *Photochemistry and Photobiology*, 70, 10-34.
- Danyi, S., Bose, F., Brasseur, C., Schneider, Y.J., Larondelle, Y. ve Pussemier, L., 2009. Analysis of EU Priority Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food Supplements Using High Performance Liquid Chromatography Coupled to An Ultraviolet, Diode Array or Fluorescence Detector, *Analytica Chimica Acta*, 633, 293-699.
- Darabi, P., Gril, J., Thevenon, M.F., Karimi, A.N. ve Azadfalsh, N., 2012. Evaluation of High Density Polyethylene Composite Filled with Bagasse After Accelerated Weathering Followed by Biodegradation, *BioResources*, 7, 4, 5258-5267.
- Darwish, S. ve El-Hadidi, N.M.N., 2008. The Effect of Solvents on the Chemical Composition of Archaeological Wood, Giza through the Ages Congerence, Faculty of Archaeology, Cairo University, 17 p.
- Defoirdt, N., Gardin, S., Bulcke, J.V. ve Acker, J.V., 2010. Moisture Dynamics of WPC and the Impact on Fungal Testing, *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 64, 65-72.
- DeGroot, R.C. ve Felton, C.C., 1995. Current and Future Options for Managing Used Preservative-Treated Wood, Annual Meeting, the International Research Group on Wood Preservation, Helsingör, Denmark, IRG/WP 95-50042, 12 p.
- DeGroot, R.C. ve Woodward, B., 1999. Wolfiporia Cocos-A Potential Agent for Composting or Bioprocessing Douglas-Fir Wood Treated with Copper-Based Preservatives, *Material U. Organismen*, 195-215.
- Demirel, M., 2007. Cam Elyaf Takviyeli Poliester Kompozitlere Yanmazlık Özelliği Kazandırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2007, Ankara, 179 s.
- Deng, Y. ve Tang, Y., 2010. Increasing Load-Bearing Capacity of Wood-Plastic Composites by Sandwiching Natural and Glass Fabrics, *J. of Reinforced Plastics and Composites*, 29, 3133–3148.
- Deniz, İ., Yaylı, N., Kırcı, H., Tutuş, A., Özberk, İ., Polat, T., Kolaylı, H. ve Şahin, İ.H., 2009. Şanlıurfa Bölgesi'ndeki Ekin Saplarının Kağıt Özelliklerine Yetiştirme Ortamının Etkisi, TÜBİTAK 1001 Projesi, Ankara, 179 p.

- Devi, R.R., Mandal, M. ve Maji, T.K., 2012. Physical Properties of Simul (Red-Silk Cotton) Wood (*Bombax ceiba* L.) Chemically Modified with Styrene Acrylonitrile Co-polimer and Nanoclay, Holzforschung, 66, 365-371.
- Di-Blasi, C., 2008, Modeling Chemical and Physical Processes of Wood and Biomass Pyrolysis, Prog. Energy Combust. Sci., 34, 47–90.
- Doan, T.T.L., Brodowsky, H. ve Mader, E., 2007. Jute Fibre/Polypropylene Composites II. Thermal, Hydrothermal and Dynamic Mechanical Behavior, Composites Science and Technology, 67, 2707-2714.
- Doğu, A.D., 2009. Çekme Odununun Makraskobik ve Mikroskobik Yöntemle Tespiti, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10, 1, 151-159.
- DTSC, 2008. Sampling and Analysis Study of Treated Wood (Draft), the Department of Toxic Substances Control, Environmental Chemistry Laboratory. Section 66262.24, Chapter 11, 19 p.
- Du, H., Wang, W., Wang, Q., Zhang, Z., Sui, S. ve Zhang, Y., 2010. Effects of Pigments on the UV Degradation of Wood-Flour/HDPE Composites. J. Appl. Polym. Sci., 118, 2, 1068–1076.
- Dündar, T., 2005. Sarıçamda Değişik Silvikültürel Müdahalelerin Odunun Teknolojik Özellikleri Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 278 s.
- EAG, 1990. The Environmental Toxicology of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Prepared for the Ontario Ministry of the Environment, Environmental Application Group, Toronto, Ont., 296 p.
- ECD, 2008. General Environment Protection the Natural Environment ENV.B.3-Biotechnology, Pesticides and Health, European Commision Directorate, 30th Meeting of Representatives of Members States Competent Authorities for the Implementation of Directive 98/8/EC, September 2008, 12 p.
- Eker, A.A., 2009. Plastiklerin Şekillendirilme Yöntemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Basılmamış Ders Notu, İstanbul, 94 s.
- EN 113, 1996. Wood Preservatives-Method of Test for Determining the Protective Effectiveness Against Wood Destroying Basidiomycetes-Determination of the Toxic Values, European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 13991, 2003. Derivatives from Coal Pyrolysis-Coal Tar Based Oils: Creosoted-Specifications and Test Methods, European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 350-1, 1994. Durability of Wood and Wood-based Products-Natural Durability of Solid Wood-Part 1: Guide to the Principles of Testing a Classification of the Natural Durability of Wood, European Committee for Standardization, Brussels.

- ENV 807, 2001. Wood Preservatives-Determination of Toxic Effectiveness Against Soft Rotting Microfungi and Other Soil Inhabiting Microorganisms, European Committee for Standardization, Brussels.
- Envirochem, 1991. An Inventory of Sources, Uses and Waste Disposal Practices of Creosote in Canada, Prepared for Environment Canada, Environmental Protection Service, Western and Northern Region, Edmonton, Alta., 74 p.
- Esfarili, A., Yamini, Y., Ghambarian, M. ve Moradi, M., 2011. Dynamic Three-Phase Hollow Fiber Microextraction Based on Two Immiscible Organic Solvents with Automated Movement of the Acceptor Phase, J. of Separation Science, 34, 98-106.
- Esslyn, W. E., 1976. Wood Preservative Degradation by Marine Bacteria, Proceedings of the 4th International Biodegradation, Appl. Sci. Publ., London, UK, 679-686.
- ETNO, 2007. Common Position on the Reuse of CCA and Creosote Impregnated Telephone Poles, European Telecommunications Network Operators's Association, ETNO Common Position CP080, 3 p.
- EUC, 2003. The European Commission Directive 2003/2/EC of 6 January 2003 Relating to Restrictions on the Marketing and Use of Arsenic, Official J. of the European Communities, Directive 76/769/EEC, 4 p.
- EUC, 2007. Competent Authority Report, Work Programme for Review of Active Substances in Biocidal Products Pursuant to Council Directive 98/8/EC, Creosote (PT8), European Commission, 54 p.
- EUC, 2011. Plastic Waste in the Environment-Revised Final Report, European Commission, ENV.G4/FRA/2008/0112, 171 p.
- Evans, F.G., 2001. Restriction for Use and Waste Management for Pressure Treated Wood, the Current Situation in Norway, Annual Meeting, the International Research Group on Wood Preservation, Nara, Japan, IRG/WP 01-50175, 7 p.
- Evans, P., 2003. Emerging Technologies in Wood Protection, Forest Products J., 53, 1, 14-22.
- Fabiyi, J.S. ve McDonald, A.G., 2010. Effect of Wood Species on Property and Weathering Performance of Wood Plastic Composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 41, 1434-1440.
- Fabiyi, J.S., McDonald, A.G., Morrell, J.J., ve Freitag, C., 2011. Effects of Wood Species on Durability and Chemical Changes of Fungal Decayed Wood Plastic Composites, Composite Part A-Appl. S., 42, 501-510.
- Fabiyi, J.S., McDonald, A.G., Wolcott, M.P. ve Griffiths, P.R., 2008. Wood Plastic Composites Weathering: Visual Appearance and Chemical Changes, Polymer Degradation and Stability, 93, 1405-1414.

- Falk, B., 1997. Wood Recycling Opportunities for the Woodwaste Resource, Forest Products J., 47, 6, 17-22.
- Falk, R.H., Lundin, T. ve Felton, C., 2000. The Effects of Weathering on Wood Thermoplastic Composites Intended for Outdoor Application, In: Durability and Disaster Mitigation in Wood-Frame Housing, Forest Prod. Soc., Wisconsin, USA, 175-179.
- Falk, R.T., Vos, D.J., Cramer, S.M. ve English, B.W., 2001. Performance of Fasteners in Wood Flour-Thermoplastic Composite Panels, Forest Products J., 51, 1, 55-61.
- Fan, Z.L., Zhang, J., Zhang, Y.M., Sun, L.G. ve Liu, X.H., 2009. Experimental Study on Pyrolysis Property of Eight Kinds of Biomass, IEEEExplore, 1-6.
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P. ve Sain, M., 2012. Biocomposites Reinforced with Natural Fibers: 2000–2010, Progress in Polymer Science, 37, 1552-1596.
- Felton, CC. ve De-Groot, RC., 1996. The Recycling Potential of Preservative Treated Wood, Forest Products J., 46, 8, 37-46.
- Ferrarese, E., Andreottola, G. ve Oprea, I.A., 2008. Remediation of PAH Contaminated Sediments by Chemical Oxidation, J. of Hazardous Materials, 152, 128-39.
- Filson, P., Andoh, B.E.D. ve Matuana L., 2009. Colorimetric and Vibrational Spectroscopic Characterization of Weathered Surfaces of Wood and Rigid Polyvinyl Chloride Wood Flour Composite Lumber, Wood Science and Technology, 43, 669-678.
- Freeman, M.H. ve McIntyre, C.R., 2008. A Comprehensive Review of Copper-Based Wood Preservatives with a Focus on New Micronized or Dispersed Copper Systems, Forest Prod. J., 58, 1, 6-27.
- Freeman, M.H., Shupe, T.F., Vlosky, R.P. ve Barnes, H.M., 2003. Past, Present and Future of the Wood Preservation Industry, Forest Products J., 53, 10, 8-15.
- Garban, B., Blanchoud, H., Motelay-Massei, A., Chevreuil, M. ve Ollivon, D., 2002. Atmospheric Bulk Deposition of PAH's Onto France: Trends from Urban to Remote Sites, Atmospheric Environment, 36, 5395-5403.
- Gezer, E.D. ve Cooper, P.A., 2009. Factors Affecting Sodium Hypochlorite Extraction of CCA from Treated Wood, Waste Management, 29, 3009-3013.
- Gezer, E.D., 2003. Kullanım Süresini Tamamlamış Emprenyeli Ağaç Malzemelerin Yeniden Değerlendirilmesi Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 389 s.
- Gezer, E.D., Temiz, A. ve Yüksek, T., 2015. Inspection of Wooden Poles in Electrical Power Distribution Networks in Artvin, Turkey, Advances in Materials Science and Engineering, Article ID 659818, 11 p.

- Gezer, E.D., Yildiz, U., Yildiz, S., Dizman, E. ve Temiz, A., 2006. Removal Copper, Chromium and Arsenic from CCA-Treated Yellow Pine by Oleic Acid, Building and Environment, 41, 380-385.
- Gezer, E.D., Yildiz, Ü.C., Temiz, A., Yildiz, S. ve Dizman, E., 2005. Cu, Cr ve As Distribution in Soils Adjacent to CCA-Treated Utility Poles in Eastern Blacksea Region of Turkey, Building and Environment, 40, 1684-1688.
- Ghahri, S., Najafi, S.K., Mohebbi, B. ve Tajvidi, M., 2012. Impact Strength Improvement of Wood Flour Recycled Polypropylene Composites, J. of Applied Polymer Science, 124, 1074-1080.
- Ghaly, A.E., Zhang, B. ve Dave, D., 2012. Degradation of Phenolic Compounds in Creosote Treated Wood Waste by a Mixed Microbial Culture Augmented with Cellulolytic-Thermophilic Actinomycetes *Thermobifida Fusca*, J. of Environment Protection, 2012, 3, 83-96.
- Ghanbari, A., Madhoushi, M. ve Ashori, A., 2014. Wood Plastic Composite Panels: Influence of Formulation Variables and Blending Process on the Density and Withdrawal Strength of Fasteners, J. of Polymer Environment, 22, 260-266.
- Gnatowski, M., 2005. Water Sorption by Wood-Plastic Composites in Exterior Exposure, 8th International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites, Forest Products Society, Madison, WI. 249-256.
- Gnatowski, M., 2007. Radiation Induced Degradation in WPC in the Field and in Laboratory Conditions, 9th Int. Conference on Wood&Biofiber Plastic Composites, Madison, May 2007, 29 p.
- Gnatowski, M., 2010. Field Study of Long-Term Durability of Wood Plastic Composites, 8th Global WPC and Natural Fibre Composites Congress and Exhibition, June 2010, Stuttgart, Germany, 1-10 p.
- Guerin, T., 1999. The Extraction of Aged PAH Residues From A Clay Soil Using Sonication and a Soxhelt Procedure: A Comparative Study. J. of Environmental Monitoring, 1, 63-67.
- Gürkahraman, M. ve Pehlivan, D., 1998. Odunun Sabit Yatak ve Atmosferik Şartlarda Ekstraksiyonu, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 23, 239-250.
- Gwon, J.G., Leei S.Y., Chun, S.J., Doh, G.H. ve Kim, J.H., 2010. Effects of Chemical Treatment of Hybrid Fillers on the Physical and Thermal Properties of Wood Plastic Composites, Composites Part A , 41, 1491-1497.
- H'ng, P.S., Lee, A.N., Hang, C.M., Lee, S.H., Khalina, A. ve Paridah, M.T., 2011. Biological Durability of Injection Moulded Wood Plastic Composite Boards, J. of Applied Sciences, 11, 2, 384-388.

- Haftkhani, A.R., Ebrahimi, G., Tajvidi, M. ve Layeghi, M., 2011. Investigation on Withdrawal Resistance of Various Screws in Face and Edge of Wood-Plastic Composite Panel, Materials and Design, 32, 4100-4106.
- Hanif, M.P.M, Supri, A.G. ve Zainuddin, F., 2014. rHDPE/Wood Fiber Composites: Effect of Maleic Anhydride on Tensile Properties and Morphology Analysis, Advanced Research in Applied Mechanics, 1, 1, 6-12.
- Helsen, L. ve Bulck, V.E., 2005. Review of Disposal Technologies for Chromated Copper Arsenate (CCA) Treated Wood Waste, with Detailed Analyses of Thermochemical Conversion Processes, Environ. Pollut., 134, 2, 301-314.
- HHS, 2002. Agency for Toxic Substances, Disease Registry, Toxicological Profile for Wood Creosote, Coal Tar Creosote, Coal Tar, Coal Tar Pitch, and Coal Tar Pitch Volatiles, U.S. Department of Health and Human Service, Atlanta, 12 p.
- Hill, C.A.S., 2006. Wood Modification Chemical Thermal and Other Processes, John Wiley Series in Renewable Resources, ISBN: 978-0470-02172-9, 260 p.
- Hill, M.K., 2010. Understanding Environmental Pollution, Third Edition Cambridge University Press, New York, 534 p.
- Hiller, B. ve Murphy, R., 2000. Life Cycle Assessment of Forest Products- A Good Story to Tell, J. of the Institute of Wood Science, 15, 4, 221-32.
- Homkhiew, C., Ratanawilai, T. ve Thongruang, W., 2014. Effects on Natural Weathering on the Properties of Recycled Polypropylene Composites Reinforced with Rubberwood Flour, Industrial Crops and Products, 56, 52-59.
- Hoşgün, E.Z. ve Bozan, B., 2010. Üzüm Çekirdeği Yağının Basınçlı Çözücü Ekstraksiyonu ve Ekstraksiyon Parametrelerinin Cevap Yüzey Yöntemi Optimizasyonu, UKMK-9, Haziran 2006, Ankara, 5 p.
- Hosseinaei, O., Wang, S., Enayati, A.A. ve Rials, T.G., 2012. Effects of Hemicellulose Extraction on Properties of Wood Flour and Wood-plastic Composites, Composites Part A, 43, 686-694.
- Housenger, J.E., 2003. Response to Requests to Cancel Certain Chromated Copper Arsenate Products, Environmental Protection Agency, April 2003, 7 p.
- Hüner, Ü., 2008. Plastik Esaslı Kompozit Malzemelerin Sıcak Birleştirme İşlemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 92 s.
- Hung, K.C., Chen, Y.L. ve Wu, J.H., 2012. Natural Weathering Properties of Acetylated Bamboo Plastic Composites, Polymer Degradation and Stability, 97, 1680-1685.

- Hyvarinen, M., 2014. Ultraviolet Light Protection and Weathering Properties of Wood-Polypropylene Composites, Ph.D. Thesis, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finland, December, 2014, 119 p.
- Hyvönen, A., Piltonen, P. ve Niinimäki, J., 2006. Tall Oil/Water-Emulsions as Water Repellents for Scots Pine Sapwood, Holz als Roh-und Werkstoff, 64, 1, 68-73.
- Ibach, R.E., 1999. Wood Preservation, In Wood Handbook-Wood as An Engineering Material, USDA, Agricultural Handbook, 72, Chapter 13, 1-27.
- Ibach, R.E., Gnatowski, M. ve Sun, G., 2012. Field and Laboratory Decay Evaluations of Wood- Plastic Composites, Forest Products J., 63, 3/ 4, 76-87.
- Ibach, R.E., Chen, Y., Stark, N.M., Tshabalala, M.A., Fan, Y. ve Gao, J., 2014. Decay Resistance of Wood-Plastic Composites Reinforced with Extracted or Delignified Wood Flour, Annual Meeting, The International Research Group on Wood Protection, 11-15 May 2014, St George, Utah, USA, IRG/WP 14-40655, 9 p.
- Ingram, L.L., McGinnis, G.D., Gjovik, L.R. ve Robertson, G., 1982. Migration of Creosote and Its Components from Treated Piling Sections in a Marine Environment, American Wood Preserv Assoc, 120-128.
- ISO 4287, 1997. Geometrical Product Specifications (GPS)-surface texture: Profile method-terms, definitions, and surface texture parameters, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 4589, 1996. Plastics-Determination of Burning Behaviour by Oxygen Index, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 7724-2, 1984. Paints and Varnishes, Colorimetry. Part 2: Color Measurement, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jacobi, G., Gabriele, H.S., Dubey, B., Townsend, T. ve Shibata, T., 2007. Evaluation of Commercial Landscaping Mulch for Possible Contamination from CCA, Waste Management, 27, 1765-1773.
- Jacobson, R., Caulfield, D., Sears, K. ve Underwood, J., 2002. Low Temperature Processing (LTP) of Ultra-Pure Cellulose Fibers into Nylon 6 and Other Thermoplastics, Proceedings Sixth International Conference on Woodfiber/Plastic Composites, Madison WI, 127-133.
- Jarden, M. ve Abraham, M., 2004. Effect of CCA Treated Utility Poles on the Urban Environment In Toledo Ohio, University of Toledo, 15 p.
- Jayamol, G., Sreekala, M.S. ve Thomas, S., 2001. A Review of Interface Modification and Characterization of Natural Fibre Reinforced Plastics Composites, Polymer Engineering and Science, 41, 9, 1471-1485.

- Joneghan, M.B., 2014. Comparative Study of Field and Laboratory Tests for Residual Metal Content and its Distribution in Chromium/Copper-Treated Wood, PhD Thesis, University of Hamburg, Germany, April 2014, 125 p.
- Jung, S.H., Koo, W.M. ve Kim, J.S., 2013. Fast Pyrolysis of Creosote Treated Wood Ties in a Fluidized Bed Reactor and Analytical Characterization of Product Fractions, Energy, 53, 33-39.
- Kamdem, D.P., Jiang, H., Cui, W., Freed, J. ve Matuana, L.M., 2004. Properties of Wood Plastic Composites Made of Recycled HDPE and Wood Flour from CCA-Treated Wood Removed from Service, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 35, 347-355.
- Kartal, S.N. ve Clausen, C.A., 2001. Leachability and Decay Resistance of Particleboard Made from Acid Extracted and Bioremediated CCA-Treated Wood, International J. of Biodeterioration and Biodegradation, 47, 183-191.
- Kartal, S.N., Ayrimis, N. ve Imamura, Y., 2007. Decay and Termite Resistance of Plywood Treated with Various Fire Reterdants, Building and Environment, 42, 3, 1207-1211.
- Kartal, S.N., Aysal, S., Terzi, E., Yılıgör, N., Yoshimura, T. ve Tsunoda, K., 2013, Wood and Bamboo-PP Composit: Fungal and Termite Resistance, Water Absorption, and FT-IR Analyses, BioResources, 8, 1, 1222-1244.
- Kartal, S.N., Engür, M.O. ve Köse, C., 2006. Emprenye Maddeleri ve Emprenye Edilmiş Ağaç Malzeme ile İlgili Çevre Problemleri, İÜ Orman Fakültesi Dergisi, 56, 1, 17-23.
- Kartal, S.N., Terzi, E., Woodward, B., Clausen, C.A. ve Lebow, S.T., 2014. Chemical Remediation of Wood Treated with Micronised, Nano or Soluble Copper Preservatives, Holzforschung, 68, 7, 831-837.
- Kaymakci, A. ve Ayrimis, N., 2014. Investigation of Correlation Between Brinell Hardness and Tensile Strength of Wood Plastic Composites, Composites Part B, 58, 582-585.
- Kaymakci, A., Ayrimis, N. ve Gulec, T., 2013. Surface Properties and Hardness of Polypropilene Composites Filled with Sunflower Stalk Flour, BioResources, 8, 1, 592-602.
- Kazi, F. ve Cooper, P.A., 1999. Recovery and Reuse of Chromated Copper Arsenate (CCA) Wood Preservative from CCA Treated Wastes, Proceedings of the 20th Annual Canadian Wood Preservation Association Conference, Vancouver, BC, October 1998, 20, 45-67.
- Keener, T.J., Stuart, R.K. ve Brown, T.K., 2004. Maleated Coupling Agents for Natural Fibre Composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 35, 357-362.

- Kiguchi, M., Kataoka, Y., Matsunaga, H., Yamamoto, K. ve Evans, P.D., 2007. Surface Deterioration of Wood-Flour Polypropylene Composites by Weathering Trials, J. Wood Sci., 53, 234-238.
- Kim, H.S., Kim, S., Kim, H.J. ve Yang, H.S., 2006. Thermal Properties of Bio-Flour-Filled Polyolefin Composites with Different Compatibilizing Agent Type and Content, Thermochimica Acta, 451, 181-188.
- Kim, J.W., Harper, D.P. ve Taylor, A.M., 2008. Effect of Wood Species on Water Sorption and Durability of WPCs, Wood and Fiber Sci., 40, 4, 519-531.
- Klyosov, A.A., 2007. Wood Plastic Composites, Wiley-Interscience Publication, ISBN 978-0-470-14891-4, USA, 732 p.
- Konasewich, D.E., Hutt, N. ve Brudermann, G.E., 1993. An Inventory of Sources, Uses and Waste Disposal Practices of Creosote in Canada, Appendix 1 to the PSL Assessment Report on Creosote Impregnated Waste Materials, Edmonton (AB): Environment Canada, Western and Northern Region, 111 p.
- Koski, A., 2008. Applicability of Crude Tall Oil for Wood Protection, Ph.D. Thesis, Faculty of Technology, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu. February 2008, Finland, 100 p.
- Krehula, L.K., Katancic, Z., Sirocic, A.P. ve Murgic, Z.H., 2014. Weathering of High-Density Polyethylene-Wood Plastic Composites, J. of Wood Chemistry and Technology, 34, 39-54.
- Kuo, P.Y., Wang, S.Y., Chen, J.H., Hsueh, H.C. ve Tsai, M.J., 2009. Effects of Material Compositions on the Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites Manufactured by Injection Molding, Materials and Design, 30, 3489-3496.
- Kurt, R., Çabuk, Y. ve Karayılmazlar, S., 2011. Türkiye ve Dünya Yuvarlak Odun ve Odun Dışı Orman Ürünlerinin Üretim, Dış Ticaret ve Ekonomik Potansiyel Analizi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, ISSN:1203-0943, 13, 20, 1-9.
- Laks, P., Vehring, J., Verhey, S. ve Richter, D., 2005. Effect of Manufacturing Variables on Mold Susceptibility of Wood-Plastic Composites, 8th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, Forest Products Society, Madison, WI, 265-270.
- Laks, P.E., Richter, D.L., ve Larkin, G.L., 2000. Biological Deterioration of Wood Based Composite Panels, Wood Design Focus, 11, 4, 7-14.
- Lebow, S., Woodward, B., Kirker, G. ve Patricia, L., 2013. Long-Term Durability of Pressure-Treated Wood in a Severe Test Site, Advances in Civil Engineering Materials, ISSN 2165-3984, 2, 1, 178-188.

- Lebow, S.T., Brooks, K.M. ve Simonsen, J., 2002. Environmental Impact of Treated Wood in Service, In *Enhancing the Durability of Lumber and Engineered Wood Products*, Madison, Wisconsin, Forest Products Society, 205-215.
- Lee, C.H., Hung, K.C., Chen, Y.L., Wu, T.L., Chien, Y.C. ve Wu, J.H., 2012. Effects of Polymeric Matrix on Accelerated UV Weathering Properties of Wood-Plastic Composites, Holzforschung, 66, 981-987.
- Lee, C.H., Wu, T.L., Chen, Y.L. ve Wu, J.H., 2010. Characteristics and Discrimination of Five Types of Woodplastic Composites by FTIR Spectroscopy Combined with Principal Component Analysis, Holzforschung, 64, 699-704.
- Lee, H.L., Chen, G.C. ve Rowell, R.M., 2004. Fungal Decay Resistance of Wood Reactes with Phosphorus Pentoxide-Amine System, Holzforschung, 58, 311-315.
- Lee, S.C., Ho, K.F., Chan, L.Y., Zielinska, B. ve Chow, J.C., 2001. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Carbonyl Compounds in Urban Atmosphere of Hong Kong, Atmospheric Environment, 35, 5949–5960.
- LEI, 1992. PAH Levels in the Ambient Air in Quebec. Fall 1989-Winter 1990, Report Prepared for the Toxic Substances and Air Pollution Control Division, Lavalin Environnement Inc., Environment Canada, Conservation and Protection, Quebec Region, Montreal, Que., 103 p.
- Lei, Y., Wu, Q., Yao, F. ve Xu, Y., 2007. Preparation and Properties of Recycled HDPE/Natural Fibre Composites, Composites Part A, 38, 1664-1674.
- LGL, 1993. PAH Emissions into the Environment in Canada-1990, Lalonde, Girouard, Letendre et Associes, Prepared for Environment Canada, Conservation and Protection, Quebec Region, Montreal, Que, 100 p.
- Li, B. ve He, J., 2004. Investigation of Mechanical Property, Flame Retardancy and Thermal Degradation of LLDPE-Wood Fibre Composites, 83, 2, 241-246.
- Li, D., Li, J., Hu, X. ve Li, L., 2012. Effect of Ethylene Vinyl Acetate Content on Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composite, BioResources, 7, 3, 2916-2932.
- Li, H., Zhang, Z., Song, K., Lee, S., Chun, S.H., Zhou, D. ve Wu, Q., 2014. Effect of Durability Treatment on Ultraviolet Resistance, Strength, and Surface Wettability of Wood Plastic Composite, Bioresources, 9, 2, 3591-3601.
- Li, R., 2000. Environmental Degradation of Wood-HDPE Composites, Polymer Degradation and Stability, 70, 135-145.
- Li, W., Shupe, T.F. ve Hse, C.Y., 2004. Physical and Mechanical Properties of Flakeboard Produced from Recycled CCA-Treated Wood, Forest Product J., 54, 2, 89-94.

- Liang, H.D., Han, D.M. ve Yan, X.P., 2006. Cigarette Filter as Sorbent for Online Coupling of Solid-Phase Extraction to High Performance Liquid Chromatography for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water, J. of Chromatography A, 1103, 1, 9–14.
- Lin, L. ve Hse C.Y., 2002. Removal of CCA from Spent CCA-Treated Wood, Annual Meeting, the International Research Group on Wood Protection, Cardiff, Wales, IRG/WP 95-50192, 15 p.
- Lin, Q., Zhou, X. ve Dai, G., 2002. Effect of Hydrothermal Environment on Moisture Absorption and Mechanical Properties of Wood Flour-Filled Polypropylene Composites, J. of Applied Polymer Science, 85, 2824–2832.
- Lu, J.Z., Wu, O. ve McNabb, H.S., 2000. Chemical Coupling in Wood Fiber and Polymer Composites: A Review of Coupling Agents and Reatments, Wood and Fiber Science, 32, 1, 88-104.
- Lu, J.Z., Wu, Q. ve Negulescu, I.I., 2005. Wood-Fiber/High-Density-Polyethylene Composites: Coupling Agent Performance, J. of Applied Polymer Science, 96, 93-102.
- Lundin, T., Cramer, S.M., Falk, R.H. ve Felton, C., 2004. Accelerated Weathering of Natural Fiber-Filled Polyethylene Composites, J. Mater. Civil. Eng., 16, 547-555.
- Lundstedt, S., Haglund, P. ve Orberg, L. 2003. Degradation and Formation of Polycyclic Aromatic Compounds during Bioslurry Treatment of an Aged Gasworks Soil. J. of Environmental Toxicological Chemistry, 22, 7, 1413-1420.
- Lundström, H., 2002. Studies on the Physiology of the Three Soft Rot Fungi *Allescheria Terrestris*, *Phialophora (Margarinomyces)*, *Luteoviridis* and *Phialophora richardsiae*, Department of Forest Products, Royal College of Forestry Stockholm, Sweden, 42 p.
- Luyt, A.S. ve Malunka, M.E., 2005. Composites of Low-Density Polyethylene and Short Sisal Fibres: The Effect of Wax Addition and Peroxide Treatment on Thermal Properties, Thermochimica Acta, 426, 101-107.
- Madhoushi, M., Nadalizadeh, H. ve Ansel, M.P., 2009. Withdrawal Strength of Fasteners in Rice Straw Fibre-Thermoplastic Composites Under Dry and Wet Conditions, Polymer Testing, 28, 301-306.
- Mankowski, M. ve Morrell, J.J., 2000. Patterns of Fungal Attack in Wood-Plastic Composites Following Exposure in A Soil Block Test, Wood Fiber Sci., 32, 3, 340-345.
- Manning, M.J. ve Ascherl, F., 2007. Wood-Plastic Composite Durability and the Compelling Case for Field Testing, 9th International Conference on Wood & Biofiber-Plastic Composites, Forest Products Society, Madison, WI, 217-224.

- Mantia, F.P.L. ve Morreale, M., 2008. Accelerated Weathering of Polypropylene/Wood Flour Composites, Polymer Degradation and Stability, 93, 1252-1258.
- Mariotti, N., Wang, X.M., Rodrigue, D. ve Stevanovic, T., 2014. Combination of Esterified Kraft Lignin and MAPE as Coupling Agent for Bark/HDPE Composites, J. of Materials Science Research, 3, 2, 8-22.
- Marjamaa, K., Lehtonen, M., Lundell, T., Toikka, M., Saranpaa, P. ve Fagerstedt, K.V., 2003. Developmental Lignification and Seasonal Variation in β -glucosidase and Peroxidase Activities in Xylem of Scots Pine, Norway Spruce and Silver Birch, Tree Physiology, 23, 977-986.
- Mateus, E.P., Ribeiro, A.B. ve Ottosen, L., 2002. Electrolytic Remediation of Creosote and CCA Treated Timber Wastes, Annual Meeting, the International Research Group on Wood Preservation, Cardiff, Wales, UK, IRG/WP 02-50190, 10 p.
- Mateus, E.P., Zrostlikova, J., DaSilva, G., Ribeiro, B. ve Marriot, P., 2010. Electrokinetic Removal of Creosote from Treated Timber Waste: A Comprehensive Gas Chromatographic View, J. Applied Electrochem. 40, 1183-1193.
- Matuana, L.M., Balatinecz, J.J., Sodhi, R.N.S. ve Park, C.B., 2001. Surface Characterization of Esterified Cellulosic Fibers by XPS and FTIR Spectroscopy, Wood Sci. Technol., 35, 3, 191-201.
- Matuana, L.M., Jin, S. ve Stark, N.M., 2011. Ultraviolet Weathering of HDPE/Wood-Flour Composites Coextruded with a Clear HDPE Cap Layer, Polymer Degradation and Stability, 96, 97-106.
- Mayer, I., Chedeville, C.G., Hunger, K., Koch, G., Lehmann, E., Arx, U.V. ve Pichelin, P., 2010. Thermal Treatment of Beech Wood Railway Sleepers for Recycling, Changes in Wood Microstructure and Mechanical Properties, COST FP0802 Workshop, October 2010, Hamburg, 14 p.
- Mayer, M. ve Smith, W.B., 1997. Wood Poles: Preservation Methods and Regulatory Considerations, In: Wood Pole Compendium, GEI Consultants, Inc., Atlantic Environmental Division, Colchester, 16-17.
- McDonald, A.G., Fabiyi, J.S., Morrell, J., ve Freitag C., 2009. Effect of Wood Species on the Weathering and Soil Performance of Wood Plastic Composites, 10th International Conference on Wood and Biofiber-Plastic Composites, Madison, Wisconsin, 84-89.
- Mengeloğlu, F. ve Alma, M.H. 2004. Bakır-Krom-Arsenik (CCA) Koruyucu Tuzları ile Muamele Edilmiş Odunun Bertaraf Edilmesi ve Tekrar Kullanımı, Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi, Kastamonu, 4, 1, 13-27.
- Mengeloğlu, F. ve Gardner, D.J., 2000. Recycled CCA-Treated Lumber in Flakeboards: Evaluation of Adhesives and Flakes, Forest Product J., 50, 2, 41-45.

- Mengeloğlu, F. ve Karakuş, K., 2008. Thermal Degradation, Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic Composites, *Sensors*, 8, 500-519.
- Mengelöglu, F. ve Matuana, L.M., 2003. Mechanical Properties of Extrusion Foamed Rigid PVC/Wood-flour Composites, *J. of Vinyl and Additive Technology*, 9, 1, 26-31.
- Mengeloğlu, F., Alma, M.H. ve Çetin, N.S., 2002. Plastik Endüstrisinde Buğday Sapı ve Ununun Kullanılabilirliği, *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 2, 57-65.
- Merev, N., 2003, Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı, KTÜ, Orman Fakültesi, Genel Yayın No:210, Fakülte Yayın No:32, Trabzon, 395 s.
- Michael, K ve Markus, K., 2002. Natural Fibre for European Automotive Industry, *J. of Industrial Hemp*, 7, 1, 119-131.
- Milton, F.T., 1995. The Preservation of Wood A Self Study Manual for Wood Treaters, Minnesota Extension Service, University of Minnesota College of Natural Resources, MN, USA, 102 p.
- Mohanty, S., Verma, S.K., Nayak, S.K. ve Tripathy, S.S., 2004. Influence of Fiber Treatment on the Performace of Sisal-Polypropylene Composites, *J. of Applied Polymer Science*, 94, 1336-1345.
- Mohebbly, B. ve Militz, H., 2002. Soft Rot Decay in Acetylated Wood Chemical and Anatomical Changes in Decayed Wood, Annual Meeting, the International Res.Group on Wood Preservation, Cardiff, Wales, IRG/WP 02-40231, 12 p.
- Morrell, J.J., 2003. Disposal of Treated Wood: Option and Perils. In: Managing the Treated Wood Resource-II, American Wood Preservers' Association, 7-14.
- Morrell, J.J., 2004. Disposal of Treated Wood, Conference Proceedings from Environmental Impacts of Wood Preservative Treated Wood, February 2004, Orlando, USA, 27 p.
- Morrell, J.J., Stark, N.M., Pendleton, D.E. ve McDonald, A.G., 2006. Durability of Wood-Plastic Composites, *Wood Design Focus*, 16, 3, 7-10.
- Muasher, M. ve Sain, M., 2006. The Efficacy of Photostabilizers on the Color Change of Wood Filled Plastic Composites, *Polymer Degradation and Stability*, 91, 1156-1165.
- Mueller, J.G., Chapman, P. ve Pritchard, P., 1997. Creosote-Contaminated Sites, *J. of Environmental Science and Technology*, 23, 1197-1201.
- Munson, J. ve Kamdem, D.P., 1998. Reconstituted Particleboard from CCA-Treated Red Pine Utility Poles, *Forest Prod. J.*, 48, 55-62.

- Murira, K.K., 1987. A Case Study on Quality Control on Telephone Poles as A Cost Saving Tool in Tanzania, Annual Meeting, the International Res.Group on Wood Preservation, Ontario, Canada, IRG/WP 3418, 8 p.
- Murphy, B.L ve Brown, J., 2005. Environmental Forensics Aspects of PAHs from Wood Treatment with Creosote Compounds, Envirob Foren., 6, 2, 151-159.
- Najafi, A., Safapour, M., Saffari, M. ve Eman, M., 2011. Physical and Mechanical Properties of Novel Layered Composites of Lignocellulosic Filler/Recycled HDPE, International Academic of Wood Science, September 2011, 2 p.
- Najafi, S.K., 2013. Use of Recycled Plastics in Wood Plastic Composites- A Review, Waste Management, 33, 9, 1898-1905.
- Najafi, S.K., Hamidinia, E. ve Tajvidi, M., 2006. Mechanical Properties of Composites from Sawdust and Recycled Plastics, J. of Applied Poly. Sci., 100, 3641-3645.
- Naumann, A., Seefeldt, H., Stephan, I, Braun, U. ve Noll, M., 2012a. Material Resistance of Flame Reteraded Wood-Plastic Composites against Fire and Fungal Decay, Polymer Degradation and Stability, 97, 1189-1196.
- Naumann, A., Stephan, I. ve Noll, M., 2012b. Material Resistance of Weathered Wood-Plastic Composites against Fungal Decay, International Biodeterioration & Biodegradation, 75, 28-35.
- Ndlovu, S.S., 2011. Wood-Polymer Composites Utilizing Degraded Polyolefins as Compatibilizers, Master Thesis, Department of Chemistry, University of The Free State, 113 p.
- Negi, S.S., 1997, Wood Science and Technology, International Book Distributors Book Sellers and Publishers, India, ISBN: 81-7089-247-3, 249 p.
- Nourbakhsh, A. ve Ashori, A., 2009. Preparation and Properties of Wood Plastic Composites Made of Recycled High-Density Polyethylene, J. Compos. Mater., 43, 877-883.
- NRCC, 1983. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment: Formation, Sources, Fate and Effects on Aquatic Biota, National Research Council of Canada, Publication No. NRCC 18981, Ottawa, Ont., 209 p.
- OGM, 2014. Tel Direk Firmalarına Ait Kuruluşlar Arasında Tel Direk Temin ve Tahsili Satışına Dair Protokol, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, 4 s.
- Ottosen, L.M., Pedersen, A.J. ve Christensen, I.V., 2004. Characterization of Residues from Thermal Treatment of CCA Impregnated Wood: Chemical and Electrochemical Extraction, Environmental Impacts of Preservative-Treated Wood, Orlando, USA, 12 p.

- Özcimder, M. ve Demirci, A., 2004. Gaz ve Sıvı Kromatografileri, Bilim Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara, 255 s.
- Özgenç, Ö., 2014. Doğu Karadeniz Bölgesi Yayla Evlerinde Kullanılan Ahşap Malzemenin Dış Hava Koşullarına Karşı Dayanımının Arttırılması, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2014, Trabzon, 229 s.
- Panov, D. ve Terziev, N., 2015. Durability of Epoxi-Oil Modified and Alkoxyxilane Treated Wood in Field Testing, BioResources, 10, 2, 2479-2491.
- Pendleton, D.E. ve Hoffard, T.A., 2000. Engineered Wood Composites for Naval Waterfront Facilities, Project and Report, SP-2078-SHR, California, 24 p.
- Pendleton, D.E., Hoffard, T.A., Adcock, T., Woodward, B. ve Wolcott, M.P., 2002. Durability of an Extruded HDPE/Wood Composites, Forest Products J., 52, 6, 21-27.
- Peng, Y., Liu, R. ve Cao, J., 2014a. Effects of Antioxidants on Photodegradation of Wood Flour/Polypropylene Composites during Artificial Weathering, BioResources, 9, 4, 5817-5830.
- Peng, Y., Liu, R. ve Cao, J., 2015. Characterization of Surface Chemistry and Crystallization Behavior of Polypropylene Composites Reinforced with Wood Flour, Cellulose, and Lignin During Accelerated Weathering, Applied Surface Science, 332, 253-259.
- Peng, Y., Liu, R., Cao, J. ve Chen, Y., 2014b. Effects of UV Weathering on Surface Properties of Polypropylene Composites Reinforced with Wood Flour, Lignin, and Cellulose, Applied Surface Science, 317, 385-392.
- Polcaro, C.M., Brancaleoni, E., Donati, E., Frattoni, M., Galli, E., Migliore, L. ve Rapanà, P., 2008. Fungal Bioremediation of Creosote-Treated Wood: A Laboratory Scale Study on Creosote Components Degradation by *Pleurotus ostreatus* Mycelium, Bull Environ Contam. Toxicol., 81, 180-184.
- Poletto, M., Zattera, A.J., Forte, M.M.C. ve Santana, R.M.C., 2012. Thermal Decomposition of Wood: Influence of Wood Components and Cellulose Crystallite Size, Bioresource Technology, 109, 148-153.
- Poppi, R.N. ve Silva, S.M., 2005. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Other Selected Organic Compounds in Ambient Air of Campo Grande City, Brazil. Atmospheric Environment, 39, 2839-2850.
- Portier, R.J., Hoover, D.G., Miles, M.S. ve Emfinger, N., 1994. Recovery of Wood Fiber from Treated Wood Products by Combined Physical, Chemical, and Biological Approaches Studies, Microterra Inc., 115 p.
- Preston, A.F., 2000. Wood Preservation: Trends of Today that will Influence the Industry Tomorrow, Forest Products J., 50, 9, 12-9.

- Pritchard, G., 2005. Second-Generation Wood Composites: The US Shows Europe the Way, Reinforced Plastics, 49, 6, 34-35.
- Quirino, W.I.B, Donnot, B.A., Zoulalian, A. ve Deglise, X., 2005. Recycling of Treated Wood by Pyrolysis, International Acedemy of Wood Science Meeting, November 2005, Chile, 12 p.
- Rabello, M.S. ve White, J.R., 1997. Crystallization and Melting Behaviour of Photodegraded Polypropylene-II Recrystallization of Degraded Molecules, Polymer, 38, 26, 6389–6399.
- Rahman, M.R., Huque, M.M., Islam, M.N. ve Hasan, M., 2009. Mechanical Properties of Polypropylene Composites Reinforced with Chemically Treated Abaca, Compos. A: Appl. Sci. Manuf., 40, 4, 511–517.
- Raj, R.G. ve Kokta, B.V., 1991. Reinforcing High-Density Polyethylene with Cellulosic Fibres, I: The Effect of Additives on Fibre Dispersion and Mechanical Properties, Polymer Engineering & Science, 31, 18, 1358-1362.
- Rajakumar, K., Sarasvathy, V., Chelvan, A.T., Chitra, R. ve Vijayakumar, C.T., 2009. Natural Weathering Studies of PP, J. of Polymer Environ., 17, 191-202.
- Rana, R., Muller, G., Naumann, A. ve Polle, A., 2008. FTIR Spectroscopy in Combination with Principal Component Analysis or Cluster Analysis as A Tool to Distinguish Beech (*Fagus sylvatica* L.) Trees Grown at Different Sites, Holzforschung, 62, 530-538.
- Rapor, 2007. Durability of Acetylated Radiata Pine-Investigation of the Resistance Against Brown, White and Soft Rot Fungi. SHR Tiber Research Wageningen. Report code: 6.244-3, 20 April 2007, 2-16.
- Ratola, N., Alvesa, A., Kalogerakisb, N. ve Psillakis, E., 2008. Hollow-Fibre Liquid-Phase Microextraction: A Simple and Fast Clean up Step used for PAHs Determination in Pine Needles, Analytica Chimica Acta, 618, 70-78.
- Robert, M., Cousin, P., Fam, A. ve Benmokrane, B., 2011. Effect of the Addition of Modified Mica on Mechanical and Durability Properties of FRP Composite Materials for Civil Engineering, Polym. Compos., 32, 1202 – 1209.
- Roliadi, H., Hse, C.Y., Choong, E.T. ve Shupe, T.F., 2000. Decay Resistance of Out-of Service Utility Poles As Related to the Distribution of Residual Creosote Content, Solid Wood Product J., 50, 11/12, 64-68.
- Rowell, R.M., 2001. Performance Driven Composites from Lignocellulosic Resources, International Conference on Science and Technology of Composite Materials, December 2001, Argentina, 29-32 p.
- Rowell, R.M., 2006. Advances and Challenges of Wood Polymer Composites, 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 2–11.

- Rowell, R.M., Lange, S.E. ve Jacobson, R.E., 2000. Weathering Performance of Plantfibre/ Thermoplastic Composites, Mol. Cryst. and Liq. Cryst., 353, 1, 85-94.
- Ruddick, J.N.R., 1990. Wood Preservation and the Environment: A Canadian Perspective, Annual Meeting, the International Research Group on Wood Preservation, Vancouver, Canada, IRG/WP/3577, 16 p.
- Salari, A., Tabarsa, T., Khazaeian, A. ve Saraeian, A., 2013. Improving Some of Applied Properties of Oriented Strand Board (OSB) Made from Under Utilized Low Quality Paulownia (*Paulownia fortunei*) Wood Employing Nano-SiO₂, Ind. Crops Prod., 42, 1-9.
- Salminen, E., Valo, R., Korhonen, M. ve Jernlas, R., 2014. Wood Preservation with Chemicals- Best Available Tavhniques (BAT), Nordic Council of Ministers, ISBN 978-92-893-2828-9, 56 p.
- Scheffer, T.C., 1971. A Climate Index for Estimating Potential for Decay in Wood Structures Above Ground, For Prod. J., 21, 25-3.
- Schirp, A. ve Wolcott, M.P., 2005. Infulucence of Fungal Decay and Moisture Adsorption on Mechanical Properties of Extruded Wood-Plastic Composite, Wood and Fiber Science, 37, 643-652.
- Schirp, A., Ibach, R.E., Pendleton, D.E. ve Wolcott, M.P., 2008. Biological Degradation of Wood-Plastic Composites (WPC) and Strategies for Improving the Resistance of WPC Against Biological Decay, Chapter 29, ACS Symposium Series Development of Commercial Wood Preservatives, Efficacy, Environmental, and Health Issues, Washington, US, 480-507.
- Schmidt, E.R., Marsh, R.R., Balatinecz, J.J. ve Cooper, P.A., 1994. Increased Wood/Cement Compatibility of Chromate Treated Wood, Forest Products J., 44, 7/8, 44-46.
- Schmidt, O., 2006. Wood and Tree Fungi, Biology, Damage, Protection, and Use, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany, 334 p.
- Schultz, T.C. ve Nicholas, D.D., 2000. Naturally Durable, Heartwood: Evidence for a Proposed Dual Defense Function of the Extractives, Phytochemistry, 54., 47-52.
- Seefeldt, H. ve Braun, U., 2011. Burning Behavior of Wood-Plastic Composite Decking Boards in End-use Conditions: The Effects of Geometry, Material Composition, and Moisture, J. of Fire Sci., 30, 41-54.
- Segerholm, B.K., Ibach, R.E. ve Walinder, M.E.P., 2012, Moisture Sorption in Artificially Aged Wood-Plastic Composites, BioResources, 7, 1, 1283-1293.
- Segerholm, K., 2007. Wood Plastic Composites Made from Modified Wood-Aspects on Moisture Sorption, Micromorphology and Durability, Licentiate Thesis, KTH Building Materials Technology, Stockholm, Sweden, 36 p.

- Segerholm, K., 2012. Characteristic of Wood Plastic Composites Based on Modified Wood-Moisture Properties, Biological Resistance and Micromorphology, Ph.D. Thesis, KTH Building Materials Technology, Stockholm, Sweden, 66 p.
- Selden, R. Nystrom, B. ve Langstrom, R., 2004. UV Aging of PP/Wood-Fiber Composites, Polymer Composite, 25, 543-553.
- Sellers, T. ve Miller, G.D. 1997. Evaluations of Three Adhesive System for CCA-Treated Lumber, Forest Products J., 46(11/12) 89-91 p.
- Sellers, T., Miller, G.D. ve Katabian, M., 2000. Recycled Thermoplastics Reinforced with Renewable Lignocellulosic Materials, Forest Prod. J., 50, 5, 24-28.
- Şen, S. ve Yalçın, M., 2009. Hizmet Ömrünü Tamamlamış Emprenyeli Ağaç Malzemenin Çevresel Tehditleri ve Geri Dönüşüm Prosesleri, Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 5, 91-106.
- Sewda, K. ve Maiti, S.N., 2007. Mechanical Properties of HDPE/Bark Flour Composites, J. of Applied Polymer Science, 105, 5, 2598-2604.
- Shang, L., Han, G., Zhu, F., Ding, J., Shape, T., Wang, Q. ve Wu, Q., 2012. High-Density Polyethylene-Based Composites with Pressure-Treated Wood Fibers, BioResources, 7, 4, 5181-5189.
- Shiau, R. J., Smith, R. L. ve Avellar, B., 2000. Effects of Steam Explosion Processing and Organic Acids on CCA Removal from Treated Wood Waste, Wood Sci. Tech., 34, 377-388.
- Shibata, M., Takachiyo, K., Ozawa, K., Yosomiya, R. ve Takeishi, H., 2002. Biodegradable Polyester Composites Reinforced with Short Abaca Fiber, J. Appl. Polym. Sci., 85, 129-138.
- Shmulsky, R. ve Jones, P.D., 2011. Forest Products and Wood Science an Introduction, 6th Edition, Wiley-Blackwell Publication, ISBN:13-978-0-8138-2074-3, Iowa, USA, 477 p.
- Shupe, T.F., Hse, C.Y. ve Roliadi, H., 2006. Removal of Creosote from Wood Particles at Different Horizontal and Vertical Locations of Decommissioned Poles Using Steam Treatment, Wood and Fiber Science, 38, 2, 345-350 p.
- Sidharta, A., 2011. Wood Plastic Composites (WPCs) as An Alternative to Solid Lumber, Bachelor of Science, University of British Columbia, Vancouver, 45 p.
- Simonsen, J., 1995. The Mechanical Properties of Wood Fiber Plastic Composites: Theoretical vs. Experimental, In Proceedings of Wood Fiber Plastic Composites, Forest Products Society, Proceedings No. 7293, 47-55 p.

- Simonsen, J., Freitag, C.M., Silva, A. ve Morrell, J.J., 2004. Wood/Plastic Ratio: Effect on Performance of Borate Biocide against a Brown Rot Fungus, Holzforchung, 58, 205-208.
- Sivrikaya, H., 2004. Odunu Tahrip Eden Başlıca Deniz Zararlıları, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 6, 6, 146-141.
- Slooff, W., Janus, J.A., Matthijsen, CM., Montizaan, G.K. ve Ros, J.P.M., 1989. Integrated Criteria Document PAHs, National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Buthoven, Netherlands, Report No. 758474011, 199 p.
- Smith, P.M. ve Wolcott, M.P. 2006. Opportunities for Wood/Natural Fiber-Plastic Composites in Residential and Industrial Applications. Forest Products J. 2006;56(3).
- Smith, R.L. and Shiau, R.J. 1997. Steam Processing of Treated Waste Wood for CCA Removal: Identification of Opportunities for Reuse of the Recovered Fiber. Report Prepared for the Tennessee Valley Authority, Virginia Tech. And Hicksons Ltd. Virginia Tech. Blacksburg, VA.
- Smith, R.L., ve Shiau, R.J., 1998. An Industry Evaluation of the Reuse, Recycling, and Reduction of Spent CCA Wood Products. Forest Prod. J. 48(2):44–48.
- Solo-Gabriele, H.M., Townsend, T., Hahn, D., Hosein, N., Jacobi, J., Jambeck, Moskal, T. ve Lida, K., 2001. Online Sorting Technologies for CCA-Treated Wood. Florida Department of Environmental Protection, Innovative Recycling Grants Program, Tallahassee, FL, 41 p.
- Sparacino, C.M., 1999. Final Report-Preliminary Analysis for North American CTM Cresosote P2, Project ID 70C-6939-001. Research Triangle Institute, 3040 Cornwallis Road, Research Triangle Park, NC 27709, 32 p.
- Stark, N.M. ve Gardner, D.J., 2008. Outdoor Durability of Wood-Polymercomposites, Wood-Polymer Composites Section 7, Woodhead Publishing Limited, ISBN 978-1-84569-457-9, 142-165.
- Stark, N.M. ve Matuana, L.M., 2003. Ultraviolet Weathering of Photostabilized Wood-Flour Filled High-Density Polyethylene Composites, J. Appl. Polym. Sci., 90, 2609-2617.
- Stark, N.M. ve Matuana, L.M., 2004a. Surface Chemistry Changes of Weathered HDPE/Wood-Flour Composites Studied By XPS and FTIR Spectroscopy, Polymer Degradation and Stability, 86, 1-9.
- Stark, N.M. ve Matuana, L.M., 2004b. Surface Chemistry and Mechanical Property Changes of Wood-Flour/High-Density-Polyethylene Composites after Accelerated Weathering, J. of Applied Polymer Science, 94, 2263-2273.

- Stark, N.M. ve Matuana, L.M., 2006. Influence of Photostabilizers on Wood Flour HDPE Composites Exposed to Xenon-Arc Radiation with and without Water Spray, Polym Degrad Stabil., 91, 12, 3048–3056.
- Stark, N.M. ve Matuana, L.M., 2007. Characterization of Weathered Wood Plastic Composite Surfaces Using FTIR Spectroscopy, Contact Angle, and XPS, Polymer Degradation and Stability, 92, 1883-1890.
- Stark, N.M., 2003. Photodegradation and Photostabilization of Weathered Wood Flour Filled Polyethylene Composites, Ph.D. Thesis, Michigan Technological University, 217 p.
- Stark, N.M., 2006. Effect of Weathering Cycle and Manufacturing Method on Performance of Wood Flour and High Density Polyethylene Composites, J. of Applied Polymer Science, 100, 3131-3140.
- Stephan, I., Leithoff, H. ve Peek, R.D., 1996. Microbial Conversion of Wood Treated with Salt Preservatives, Material U. Organismen, 30, 179-200.
- Stirling, R. ve Temiz, A. 2014. Fungicides and Insecticides Used in Wood Preservation. Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterials. ACS Symposium Series, Volume 1158, Chapter 10, 185-201.
- Stroh, P., 2005. Black Pigments. In: Buxbaum, G. & Pfaff, G. (eds.), Industrial Inorganic Pigments, 3. Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH&Co., Germany, 163-194.
- Sundar, S.T., 2005. Chemical Modification of Wood Fiber to Enhance the Interface Between Wood and Polymer in Wood Plastic Composites, Master Thesis, University of Idaho, USA, 87 p.
- Taib, R.M., Zauzi, N.S.A., Ishak, Z.A.M. ve Rozman, H.D., 2010. Effects of Photo-Stabilizers on the Properties of Recycled High-Density Polyethylene (HDPE)/Wood Flour (WF) Composites Exposed to Natural Weathering, Malaysian Polymer J., 5, 2, 193-203.
- Tajvidi, M. ve Takemura, A., 2010. Thermal Degradation of Natural Fiber-Reinforced Polypropylene Composites, J. of Thermoplastic Composite Mat., 23, 281-298.
- Taşçıoğlu, 2004. CCA Emprenye Maddesinin Kullanımdan Kalkması ve Alternatif Odun Koruma Maddeleri, İÜ Orman Fakültesi Dergisi, 54, 2, 97-106.
- Taşçıoğlu, C. ve Tufan, M., 2011. Hizmet Ömrünü Doldurmuş Emprenyeli Ağaç Malzemenin Geri Dönüşüm Yöntemleri Üzerinde Genel Bir Değerlendirme, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 12, 1, 86-91.
- Tascioglu, C., Tufan, M., Yalcin, M. ve Sen, S., 2014. Determination of Biological Performance, Dimensional Stability, Mechanical and Thermal Properties of Wood-Plastic Composites Produced from Recycled Chromated Copper Arsenate-Treated Wood, J. of Thermoplastic Composite Materials, 1-19.

- Tascioglu, C., Yoshimura, T. ve Tsunoda, K., 2013. Biological Performance of Wood Plastic Composites Containing Zinc Borate: Laboratory and 3-Year Field Test Results, Composites Part B, 51, 185-190.
- Taylor, A., Cooper, P.A. ve Ung, Y.T. 2001. Effects of Deck Washes and Brighteners on the Leaching of CCA Components, Forest Products J., 51, 69-72.
- TEDAŞ, 2015. Kişisel Görüşme, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, Artvin, 12 Mart 2015.
- TEDAŞ. 2011. Kişisel Görüşme, Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi Müdürlüğü, Ankara, 25 Eylül 2011.
- Temiz, A., 2005. Dış Hava Koşullarının Emprenyeli Ağaç Malzemeye Etkileri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 208 s.
- Temiz, A., Alma, M.H., Terziev, N., Palanti, S. ve Feci, E., 2010. Efficiency of Bio-oil Against Wood Destroying Organisms, J. of Biobased Materials and Bioenergy, 4, 1-7.
- Temiz, A., Yıldız, Ü.C., Gezer, E.D., Yıldız, S. ve Dizman, E., 2004a. Bakır İçeren Emprenye Maddelerinin Odunla Olan Etkileşimi, Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 3, 4, 204-211.
- Temiz, A., Yıldız, Ü.C., Kırıcı, H., Gezer, E.D. ve Yıldız, S., 2004b. Odunun Fotodegradasyonu, Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 3, 4, 145-156.
- Thierfelde, T. ve Sandström, E., 2008. The Cresosote Content of Used Railway Cressies as Compared with European Stipulations for Hazardous Waste, Science of the Total Environment, 402, 106-112.
- Tisserat, B., Reifschneider, L., Grewell, D. ve Srinivasan, G., 2014. Effect of Particle Size, Coupling Agent and DDGS Additions on Paulownia Wood Polypropylene Composites, J. of Reinforced Plastic&Composites, 33, 14, 1275-1293.
- TOBB, 2012. Türkiye Orman Ürünleri Sektör Meclis Raporu, Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, ISBN:978-605-137-338-6, Ankara, 52 s.
- Tomak, E.D. ve Yıldız, Ü.C., 2012. Bitkisel Yağların Ahşap Koruyucu Bir Madde Olarak Kullanılabilirliği, ACÜ Orman Fakültesi Dergisi, 13, 1, 142-157.
- TS 344, 2012. Ahşap Koruma Genel Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, Türkiye.
- TS 788, 1997. Ahşap ve Ahşap Esaslı Malzemelerin Dayanıklılığı-Ahşap Koruyucu Emprenye Maddelerinin Biyolojik Deneylerle Tespit Edilen Performansı, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, Türkiye.

- TS EN275, 2000. Ahşap Koruyucular-Deniz Oyucularına Karşı Koruyucu Etkisinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara, Türkiye.
- Tufan, M., 2013. Servis Ömrünü Doldurmuş Tel Direklerinden Odun Plastik Kompozit Üretimi, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül 2013, Düzce, 116 s.
- URL-1, <http://www.plastval.pt/conteudos/File/Publicacoes/Plastics%20-%20the%20Facts%202014.pdf>, Plastic The Facts, An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data, 10 Nisan 2015.
- URL-2, <http://www.gdrc.org/uem/waste/3r-index.html>, Second Opinion 3R-a GDRC Gateway to 3R Policies, Strategies and Action for Material Efficiency, 18 Haziran 2015.
- URL-3, <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/index.htm>, Municipal Solid Waste, 25 Haziran 2015.
- US-EPA 2003. Pesticides: Topic & Chemical Fact Sheets, "Preliminary Risk Assessment for Creosote" December 5, 2003.
- US-EPA 2007. Pesticides: Topic & Chemical Fact Sheets, "Preliminary Risk Assessment for Creosote" October 22, 2007.
- US-EPA, 2008. Reregistration Eligibility Decision (RED) Document for Creosote (Case 0139) EPA 739-R-08-007, United States Environmental Protection Agency September 2008, 91 p.
- US-EPA. 2006. EPA-Pesticides: Reregistration-Chromated Copper Arsenate (CCA). <http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca> (Erişim tarihi: 12.04.2015).
- Valente, M., Sarasini, F., Marra, F., Tirillo, J. ve Pulci, G., 2011, Hybrid Recycled Glass Fiber/Wood Flour Thermoplastic Composites: Manufacturing and Mechanical Characterization, Composite Part A, 42, 649-657.
- Verhey, S.A. ve Laks, P.E., Wood Particle Size Affects the Decay Resistance of Wood Fiber/Thermoplastic Composites, Forest Prod. J., 52, 11/12, 78-81.
- Verhey, S.A., Laks, P.E., Richter, D.L., 2001. Laboratory Decay Resistance of Wood Fiber/ Thermoplastic Composites, Forest Prod J., 51, 9, 44-49.
- Vick, C.B., 1995. Coupling Agent Improves Durability of PRF Bonds to CCA-Treated Southern Pine, Product J., 45, 3, 78-84.
- Vick, C.B., Geimer, R.L. ve Wood, J.E., 1996. Flakeboard from Recycled CCA-Treated Southern Pine Lumber, Forest Product J., 46, 11/12, 89-91.
- Wang, W. ve Morrell, J.J., 2004. Water Sorption Characteristics of Two Wood-Plastic Composites, Forest Prod. J., 2004, 54 12, 209-212.

- Wang, W., Sain, M. ve Cooper, P.A., 2006. Study of Moisture Absorption in Natural Fiber Plastic Composites, Composites Science and Technology, 66, 3/4, 379-386.
- Wang, X.Y., Li, Q.B., Luo, Y.M., Ding, Q., Xi, L.M., Ma, J.M., Li, Y., Liu, Y.P. ve Cheng, C.L., 2010. Characteristics and Sources of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Shanghai, China, Environmental Monitoring and Assessment, 165, 295-305.
- Wang, Y., 2007. Morphological Characterization of Wood Plastic Composite (WPC) with Advanced Imaging Tools: Developing Methodologies for Reliable Phase and Internal Damage Characterization, Master Thesis, Oregon State University, July 2007, 163 p.
- Wang, Y., Yeh, F.C., Lai, S.M., Chan, H.C. ve Shen, H.F., 2003. Effectiveness of Functionalized Polyolefin as Compatibilizers for Polyethylene/Wood Flour Composites, Polymer Engineering and Science, 43, 4, 933-945.
- Wcislo, E., 1998. Soil Contamination with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Poland- A Review, Polish J. of Environmental Studies, 7, 267-272.
- Webb, D.A. ve Gauntt, J., 2010. An Evaluation of Used Wood Cross ties, AWPA 106th Annual Meeting of American Wood Protection Association, Savannah, Georgia, USA.
- Wechsler, A. ve Hiziroglu, S., 2007. Some of the Properties of Wood-Plastic Composites, Building and Environment, 42, 2637-2644.
- Wei, L., McDonald, A.G., Freitag, C. ve Morrell, J.J., 2013. Effects of Wood Fiber Esterification on Properties, Weatherability and Biodurability of Wood Plastic Composites, Polymer Degradation and Stability, 98, 1348-1361.
- Wenzl, T., Simon, R., Anklam, E. ve Kleiner, J., 2006. Analytical Methods for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Food and the Environment Needed for New Food Legislation in the European Union, Trends in Analytical Chemistry, 25, 716-725.
- Westin, M., Larsson, B., Segerholm, K. ve Oever M., 2008. Wood Plastic Composites From Modified Wood, IRG-WP 39th Annual Meeting, 25-29 May 2008, Turkey, IRG/WP 08-40423.
- Westin, M., Larsson, B.P., Edlund, M.L. ve Alfredsen, G., 2006. Wood Plastic Composites from Modified Wood, Part 2: Durability in Laboratory Decay Tests, Annual Meeting, International Research Group on Wood Protection, Tromso, IRG/WP 06-40353.
- Wild, P.J., Reith, H. ve Heeres, H.J., 2011. Biomass Pyrolysis for Chemicals, *Biofuels*, 2, 185-208.

- Willeitner, H. ve Liese, W. 1992. Wood Protection in Tropical Countries, A Manual on the Know-How, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH Technical Cooperation-Federal Republic of Germany Eschborn, Germany, ISBN3-88085-480-7, 228 p.
- Williams, L.H., 1990. Potential Benefits of Diffusible Preservatives for Wood Protection: An Analysis with Emphasis on Building Timbers, First International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives, Forest Products Research Society, 29-34.
- Wolcott, M.P. ve Englund, K., 2010. A Technology Review of Wood-Plastic Composites, 33rd Int. Particleboard/Composite Materials Symp, Washington State University, USA, 103-110.
- Wolcott, M.P., 2007. Wood Plastic Composites, In: Mortensen, Concise Encyclopedia of Composite Materials, 2. Edition, Amsterdam, Netherlands, Elsevier, 932- 936.
- Yadama, V., 2006. Residential Opportunities for Wood-Plastic Composites. [Online] WashingtonStateUniversity. Available: <http://www.docstoc.com/docs/85968242/Residential-Opportunities-for-Wood-Plastic-Composites>, 16 Nisan 2014.
- Yalınkılıç, M.K., 1992. Daldırma ve Vakum Yönyemiyle Sarıçam ve Doğu kayını Odunlarının Kreozot, WR, Tanalit-CBC ve Tanalit C-S Kullanılarak Emprenyesi ve Emprenye Edilen Örneklerin Yanma Özellikleri, 1. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi, Trabzon, 373-402.
- Yang, H.S., Kim, H.J., Park, H.J., Lee, B.J. ve Hwang, T.S., 2007. Effect of Compatibilizing Agents on Rice-husk Flour Reinforced Polypropylene Composites, Composite Structures , 77, 45-55.
- Yang, T.H., Yang, T.H., Chao, W.C. ve Leu, S.Y., 2015. Characterization of the Property Changes of Extruded Wood-Plastic Composites during Year Round Subtropical Weathering, Construction and Building Materials, 88, 159-168.
- Yıldız, Ü.C., 2005. Odun Koruma Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi (Basılmamış Ders Notları), Trabzon, 237 s.
- Zahedi, M., Pirayesh, H., Khanjanzadeh, H. ve Tabar, M.M., 2013. Organo-Modified Montmorillonite Reinforced Walnut Shell/ Polypropylene Composites, Materials and Design, 51, 803-809.
- Zapff-Gilje, R., Gary, E. ve Rankin, M.G., 2001. Aquatic Risk Assessment and Fisheries Act. Are they compatible?, Canadian J. of Engineering, 28, 1, 1-5.
- Zhang, J.L.G., Li, X.D., Qi, S.H., Liu, G.Q. ve Peng, X.Z., 2006. Source Seasonality of PAHs in Subtropical City, Guangzhou, South China, Science of the Total Environment, 355, 145-155.

- Zhang, P., Song, J. ve Yuan, H., 2009. Persistent Organic Pollutant Residues in the Sediments and Mollusks from the Bohai Sea Coastal Areas, North China: An Overview, Environment International, 35, 632-646.
- Zhou, G., 2012. Extraction of Preservative Components from Treated Wood Waste, PhD Thesis, Graduate Department of Forestry, University of Toronto, 162 p.
- Zimmermann, M.V.G. ve Zattera, A.J. 2013, Recycling and Reuse of Waste from Electricity Distribution Networks as Reinforcement Agents in Polymeric Composites, Waste Management, 33, 1667-1674.
- Zuydam, C.S.Z., 2007. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Resulting from Wood Storage and Wood Treatment Facilities for Electricity Transmission in Swaziland, Master of Science, University of South Africa, June 2007, 112 p.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Ağrı'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Ağrı'da, lise eğitimini ise İstanbul'da tamamladı. 2004 yılında KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlayarak 2011 yılında Orman End. Yük. Müh. olarak mezun oldu. 2010-2011 Güz döneminde Erasmus bursunu kazanarak İsveç ve Almanya ülkelerinde çeşitli araştırmalarda bulundu. 2011 yılında aynı anabilim dalında doktora programına başladı. 2011 yılında, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nca düzenlenen "Teknogirişim Sermayesi Desteği Programı"na başvurduğu proje, desteklenmeye hak kazanmış olup 2013 yılında başarı ile sonuçlanmıştır. 2009 yılında Araştırma Görevlisi olarak atandığı Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde halen görev yapmaktadır. Evli olup, iyi derecede İngilizce ve temel düzeyde Almanca bilmektedir.