



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİNKO BORAT MADDESİNİN ODUN PLASTİK
KOMPOZİTLERDE ANTİFUNGAL ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

ESRA YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2016

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİNKO BORAT MADDESİNİN ODUN PLASTİK
KOMPOZİTLERDE ANTİFUNGAL ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

ESRA YILMAZ

Bu tez,
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2016

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Esra Yılmaz tarafından hazırlanan “Çinko Borat Maddesinin Odun Plastik Kompozitlerde Antifungal Etkisinin İncelenmesi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 04/02/2016 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ALTUNTAŞ (DANIŞMAN)

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Prof. Dr. M. Hakkı ALMA (ÜYE)

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TANIŞ (ÜYE)

Genel Biyoloji Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mustafa ŞEKKELİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Esra Yılmaz

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

KSÜ BAP Proje No: 2015/3-44YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÇİNKO BORAT MADDESİNİN ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERDE ANTİFUNGAL ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

ESRA YILMAZ

ÖZET

Bu çalışmada, çinko borat katkılı odun plastik kompozit (OPK) malzemenin oduna arız olabilen bazı çürüklük mantarlarına (*Trametes versicolor*, *Coniophora puteana*, *Postia placenta*) karşı dayanımı araştırılmıştır. OPK örnekleri %50, %60 ve %70 oranlarında değişen sarıçam odununu, HDPE ve katkı maddeleri ile ikiz vidalı ekstruder kullanılarak üretilmiştir. Bazı formülasyonlarda uyumsuzluk gidermek amacıyla MAPE kullanılmıştır. Ekstrüzyondan elde edilen granül malzemeler sıcak preste levha haline getirilerek bu levhalardan standartlara uygun test örnekleri hazırlanmıştır. Üretilen kompozit örneklerinin mekanik (eğilme, çekme ve şok direnci), biyolojik bozunurluk, yüzey sertliği testleri ile termal (TGA/DTA), ATR-FTIR ve SEM analizleri yapılarak özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre genel olarak odununu oranı arttıkça OPK örneklerinin mekanik değerlerinin azaldığı ancak elastikiyet modülünün arttığı saptanmıştır. Ayrıca OPK içine eklenen MAPE takviyesinin malzemenin özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Biyolojik bozunurluk test sonuçları incelendiğinde odunununu oranının artması ile malzemenin ağırlık kaybının önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Ancak OPK örneklerine çinko borat maddesinin eklenmesi ile ağırlık kayıplarının %12'lerden %2'lere düştüğü görülmüştür. Biyolojik bozunmanın etkisiyle örneklerin yüzey sertlik değerlerinde de düşüş olmuştur. Ayrıca farklı sürelerde mantara maruz kalan OPK örneklerinde odunundan kaynaklı kimyasal değişimlerin meydana geldiği FTIR analizleri ile tespit edilmiştir. Mantar çürüklüğü sonrası malzemedeki odunun termal özelliklerinde de değişimlerin olduğu TGA/DTA analizleri ile de gösterilmiştir. Son olarak SEM görüntüleri çürüklük mantarlarının OPK yüzeyinde değişimlere neden olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Odun plastik kompozit, çinko borat, antifungal, biyolojik bozunurluk

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Şubat/2016

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul Altuntaş

Sayfa sayısı: 96

INVESTIGATION OF ANTIFUNGAL EFFECT OF ZINC BORAT COMPOUND ON WOOD PLASTIC COMPOSITES

(M.Sc. THESIS)

ESRA YILMAZ

ABSTRACT

In this study, the resistance of zinc borate reinforced wood plastic composite (WPC) materials against to some wood-rot fungi (*Trametes versicolor*, *Coniophora puteana*, *Postia placenta*) was investigated. WPC samples containing 50%, 60% and 70% wood flour, HDPE and additives were manufactured by using a twin-screw extruder. In some formulations, MAPE was used as coupling agent to prevent the unconformity. Extruded WPC granules were converted into plates via a hot press and test specimens were prepared from these plates according to the standards. The properties of the WPC specimens were determined by using mechanical (flexural, tensile and shock resistance), biodegradability and surface hardness tests along with thermal (TGA/DTA), ATR-FTIR and SEM analyzes. According to the results in general as the amount of wood flour ratio increased mechanical properties of WPC specimens decreased, however the modulus of elasticity increased. Moreover, it was also found that the addition of MAPE improved the properties of WPC samples. Biodegradability test results showed that when the wood flour ratio increased the weight loss of the WPC samples was significantly increased. However, the addition of zinc borate material into formulations reduced the weight loss of the samples from around 12% to 2%. The surface hardness values decreased due to biological degradation of samples. Furthermore, in the samples exposed to the fungal attack for various times some chemical changes were determined via FTIR analysis originating from the wood flour. After the fungal decay tests the alterations in the thermal properties of wood flour in the material were also shown through TGA/DTA analyses. Finally, SEM images were showed that the rot fungi caused changes on the surface of WPC.

Key Words: Wood plastic composite, zinc borate, antifungal, bio-degradation

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Forest Industry Engineering, February/2016

Supervisor: Assist. Prof. Ertuğrul Altuntaş

Number of pages: 96

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenim sürecimin her aşamasında benden her türlü bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul ALTUNTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Lisans eğitimimin başlangıcından bu yana benden desteklerini esirgemeyen ve engin bilgilerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. M. Hakkı ALMA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneyler, analizler ve tez yazımı sırasında her zaman yardım ve desteğini gördüğüm Araş. Gör. Tufan SALAN'a, deneysel çalışmalarım sırasında bana yardımcı olan Araş. Gör. Nasır NARLIOĞLU'na, Araş. Gör. Eyyüp KARAOĞUL'a ve yüksek lisans öğrencisi Nazan KOCA'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim. Çalışmada bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Dr. Selçuk AKBAŞ'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmam ve hayatım boyunca maddi, manevi her konuda desteklerini aldığım babam Mümtaz YILMAZ'a, annem Cemile YILMAZ'a ve kardeşim Mehmet Engin YILMAZ'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu yüksek lisans tez çalışmasını destekleyen Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi'ne de teşekkürlerimi sunarım.

Esra Yılmaz

Kahramanmaraş, Şubat, 2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLER	4
2.1. Odun Plastik Kompozitlerde Kullanılan Hammaddeler	4
2.1.1. Lifsel hammaddeler	4
2.1.1.1. Odunsu lifler	4
2.1.1.2. Diğer lignoselülozik lifler	5
2.1.2. Plastik hammaddeler	5
2.1.3. Polietilen	6
2.1.4. Katkı maddeleri	7
2.1.4.1. Maleik anhidrit aşılınmış polietilen (MAPE) ve etki mekanizması	7
2.1.4.2. Çinko borat	8
2.2. Odun Plastik Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	9
2.2.1. Ekstrüzyon yöntemi	10
2.2.2. Enjeksiyon kalıplama yöntemi	10
2.2.3. Basınçlı kalıplama yöntemi	10
2.3. Odun Plastik Kompozitlerin Kullanım Alanları	11
2.4. Odun Plastik Kompozitlerin Performansı	11
2.5. Odun Plastik Kompozitlerde Biyolojik Bozunurluk	13
2.5.1. OPK malzemelerin biyolojik performansını etkileyen faktörler	15
2.5.2. Çalışmada kullanılan çürüklük mantarları hakkında genel bilgiler	17
2.5.2.1. Beyaz çürüklük mantarı (<i>T. versicolor</i>)	19
2.5.2.2. Esmer (kahverengi) çürüklük mantarları (<i>C. puteana</i> , <i>P. placenta</i>)	20
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	23
4. MATERYAL VE METOT	27

4.1. Materyal.....	27
4.2. Metot.....	28
4.2.1. Kompozitlerin üretilmesi	28
4.2.2. Biyolojik bozunurluk testleri	29
4.2.3. Mekanik testler	32
4.2.4. ATR/FT-IR spektroskopisi analizleri	32
4.2.5. Termal testler	33
4.2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri.....	33
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	34
5.1. Biyolojik Bozunurluk Testleri	34
5.1.1. Rutubet değerleri	34
5.1.2. Görsel görünüm ve gözlemler	35
5.1.3. Ağırlık kayıpları.....	42
5.2. Mekanik Test Sonuçları	51
5.3. Yüzey Sertliği Sonuçları.....	56
5.4. ATR/FT-IR Spektroskopisi Bulguları	57
5.5. Termal Analiz Bulguları	65
5.6. SEM Bulguları	69
6. SONUÇLAR.....	72
KAYNAKLAR.....	74
EKLER	83
ÖZGEÇMİŞ.....	86

KISALTMALAR DİZİNİ

OPK:	Odun Plastik Kompozit
HDPE:	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
MAPE:	Maleik Anhidrit Aşılanmış Polietilen
TGA:	Termogravimetrik Analiz
DTG:	Türev Termogravimetrik Analiz
DTA:	Diferansiyel Termal Analiz
DCOIT:	Dichlorooctyl-4-isothiazoline
IPBC:	3-iodo-2-propynyl-n-butylcarbamate
ATR/FT-IR:	Attenuated Total Reflectance–Fourier Transform
SEM:	Scanning Electron Microscopy
ASTM:	American Society For Testing And Materials
NMR:	Nuclear Magnetic Resonance

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Etilen, polietilen ve zincir yapıları	6
Şekil 2.2. OPK malzemede MAPE, odun lifi ve PE bağlanma mekanizması.....	8
Şekil 2.3. Bor cevherleri ve bunlardan üretilen bazı ürünler (ETİ Maden, 2012).....	9
Şekil 2.4. OPK'nin kullanım alanlarına bazı örnekler.....	11
Şekil 2.5. Odunda çürüklüğe neden olan mantarların sınıflandırması	19
Şekil 2.6. Bir ağacın üstünde yetişen <i>T. versicolor</i> mantarının görüntüsü.....	19
Şekil 2.7. Çürümüş bir ağaç kütüğündeki <i>C. puteana</i> mantarının görüntüsü.....	21
Şekil 2.8. Çürümüş bir ağaç kütüğündeki <i>Postia placenta</i> mantarının görünümü.....	22
Şekil 4.1. Üretim işlemlerinde kullanılan ekstrüder (a), ekstrüzyon işlemi sonrası elde edilen pelet halindeki kompozitler (b), pres (c), pres işleri sonrası elde edilen levha (d)...	29
Şekil 4.2. Malt ekstrakt agar (a) ve çözeltisi (b), otoklav (c) ve içindeki besiyeri çözeltisi ve diğer aletler (d), steril kabinde UV altındaki besiyerleri (e), petrilere dökülen besiyeri (f)	30
Şekil 4.3. Steril aşılama kabini (a), besiyerine mantar miselinin aşılınması (b), gelişmiş mantar miselleri (c), çürüklük testi için hazırlanan kompozit örnekleri (d), kompozit örneklerinin inkübasyonu (e), iklimlendirme kabineye yerleştirilmiş petri kapları (f).....	31
Şekil 5.1. OPK örneklerinin rutubet değerleri.....	34
Şekil 5.2. <i>Trametes versicolor</i> mantarı ile inkübe edilmiş kompozit örnekleri (sağdaki örnek (11. Grup) %2 çinkoborat içermektedir, soldaki örnek (7. Grup) çinko borat içermemektedir.).....	36
Şekil 5.3. <i>Coniophora puteana</i> mantarı ile inkübe edilmiş kompozit örnekleri (sağdaki örnek (11. Grup) %2 çinkoborat içermektedir, soldaki örnek (10. Grup) çinko borat içermemektedir.).....	36
Şekil 5.4. <i>Postia placenta</i> mantarı ile inkübe edilmiş kompozit örnekleri (sağdaki örnek (9. Grup) %1 çinkoborat içermektedir, soldaki örnek (7. Grup) çinko borat içermemektedir.)	36
Şekil 5.5. Mantar (<i>Postia placenta</i>) çürüklüğüne maruz kalan odun örneklerinin görünümü	38
Şekil 5.6. Bazı OPK örneklerinin çürüklük testleri sonrası görüntüleri.....	40
Şekil 5.7. Sarı çam odunu örneklerinde meydana gelen ağırlık kayıpları.....	43
Şekil 5.8. <i>T. versicolor</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin ağırlık kayıpları.....	45
Şekil 5.9. <i>C. puteana</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin ağırlık kayıpları.....	45
Şekil 5.10. <i>P. placenta</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin ağırlık kayıpları.....	45
Şekil 5.11. OPK örneklerinin çekme direnci değerleri.....	51
Şekil 5.12. OPK örneklerinin çekmede elastikiyet modülü	52
Şekil 5.13. OPK örneklerinin eğilme direnci değerleri	53

Şekil 5.14. OPK örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü	54
Şekil 5.15. OPK örneklerinin şok direnci değerleri	55
Şekil 5.16. <i>T.versicolor</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin yüzey sertlik değerleri ..	56
Şekil 5.17. <i>C.puteana</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin yüzey sertlik değerleri ..	56
Şekil 5.18. <i>P. placenta</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin yüzey sertlik değerleri.	56
Şekil 5.19. <i>T. versicolor</i> mantarına maruz kalan diri odun örneklerinin FTIR spektrumları	59
Şekil 5.20. <i>C. puteana</i> mantarına maruz kalan diri odun örneklerinin FTIR spektrumları.	59
Şekil 5.21. <i>P. placenta</i> mantarına maruz kalan diri odun örneklerinin FTIR spektrumları	59
Şekil 5.22. <i>T. versicolor</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin FTIR spektrumları	62
Şekil 5.23. <i>C. puteana</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin FTIR spektrumları	62
Şekil 5.24. <i>P. placenta</i> mantarına maruz kalan OPK örneklerinin FTIR spektrumları.....	62
Şekil 5.25. <i>T. versicolor</i> mantarına maruz kalan çinko boratlı OPK'lerin FTIR spektrumları	64
Şekil 5.26. <i>C. puteana</i> mantarına maruz kalan çinko boratlı OPK'lerin FTIR spektrumları	64
Şekil 5.27. <i>P. placenta</i> mantarına maruz kalan çinko boratlı OPK'lerin FTIR spektrumları	64
Şekil 5.28. <i>C. puteana</i> mantarına maruz kalan kompozit örneklerinin (7. Grup) TGA (a) ve dTGA (b) eğrileri.....	66
Şekil 5.29. <i>C. puteana</i> mantarına maruz kalan kompozit örneklerinin (7. Grup) DTA eğrisi	66
Şekil 5.30. <i>P. placenta</i> mantarına maruz kalan kompozit örneklerinin (7. Grup) TGA (a) ve dTGA (b) eğrileri.....	68
Şekil 5.31. <i>P.placenta</i> mantarına maruz kalan kompozit örneklerinin (7. Grup) DTA eğrisi	68
Şekil 5.32. OPK örneklerinden 7.grubun SEM görüntüleri	70
Şekil 5.33. <i>C. puteana</i> mantarına maruz kalmış olan 7. grubun SEM görüntüleri.....	70
Şekil 5.34. <i>P.placenta</i> mantarına maruz kalmış olan 7. grubun SEM görüntüleri.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. OPK, ahşap ve plastik malzemelerin performans karşılaştırması	12
Çizelge 4.1. Kompozit örneklerinin üretimi için hazırlanan karışım formülleri	28
Çizelge 5.1. OPK örneklerinin FTIR spektrumlarında bulunan piklerin karakterizasyonu	60

1. GİRİŞ

Odun plastik kompozit (OPK) odun ya da diğer doğal lifler ile güçlendirilen termoplastikler olarak tanımlanır. Termoplastikler birer polimerdir ve ısı ile işlenebilirler, soğuduktan sonra kendi şeklini muhafaza ederler. Termoplastik esaslı kompozit üretiminde farklı türde odunlardan elde edilen odun lifleri ile PE, PP, PVC ve PS gibi plastikler kullanılabilir. Bu termoplastikler lignoselülozik yapıya sahip olan materyallerin bozunmasını önlemek için daha düşük sıcaklıklarda (150-220 °C) üretilenlerinden dolayı seçilmektedir (Matuana ve Heiden, 2004).

Son zamanlarda endüstride oldukça fazla kullanım alanı bulan OPK'ların gün geçtikçe kullanım alanları artmaktadır. Özellikle direnç özelliklerinin yüksek oluşu nedeni ile dış mekân uygulamaları çok yaygın kullanılmaktadır. Odun ile zararlı çevresel faktörler arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu; odunun biyolojik bakımdan bozulması, mor ötesi (UV) ışınlarla bozunması, tutuşabilmesi, çalınması, asit ve bazlardan olumsuz etkilenmesi gibi arzu edilmeyen özellikler ortaya çıkmaktadır. Bu etmenler nedeniyle odunun yoğunluk, direnç ve estetik özelliklerini büyük ölçüde azaltmaktadır. Dolayısı ile herhangi bir ön koruma işlemine tabi tutulmamış birçok odun türünün doğal dayanıklılığı dış koşullarda kullanılabilmesi için yeterli düzeyde değildir (Dizman ve ark., 2006).

Bu sebeplerle de doğrudan bağlı olmak üzere odun lifi ya da unlarının plastik matrisi içerisine eklenmesi sonucunda elde edilen bu malzemelerin üretimindeki en önemli sorunlar iki ana başlıkta toplanabilir. Bunlardan birincisi, odun unu ya da liflerinin sıcaklık ve neme duyarlı olması ve ikincisi ise, hidrofilik yapıdaki odun lifi ile hidrofobik yapıya sahip olan plastik yüzeyi arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan bağlanma problemleridir. Bu nedenle OPK malzemelerde günümüze kadar performansını arttırmak, kötü özelliklerini ortadan kaldırmak, kullanım ömrünü uzatmak ve fiziki dış etmenlere karşı dayanımı arttırmak için birçok çeşitli katkı maddeleri kullanılmıştır. Katkı maddelerin kullanımı OPK'ların özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Başta birleştirici ajan olmak üzere ve diğer katkı maddeleri esas olarak fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkilidir (Zhang ve ark., 2002; Yang ve ark., 2007).

OPK üretiminde kullanılan hidrofobik yapıda olan plastik dolayısıyla rutubete ve rutubet değişimlerine karşı oldukça dayanıklıdır. Eğer lignoselülozik malzeme (ahşap, odun talaşı, yıllık bitki artıkları vb) unları hidrofob plastik materyal içerisinde iyi bir şekilde kapsüle edilirse hidrofilik karakterde olmalarına rağmen son üründe kullanım

yerinde problem oluşturacak düzeyde çalışma (daralma ve genişleme) göstermezler. Bundan dolayı ahşap polimer kompozitler yüksek boyutsal stabiliteye sahiptirler (Kaymakçı ve ark., 2014).

Odun lifi, termoplastik kompozitlerde bol, ucuz, sağlam ve düşük yoğunluklu olduğu için kullanılır. OPK retiminde dolgu maddesi olarak odun materyallerin kullanılması maliyeti önemli ölçüde düşürmekte, kullanım yerinde sağlık açısından problem çıkarmamakta ve ses izolasyonu sağlamaktadır. Öte yandan, bilindiği üzere odun zaman içerisinde biyolojik olarak bozunmakta ve OPK’lar içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılan odun bu bozunmadan dolayı dış mekân uygulamalarında tereddütler oluşturmaktadır (Taşçioğlu ve ark., 2013).

Odunun yapısını oluşturan selüloz, hemiselüloz ve lignin dolayısıyla mantar ve böcekler gibi ağaç zararlıların etkisi ile deformasyona uğraması oldukça yaygın endüstriyel bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Mantar ve böcekler ahşabın bileşenlerini besin olarak kullanmak suretiyle ahşabı çürütmekte ve özellikle mekanik anlamda ciddi direnç kayıpları oluşturmaktadır. OPK retiminde kullanılan odun unu polimer matris içerisine iyi bir şekilde kapsüle edilmesi halinde ağaç zararlıların uğrattığı tahribata karşı oldukça dayanıklı bir hal almaktadır. Ancak polimer matris ile ahşap unu arasındaki bağlanmanın ve karışımın iyi bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra OPK retim dizaynı içerisine dahil edilecek çeşitli katkı maddeleri sayesinde hem bağlanma arttırılabilir hem de bu zararlılara karşı önlemler almak suretiyle daha stabil hale getirilebilir (Kaymakçı ve ark., 2014).

Özellikle formül içindeki odun miktarı arttığa bozunma miktarı artacak dolayısı ile OPK’nın mekanik ve fiziksel özellikleri de bu durumdan olumsuz etkilenecektir. Öte yandan mantara karşı biyolojik bozunmanın dayanımını arttırmak için OPK içindeki odun miktarını azaltma yoluna gidilirse buda OPK’nın dayanıklılık ve özellikle sertlik özelliklerinde bir azalmaya sebep olacak ve daha çok plastik kullanımı sebebi ile malzemenin maliyeti artacaktır. Bu nedenle OPK’da meydana gelebilecek bozunmaları engellemek veya azaltmak böylelikle kullanım ömürlerini uzatmak için farklı katkı maddeleri kullanmak veya odunu kimyasal olarak modifiye etmek gerekmektedir (Stark ve Rowlands, 2003).

Günümüze değin odun su adsorplama özelliğinin azaltılması için anhidridler, isosiyanatlar ve epoksitler gibi kimyasallar ile muamele edilerek modifiye edilmiştir.

Ayrıca OPK'lerin mantar çürüklüğüne karşı direnci arttırmak için başta çinko borat olmak üzere birçok çeşitli katkı malzemesi kullanılmıştır. Çinko boratlar, alev geciktirici, duman bastırıcı, korozyon geciktirici olarak polimerlerde ve kaplamalarda, özellikle PVC, halojenli polyester ve naylonlarda kullanılır. Çinko borat nispeten düşük bir su çözünürlüğü, süzülme dayanımı, yaygın ekstrüzyon sıcaklığına dayanıklılığı, düşük maliyeti, çok düşük çevre ve çalışma toksisite riski nedeniyle OPK'nın mantarlar tarafından çürütülmesine karşı kullanılan baskın bir koruyucu olmuştur. Çinko boratlı OPK'lar düşük seviyedeki sızdırma riskinden dolayı dış cephe kaplaması, dış süslemeler ve pencere parçaları gibi dış uygulamalar için uygundur (Hill, 2000; Schirp ve ark., 2008).

Ülkemizde OPK'lere ilgi ve talep son yıllarda artış göstermiş olup, üretim maliyetlerini düşürmek amacı ile bu ürünlerin üretiminde kullanılan alternatif hammaddelerin ve katkı maddelerinin araştırılmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca konuyla ilgili hali hazırda bulunan işletmeler oldukça yeni olup gelişme aşamasındadır. Bu nedenle ülkemizde bu tür ürünlerin Ar&Ge çalışmaları da kısıtlı olup sayısının artmaya ihtiyacı vardır. Özellikle OPK malzemelerin biyolojik bozunurluğu ile ilgili çalışmalar tam olarak kuramsal bir çerçeveye oturmuş olmayıp, yeni araştırma ve geliştirmeye ihtiyacı vardır. Ülkemizde OPK üretimi yapan az sayıdaki üretici pazardan çok az bir pay almaktadırlar.

Bu nedenle bu tez çalışması bilimsel anlamda ülkemizdeki bu boşluğu doldurmaya yönelik olup ayrıca ilgili alanda dünya literatürüne de yeni katkılar yapacaktır. Diğer yandan OPK malzemelerde biyolojik bozunurluğu engellemek için çinko borat kullanılarak farklı oranlarda odun unu dolgusu bulunan OPK malzemelerin mantar çürüklüğüne karşı direnci üzerine yapacağı etkiler araştırılarak karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışması sonucunda ortaya çıkan bor katkılı yanmaya ve dış mekan uygulamalarında biyolojik bozunmaya dirençli çevreci, ekonomik, bakım ve amortisman giderleri az olan bir malzeme ortaya çıkarılmıştır.

2. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLER

2.1. Odun Plastik Kompozitlerde Kullanılan Hammaddeler

OPK üretiminde plastik ve lignoselülozik liflerin yanı sıra bazı formülasyonlarda belli oranlarda uyum sağlayıcı maddeler, güneş ışığı stabilizatörleri, pigmentler, yağlayıcı maddeler, mantarlara karşı koruyucu maddeler ve köpüklendirme ajanları vb. maddeleri de kullanılmaktadır. Ayrıca plastik endüstrisinde geleneksel olarak talk, kalsiyum karbonat, mika ve cam ya da karbon lifleri plastiğin performansını arttırmak amacıyla dolgu maddesi ve kuvvetlendirici olarak kullanılmaktadır (Clemons, 2002).

2.1.1. Lifsel hammaddeler

OPK tipik olarak %10-70 oranında ahşap dolgu maddesi veya güçlendiriciler kullanılarak üretilmektedir. OPK üretiminde en yaygın olarak kullanılan ahşap dolgu maddesi, odun unudur. OPK üretiminde atık veya kullanılmamış iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunları, yıllık bitkilerin çeşitli kısımları ve atık kağıtlardan elde edilen lifler kullanılabilir.

2.1.1.1. Odunsu lifler

OPK endüstrisinde odun esaslı dolgu malzemeleri tanecikler (odun tozu, odun unu) ve lifsel malzemeler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir. Fazlar arası bağlanma yüksek ise toz partiküller dolgu ya da güçlendiriciler olarak kullanılmaktadırlar. Diğer yandan, odun lifi odun ununa göre daha zor işlenmesine rağmen, daha üstün kompozit özellikleri verir ve dolgu maddesi görevinden daha çok güçlendirici olarak görev yapmaktadır. Çünkü lifsel maddeler uygulanan yükün çoğuna dayanmakta olup, uzunlukları genişliğinden çok daha büyüktür (Manson, 1976; Matthews ve Rawlings, 1994; Çavdar, 2011).

Odun partikülleri plastik matriks içerisinde hem dolgu maddesi hem de destekleyici olarak görev yapmaktadır. Odun partikülleri destekleyici olarak lif yönünde direnç ve sertliği sağlayıcı fonksiyona bağlı olarak malzemenin gerilme ve eğilme direnci özelliklerinin gelişmesini sağlamaktadır. Dolgu maddesi olarak kullanıldığında ise istenilen hacimdeki ürünün eldesinin yanında maliyeti yüksek olan plastik malzemenin daha az kullanılması yönünde fayda sağlamaktadır (Silva, 2003; Aysal, 2014).

OPK'lerin üretiminde genellikle orman ürünleri endüstrisinde odun esaslı levha sanayinde kereste atölye ve fabrikalarında, yonga levha ve MDF üretimlerinde, mobilya, kapı ve pencere imalatında yan ürün olarak açığa çıkan veya planya talaşı, yonga ve testere talaşı (30-80 mesh) gibi işlenmiş materyallerin öğütülmesi ile elde edilen odun unları kullanılmaktadır. Odun lifleri ise paletler, tahrip olmuş ahşap, bina konstrüksiyon atıkları ve eski gazete ve atık kâğıtları gibi geri dönüşüm kaynaklarının yanı sıra atık veya kullanılmamış iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarından elde edilebilmektedir (Clemons, 2002; Avcı, 2012; Özmen ve ark., 2014).

2.1.1.2. Diğer lignoselülozik lifler

OPK malzeme üretiminde odun partikül ve liflerinin yanında çok çeşitli türlerde tarımsal bitki atıkları, jüt, kenaf ve kenevir gibi doğal lifler de kullanılmaktadır. Genellikle lifler meyveden (pamuk, hindistan cevizi lifi), saptan (jüt, kenevir, kenaf,) yada yapraktan (sisal, kendir) elde edilmektedir (Klyosov, 2007; Aysal, 2014). Yıllık yetişen lignoselülozik liflerin OPK'de dolgu malzemesi ya da güçlendirici olarak kullanımının; düşük yoğunluk, aşındırıcı olmama, yüksek dolgu malzemesi imkanıyla, yüksek sertlik özellikleri ve hayli sert liflerle işlem sırasında lif aşınmasının azalması gibi avantajları vardır (Sanadi ve ark., 1995; Avcı, 2012). Bu liflerin kullanımında en önemli engel, düşük işleme sıcaklığına izin vermesi nedeniyle kullanılacak plastik türünü sınırlamasıdır. İkinci dezavantajı, kompozitin performansını ve boyutsal stabilitesini etkileyen doğal liflerin yüksek nem absorpsiyonudur (Mo ve ark., 2005; Avcı, 2012).

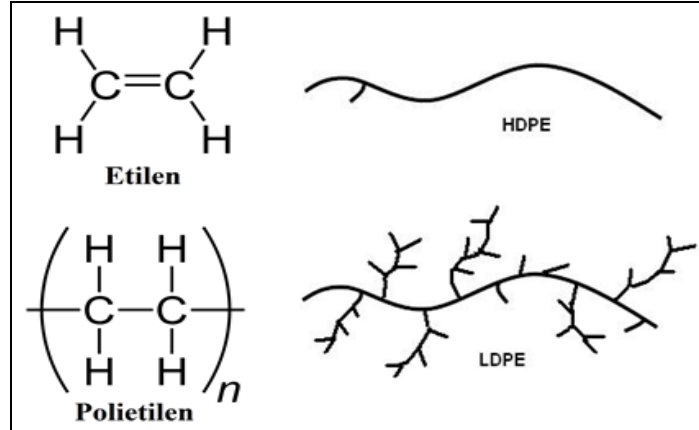
2.1.2. Plastik hammaddeler

Polimerler monomerlerine bağlı olarak lineer zincir şeklinde veya üç boyutlu çapraz bağlı yapıda da olabilirler. Plastiklerde bu yapısal ayrılık, işleme esasına göre plastiğin termoplastik, termoset veya elastomer diye adlandırılan üç farklı grubu ayrılmasına neden olur. (Ezdeşir ve ark., 1999; Kabakçı, 2009). Termoplastikler özelliklerinde önemli değişiklik olmadan defalarca ısıtılarak yeni şekillere sokulabilir ve bu işlem sırasında hiçbir kimyasal değişikliğe uğramazlar. Isı ve basınç altındayken yumuşarlar sıcaklık arttıkça ise viskozitesi düşer ve soğutulduktan sonra sertleşirler. Termoplastiklerin yapılarındaki moleküller doğrusaldır ve çapraz bağlanamazlar (Biron, 2007). Termoplastikler grubunda yer alan poliolefinler (polietilen, polipropilen), polistiren ve polivinilklorür OPK üretiminde kullanılan en yaygın polimerler arasında yer almaktadır.

2.1.3. Polietilen

Polietilen, çok çeşitli ürünlerde kullanılan bir termoplastiktir. İsmi monomer haldeki etilenden alır, etilen kullanılarak polietilen üretilir. Polietilenin üretim şekli, etilenin polimerizasyonu ile olur. Polimerizasyon metodu, radikal polimerizasyon, anyonik polimerizasyon, iyon koordinasyon polimerizasyonu ve katyonik polimerizasyon metotları ile olabilir. Bu metodların her biri farklı tipte polietilen üretimi sağlar (Süünaç, 2007). Polietilen; çok yüksek darbe dayanımı, yarıkristal yapısı, tokluğu, üstün elektriksel ve kimyasal özellikleri, düşük sürtünme katsayısı, sıfıra yakın nem emme özelliği aşınma direnci düşük sürtünme katsayısı, yüksek kimyasal dayanımı, geniş çalışma sıcaklığı, kendinden yağlama özelliği, mekanik işleme kolaylığı, kolay temizlenebilme ve bakteri üretmeme özelliği sayesinde birçok sektörde kullanılmaktadır (Ezdeşir ve diğ, 1999; Crawford, 2001).

Genel olarak düşük yoğunluk (AYPE;LDPE) ve yüksek yoğunluk (YYPE;HDPE) olarak iki tür polietilen yaygın şekilde kullanılmaktadır (Şekil 2.1.). Düşük yoğunluğa sahip polietilenin dallanmış bir zincir yapısı vardır. Buna karşın yüksek yoğunluğa sahip polietilenin düzgün bir zincir yapısı vardır. Yüksek yoğunluklu polietilenler (HDPE), daha düşük basınç ve aynı zamanda 100°C'nin de altında ısıtılmakla ve bu amaçla kullanılan özel kataliz sistemlerinden yararlanılmak suretiyle polimerize edilirler.



Şekil 2.1. Etilen, polietilen ve zincir yapıları

Bu koşullar altında polimerize olan molekül zincirleri daha az dallanır. Polimer zincirleri bu prosesle daha iyi ve etkili bir biçimde paketlenerek kristalleşme oranını daha yükseltmiş olurlar. Bu nedenle yoğunlukları yüksek basınç prosesi ile elde edilmiş olan OYPE ve AYPE polietilenlerden daha yüksek olur (Dönmez Çavdar, 2011).

2.1.4. Katkı maddeleri

OPK malzemelerde günümüze kadar performansını arttırmak, kötü özelliklerini ortadan kaldırmak, kullanım ömrünü uzatmak ve fiziki dış etmenlere karşı dayanımı arttırmak için birçok çeşitli katkı maddeleri kullanılmıştır. Bunlar birleştirici ajanlar (coupling agents-compatibiliser, bağlayıcı, uyum sağlayıcı), yağlayıcılar (metalik stearatlar (çinko stearat), steraik asit, parafin vaks, etilen bis stearamid (EBS), okside edilmiş polietilenler (PE Vaks)), renklendiriciler (karbon siyahı, demir oksit (FeO), titanyum dioksit (TiO₂)), antioksidanlar (ısı stabilizatörleri, tiyoesterler), UV absorplayıcılar (oligomerik amin ışık stabilizatörleri (HALS)), mineral dolgu maddeleri (kalsiyum karbonat, talk (magnezyum silikat)), yangın geciktirici kimyasal maddeler (Al(OH)₃, B₂O₃.3H₂O) ve biyolojik bozunma (biyosit) önleyiciler (çinko borat, Dichlorooctyl-4-isothiazoline (DCOIT), 3-iodo-2-propynyl-n-butylcarbamate (IPBC)) şeklinde sınıflandırılabilirler.

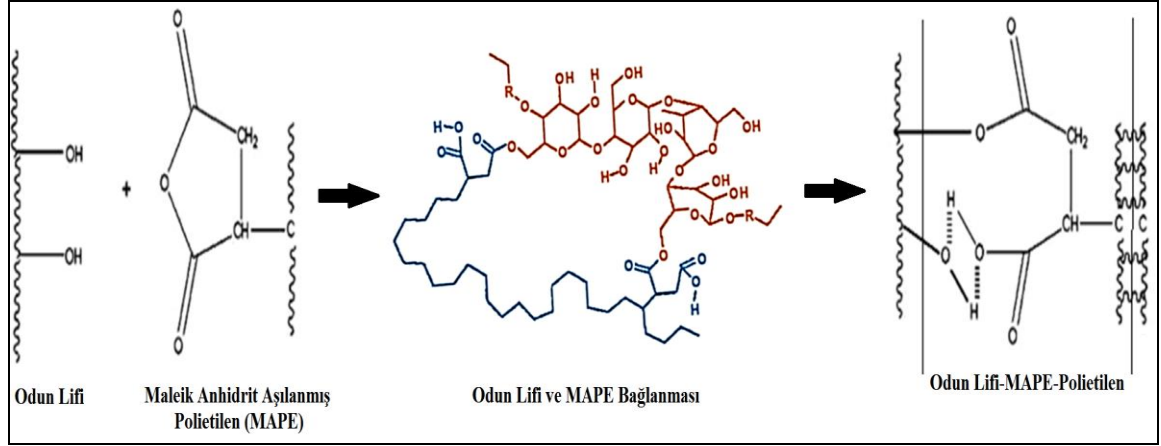
Katkı maddelerin kullanımı OPK'ların özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Başta birleştirici ajan olmak üzere katkı maddeleri genel olarak OPK malzemenin fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkili olmaktadır (Klyosov, 2007; Kim ve Pal, 2010; Kim ve Pal, 2010; Dönmez Çavdar, 2011; Avcı, 2012). Katkı maddeleri, kompozitin özelliklerini geliştirmek için düşük miktarlarda ilave edilen materyallerdir ve ekstrüzyon işleminden önce karışıma eklenebilmektedir. Yüksek performans gerektiğinde kompozit malzemenin dispersiyon, akıcılık ve mekanik özelliklerini geliştirmek için özellikle maleik (MA), asetik (AA), süksinik (SA), alkil süksinik (ASA) ve fitalik (PhA) anhidritler gibi uyum sağlayıcı maddeler kullanılmaktadır (Rowell, 2006).

2.1.4.1. Maleik anhidrit aşılınmış polietilen (MAPE) ve etki mekanizması

OPK üretiminde lignoselülozik liflerin hidrofilik olması, termoplastiklerin hidrofobik olması lif ve matriks arasındaki karışım ve yapışmada zorluklara sebep olmaktadır. Lignoselülozik ile termoplastik maddeler arasındaki etkileşim ve dispersiyonu geliştirmek için farklı tiplerde uyum sağlayıcılar kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan uyum sağlayıcı madde, maleik anhidrit aşılınmış polipropilen/polietilen (MAPP/MAPE)'dir (Felix ve ark. 1993; Sanadi ve ark., 1997; Lu ve ark., 2000; San ve ark., 2008).

Şekil 2.2'de odun lifi, MAPE ve PE'nin bağlanma mekanizmaları görülmektedir. İlk olarak MAPE'nin sonundaki anhidrit, odun yüzeyindeki hidroksil (OH-) grubu ile

reaksiyona girer ve ester bağı biçimlenir. MAPE üzerine polietilen bağlanır. Daha sonra, lignoselülozik madde erimiş termoplastik ile dolaşık hale gelir. Bu durum, hidrofilik lignoselülozik ve hidrofobik termoplastik arasında mekanik bir bağlanma ile sonuçlanmaktadır (Rowell, 2006).



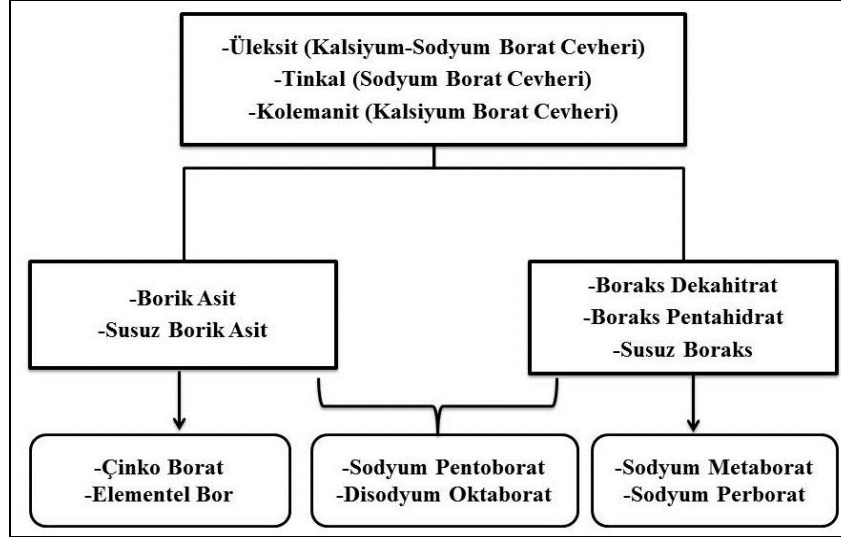
Şekil 2.2. OPK malzemedede MAPE, odun lifi ve PE bağlanma mekanizması

MAPE'in içinde mevcut bulunan maleik anhidrit, polar etkileşimleri sağlamanın yanında lignoselülozik lif üzerindeki hidroksil grupları ile kovalent bağ yapabilmektedir. Ayrıca son ürünün mekanik dirençlerini geliştirirken, üretimi de kolaylaştırmaktadır. Hem lif yüzeyine kovalent bağlanmayı sağlamakta, hem de etkileşimi kuvvetlendirmek için geniş moleküler bir ağ meydana getirmektedir (Rowell ve ark. 1997; Aysal, 2014).

2.1.4.2. Çinko borat

Molekül formülü $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot 3,5H_2O$ veya $4ZnO \cdot 6B_2O_3 \cdot 7H_2O$ olan çinko borat beyaz, nem çekmez, viskoz, toz bir maddedir. Çinko borat, hidrasyon suyunu ve stabilitesini $290-300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar muhafaza ederek yüksek sıcaklıktaki polimer proseslerine olanak sağlar. Böylece sıcak bir polimer şarjına ilave edilebilme özelliği taşır. Diğer katı polimer katkı maddelerine benzer yöntemle, yani sıkma (ekstrüzyon), veya püskürtmeli kalıplama yoluyla ilavesi yapılabilir (Abalı ve Gümüş, 2010). Önemli bor bileşiklerinden biri olan çinko boratlar; kablolarda, yanmaya dayanıklı boyalarda, kumaşlarda, elektrik/elektronik cihaz parçalarında, yanmaya dayanıklı halı kaplamalarında, otomobil/uçak iç aksamalarında, tekstil ve kağıt endüstrisinde kullanım alanına sahiptir. Ancak çinko boratların katkı malzemesi olarak en geniş kullanım bulunduğu alan basta alev geciktirici, duman bastırıcı, korozyon önleyici olarak polimer ve kaplamalarda kullanılmasıdır (Zakut ve Zeybek, 2014).

Bor mineralleri, çeşitli madencilik yöntemleri kullanılarak elde edildikten sonra fiziksel işleme tabi tutularak zenginleştirilir. Daha sonra, konsantre bor denilen zenginleştirilmiş ürünler, kimyasal süreçlere tabi tutularak rafine edilir ve çeşitli bor kimyasallarına dönüştürülür (Şekil 2.3.). Çinko borat genel olarak borik asit ve çinko oksit hammaddeleri kullanılarak üretilmektedir.



Şekil 2.3. Bor cevherleri ve bunlardan üretilen bazı ürünler (ETİ Maden, 2012)

Eğer OPK formülasyonu içerisindeki odunun miktarı ve ölçüsü azaltılırsa, yüksek odun miktarlarında çinko borat gibi katkıları eklenirse veya odun kimyasal olarak modifiye edilirse mantar çürüklüğü önlenir. Kimyasal modifikasyon işlemi ile ya hücre lümenleri suyun çıkış noktalarına yığarak ya da selülozun hidroksi gruplarını çapraz bağlayarak higroskopik özelliğini azaltarak yapılmaktadır (Rowell, 1983).

2.2. Odun Plastik Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

OPK malzemeler genellikle iki aşama halinde üretilmektedir. Kompozit malzemeyi oluşturacak olan hammaddeler karıştırıcı vasıtasıyla homojen olarak karıştırılarak birleştirilir. Birleştirilmiş olan bu maddeler ikinci bir işlemde geçer. Bu aşamada ise ekstrüzyon, enjeksiyon, veya basınçlı kalıplama yöntemleriyle malzemeye son şekli verilmektedir. Alternatif olarak ilk işlem sonrası elde edilen karışım daha sonra ısı ve pres altında eritilip şekillendirilerek üretim yapılabilir (Aslan, 2008).

Üretim prosesi sırasında odun ve polimer arasında kimyasal bir reaksiyon söz konusu değildir. Ara yüzde adezyon kuvvetleri vasıtasıyla bir kenetlenme görülmektedir (Silva, 2003; Aysal, 2014). Odun partikülleri ile plastik arasındaki adezyon kuvvetlerinin

görüldüğü bu ara yüzde beş ana mekanizma bulunmaktadır: 1) Adsorpsiyon 2) Mekanik kenetlenme 3) Difüzyon 4) Elektrostatik kuvveler 5) Zayıf sınır katmanları ve ara yüzleri

2.2.1. Ekstrüzyon yöntemi

Odun polimer kompozitlerinin büyük bir kısmı profil ekstrüzyonu ile imal edilmekte olup, erimiş kompozit materyal arzu edilen sekle göre kalıp içerisinde güç kullanılarak sürekli profil oluşturulur. Ekstrüzyon prosesi ile plastik uzunlukları tercihe bağlı olarak değişken ürünlerin kesintisiz olarak sabit bir kesitte üretimi sağlanır. Bu yöntemi diğer üretim yöntemlerinden farklı kılan en önemli yönüdür. Ekstrüzyon üretim yöntemi kullanılarak boru, profil, çubuk, yassı veya yuvarlak film, levha, çeşitli laminatlar, oluklu ve delikli levhalar ekstrüzyon yöntemiyle üretilirler. Temel olarak ekstrüzyon, plastik ve katkı maddelerin karıştırılarak homojen ve akıcı bir hale getirilmesi, belirli bir şekil vermek üzere dar ve şekilli bir kalıptan basınç yardımıyla geçirilmesi olarak tanımlanabilir (Avcı, 2012).

2.2.2. Enjeksiyon kalıplama yöntemi

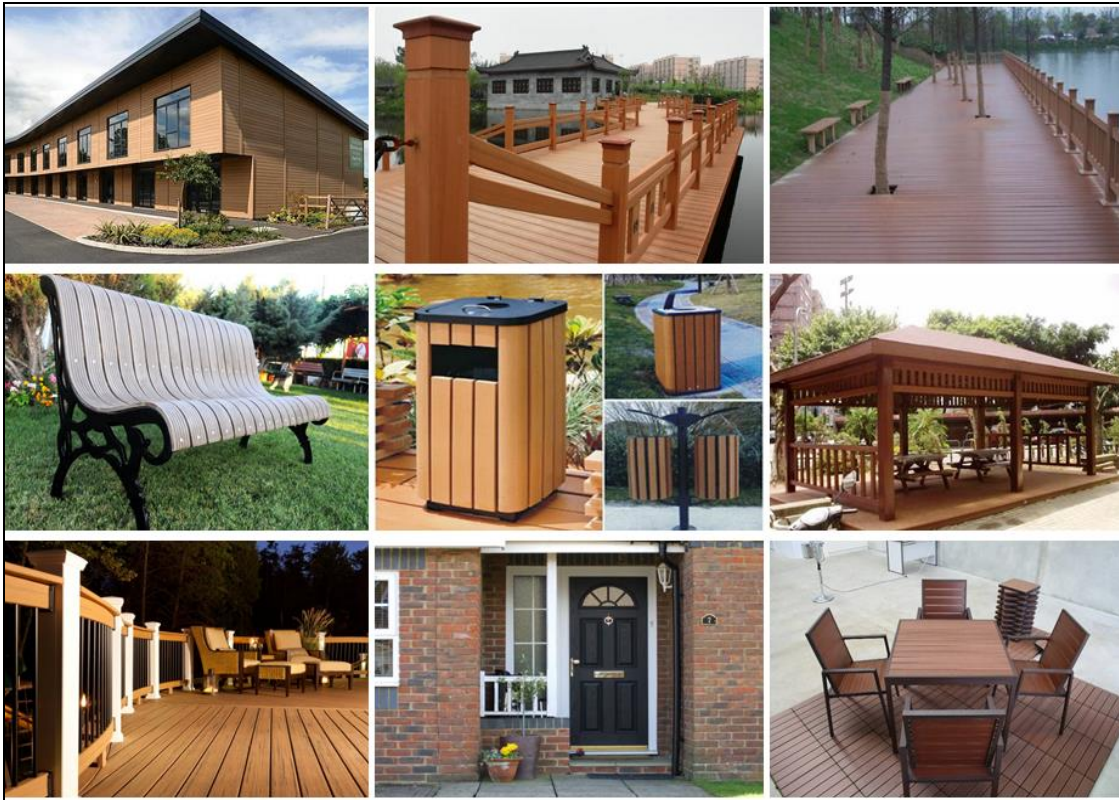
Enjeksiyon kalıplama yöntemi seri üretimler için en uygun üretim yöntemidir. Genelde enjeksiyon yöntemiyle plastik veya OPK ürünleri 4 kademedede elde edilir. İlk olarak OPK granülleri ya da karışım sıvı hale gelinceye kadar ısıtılır. İkinci aşamada, bir basınç uygulayarak sıvı polimer, meme denilen bir geçişten kalıp içine girmesi için zorlanır. Sonra kalıp içindeki malzeme katılaşınca kadar basınç altında tutulur ve soğuması sağlanır. Son olarak kalıp açılır ve pim biçiminde olan iticilerle parça çıkarılır (Akkurt, 2007).

2.2.3. Basınçlı kalıplama yöntemi

Basınçlı kalıp; termoset kalıplarının en genel tekniklerinden biridir. Birleşim ya da karışım, kalıp içerisine yerleştirilir ve ısıtılmış pres plakaları içerisinde basınç altında ısıtılır. Reaksiyon tamamlandığı zaman, ürünler soğutulur ve çıkarılır. Basınçlı kalıplama ile OPK üretiminde kalıplamadan önce karışımın hazırlanmasında büyük bir özen gösterilmelidir. Elde edilecek ürünün kalitesinin bozulmaması için karışıma havanın temas etmemesine dikkat edilmelidir. Düz preslerde levha şeklinde üretimler yapılabildiği gibi, şekilli presler kullanılarak üretimler gerçekleştirilebilir (Akkurt, 2007).

2.3. Odun Plastik Kompozitlerin Kullanım Alanları

OPK ahşap görünümlü olması ve ahşap hissi yaratmasına rağmen su, rutubet, sıcak ve soğuk hava koşullarına karşı çok dayanıklıdır. Bu özelliği ile sürdürülebilir ve uzun ömürlü bir malzeme olmasından dolayı açık alanlarda ve ıslak zeminlerde kullanılan malzemelere alternatiftir. Şekil 2.4’de OPK malzemenin çeşitli kullanım alanlarına örnekler görülmektedir. Kapı, pencere ve çerçeve, kereste, havalandırma, çatı, merdiven gibi inşaatla ilgili uygulamalarda; dekoratif profiller, raf, yer kaplama, tırabzan, tabure gibi iç mekan uygulamalarında; kapı, iç panel, karoseri, arka raflar, bardak tutacakları gibi otomotiv sektöründe; dek, çit, park-bahçe mobilyası, kamelya, yürüyüş parkurları, çocuk parkı, bank gibi park-bahçe uygulamalarında; ambalaj, palet, iskele, uyarı levhaları, sandık gibi endüstriyel uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadırlar (Markarian, 2005; El-Haggar ve ark., 2011).



Şekil 2.4. OPK’nin kullanım alanlarına bazı örnekler

2.4. Odun Plastik Kompozitlerin Performansı

OPK oduna göre en büyük avantajı arzu edilen forma getirilebilmek için kalıplanabilmesidir. Buna ek olarak, OPK malzemeler, geleneksel işlenmiş kerestelerde kullanılan zehirli kimyasalları içermez. Diğer plastik ürünler gibi OPK malzeme de ısı

karşısında esnektir ve soğuk havada daha serttir. Bununla birlikte içi boş ya da içi dolu katı profiller halinde şekillendirilebilir. Günümüzde, OPK'deki odun malzeme, dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır, ancak oluşan kompozit malzemenin mekanik güç özelliklerini geliştirme potansiyeli ile ilgili araştırmalar devam etmektedir (Erkan, 2011). Çizelge 2.1'de OPK, ahşap ve plastik malzemelerin kullanım alanlarında öne çıkan bazı performans kriterlerinin karşılaştırmaları verilmiştir.

Çizelge 2.1. OPK, ahşap ve plastik malzemelerin performans karşılaştırması (URL1)

Özellik	OPK	Ahşap	Plastik
Güneş ışığı ve yaşlanmaya dayanıklılık	***	*	**
Doğal ahşap görünümü	***	****	*
Neme dayanıklılık	***	*	***
Su emmeye dayanıklılık	***	*	****
Böceklenmeye dayanıklılık	****	*	****
Kolay işlenebilirlik	****	****	*
Bakım kolaylığı	***	*	**
Çivilenme kabiliyeti	**	***	*
Düşük genleşme oranı	***	***	*

Not: *: Kötü, **: Orta, ***: İyi, ****: Çok iyi

OPK'nin mevcut durumda kullanılan muadillerine karşı birçok avantajı bulunmaktadır. Bunların bir kaçı aşağıda sıralanmıştır:

- İsteğe göre boyutlandırılabilir,
- Daha az bakım gerektirir,
- Mantar ve böceklerle karşı daha dayanıklıdır,
- Ahşap polimer kompozit üretiminde kullanılan hidrofobik yapıda olan plastik dolayısıyla rutubete ve rutubet değişimlerine karşı oldukça dayanıklıdır,
- Hidrofob plastik materyal içerisinde iyi bir şekilde kapsüle olmuş lignoselülozik malzeme (ahşap, odun talaşı, yıllık bitki artıkları vb) unları hidrofilik karakterde olmalarına rağmen son üründe kullanım yerinde problem oluşturacak düzeyde çalışma (daralma ve genişleme) göstermez,
- Bundan dolayı ahşap polimer kompozitler yüksek boyutsal stabiliteye sahiptirler.

Bununla birlikte üretim kapasitelerinin düşük oluşu, enerji giderlerinin yüksek oluşu, odunsu materyale göre yoğunluklarının yüksek oluşu OPK'nin başlıca dezavantajlarıdır (Tufan ve Mengeloğlu, 2010; Tankut ve ark., 2011).

2.5. Odun Plastik Kompozitlerde Biyolojik Bozunurluk

Uzun yıllardan bu yana yapılan çalışmalarda odun malzemelerin kullanım ömrünü etkin bir şekilde arttırmak için birinci nesil olarak adlandırılan CCA (Bakır Krom Arsenik), TBTO (tri bütıl kalay oksit), PCP (pentaklorfenol) gibi odun koruyucu maddeler denenmiştir. Bu maddeler düşük fiyat, mantar, böcek ve deniz zararlılarına karşı yüksek oranda zehirlilik etkisi göstermeleri nedeniyle uzun yıllar orman endüstrisinde kullanılmıştır. Ancak söz konusu maddelerin yıkanması ve atıl hale geldiklerinde yeniden değerlendirilememesi ile oluşan atık problemi nedeniyle geleneksel emprenye maddeleri kullanımına ilişkin çevresel baskılar vardır. Artan çevresel baskılar nedeniyle daha çevre dostu yöntemler kullanılarak ahşap malzemenin kullanım süresinin arttırılması ile ilgili çalışmalar dünyanın pek çok yerinde önem kazanmaktadır. Bu bağlamda mantar, böcek ve termit tahribatına karşı iyi bir koruma sağlayan ikinci nesil çevre dostu emprenye maddeleri olan bakır bazlı emprenye maddeleri Alkali/Bakır/Quat (ACQ), bakır azol (CBA-A, CAB), amonyum bakır sitrat (CC) ve borlu bileşikler bu maddelerin yerini almıştır (Green and Schultz 2003; Freeman et al. 2006; Yıldız, 2007; Sivrikaya ve Can, 2014).

Bu gelişmelere paralel olarak OPK dayanımını olumsuz etkileyen biyolojik faktörlere karşı da Çinko Borat, ACQ ve CCA (Bakır/Krom/Arsenik) gibi bazı kimyasallar kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan bu kimyasallar arasında CCA ve ACQ suda çözünen emprenye maddeleri grubunda yer almaktadır. Termoset tutkallar kullanılarak üretilen kompozitlerde CCA ve ACQ ile emprenye edilen ağaç malzeme kullanılması durumunda mekanik değerlerin olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Vick, 1995; Li ve ark., 2004).

Odun, plastik ve kompozitleri lekeleyen, tahrif eden ve çürüten üç grup mikroorganizma bulunmaktadır. Bunlar genel anlamda mantar, bakteri ve alg olarak sınıflandırılabilir. Mantarlar sıklıkla küf olarak adlandırılır ve çoğunlukla ligninin bozunmasında aktif olan odun çürüklük veya kahverengi ve beyaz çürüklük mantarlarıdır. Küfler aerobik mikroorganizmalardır ve büyümek için oksijene ihtiyaç duyarlar. Aktiviteleri için suya ihtiyaç duyarlar ve çoğunlukla 30-40 °C arasında %80 ve daha

yüksek nemlerde aktiftirler. Hafif asidik koşulları tercih edip sporlar ile yayılırlar. Kompozit içindeki farklı maddelere spesifik olabilirler ve bunları besin olarak kullanırlar.

Malzemeye mikrobiyal aktiviteler ile zarar bu maddelerin tüketimi ile ve dolayısı ile ürünün mekanik özelliklerini azaltma, renkte bozulmaya sebep olma veya yeşilden kırmızıya kırmızıdan siyaha kadar değişen renkli noktalar şeklinde malzemenin yüzeyinde kalan hücre dışı metabolitlerin, pigmentlerin üretimi ile gerçekleşmektedir. İlerleyen zamanda mikroplar malzemede sadece fiziksel zarara veya çürümeye sebep olmaz, onu tamamen kaplayarak oldukça kötü görünmesine sebep olurlar. OPK malzemelere etki eden en çok görülen mantar türleri *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Paecilomyces* sp., *Trichoderma* sp., *Chaetomium* sp., *Gliocladium* sp., *Aureobasidium* sp. ve bazı şapkalı mantarlar (ör., *Lentinus lepideus*) şeklinde sıralanabilir (Klyosov, 2007).

Mantarların büyümesi için odun içeriği miktarı dışında diğer önemli gereksinimler ise; hücre lümeni yüzeylerindeki serbest su, odundaki mevcut atmosferik ve/veya kimyasal oksijen, elverişli pH oranı, elverişli sıcaklık derecesi, nitrojen bileşikler vitaminler ve gerekli elementler gibi kimyasal büyüme faktörleri, mantar çürütmelerini azaltan veya engelleyen zehirli ekstraktif maddelerin bulunmayışı ve metabolizma yoluyla sentez için enerji ve metabolit sağlayan sindirimi kolay bileşiktir (Korkut ve Kocaefe, 2009).

Odunda mantar çürütmesinin metabolik mekanizması farklı enzimatik ve enzimatik olmayan sistemlerin meydana gelmesini kapsayan kompleks bir yapıdır. Odunun bozunan ilk hücre çeperi bileşeni olan hemiselülozun bozunması muhtemelen daha kısa zincir uzunluğuna, çözünürlüğe ve selüloz mikrofibrilleri etrafında korunmasız konuma sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Oksidasyon ve hidroliz ise selüloz bozunmasının dahil olduğu mekanizma olarak görünür ve bu mekanizmanın beyaz ve esmer çürüklük için oldukça benzer olduğu varsayılmaktadır (Boonstra, 2008; Korkut ve Kocaefe, 2009).

OPK yüzeyinde mantar büyümesi gözlemlendikten sonra, birçok ticari OPK üreticisi malzemeyi seyreltik sodyum hipoklorit (çamaşır suyu) ile temizlemeyi önermiştir. Bununla birlikte, çamaşır suyu ile temizleme işlemi bu kimyasalın geniş bir antifungal spekturumu olmaması dolayısıyla mantar üremesini tamamen ortadan kaldıramaz. Diğer yandan biyosit bir madde kullanımı OPK üzerinde mantar üremesini önleyebilir veya mantarın yeniden büyümesini erteleyebilir. Mantar üremesine neden olabilecek kirlilik ve polen oluşumunu önlemek için OPK malzemenin periyodik olarak temizlenmesi önerilmektedir (Taylor ve ark., 2004).

2.5.1. OPK malzemelerin biyolojik performansını etkileyen faktörler

OPK'lerin biyolojik bozunmasını etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Kompozitin prozite derecesi, kullanılan ağacın türü, materyalin yoğunluğu, odun lifinin partikül büyüklüğü, su absorpsiyonu ya da rutubet içeriği, biyosit ve katkı maddelerinin varlığı ya da yokluğu en önemli etkenlerdir (Chow ve ark., 2002; Verhey ve Laks, 2002; McDonald ve ark., 2009; Morrell ve ark., 2010). Odun ve OPK malzemede mantar gelişiminin gözlemlenebilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir (Klyosov, 2007; Manning ve ark., 2006);

- ✓ Sindirilebilir bir substrat yüzeyi (selüloz lifi gibi)
- ✓ Kimyasal büyüme faktörleri (Karbonhidratlar, metaller, mineraller ve diğer besinler)
- ✓ Rutubet (Genellikle %30 üzerinde)
- ✓ Oksijen
- ✓ Uygun sıcaklık (Genellikle: 15-40 °C, Optimum: 24-30 °C)
- ✓ Uygun pH aralığı (Çok az asidik pH 4-5 arası)

Dek gibi OPK uygulamaları için mikroorganizmalar için oksijen kaynağını engellemek ve/veya sıcaklığı optimum aralığın dışında bir seviyeye ayarlamak mümkün olmadığı için biyolojik bozunurluğu önlemek adına yapılan çoğu strateji rutubet ve besin kaynağının malzemeden uzaklaştırılması üzerine odaklanmıştır. Odun eğer biyolojik bozunurluğa oldukça inert olan sentetik polimerler ve koruyucular ile muamale edilirse elverişsiz bir mikrobial besin kaynağı haline getirilebilir (Zabel ve Morrell, 1992).

Bir malzemede meydana gelen biyolojik bozunma için en önemli önkoşul su yani rutubetin varlığıdır. Çünkü geçmişten günümüze bilinen en iyi odun koruma yöntemi odunu kuru tutmaktır. Rutubet mikrobiyolojik canlılar özellikle de Basidiomycetes mantarları için hayati önem taşımaktadır. Odun partikülleri rutubeti bünyesine bir kez aldığı anda malzemede odun bünyesine su alıp vermesiyle odun-plastik ara yüzü yok olur, plastikte mikro çatlaklar oluşmaya başlar ve odun partikülleri parçalanarak kopmaya başlar (Morrell, 2010). OPK malzemeler içine nemin alınması göreceli olarak yavaş bir şekilde gerçekleşmesine rağmen, ticari ürünlerin dış yüzeyinin 5 mm'sindeki nem düzeylerinin mantar üremesi için yeterli olduğu gösterilmiştir. Su malzeme içine bir defa girdiği zaman, plastiğin gazların buharlaşması için bir bariyer oluşturması nedeni ile çok yavaş şekilde

ortamı terk eder ve bu durumun sonucunda biyolojik bozunma gerçekleşebilir (Gnatowski, 2003; Wang ve Morrell, 2004).

Rutubetin odunun mukavemet ve sertliğini tek başına önemli ölçüde azalttığı iyi bilinen bir durumdur. Bununla birlikte mantar çürüklüğü nedeni ile mukavemet özelliklerindeki azalma genellikle odundaki rutubet etkilerinden daha ağır basmaktadır. Diğer yandan OPK üretim yöntemi malzemenin nem adsorpsiyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Kollmann ve Cote, 1968). Mantar gibi mikroorganizmalar büyümek ve bozulmaya neden olmak için ortamda nemin bulunmasına ihtiyaç duyarlar. Bu sebeple OPK içinde kullanılan odunun nem içeriği kaldırılır veya en azından %20 altında tutulursa malzemede meydana gelecek çürüme engellenebilir. Bu durum plastik matris ile odun partiküllerinin tamamen kapsüllenmesi, OPK yüzeyinin hidrofobikleştirilmesi veya odun materyallerinin kimyasal modifikasyonları ile sağlanabilmektedir (Schirp ve diğ, 2008).

Her ağaç türü odunu farklı anatomik ve kimyasal yapıya sahip olması sebebiyle farklı performans özellikleri göstermektedir. OPK malzeme içerisindeki odunun yapısı da performans özelliklerini etkilemektedir. Odunda bulunan lignin ve ekstraktifler kompozit materyalin su absorpsiyonunu düşüreceğinden yüksek oranda lignin ve ekstraktif madde içeren odun türlerinin biyolojik performans ve dayanıklılık özellikleri daha iyi olacaktır (Aysal ve ark., 2013).

Partikül büyüklüğü OPK malzemede birçok özelliği etkilemektedir. Bunlardan bazıları; sertlik, rutubete karşı direnç, odun plastik ara yüzü ve mantar atağına karşı dayanımdır. Küçük boyutlu partiküllerin rutubet dayanımları yüksek iken, büyük boyutlu partiküller malzeme içerisindeki boşluk miktarını arttırdığından ve bu boşluklar rutubetin ve mantar gelişiminin ilerlemesine sebebiyet verdiği için rutubet ve çürüklük dayanımı düşük olmaktadır. Büyük partiküllerin aksine küçük boyutlu partiküller odun-plastik ara yüzünü geliştirmekte ve plastik ile çevrelenmeyi kolaylaştırarak odun partiküllerinin birbiri ile temasını azaltmaktadır. Böylece rutubet alış verişi en aza inmekte ve dolayısıyla mantar gelişimi de sınırlanmaktadır (Silva ve ark., 2007).

Son olarak OPK malzemede çürümeye yol açan organizma türü bozunurluğu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu canlılardan bazıları odunu yaşam alanı bazısı ise sadece besin kaynağı, bazıları ise hem besin kaynağı hem de yaşam alanı olarak kullanabilmektedir. Plastik böcek saldırılarına karşı oldukça dayanıklıdır. Ancak galeri açan karınca ve termitler gibi organizmalara karşı pek de dayanıklı değildir. Termitler

kompozit malzemede oyuntular oluşturabilmektedir. Plastiği besin maddesi olarak kullanmıyor olsa dahi oduna ulaşmak amacıyla bu materyali de parçalayabilmektedir. İskele kurtları oduna arız olsalar dahi plastik ve OPK malzemelerdeki plastiklere direkt olarak saldırmazlar. Tüm bu organizmalar içerisinde OPK malzemelere arız olan organizma türleri Basidiomycetes türü mantarlardır. Bu mantarlar yeterli rutubet seviyelerini ve yeterli boşluklu yapıyı elde ettiklerinde gelişmeye başlayabilirler (Morrell ve ark., 2010)

Odun için ASTM D 2017-05 standardına göre Basidiomycete nedeniyle %10'nun altındaki bir kütle kaybı sergileyen türler yüksek derecede dayanıklı olarak dikkate alınmaktadır. Avrupa prCEN/TS 15083-1:2004 standardına göre ise %5 veya daha az kütle kayıplarında bir ahşabı çok dayanıklı olarak sınıflandıran geçici bir dayanıklılık değerlendirme ölçeği sağlanmaktadır.

2.5.2. Çalışmada kullanılan çürüklük mantarları hakkında genel bilgiler

Çürüklük terimi iki farklı şekilde kullanılmaktadır. Birincisi odunun fiziksel durumunun belirtilmesinde, örneğin; bir uzman ağaç malzemenin sağlam veya çürük olduğu konusunda karar vermek için bu ifadeyi kullanır. Bu durumda odun çürüklüğü, bir materyal olarak ağaç malzemenin kullanımıyla ilişkili olarak yorumlanır. İkincisi enzimler ve oksidantlar içeren mikroorganizmalar tarafından odun çözünme prosesi ve odun bileşiklerindeki değişimi kapsayan bir anlam ifade etmektedir. Bu durumda çürüklük bir eylemdir ve kompleks organik materyal, mikroorganizmaların hücrelerinin dışında sindirilir. Çürüklük genel olarak odunun ayrışması için haftalar bazen de yılların geçmesinin gerekli olduğu yavaş bir süreçtir. Ancak küçük odun blokları ideal çürüklük koşulları altında tümünden bir ay içerisinde tüketilebilir. Ayrıca çürüklüğün odun özelliklerinde önemli değişikliklere neden olduğu kesindir. Bu değişiklikler hücre çeper biyokütlesindeki ölçülebilir kayıpları kapsar (Köse, 2000).

Çürüklük, literatürde çoğunlukla karışıklıklara yol açan veya kabul gören, çeşitli şekillerde gruplanmıştır. Beyaz çürüklük ve esmer çürüklüğe ayrılan esas altbölüm Harting (1874) tarafından belirtilmiş ve beyazımsı materyal selüloz (beyaz çürüklük) tüketimi ile kahverengimsi materyal lignin (esmer çürüklük) tüketimi esas alınarak, kalıntı odunun rengine bağlı kalman yorumlar yapılmıştır. Son araştırmalar beyaz çürüklük mantarlarının gerçekte tüm hücre çeper bileşenlerini (selüloz, hemiselüloz ve lignin) kullandığını göstermesine karşın ilk kuralda uzun yıllar ısrar edilmiştir. Çürüklük sınıflandırması

üzerine çok büyük bir pekiştirme olan Harting'in diğer bir katkısı spesifik mantar spesifik çürüklük tipine sebep olur ve çürüklük diğer odunlarda da benzerdir şeklindeki açıklamasıdır. Orman patoloğlarının ve ormancılardan ilk ilgi alanları dikili ağaçlarda öz çürüklüğü üzerine olmuştur.

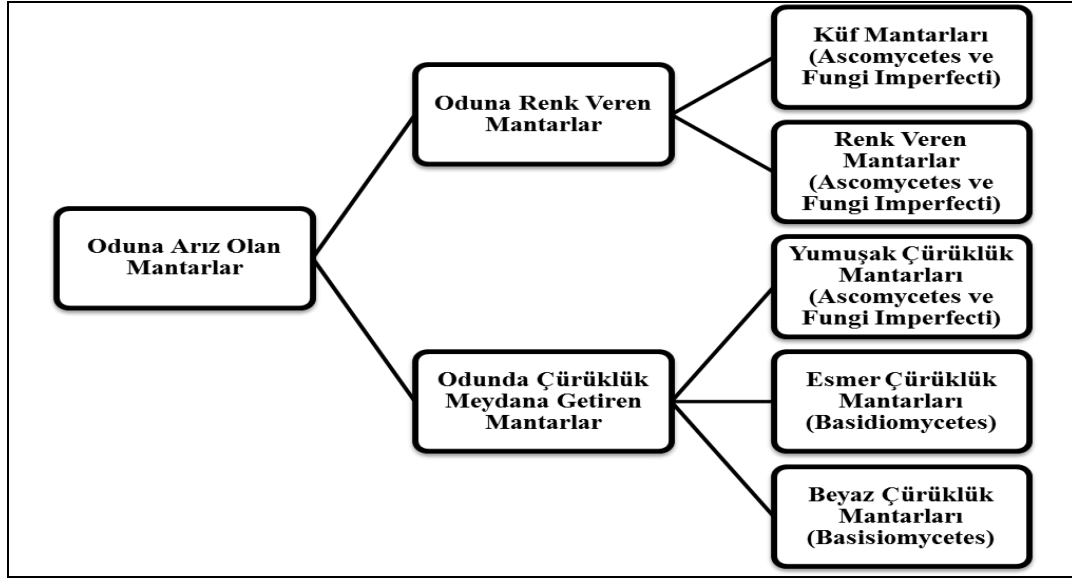
Hubert (1924), çürüklük rengi (beyaz veya kahverengi), tekstür özellikleri (lifli, süngerimsi, kübik çatlaklı, lekeli) ve gövdede bulunuş yerini dikkate alarak bir çürüklük sınıflandırması yapılmasını önermiştir. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalar da çürüklük tiplerini, çeşitli ağaç ve ağaç malzeme türleri için gruplandırmıştır.

- Dikili ağaçlarda meydana gelen çürüklükler (iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlar)
- Kesilmiş ağaçlarda ve açık alanda kullanılan ağaç malzemedeki meydana gelen çürüklükler
- İnşaat ve yapıda kullanılan ağaç malzemedeki meydana gelen çürüklükler
- Depolama, işleme ve sevkiyat sırasında ağaç malzemedeki meydana gelen çürüklükler
- Çeşitli kullanım alanlarında ağaç malzemedeki meydana gelen çürüklükler (Zabel ve Morrel, 1992).

Odunun mekaniksel, fiziksel, kimyasal vb. gibi abiyotik etmenlerle bozundurulmasının yanı sıra yaşayan çeşitli organizma ve mikroorganizmalarca biyolojik yoldan da degradasyona uğratıldığı bilinmektedir. İşte odunda, mikroorganizmalar ve özellikle mantarlar tarafından oluşturulan bünye bozunmaları, yıkımı ve degradasyonuna odun çürüklükleri denilmektedir. Odun çürüklükleri kimyasal, biyokimyasal ve pratik olarak dört gruba halinde incelenmektedir:

1. Beyaz çürüklük (korozyon çürüklüğü)
2. Esmer veya kahverengi çürüklük
3. Yumuşak çürüklük
4. İstif yeri çürüklükleri (ardaklanma vb.)

Çürüklük yapan mantarlar her çeşit odunu tahrip edebilirler. Ağaç türlerinin mantarlara karşı dayanıklılığı değişiktir. Örneğin; zehirli ekstraktif maddeler içeren meşe, kestane ve yalancı akasya gibi ağaç türleri, diğerlerinden daha dayanıklıdır (Bozkurt ve Erdin, 1997). Bu mantarlar ağacın büyümesi, depolanması, kullanılması sırasında çürüme veya özelliklerini değiştirmeye neden olurlar (Zabel ve Morrel, 1992). Ağaç malzemenin çürümesinde etkili olan mantarlar Şekil 2.5'de sınıflandırılmıştır (Özen, 2005).



Şekil 2.5. Odunda çürüklüğe neden olan mantarların sınıflandırması

2.5.2.1. Beyaz çürüklük mantarı (*T. versicolor*)

Polyporaceae grubuna ait bu mantar *Coriolus versicolor* adıyla da bilinmektedir. Yüzey ince tüylü ve organizmanın genetiğine ve bulunduğu çevreye göre değişen farklı renk tonlarına sahip konsantrik renkli halkalar yeşil, gri, mavi, kahverengi, sarı, pas sarısı kuşaklar kenarları krem veya beyaz renkli bir kuşakla çerçevelenmiştir. Hindi kuyruğunu andırır (Şekil 2.6). Dünyada çok yaygın olup odun tahripçisidir. Bu mantar bazen beyaz çürükçül etmen bazen de parazit olarak ağaçlar üzerinde görülür. İlkbahar ve sonbaharda ölü ve kurumak üzere olan ağaç kütüklerinde toplu şekilde çıkar (Çakır, 2012).



Şekil 2.6. Bir ağacın üstünde yetişen *T. versicolor* mantarının görüntüsü

T. versicolor arız olduğu odunlarda beyaz çürüklüğe sebebiyet verir ve odunu tamamen çürütebilme kabiliyetindedir. Çürüklüğün en ilerlemiş safhasında bile odun orfinal şekil ve hacmini korumakta, daralma ve çatlama görülmemektedir. Kimyasal bakımdan çok aktif olan bu mantar, lignin ve selülozu şiddetle tüketmektedir. Bu

faaliyetin, mantarın oluşturduğu lakkaz enziminin oksidasyon gücünün yüksek olmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir (Yalınkılıç, 1990; Bozkurt, 1995).

Çürütülmüş odunlarda bol miktarda misel bulunur, büyük su iletim boruları misel partileri ile tıkanmış olabilir. Hifler renksiz ve çoğunlukla çok ince 0,5-4,0 μ genişliğindedir. Fakat bazen trahelerin içinde olabilen 7 μ kadarda olabilen genişlikleri de bulunabilir. Bunlar bol miktarda tutamak hifleri oluşturabilir. Hifler geçitlerden ilerler, fakat daha sonra hücre çeperini de delerek takriben 2,5 μ genişliğinde boşluklar husule getiriler. Çeperler lümeniden başlayarak dışa doğru bozulur ve bu yüzden çok incelir (Selik, 1988; Çakır, 2012).

2.5.2.2. Esmer (kahverengi) çürüklük mantarları (*C. puteana*, *P. placenta*)

Esmer çürüklük yapan mantarlar iğne yapraklı ağaçların odunlarını tercih etmektedir. Odunu, selülozu hidrolize eden selülaz enzimleri, hemiselülozu etkileyen zitas (zytas) enzimleri ile çürütürler. Kahverengi çürüklükte odunun rengi esmerleşir. Odunda enine ve boyuna yönde çatlaklar oluşur ve bunların araları mantar miselleriyle kaplanır. Çatlaklarının aralarında kalan odun parçaları küçük prizma veya küpçükler halinde toplanabilir. Koparılan parçalar parmaklar arasında kolayca ezilerek toz haline getirilebilir. Esmer çürüklük sonucu odunda bir çökme ve hacim küçülmesi olur ve beyaz çürüklükte görülen sınır çizgileri bulunmaz (Yalınkılıç, 1990; Özen, 2005).

Esmer çürüklük mantarları, öncelikle odundaki polisakkaritleri bozuşuma uğratmakta, ligninde ise çok az bir kayba neden olmaktadır. Esmer çürüklük mantarları ilk olarak hücre çeperi karbonhidratları dekompoze ederler. Geriye modifiye olmuş ve metoksil grupları çıkarılmış lignin kalıntısı bırakırlar. Mantarın arz olduğu odun, ağırlığından, hacminden, yoğunluğundan, direncinden, özellikle dinamik eğilme direnci ile sertliğinden kaybetmektedir. Geriye kalan kısım koyu kırmızı kahverenginde, boyuna ve enine yönde küp şeklinde çatlaklı kömürleşmiş görünümünde bir kütle halini almaktadır. Bu kütle hemen hemen ligninden ibaret olup, kolaylıkla ufalanır ve içerisinde mantar hüfleri görülmez (Şen, 2001; Özen, 2005).

Coniophora puteana

Coniophora puteana (Şekil 2.7) Avrupa'da çok yaygındır. Bulunduğu ülkelerde, rutubetli yerlerdeki ağaç malzemedeki çürüklük yapan mantarlar içinde en sık rastlanan mantardır. Tomrukların alt kısmında sıkça rastlanır. Toprakla temas halinde olan kereste ve

kalaslarda, rutubetli maden ocaklarında ve binalardaki ağaç malzemedede çürüklük yapar. Açık kahverengi ile koyu zeytuni esmer renktedir.



Şekil 2.7. Çürümüş bir ağaç kütüğündeki *C. puteana* mantarının görüntüsü

Coniophora puteana diğer ev mantarları gibi selülozu tahrip ederek esmer çürüklük oluşturur. Özellikle iğne yapraklı ağaçlara bazen de yapraklı ağaçlara arız olur. Agar ortamında çok hızlı gelişir. Optimum sıcaklık isteği 22-24 °C'dir. Yapılan araştırmalar yüksek sıcaklık derecelerine dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Yüksek rutubet miktarına ihtiyaç duymaktadır. Binalarda kullanılan ağaç malzemenin rutubeti %50-60 olduğunda iyi gelişmektedir. Rutubet kaybolduğunda ise canlılığını yitirir. Yeni yerleştirilmiş bir döşeme tahtasını 1-2 yıl içerisinde tamamen çürütebilmektedir (Bozkurt ve ark., 1995).

Postia placenta

Bu mantar (Şekil 2.8) doğada tek tek ya da yığın halinde bulunurlar. Taze iken yumuşak ve etsi olup, tadı acıdır. Yarım daire şeklinde ya da kremit dizilişidir. 4-7 x 2-5 cm büyüklüğünde olup, kalınlığı 2 cm dir. Mantarın üst yüzeyi hafif basık, yünsü yapıda ve gençken beyazdır. Olgunlaştığında düz ya da radyal fibrilli ve gri veya grimsi kahverengi renklidir. Belirgin bir zon bulunmaz ya da çok az olabilir. Porları, beyaz ya da krem renkli, düzensiz ince duvarlı, mm'de 3-5 tanedir. Hüfleri, hafif aşağı doğru sarkarak uzayan olup, substrata doğru devam eder. Hüfleri, kancalıdır ve sistid yoktur. Sporları, dar silindirikten hafif bükülmüş hale kadar değişir. Çoğunlukla yaprak döken ağaçların gövdeleri üzerinde yaşarlar (Ellis ve Ellis, 1990; Çakır, 2012).

Bir esmer çürüklük mantarı olan *Postia (Poria) placenta*'nın saf selüloz depolimerizasyonu yapabilmesi için mannan gibi karbonhidrat kaynaklarına ihtiyacı olduğunu gösterilmiştir. İlk olarak *Poria placenta*, *Poria monticola* ve *Oligoporus placenta*

(Fr.) Cke olarak bilinmekteyken daha sonra birçok biyokimyasal çalışmada geçerli olan ve cins ismi olan *Postia* olarak kabul görmüştür (Köse, 2000).



Şekil 2.8. Çürümüş bir ağaç kütüğündeki *Postia placenta* mantarının görünümü

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

OPK ile ilgili yapılan çoğu çalışmada genellikle formülasyon geliştirmeye ve üretime odaklanılırken biyolojik dayanıklılık ile ilgili durumlar varsayımlarla belirlenmiştir. OPK'nin biyolojik bozunmaya karşı kısa sürelerde dayanımı ile ilgili bazı bilgiler bulunmasına karşın hala geliştirilme aşamasında olan bu yeni materyalin performansını ve yapı uygulamalarındaki etkin kullanımını uygun bir şekilde belirlemek için uzun süreli çalışmalarla ilgili veriler gereklidir (Schirp ve ark., 2008).

Mankowski ve Morrell (2000) yaptıkları çalışmalarında SEM kullanarak toprak blok testine maruz bıraktıkları OPK içerisindeki mantar çürüklüğünün desenlerini belirlemişlerdir. Çalışmada 70/30 odun/HDPE, 50/50 1 veya 2 mm partikül çapında odun/HDPE içeren üç farklı kompozit örneği *P. subserialis*, *T. versicolor*, *X. frustulatus* den oluşan üç farklı beyaz çürüklük ve *G. trabeum*, *P. placenta*, *W. cocos* den oluşan üç farklı kahverengi çürüklük mantarına 12 hafta boyunca maruz bırakılmıştır.

Pendleton ve ark. (2002) farklı oranlarda odun, HDPE, talk ve %2, %4, %7, %8 ve %10 oranlarında değişen çinkoborat kullanarak ürettikleri farklı OPK örneklerinin kahverengi *G. trabeum* ve *P. placenta* ile beyaz *T. versicolor* mantarlarına karşı dayanıklılıklarını araştırmışlardır.

Dylingowski (2003) yaptığı çalışmada bir izotiyazolon biyosit olan 4,5-Dichloro-2-octyl-4-isothiazolin-3-one (DCOIT)'nin ve çinko boratın OPK üstünde mantar gelişimini önleme verimlerini karşılaştırmıştır.

Clemons ve Ibach (2004) OPK'lerin mantar çürüklüğünde önemli bir parametre olan nem adsorplama özelliğinin üretim yöntemine göre değişimini belirlemek için HDPE (%50) ve odun unu (%50) kullanarak ürettikleri OPK'nin nem adsorplama özelliklerini araştırmıştır.

Simonsen ve ark. (2004) odun/plastik (PP veya HDPE) oranının ve borlu bileşiklerin varlığının OPK'nin biyobozunurluğuna etkisini 12 hafta boyunca toprak blok testinde kahverengi çürüklük mantarı *G. trabeum* kullanarak araştırmışlardır.

Schirp ve Wolcott (2005) odun unu ve HDPE kullanarak %49 ve %70 odun unundan oluşan iki farklı formül kullanarak OPK örneklerinin mekanik özellikleri üzerinde mantar çürüklüğünün ve rutubet adsorpsiyonun etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar mantar çürüklüğüne uğramış OPK'lerin özelliklerini araştırdıklarından formülasyonlarda

Çinko borat kullanmamışlardır. Örneklerin eğilme mukavemeti, elastikiyet modülü ve ağırlıklarında meydana gelen değişim üç ay boyunca agar blok testi ile beyaz rklk mantarı *T. versicolor* ve kahverengi rklk mantarı *G. Trabeum*’a maruz bırakıldıktan sonra karşılaştırılmıştır. Ayrıca %70 odun içeren kompozit örnekleri ve referans rneği sarı kavak için *T. versicolor* kullanılarak toprak blok testleri gerçekleştirilmiştir.

Schirp ve Walcott (2006) %49 odun unu ve %45 HDPE, ile %70 odun unu ve %24 HDPE ve ilaveten %6 proses katkıları içeren iki farklı formüldeki OPK örneklerdeki mantar rklğ ile meydana gelen değişimleri dinamik mekanik analiz (DMA) kullanarak araştırmışlardır. DMA bir malzemeyi geniş bir ölçüdeki sıcaklık ve frekanslarda dinamik kuvvetlere maruz bırakarak onun hakkında katı fazda değerli moleküler ve morfolojik bilgiler sağlayabilir. Küçük ölçülerde hazırlanan kompozit örnekleri hem beyaz rklk mantarı *T. versicolor* hem de kahverengi rklk mantarı *G. Trabeum* ile agar blok testinde 24 gün ve 77 gün olmak üzere inkübe edilmiştir. İnkübe edilemeyen kompozit kontrol grupları testlerde referans olarak kullanılırken ve sarı kavak odun rnekleri *T. versicolor* ile pozitif kontrol olarak inkübe edilmiştir.

Karimi ve ark. (2007) bağlayıcı ajan maleik anhidrit polietilen (MAPE)’nin kullanımının OPK’nin mantar çürüklüğüne karşı dayanıklılığını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Araştırmada %25 ve %50 akçaağaç odun unu, HDPE ve sırasıyla %1 ve %2 MAPE içeren kompozit rneklerinin *C. versicolor* mantarına karşı dayanıklılığını MAPE’siz kontrol gurupları da kullanarak test etmişlerdir. Kompozit rneklerinin su adsorpsiyonu, eğilme direnci, eğilme modülü, şok direnci, sertlik gibi fiziksel mekanik özellikleri 14 hafta boyunca 25 C ve %75 bağıl nemde gerçekleştirilen mantar rklk testleri öncesi ve sonrasında ağırlık kayıpları ile birlikte belirlenmiştir.

Lomeli-Ramirez ve ark. (2009) %60 oranında am, akçaağaç veya meşe ve %40 oranında PP içeren OPK rneklerinin mantar saldırısına karşı direncini belirlemişlerdir. Kompozitler 180-190 C sıcaklıkta 100-300 bar basınç altında 10 dakika doğrudan presleme işlemi ile üretilmiştir. Mantar rklk deneyleri ise beyaz rklk mantarları *T. versicolor* ve *P. Chrysosporium* ile kahverengi rklk mantarları *G. trabeum* ve *P. placenta* kullanılarak toprak blok testi ve agar testleri kullanılarak 6 veya 12 hafta boyunca gerçekleştirilmiştir. OPK örneklerindeki mantar çürüklüğünün etkileri rutubet içeriği ve ağırlık kaybı ölçümü ile belirlenmiştir.

Fabiyi ve ark. (2011) OPK’de ağaç türünün mantar dayanıklılık özellikleri ile nem adsorpsiyonu üzerine etkisini ve kimyasal değişimleri incelemek amacıyla hibrid kavak (*Populus deltoides* x *Populus tremuloides*), Douglas göknarı (*Pseudotsuga menziesii*), Gladiçya (*Gleditsia triacanthos*), ak meşe (*Quercus alba*) ve Ponderosa çamı (*Pinus ponderosa*) türleri odunlar (%60) ile HDPE’den (%40) üretilen kompozit örneklerini incelemiştir. Örnekler agar blok testinde kahverengi çürüklük *G. trabeum* veya beyaz çürüklük *T. versicolor* mantarları ile sırasıyla 12 hafta veya 16 hafta boyunca inkübe edilmiştir.

Naumann ve ark. (2012) OPK malzemelerin yangına karşı dayanıklı hale getirilmesi için kullanılan alev geciktirici kimyasallar ve mantar çürüklüğü arasındaki bağlantıları araştırmak için ilginç bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada içeriğinde %15 oranında dört farklı (AP 422, AP 760, Struktol SA, genişletilebilir grafit (EG)) ticari yangın geciktirici içeren OPK örneklerinin yangın ve mantar çürüklüğü dayanımı yangın geciktirici olmayan örnekler ile karşılaştırılarak araştırılmıştır.

Ibach ve ark. (2013) %65.93 odun, %24.06 HDPE ve katkı maddelerinden üretilen OPK örneklerinin biyolojik bozunurluğunu sahada güneşli ve gölge bölgelerde ve laboratuvar ortamında toprak blok testi ile ayrı ayrı test etmişlerdir. Kompozit örneklerinin su adsorpsiyonu ve biyolojik bozunurluk özellikleri saha gözlemleri, ağırlık kaybı ve yoğunluk ölçümlerinin yanı sıra optik ve taramalı elektron mikroskobu ile araştırılmıştır. Örnekler testler öncesi suya batırılarak oda sıcaklığında ve artan sıcaklıklarda şartlandırılmıştır.

Müller ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada OPK de önemli bir parametre olan odun kaynaklı nem adsorpsiyonun malzemenin çürümesi üzerine etkisini araştırmak için odunu modifiye etmişlerdir. Aminosilan, melamin ve asetik anhidrit ile muamele görmüş odun örnekleri PVC’ye eklenerek OPK malzemeler üretilmiş ve örneklerin kahverengi *C. puteana* ve beyaz *T. versicolor* mantarlarına karşı dayanımı test edilmiştir. Testlerde %50 odun unu ve %43.84 PVC ve diğer katkı maddeleri kullanılarak üretilen tek formülasyon kullanılmıştır.

Wei ve ark. (2013) asetat, propionat, benzoat esterifikasyonu ile modifiye ettikleri kavak odun unu ve HDPE kullanarak ürettikleri OPK örneklerinin mekanik özelliklerini, reolojik özelliklerini, adezyon kuvvet faktörünü, su direncini, hızlandırılmış yaşlanma ve biyolojik dayanıklılığını test etmişlerdir.

Kartal ve ark. (2013) odun veya bambu ununu PP plastik matriksle karıştırarak OPK malzeme üretmişler ve iki farklı odun unu oranı (%50, %70), üç farklı partikül büyüklüğü (30, 60, 100 mesh) ve çinko borat katkısının (%1) mantar çürüklüğü üzerine etkisini araştırmışlardır.

Taşcıoğlu ve ark. (2013) çinko borat içeren OPK (PP/odun) örneklerinin biyolojik performansını laboratuvar ve 3 yıl boyunca arazide kahverengi *F. palustris* ve beyaz *T. versicolor* çürüklük mantarları ve termitler kullanarak test etmişlerdir. Testlerde odun oranının, odunun partikül büyüklüğünün, yüzeye kanallar açarak arttırılan yüzey alanı ve %1 oranında formüllere eklenen çinko boratın etkisi araştırılmıştır.

Ashori ve ark., (2013) çalışmalarında kimyasal koruyucular ile muamele edilmiş odun/HDPE kompozitlerin beyaz çürüklük mantarı (*Coriolus versicolor*)'na karşı dayanıklılığını belirlemiştir. Muamele edilmiş ve edilmemiş kavak odunu unu (%60) içeren örnekler HDPE (%38) ile ve bağlama ajanı olarak MAPE (%2) ile karıştırılmıştır. Odun plastik kompozitlerin hazırlanmasında 3-iodo-2-propynyl butylcarbamate (IPBC, %0.3, %0.6 ve %0.9) ve 2 thiazol-4-yl-1H-benzoimidazole (TBZ, %0.3, %0.6 ve %0.9) olmak üzere iki mantar önleyici kimyasal kullanılmıştır. Daha sonra muamele edilmiş ve edilmemiş kompozitler Avrupa Birliği (EN) 113 standardına göre 12 hafta boyunca mantar çürüklüğü testine maruz bırakılmıştır. Kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri çürüme öncesi ve sonrasında belirlenmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Bu çalışmada OPK üretimi için lifsel dolgu maddesi olarak sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odun talaşı kullanılmıştır. Odun talaşları Kahramanmaraş Küçük Sanayi Sitesi içinde bulunan bir kereste fabrikasından testere talaşı şeklinde temin edilmiştir. Talaşlar açık havada serilerek 2 gün kurutulduktan sonra eleme işlemine tabi tutulmuştur. Eleme işlemleri sarsak elek yardımı ile 20–40–60–80 ve 100 mesh gruplarından oluşan 5 elek kullanılarak yapılmış ve 40 mesh’lik elekten geçip 60 mesh boyutundaki eleğin üzerinde kalan odun unu OPK üretim çalışmalarında kullanılmak üzere toplanmıştır. Toplanan bu odun unları üretim işlemlerine kadar nemden korunmak amacı ile kapalı bir plastik kaptaki saklanmıştır. Üretim işlemlerinden önce ise etüvde 103 ± 2 °C’de 24 s kurutularak kullanılmıştır.

OPK üretimi için polimer matris olarak ise PETKİM Saniyeden granül halinde temin edilen Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) kullanılmıştır. OPK üretimi için hazırlanan karışımların homojen olması ve ekstrüzyon işlemi ile yoğurmanın iyi bir şekilde gerçekleşmesi için polimer granülleri mikronize kırıcı kullanılarak mikron boyutuna getirilmiştir. Toz halindeki polimer örnekleri üretim işlemlerine kadar kapalı plastik bir kaptaki saklanmıştır.

Üretim işlemlerinde katkı maddesi olarak; polimer/odun unu karışımlarının ara yüzeylerinde bağlayıcı etkiyi sağlamak amacıyla maleik anhidrit aşılanmış polietilen (MAPE), ekstrüzyon işlemleri sırasında kovan ve vidaya hammaddelerin yapışması önleyerek üretim işlemlerinin devamlılığın sağlanması amacıyla yağlayıcı madde PE vaks ve son olarak OPK malzemelerde mantar çürüklüğünün etkilerinin araştırılması için antifungal madde olarak çinko borat (Smyras) kullanılmıştır.

Mantar çürüklüğü testleri için *Trametes versicolor* (L.) Lloyd, Mad-697 (beyaz çürüklük), *Coniophora puteana* (Schumach.) P. Karst., Mad-515 (kahverengi çürüklük), *Postia placenta* (Fr.) Lars. & Lombard, Mad-698-R (kahverengi çürüklük) olmak üzere üç farklı mantar miseli kullanılmıştır. Mantar miselleri hazır olarak Amerika Birleşik Devletleri Ziraat Dairesi, Orman Ürünleri Laboratuvarı, Madison Arazi Ofisi (United States Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, Madison Field Office)’den temin edilmiştir.

Biyolojik bozunurluk testleri için kullanılan plastik petri kapları Fıratmed medikalden temin edilmiştir. Yine biyolojik bozunurluk testlerinde mantar misellerinin gelişimi için besiyeri olarak Malt Ekstrakt Agar (Merck) kullanılmıştır. Son olarak biyolojik bozunurluk testlerinde mantarların ve ortamın kontaminasyonunu engellemek ve hijyeni sağlamak kullanılan teksol (etanol) Tekkim'den temin edilmiştir.

4.2. Metot

4.2.1. Kompozitlerin üretilmesi

Sarıçam odun unları 60 mesh boyutuna elendikten sonra nem içeriğinin tamamen kaldırılması için etüvde bir gün 103 ± 2 °C'de kurutulmuştur. Kurutulan odun unları daha sonra Çizelge 4.1'deki formülasyonlara göre HDPE, çinko borat, polietilen wax ve MAPE ile homojen bir biçimde yüksek devirli bir karıştırıcı ile karıştırılmıştır.

Çizelge 4.1. Kompozit örneklerinin üretimi için hazırlanan karışım formülleri

Örnek Grupları	Odun Unu (%)	YYPE (%)	Çinko Borat (%)	PE Wax (%)	MAPE (%)
1	50	49	0	1	0
2	50	48	1	1	0
3	50	45	1	1	3
4	60	39	0	1	0
5	60	38	1	1	0
6	60	35	1	1	3
7	70	29	0	1	0
8	70	28	1	1	0
9	70	25	1	1	3
10	70	26	0	1	3
11	70	27	2	1	0

Her örnek grubunda 5 farklı örnekle karşılaştırmak için bir formülde bağlayıcı ajan olarak MAPE kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar vida dönüş hızı 50 devir/dk ve ana besleyiciden çıkış bölümü arasındaki kovan sıcaklık profili: 110-150-170-175-180 °C olacak şekilde çift vidalı ekstrüderden (Rondol) geçirilmiştir. Ekstürüzyon işlemi sonrası elde edilen sıcak kompozitler su banyosunda soğutularak istenilen ebatlarda otomatik pelletizer makinasında pelet haline getirilmiştir. Üretilen peletler etüvde kurutulduktan sonra sıcak basınçlı kalıplama tekniği ile Carver marka preste 25 cm x 25 cm x 2 mm ebatlarında levhalara dönüştürülmüştür. Kalıplama işlemi 180 °C pres sıcaklığında 9 bar gösterge basıncı altında 20 dk sürede gerçekleştirilmiştir. Bu levhalar daha sonra kompozit örneklerle uygulanacak olan test tekniğine göre farklı ölçülerde kesilerek

boyutlandırılmıştır. Şekil 4.1’de üretimi işlemlerinde kullanılan cihazlar ve OPK örnekleri görülmektedir.



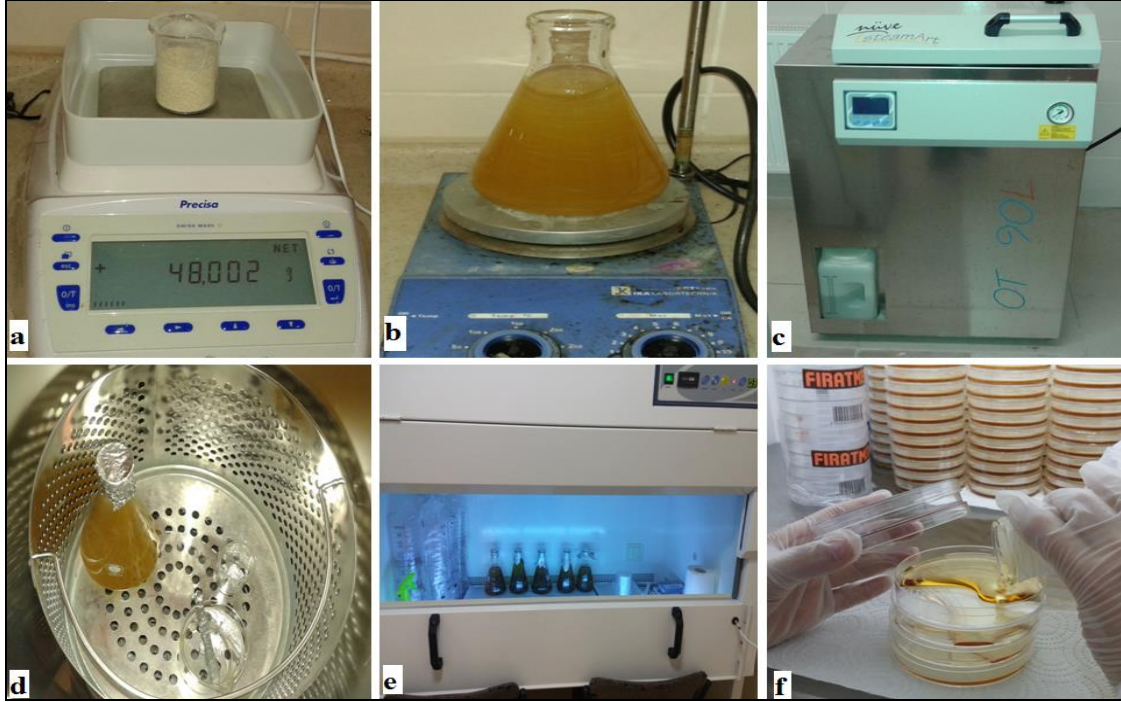
Şekil 4.1. Üretim işlemlerinde kullanılan ekstrüder (a), ekstrüzyon işlemi sonrası elde edilen pelet halindeki kompozitler (b), pres (c), pres işleri sonrası elde edilen levha (d)

4.2.2. Biyolojik bozunurluk testleri

Biyolojik bozunurluk testleri EN 113 (Wood Preservatives: Method of test for determining the effectiveness against wood destroying Basidiomycetes: Determination of the toxic values) standardına uygun olacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kontrol örneği olarak Sarıçam (*P. Sylvestris*)’dan alınan sağlam, düzgün lifli, budaksız malzemeden kesilen örnekler kullanılmıştır. Örnekler sarıçam için lif yönünde, teğet yönde ve radyal yönde olmak üzere sırasıyla 25 x 15 x 2 mm boyutlarında hazırlanmıştır. OPK örnekleri için de 25x25’lik levhalardan kesilen aynı ölçülerdeki örnekler kullanılmıştır. Deneylere başlamadan önce örneklerin hava kuru ağırlığı alınmıştır. Sonrasında etüvde 103±2 °C de değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilip ve tam kuru ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir.

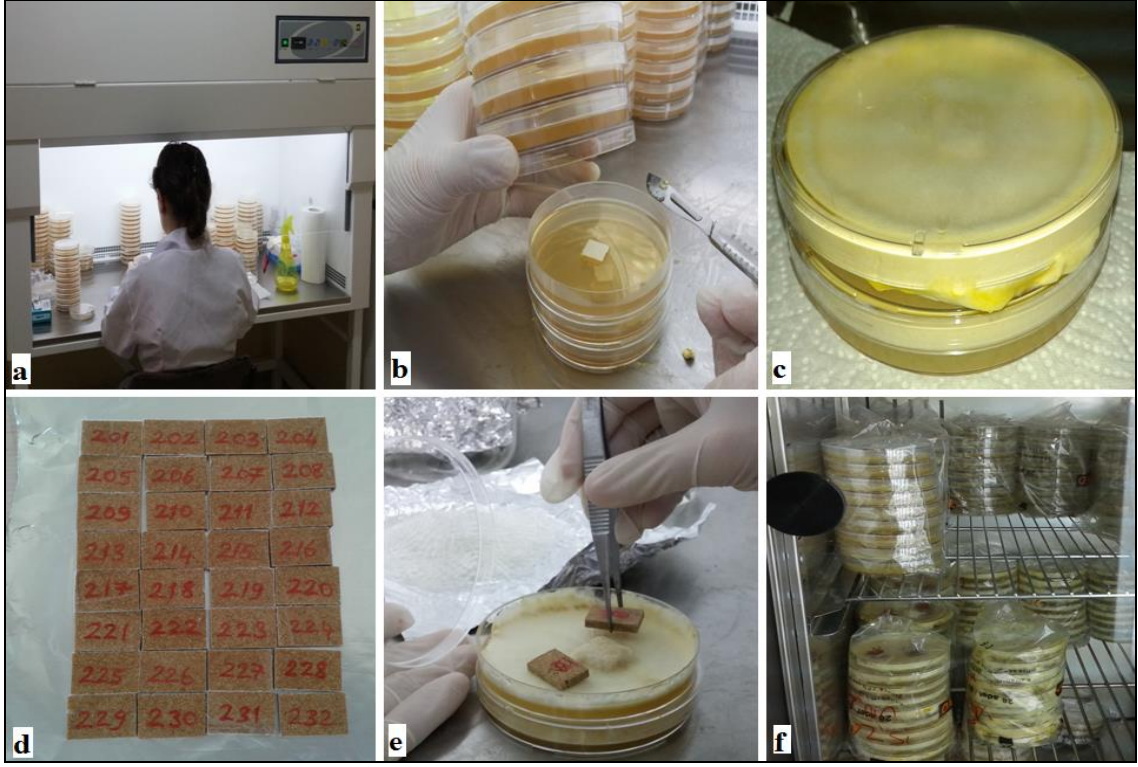
Mantar misellerinin yetiştirilmesi için kültür (besin) ortamı olarak, 1 lt saf su içerisine 48 g malt ekstrakt agar karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan besin ortamı ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda karıştırılarak çözeltinin homojen hale gelmesi sağlanmıştır. Daha sonra deneyde kullanılan araç ve gereçler alüminyum folyoya sarılarak hazırlanan çözelti

ile birlikte 121°C de 15 dk süreyle otoklavda (Nüve OT 90L) sterilize edilmiştir. Sterilizasyon işlemi tamamlandıktan sonra otoklavdan alınan çözelti steril aşılama kabine alınarak bir süre UV ışık altında bekletilmiş ve son olarak çözelti plastik petri kaplarına dökülerek katılaşmaya bırakılmıştır. Şekil 4.2’de besiyeri hazırlama işleminin aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.2. Malt ekstrakt agar (a) ve çözeltisi (b), otoklav (c) ve içindeki besiyeri çözeltisi ve diğer aletler (d), steril kabinde UV altındaki besiyerleri (e), petrilere dökülen besiyeri (f)

Daha sonra hazır olarak temin edilen beyaz (*Trametes versicolor*) ve kahverengi (*Coniophora puteana*, *Postia placenta*) çürüklük mantar miselleri petri kaplarındaki besin ortamı içerisine steril aşılama kabinde aşılanmıştır. Bu işlem için mantar miselleri hazır olarak geldiği petri kaplarında steril bir bisturiye takılan neşter yardımı ile yaklaşık 1 cm²'lik parçalara bölünmüş ve bu parçalar petri kabı içindeki önceden hazırlanmış besiyerlerine aşılanmıştır. Aşılama işlemlerini takiben 10 gün sonrasında miseller petri kabını tamamen sardıktan sonra kontrol ve kompozit örnekleri her bir petri kabına sterilize edilmiş file sehpa üzerine ikişer tane olacak şekilde yerleştirilmiştir. Son olarak petri kapları hava almayacak şekilde kapatılarak kültürler misel gelişiminin sağlanması için 23±1°C sıcaklıkta %70±3 bağıl nemde, ışık almayan steril iklimlendirme kabinde (Nüve) inkübasyona bırakılmıştır. Şekil 4.3’de mantar misellerinin aşılanması, çoğaltılması ve kompozit örneklerinin gelişmiş mantar misellerinin bulunduğu petri kaplarına inkübasyon işlemleri görülmektedir.



Şekil 4.3. Steril aşılama kabini (a), besiyerine mantar miselinin aşılama (b), gelişmiş mantar miselleri (c), çürüklük testi için hazırlanan kompozit örnekleri (d), kompozit örneklerinin inkübasyonu (e), iklimlendirme kabinine yerleştirilmiş petri kapları (f)

Testlerde her bir kompozit örneği için değişen sayılarda farklı mantar türlerinde 2, 3 veya 4 petri kabından 4, 6 veya 8 örnek grubu test edilmiştir. Örneklerin ağırlık kayıpları her dört haftada bir hesaplanarak 16 hafta (4 ay) iklimlendirme kabinde bekletilmiştir. Ağırlık kaybı ölçümleri için örnekler petri kaplarından çıkarılarak kompozit yüzeyindeki mantar miselleri temizlenerek etüvde 103 ± 2 °C’de değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Kompozit örneklerinin tam kuru ağırlıkları terazi yardımıyla 0,001 hassaslıkta tartılarak kaydedilmiştir. Kompozit örneklerinin biyolojik bozunurluk sonrası ağırlık kayıpları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$AK = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

Burada;

AK: Yüzde (%) ağırlık kaybını,

A_0 : Çürüklük testi öncesi fırın kuru örnek ağırlığını,

A_1 : Çürüklük testi sonrası fırın kuru örnek ağırlığını ifade etmektedir.

4.2.3. Mekanik testler

Üretilen OPK örneklerinin mekanik özelliklerini belirlemek için Amerikan Standartlarına (ASTM) uygun olarak eğilme direnci, çekme direnci ve darbe (şok) direnci olmak üzere 3 farklı test yapılmıştır.

Eğilme direnci testleri Zwick/Roell Z010 Üiversal Test Makinesi ile uygun test aparatları yardımıyla 2 mm kalınlıkta, 13 mm genişlikte ve 120 mm uzunlukta örnekler kullanılarak yapılmıştır. Kırma hızı 2 mm/dk ve dayanaklar arasındaki açıklık 80 mm olarak ayarlanmıştır. Eğilme direnci testleri ASTM D 790–03 standardına göre yapılmıştır.

Çekme direnci testleri Zwick/Roell Z010 Üiversal Test Makinesi ile uygun test aparatları yardımıyla 2 mm kalınlıkta, 13 mm genişlikte ve 165 mm uzunlukta örnekler kullanılarak yapılmıştır. Cihazda çene hareket hızı 5 mm/dk olarak ayarlanmıştır. Çekme direnci testleri ASTM D 638 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

İzod şok (darbe) dayanımı testi için öncelikle 2 mm kalınlıkta, 13 mm genişlikte ve 65 mm uzunlukta örnekler üzerinde Polytest RayRan cihazı ile çentik (0,25 mm) açılmıştır. Daha sonra testler pandüllü şok cihazı (Zwick Roell. HIT5.5P) ile yapılmıştır. Şok testi, ASTM D 256 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Bütün testlerde ASTM standartına uygun ölçüde kesilen örnekler iklimlendirme kabininde %65±5 bağıl nem ve 23±2 °C’de 3 gün şartlandırıldıktan sonra kullanılmıştır. Sonuçlar deney esnasında üniversal test makinesine ait bilgisayar programında otomatik olarak hesaplanmıştır ve her bir kompozit grubu için eşdeğer 7 örneğin ölçümünün ortalaması alınmıştır.

Kompozit örneklerinin mantar çürüklük testleri sonrası yüzey sertliğinde meydana gelen değişimin araştırılması için kompozit örneklerinin ilk hallerinin ve 4 ay süren mantar çürüklük testinin her ayından alınanların yüzey sertlik değerleri ölçülmüştür. Ölçümler ENPQIX EHS5D Durometer cihazıyla ASTM D 2240-05 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Testlerde her bir kompozit örneğinin 7 farklı bölgesinden ölçüm alınarak ortalama değerler hesaplanmıştır.

4.2.4. ATR/FT-IR spektroskopisi analizleri

Attenuated Total Reflectance–Fourier Transform Infrared analizleri Agilent Cary 630 marka cihazda 650-4000 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında kompozit örneklerinin yüzeyinden ölçüm alınarak yapılmıştır. FT-IR analizleri kompozit örnekleri için hem

biyolojik bozunurluk öncesi hem de 4 ay boyunca yapılan testlerin her ayından örnek alınarak yapılmış ve kompozit örneklerinin kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir.

4.2.5. Termal testler

Üretilen kompozit örneklerinin çürüklük testleri öncesi ve sonrası kütle kaybından ısıl bozunma davranışlarını belirlemek için Termogravimetrik Analiz (TGA), Türev Termogravimetrik Analiz (DTG) ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) analizleri EXSTAR SII TG/DTA6300 marka cihazda 10 °C/dk'lık sıcaklık artış hızı ve 100 mL/dk azot akış hızında 25-800 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Burada örneklerin bozunma sıcaklığı °C olarak, bozuma sıcaklığındaki kütle kaybı yüzde (%) olarak ve 800 °C'deki kütle kayıpları yüzde (%) olarak verilmiştir.

4.2.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri

Kompozit örneklerinin çürüklük testleri öncesi ve sonrası SEM görüntüleri 100X 500X ve 1000X, 5000X ve 10000X olmak üzere 5 farklı büyütme oranında 1, 2, 10, 20 ve 1000 µm görüntüleme aralığında Zeiss - EVO LS10/Bruker marka cihazda kaydedilmiştir.

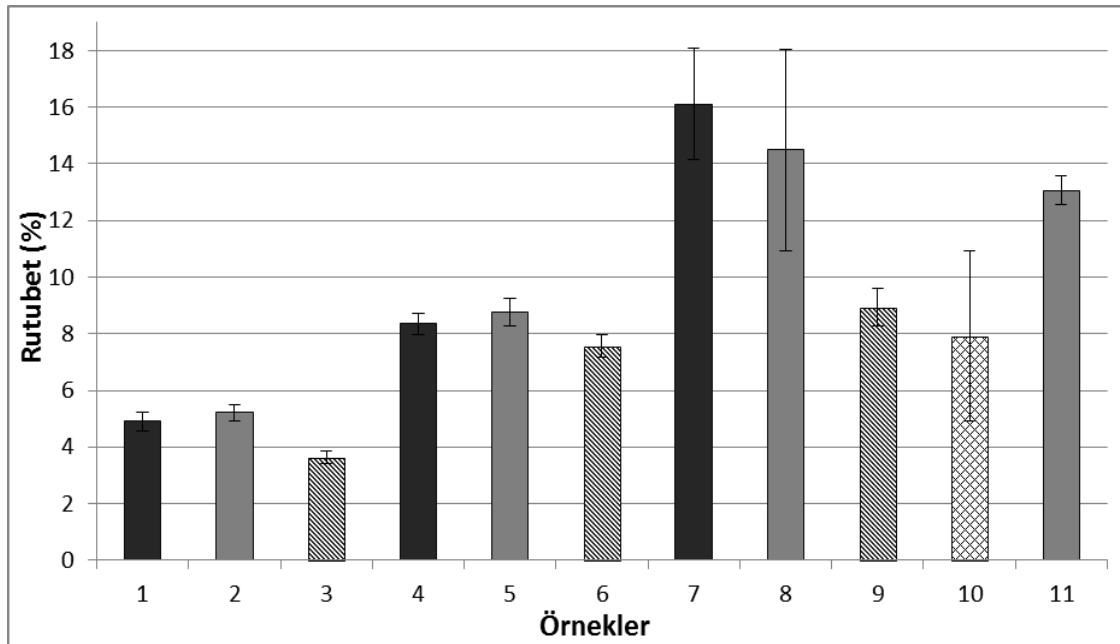
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

5.1. Biyolojik Bozunurluk Testleri

5.1.1. Rutubet değerleri

Miseller petri kabını sardıktan sonra kontrol ve OPK örnekleri petri kabına koyulmadan önce saf su içerisinde 10 dk nemlendirildikten sonra otoklavda sterilize işlemine tabi tutulmuştur. Nemlendirilme işlemi sonrasında petri kaplarına koyulmuştur. Örneklerde meydana gelen % rutubet değerleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Buna göre formülasyonları benzer olan 1., 4. ve 7. grubun rutubet değerlerine bakıldığında zaman odunu miktarının %50’den %60’a, %60’da %70’e arttırılması rutubet değerlerini de belirgin bir şekilde arttırmıştır. Bu durum OPK malzeme içinde artan lignoselülozik katkı maddesinin polimer matris tarafından daha az kaplanarak nem almaya daha müsait olması ile açıklanmıştır. Sarıçam diri odunu ise nemlendirme işlemi sonrasında %80’e varan bir nem aldığı görülmüştür.

Odun-plastik arasındaki uyumsuzluğu gidermek için bağlacı olarak kullanılan MAPE eklenmiş olan 3., 6., 9. ve 10. grup OPK örneklerinde MAPE kullanılmayan örnekler göre daha düşük değerlerde rutubet aldığı görülmüştür. Bu nedenle farklı özellikteki odun ve polimerin bir arada bir yapı oluşturabilmesi ve neme karşı daha dirençli olması için bağlayıcı kimyasalların kullanılması gerekmektedir (Klyosov, 2007).



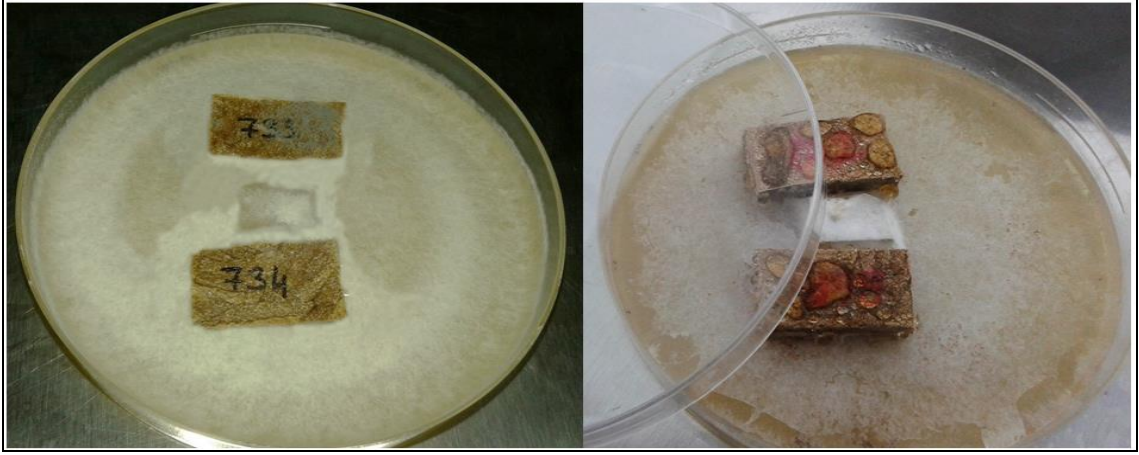
Şekil 5.1. OPK örneklerinin rutubet değerleri

Ortaman rutubet değerleri ürüklük yapan mantarların gelişmesi için en önemli faktörlerden birisidir. Çürüklük mantarlarının sorunsuz bir şekilde gelişmesi için ortamın rutubet miktarı odun için en az %20 olmalıdır (Bozkurt ve ark., 1993). Bu nedenle OPK içerisindeki hidrofobik özellikteki polimerik matrisler mantarların gelişimini sınırlamaktadır. Ancak hidrofilik özellikteki lignoselülozik dolgu maddesi olan odunun formülasyonlarda %70 oranına kadar çıkarılması besin ortamı açısından mantarların gelişimi için uygun ortam oluşturabilmiştir (Kylosov, 2007; Morrell ve diğ, 2010). OPK içerisindeki odun unu miktarının %50 ve üzerinde olmasının malzemenin esmer ürüklük ve beyaz ürüklük mantarları tarafından tahrip edilebileceği rapor edilmiştir. Fakat OPK içeriğinde bulunan polimer sayesinde masif odunla karşılaştırıldığında mantar çürüklüğüne karşı daha dayanıklıdır (Kamdem ve ark., 2004). Bu durum yapılan bu tez çalışmasının bulgularıyla da benzerlik göstermiştir.

5.1.2. Görsel görünüm ve gözlemler

OPK örnekleri için çeşitli ürüklük mantarları kullanılarak yapılan biyolojik bozunurluk testleri sırasında mantar misellerinin gelişimi için hazırlanan malt ekstrakt agar maya ve küflerin izolasyonu ve kültürasyonu için kullanılan genel amaçlı bir yetiştirme ortamıdır. Malt ekstrakt agar mantar ve küflerin gelişimi için gerekli olan başlıca besin kaynaklarını, karbonu ve proteini içerir. Buna ek olarak amino asit ve azotlu bileşiklerinden oluşan besin kaynaklarının kaynağı olan hayvansal dokuların (peptonlar) sindirilmiş parçalarını da içermektedir (URL1, 2015).

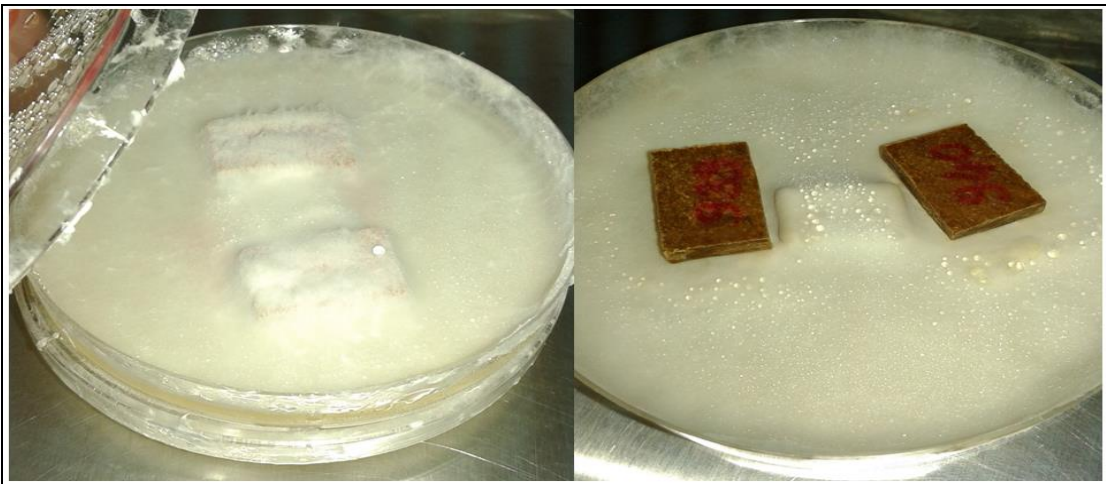
Öte yandan çalışmalarda kullanılan üç farklı mantar kültürleri karşılaştırıldığında ürüklük testleri için kullanılan inkübasyon şartları ve besiyeri ortamının üç mantarı için de aynı büyüme oranlarını sağlamadığı görülmüştür. Kompozit örnekleri yetiştirilmiş mantar misellerinin olduğu petri kaplarına inkübe edildikten itibaren ürüklük mantarlarının gelişimi 16 hafta boyunca gözlenmiştir. Bu süre boyunca en iyi gelişimi *P. placenta* mantarı göstermiş onu sırasıyla *C. puteana* ve *T. versicolor* mantarları takip etmiştir. Özellikle beyaz ürüklük mantarı olan *T. versicolor* diğerlerine göre misel gelişimi bakımından hem de odun ve kompozit örneklerini ürütme bakımından diğerlerine göre çok zayıf kalmıştır. Bu durumun ürütme mekanizmasının kimyasal anlamda esmer ürüklük mantarlarına göre farklı olan bu mantarın kullanılan ortam koşullarına iyi bir adaptasyon sağlayamadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer yandan esmer ürüklük mantarları baştan itibaren çok iyi bir misel gelişim süreci göstererek odun ve kompozit örneklerinde önemli oranlarda tahribata sebep olmuşlardır.



Şekil 5.2. *Trametes versicolor* mantarı ile inkübe edilmiş kompozit örnekleri (sağdaki örnek (11. Grup) %2 çinkoborat içermektedir, soldaki örnek (7. Grup) çinko borat içermemektedir.)



Şekil 5.3. *Coniophora puteana* mantarı ile inkübe edilmiş kompozit örnekleri (sağdaki örnek (11. Grup) %2 çinkoborat içermektedir, soldaki örnek (10. Grup) çinko borat içermemektedir.)



Şekil 5.4. *Postia placenta* mantarı ile inkübe edilmiş kompozit örnekleri (sağdaki örnek (9. Grup) %1 çinkoborat içermektedir, soldaki örnek (7. Grup) çinko borat içermemektedir.)

Bu çalışmanın nihai amacı çinkoborat kimyasalının OPK malzemeye eklenmesinin malzemenin biyolojik dayanıklılığını ne denli etkileyeceğini araştırmak olduğundan çürüklük testleri için artan odun unu içeriği oranlarında formülasyonlar hazırlanmış ve bazı formüllere çinko borat maddesi eklenerek mantar çürüklüğü testlerinde dayanıklılığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.2-5.4’de testlerde kullanılan üç mantar türünün çinko borat katkılı ve katkısız kompozit örnekleri ile inkübe edildiği petri kaplarındaki misel gelişimi görülmektedir.

Görüntülerden açık biçimde anlaşılacağı üzere çürüklük mantar miselleri çinkoborat içermeyen kompozit örneklerine arız olarak her yerini sarmış ve çürütmüştür. Fakat çinko borat katkılı örneklere ise hiçbir şekilde dokunmamıştır. Bu durumun sonucu bir sonraki bölümde açıklanan ağırlık kaybı değerlerinde de net bir şekilde görülmüştür. Bu bağlamda çinko borat bileşiğinin kompozit formülasyonunda %1 veya %2 oranında bile eklenmesi malzeme üzerinde mantarın üremesini çok büyük ölçüde engellemiş ve OPK malzemedeki bozunmanın çok düşük miktarda olmasını sağlamıştır. Bu sonuçlar literatürde daha önce yapılan benzer çalışmalarla elde edilen sonuçlarla da paralellik göstermiştir. Çinko boratın yangın geciktirici özelliğine ek olarak, bir çok araştırmacı çinko boratın antifungal olarak OPK malzemede kullanımının malzemenin yüksek rutubet altındayken mantar çürüklüğüne karşı korunabileceğini rapor etmiştir (Pendleton ve ark., 2002; Simonsen ve ark., 2004; Schirp ve Wolcott 2005; Kartal ve ark., 2013; Tascioglu ve ark., 2013).

Çinko borat bileşiğinin çok az miktarlarda bile OPK malzemede çürüklük mantarlarına karşı etkili bir antifungal olması mantarların gelişimi sırasında biyokimyasal süreçlerini anormal şekilde etkilemesi ile alakalıdır. Bor bileşikleri mantarlarda hüf ve sporların anormal gelişimine ve üreme sırasında gametlerin ayrılmasında başarısızlığa neden olarak mantar gelişmesini durdurmaktadır. Aynı zamanda oksit formunda ko-enzimler bor iyonlarının hedefi olarak mantar organizmasının metabolik sistemini de bozmaktadırlar. Dahası bor iyonları biyolojik olarak hücre çeperinden kolaylıkla nüfuz edebilmekte ve oluşturduğu komplekslerle yaşayan organizmalarda açlık etkisi oluşturarak toksik bir etkiye sebep olmaktadır (Lloyd, 1998; Yamaguci, 2003).

Mantar çürüklük testleri “EN 113 Odun koruyucu kimyasallar-Odunu tahrip eden basidiomycete mantarlarına karşı koruyucu etkinliğinin belirlenmesi test metodu-Zehirlilik değerlerinin belirlenmesi” isimli İngiliz (British) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Genellikle, odun ve odun esaslı malzemelerin biyolojik dayanıklılığının test edilmesinde

kullanılan standart test yöntemleri standart test mantarlarının kullanımını gerektirmektedir. Bu standart test mantarları (*Trametes versicolor*, *Coniophora puteana*, *Postia placenta* vb.) odunu çok iyi çürüten mantarlar olduğu için mantar çürüklüğü testi sonrasında kontrol grubu olarak kullanılan sarı çam diri odun örneklerinde yüksek oranda çürüme gerçekleşmiştir. Odun örneklerinin yapısı bozularak üzerinde çok sayıda çatlak meydana gelmiş ve lif yönlerinde kopmalar oluşmuştur (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Mantar (*Postia placenta*) çürüklüğüne maruz kalan odun örneklerinin görünümü

Şekildeki odun örneklerinin görüntüsü esmer çürüklük mantarlarının tahribat özelliğini açık biçimde yansıtmaktadır. Esmer çürüklük mantarları karbonhidrat bileşiklerini önemli ölçüde tahrip ederken, çürümenin son safhasına kadar çeperlerde kalan lignin az tahrip edilmektedir. Sonuçta çeperlerde tahribat sonunda sadece artık bir lignin ağı geriye kalmaktadır. Bu durumda odun örnekleri hacim küçülmesi sonucu oluşan enine ve boyuna çatlaklar ile küp şeklinde çatlaklı esmerleşmiş bir hal almaktadır (Bozkurt ve ark., 1995).

Daha önce yapılan çalışmalarda çürüklük mantarların etkisi ile hücre duvarında meydana gelen değişimler mikroskopik olarak incelenmiştir. Buna göre odun kahverengi çürüklük mantarlarına maruz kaldığında, üç bileşen içerisinde en fazla zararı karbonhidrat bileşenleri (hemiselüloz ve selüloz) görmekte, ligninde meydana gelen bozunum sınırlı kalmaktadır. Diğer yandan beyaz çürüklük mantarına maruz kalan odunda tüm hücre duvarı bileşenleri zarar görse de hemiselüloz ve ligninde bu daha büyük boyutta olmaktadır (Daniel, 1994; Çetin ve ark., 2010).

Bununla birlikte masif odun için kullanılan bu tür standartlar OPK malzeme için mantar tahribatını belirlemede pek etkili olmamaktadır. Standartta kullanılan ortamın sıcaklık ve rutubet değerleri masif odun için oldukça ağır iken bu şartlar OPK için yeterli miktarda olmamaktadır. Bunun sebebi doğrudan OPK malzemenin yapısından kaynaklı rutubet ilerleyişinin oldukça yavaş meydana gelmesidir. Polimer malzeme ağı ile çevrelenmiş odun taneciklerine suyun ulaşması neredeyse imkansız olmaktadır. Fakat OPK malzemenin kullanıldığı dış ortamda hava koşulları çok sert olduğu durumlarda polimer matrisi ve odun parçacıkları arasındaki bağ zayıflar ve odun parçacıkları rutubet adsorpsiyonuna daha müsait hale gelerek mantar saldırılarına daha açık olur (Morrell, 2010).

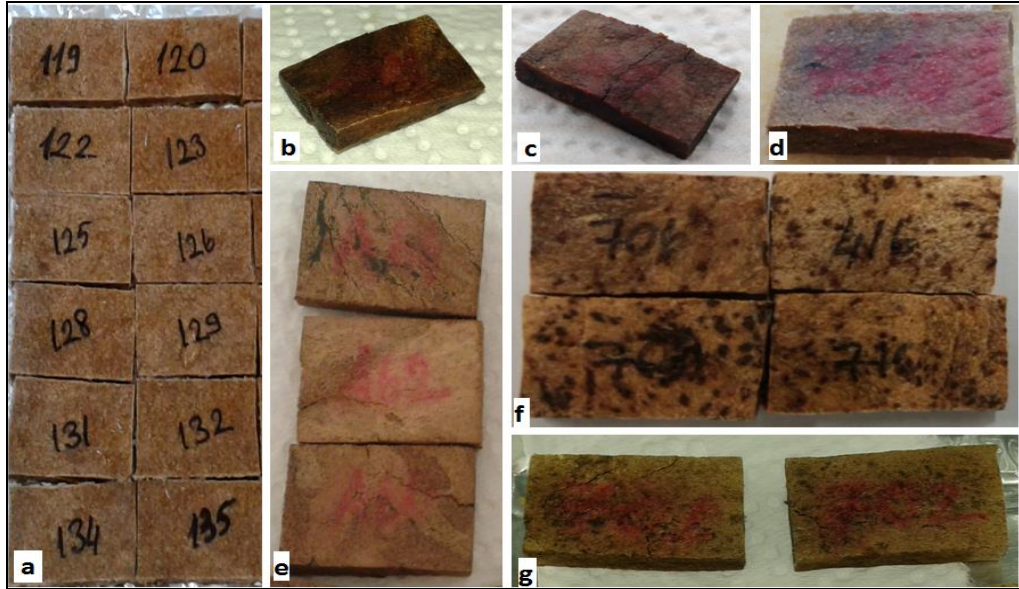
Çünkü OPK malzemeler bir nevi poroz malzeme sınıfında değerlendirmektedir. OPK malzemede odun ile termoplastik polimer arasındaki adhezyon kuvvetleri bazen zayıf olup, malzeme içerisinde küçük boşlukların oluşmasına neden olabilir. Lignoselülozik malzemeler bünyelerinde hidroksil grupları içerdikleri için hidrofilik yapıdadır (Kylosov, 2007). OPK yapısında bulunan lignoselülozik özellikteki odun ya da odunsu materyal, kompozit malzemenin su alma oranını ciddi anlamda etkilemektedir. Buna karşın bünyesindeki hidrofobik özelliğe sahip plastikler sayesinde levhaların su alma oranı odun ve odun esaslı diğer materyallere göre daha düşüktür (Wang ve Morrell, 2004; Kylosov, 2007). OPK içerisinde suyun plastik sınırlardan geçişleri mümkün değildir, rutubet sadece kompozitin içerisindeki lignoselülozik materyalin bulunduğu bölgede absorbe edilebilir. Bu nedenle, lignoselülozik dolgu oranı arttıkça levhaların su alma oranı da artmaktadır (Adhikary ve ark., 2008; Kord, 2011a).

Ibach ve ark. (2013) OPK malzemede mantar çürüklüğünde gerçek koşulların test edildiği çalışmaları sonucuna göre bazı örneklerin üzerinde kahverengi çürüklük mantarı *D. spathularia* ait gövde parçaları bulunmuştur. Saha testinde kullanılan alana bağlı olarak örneklerin çürüme prosesi için bir başlangıç periyoduna ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Üç ay gerçekleştirilen laboratuvar toprak blok testleri sonrasında kompozit örnekleri şartlandırma işlemine göre farklı çürüme oranları göstermiştir. Beş gün boyunca 70 °C’de suya batırma işlemi ile muamele edilen kompozit örnekleri %12.88, odun örnekleri ise 19.54 ile en yüksek ağırlık kaybına sahip olmuşlardır. Saha testlerinde başlangıç periyodu sırasında hiçbir ağırlık kaybı veya yoğunlukta azalma gözlemlenmemiştir. Başlangıç periyotları bir deneme sahasında güneşte yaklaşık 27 ay gölgede 40 ay olurken başka bir sahada ise bu değerler her ikisi içinde yaklaşık 70 ay

olmuştur. İlk deneme sahasında 40 ay boyunca güneşli bölgede test edilen OPK örneğinin çürüklüğe bağlı olarak yoğunluğundaki düşüş (%11.20) su içinde 5 gün boyunca 70 °C’de şartlandırılan örneklerle (%12.88) benzerlik göstermiştir. Aynı sahada gölgede 52 ay test edilen örneklerde benzer biçimde 2 hafta boyunca laboratuvar sıcaklığında suda şartlandırılan örnekler ile benzer bir yoğunluk düşüşü göstermiştir.

Tascioglu ve ark. (2013) ise laboratuvar ve saha testlerini karşılaştırmış, sonuçlar odun oranı arttıkça kütle kaybının arttığını göstermiştir. Formüllere %1 oranında çinko borat katkısının mantar çürüklüğü ve termit testlerine maruz bırakılan OPK örneklerinin ağırlık kaybını önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Kullanılan odunun partikül büyüklüğünün ve yüzey alanının formüllerdeki odun oranından daha az etkili olduğu gözlemlenmiştir. OPK yüzeyine açılan kanalların *T. versicolor* mantarı için kütle kayıplarını ve nem içeriklerini önemli ölçüde etkilemiştir. Yapılan arazi testi çalışmalarına göre hiçbir formülasyonda gözle görülür bir mantar çürüklüğü meydana gelmemiştir.

Şekil 5.6’da çalışmalardaki bazı kompozit örneklerinin mantar çürüklüğü sonrasındaki görünimleri görülmektedir. İçeriğinde %60 ve %70 oranında odun dolgusu içeren kompozitler petri kaplarından çıkarıldığı anda incelendiğinde yüksek lignoselülozik lif oranından dolayı yüksek miktarda rutubet adsorpsiyonu dolayısı ile şiştikleri gözlemlenmiştir (Şekil 5.6b,c,d,e).



Şekil 5.6. Bazı OPK örneklerinin çürüklük testleri sonrası görüntüleri

Kompozit örnekleri ağırlık kaybı oranlarının belirlenmesi için kurutulduktan sonra ise yüzeylerinde çatlakların meydana geldiği (Şekil 5.6e), özellikle *Coniophora puteana*

mantarının etkilerine işaret eden yüzeyde siyah lekelenmelerin (Şekil 5.6f,g) ve şekillerinde deformasyonların oluştuğu (Şekil 5.6e) gözlemlenmiştir.

Verhey ve Laks (2002) yapmış oldukları bir çalışmada odun partikül büyüklüğünün artmasıyla biyolojik performans testlerinde örneklerde mantar atağı sonucunda oluşan ağırlık kayıplarının arttığını gözlemlemişlerdir. Yüzeylerde ve kenarlarda bulunan daha büyük odun partiküllerine sahip kompozitlerde daha yüksek oranda ağırlık kaybı görülmüştür. Fazla miktarda daha büyük odun partiküllerinin kullanılması üretilen kompozitlerin rutubeti daha fazla absorbe etmesine ve malzemenin şişmesine sebep olmaktadır. OPK’de meydana gelen ağırlık kayıplarının kullanılan odun partiküllerinin boyutunun artması ile arttığını belirlemişlerdir. Bu durum muhtemelen daha küçük odun partiküllerinin polimer matriks tarafından daha etkili bir şekilde kaplanması ile açıklanabilir.

Başka bir çalışmada Fabiyi ve ark. (2011) farklı odun türleri arasında kavak içeren OPK örneklerinin boyutsal kararlılığının kötü Gladiçya ağacı içeren örneklerin ise yüksek derecede iyi olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar Gladiçya (*Gleditsia triacanthos*) ve ak meşe (*Quercus alba*) türleri odunlarının diğerlerine oranla daha dayanıklı olduğu sonucuna varmışlardır. Bunun sebebini ise daha az su absorbe etme özelliklerine bağlamışlardır. Kavak ve çam ise kötü nem adsorpsiyonu ve çok düşük mantar direnci göstermiştir. Kahverengi çürüklük mantarına maruz kalan Douglas göknarı, kavak veya Ponderosa çamı içeren kompozit örneklerinde herhangi bir kayda değer ağırlık kaybı farkları olmamıştır. Bununla birlikte beyaz çürüklük mantarı kavak içeren kompozitlerde yüksek miktarda ağırlık kaybına sebep olurken Douglas göknarı içeren kompozitler bu mantara daha az duyarlı olmuşlardır. FTIR sonuçlarına göre çürümüş ve çürümemiş kompozitlerin korboksilik asit ve ester içeriklerinde farklılıkların olduğunu göstermiştir. Bu durum *T. versicolor* mantarının odunda seçici biçimde lignini tüketirken *G. trabeum* mantarının eş zamanlı olarak hem polisakkaritleri hem de lignini tükettiğini işaret etmiştir. Yine sonuçlara göre çürüyen OPK örneklerinde polisakkarit içeriğinin mantarların hücre duvarında bulunan kitin ile arttırıldığı yorumu yapılmıştır.

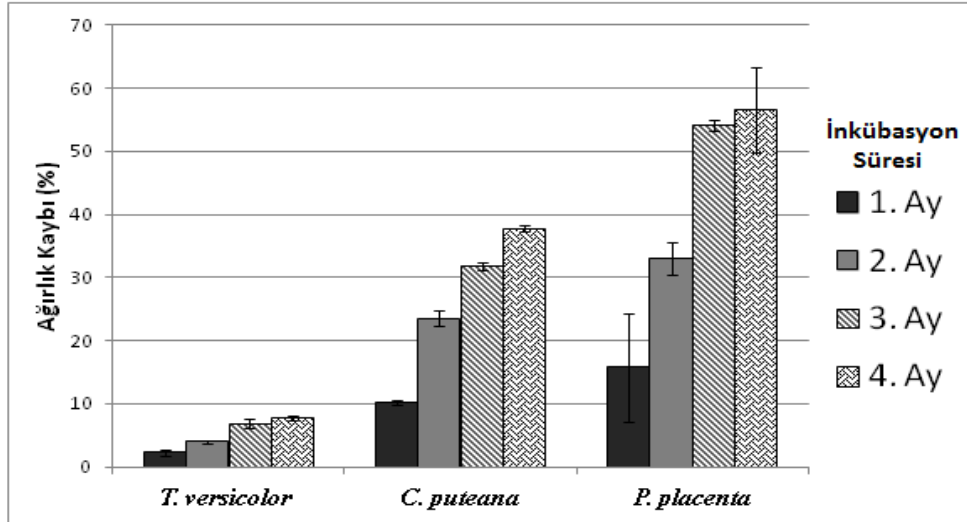
Müller ve ark. (2013) modifiye ettikleri odun lifleri ile OPK üretmişler ve çürüklük testine tabi tutmuşlardır. Testlerde kullanılan OPK örnekleri mantar çürüklüğüne yüksek derecede direnç göstermiştir. OPK örneklerinin ağırlık kayıpları 8 farklı grup içinde en fazla %1.2 olarak ölçülmüştür. Bu miktar hiç bir modifikasyon yapılamamış kontrol örneğinden bile daha fazla olarak aminosilan muamelesi yapılmış örneklerde görülmüştür.

Bu durum oduna yapılan modifikasyon işlemleri sonucu OPK malzemenin büyük ölçüde azaltılan nem adsorplama özelliğine bağlanmıştır.

Wei ve ark. (2013)'ında çalışmalarında ise benzoat ile muamele gören liflerin bulunduğu örnekler hızlandırılmış yaşlanma sonrası en az yüzey çatlama ve renk değişimini sergilemişlerdir. Lifler modifikasyon sonrası daha hidrofobik bir karakterde olduğundan plastik ve odun arası uyum artmış ve OPK örneklerinin dayanıklılık, çekme ve eğilme mukavemetlerinde iyileşme sağlanmıştır. Esterifikasyon işlemi yapılan liflerin bulunduğu OPK örnekleri beyaz ve esmer çürüklük mantarlarına maruz kalındığında modifiye edilemeyen liflerin bulunduğu örnekler ile karşılaştırıldığında belirgin bir biçimde çürüme ortadan kalkmıştır. On iki hafta boyunca toprak blok testinde *T. versicolor* ve *G. trabeum* çürüklük mantarlarına maruz bırakılan kontrol OPK örneklerinde sırasıyla %7 ve %14'lük bir ağırlık kaybı görülmüştür. Bununla birlikte üç farklı yöntemle de modifiye edilen odun liflerinin olduğu OPK örneklerinde hiçbir ağırlık kaybı gözlemlenmemiştir. Yalnızca propionat ile modifiye edilen örneklerde kahverengi çürüklük mantarı %0.13'lük bir ağırlık kaybına sebep olmuştur. Esterifikasyon işlemi liflerin rutubet adsorpsiyon miktarını düşürerek OPK örneklerinin mantar saldırısına direncini artırmıştır. Bu nedenle ağırlık kayıpları su ve mantar saldırısına direnç arasındaki güçlü korelasyonu vurguladığından dolayı toprak blok testleri ve su adsorpsiyonu genellikle benzer trendler göstermiştir.

5.1.3. Ağırlık kayıpları

T. versicolor, *C. puteana* ve *P. placenta* mantarlarına 16 hafta boyunca maruz bırakılan sarıçam diri odunu kontrol örneklerinin ağırlık kaybı değerleri Şekil 5.7'de verilmiştir. Sonuçlara göre çalışmada kontrol grubu olarak kullanılan sarı çamın diri odunundan hazırlanan test örneklerindeki ağırlık kaybı mantar türüne bağlı olarak 16 haftalık test sonrasında genellikle %37 ile %57 arasında değişmiştir. Bununla birlikte *T.versicolor* mantarı çok iyi gelişme sağlayamadığından dolayı ağırlık kaybı değerleri bu aralıktan düşük kalmıştır. Sonuçlara göre odun örneklerini çürütmede en etkili mantar türü *P. Placenta* olmuştur. Onu sırasıyla *C. puteana* ve *T. Versicolor* mantarları takip etmiştir. *P. Placenta* mantarı odunu yüksek derecede çürütürerek 16 hafta sonunda %56,58 ile en yüksek ağırlık kaybına sebep olurken, *C. puteana* %37.82'lik ve *T. versicolor* ise %7'lik ağırlık kaybı ile bu mantardan oldukça düşük seviyede bir çürütme meydana getirmişlerdir.



Şekil 5.7. Sarı çam odunu örneklerinde meydana gelen ağırlık kayıpları

Bu durum çürüklük mantarların biyolojik gelişme özellikleri ile bağdaştırılabilir. Çünkü *C. puteana* ve *P. placenta* gibi esmer çürüklük mantarları genellikle iğne yapraklı ağaçların odunlarını tercih ederek yüksek derecede çürüklüğe neden olmaktadır. Bunun aksine *T. versicolor* gibi beyaz çürüklük mantarları yapraklı ağaçları tercih ederek hem lignin ve hem de selülozu tüketmektedir (Bozkurt ve ark., 1995). Buna birde *T. versicolor* mantarının tez çalışmasında kullanılan ortam koşullarına adaptasyonda zorlanması eklendiğinde çürüklük aktivitesi diğerlerine göre oldukça düşük kalmıştır.

Biyolojik çürüklük testleri sonrasında OPK örneklerinde meydana gelen ağırlık kaybı yüzdeleri ise sırasıyla Şekil 5.8.-5.10'da görülmektedir. Şekil 5.8 incelendiğinde *T. versicolor* mantarının OPK örneklerini çürütmede de oduna benzer biçimde düşük seviyede kaldığı görülmektedir. Öte yandan OPK örnekleriyle gerçekleştirilen testlerin geneli incelendiğinde en yüksek ağırlık kaybı %12 düzeyinde olmuştur. Odun unu oranı, çinko borat ve MAPE katkısı gibi etkenlerin OPK malzemenin mantar çürüklüğündeki performansını nasıl etkilediğini yorumlamak için biyolojik bozunurluk testlerinde *C. puteana* ve *P. placenta* mantarları gelişimlerini iyi bir şekilde tamamladığından bu mantarlar sonucunda elde edilen sonuçların değerlendirilmesinin daha doğru olacağı düşünülmüştür.

Bu bağlamda Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 bu üç önemli noktayı irdelemek adına incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

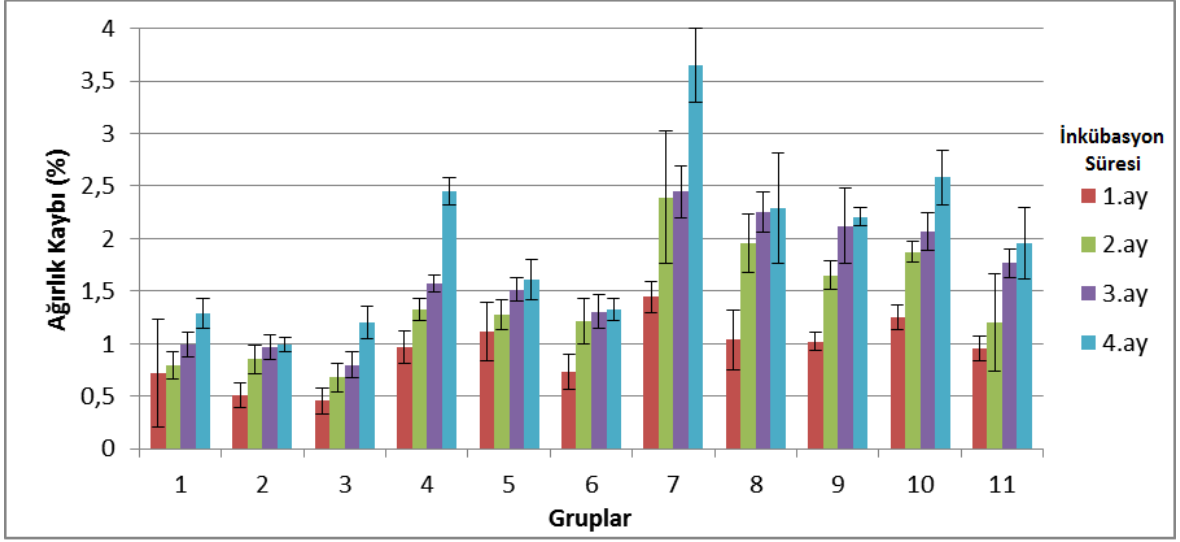
Formülasyonları benzer olan 1., 4., 7. ve 10. grupların ağırlık kaybı değerlerine bakıldığı zaman odun unu miktarının %50'den %60'a, %60'danda %70'e arttırılması ağırlık kaybı değerlerini her iki esmer çürüklük mantarında da belirgin bir şekilde

arttırmıştır. Bu durum OPK malzeme içinde artan lignoselülozik katkı maddesinin polimer matriks tarafından daha az kaplanarak mantar saldırısına daha müsait olması ile açıklanmıştır. OPK malzemede mantar çürüklüğü doğrudan kompozit malzeme içinde bulunan odun dolgu maddesi ile ilgilidir.

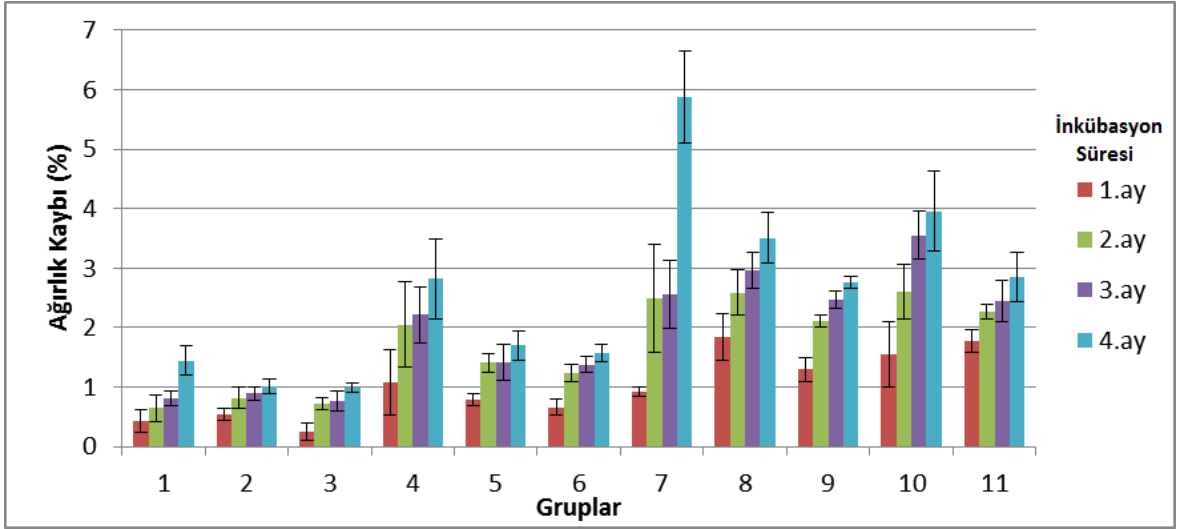
Mantar çürüklüğü çok kompleks bir oluşumdur ve mantar (esmer çürüklük, beyaz çürüklük, yumuşak çürüklük), ağaç türü, odun yapısı, mikro çevre ve etkileşimli rekabete bağlıdır. Odunun ana bileşenleri (selüloz, hemiselüloz, lignin) çürüme süresince, mantarların büyümesi için gerekli olan metabolizma ve enerji ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde depolimerize ve/veya modifiye olur. Diğer yandan 10. grupta %70 odun unu içeren formüle MAPE eklenmesi odunun polimer ile bağını arttırarak 7. gruba göre göreceli olarak daha düşük olmuştur. Bu düşüş *C. puteana* mantarında daha açık bir şekilde görülürken *P. placenta* mantarına maruz kalan örneklerde ağırlık kaybı değerleri 7. guruba yakın olmuştur.

Karimi ve ark. (2007)'larının MAPE etkisini araştırdıkları çalışmanın sonuçları bağlayıcı kullanımı test edilen kompozit örneklerinin doğal dayanıklılığına önemli ölçüde etki ettiğini göstermiştir. Mekanik özellikler bağlayıcı ajan kullanılmayan örneklerde kullanılanlara göre mantar çürüklüğünden büyük oranlarda etkilenmiştir. Bağlayıcı olmayan kompozitlerin ağırlık kaybı da bağlayıcı bulunan örneklerden daha fazla olmuştur. En yüksek ağırlık kaybı yaklaşık %2.5 ile bağlayıcı içermeyen %50 odun unlu örneklerde görülmüştür. Formüllerde odun unu oranı arttıkça lignin içeriği de artmış bu nedenle ligninle beslenen *C. versicolor* mantarının %50 odun unu içeren örneklerde yaptığı tahribat daha fazla olmuştur. Diğer yandan formüllere bağlayıcının eklenmesi polimer matriksinin odun partiküllerini daha iyi sarmasını sağlamış, böylece mantarın besin kaynaklarına ulaşması zorlaşmış ve kompozitlerin çürüklüğe karşı dayanıklılığı arttırılmıştır. Mantar inkübasyonu sonrası kompozitlerin nem adsorplama oranları özellikle odun lifi içeriğine bağlı olarak artış göstermiştir. En fazla nem artışı bağlayıcı ajan MAPE olmayan %50 odun unlu örneklerde görülmüştür. Mantar lignin içeriğini tüketerek selülozun daha fazla açığa çıkmasını ve kompozitlerdeki boşluk sayısının artmasını sağlamış dolayısı ile kompozitlerin nem adsorpsiyonu miktarı da artmıştır.

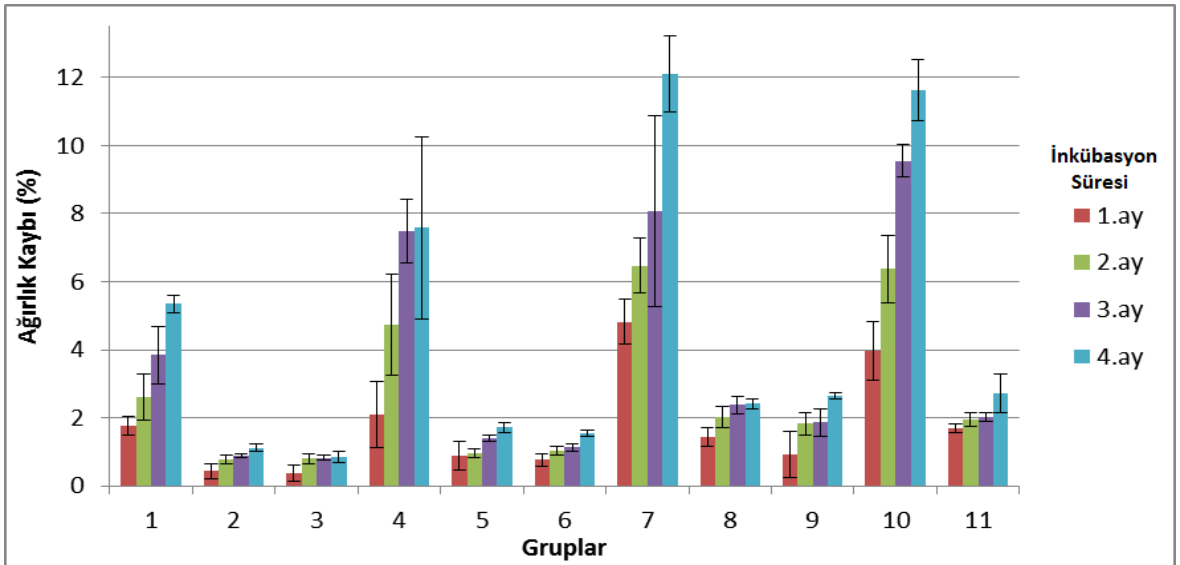
Pendleton ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada yüksek odun oranına sahip formüller ve çinkoborat içermeyen örneklerin orta ölçüde bir ağırlık kaybı gösterdiğini belirlemişlerdir. OPK formüllerindeki talk yüzdesinin artışı ağırlık kaybında önemli ölçüde arttırmıştır.



Şekil 5.8. *T. versicolor* mantarına maruz kalan OPK örneklerinin ağırlık kayıpları



Şekil 5.9. *C. puteana* mantarına maruz kalan OPK örneklerinin ağırlık kayıpları



Şekil 5.10. *P. placenta* mantarına maruz kalan OPK örneklerinin ağırlık kayıpları

Formülasyonlardaki HDPE oranının artışı mantar çürüklüğü testleri sırasındaki kütle kaybına duyarlılığı azaltmıştır. Çinko boratın en düşük konsantrasyonu olan %2’de kütle kaybı tamamen önlenmiştir. Araştırmacılar çinko borat kullanmanın veya kompozitteki odun oranının azaltılmasının etkili bir şekilde mantar çürüklüğünü engelleyeceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca araştırmada çinko boratın kompozit örneklerden yıkanması da (leaching) 9 ay boyunca test edilmiş ve belirlenen çok düşük bir yıkanma oranının çinko boratın difüzyonu ile değil çözünmesi ile alakalı olduğu tespit edilmiştir. Testlere göre çinko boratın çözünerek kompozitten tamamen yıkanması için en azından 20 yılın geçmesi gerektiği tespit edilmiştir.

Kartal ve ark. (2013)’larının yaptığı çalışmada yüksek odun unu içeriği ve küçük partikül boyutuna sahip kompozit örnekleri *T. palustris*, *S. Commune* ve *P. Coccineus* mantarlarına maruz bırakıldığında daha yüksek kütle kaybına uğramışlardır. Biyolojik bozunurluk testlerinde bambu unu ile üretilen kompozitlerdeki kütle kaybı odun unu ile üretilen örneklerle göre daha fazla olmuştur. Ayrıca partikül büyüklüğünün su adsorpsiyonu ve boyutsal stabilitesi üzerine herhangi bir önemli etkisi olmamıştır. Çinko borat katkılı örnekler diğerlerine göre daha az kütle kaybına uğramıştır. Partikül büyüklüğü 30 meshten 100 meshe çıkarıldığında çinko boratlı örneklerdeki kütle kaybı artmıştır. En yüksek kütle kayıpları *T. palustris* ile muamele edilen örneklerde odun için %70 odun unu oranı ve 100 mesh partikül büyüklüğündeki kompozitlerde %6.71 olurken bambu için %9.65 ile %70 un oranında *P. coccineus* mantarında görülmüştür.

Schirp ve Walcott (2006)’un çalışmalarında ağırlık kaybı ve görsel gözlemin mantar çürüklüğünün belirteci olarak kullanılan Dinamik Mekanik Analizi (DMA) kullanılarak mantar kolonileşmesi ve rutubet nedeniyle depolama ve kayıp modülündeki potansiyel değişimler belirlenmiştir. Sarı kavağın *T. versicolor* ile inkübasyonu sonrasında depolama ve kayıp modülünde büyük miktarda kayıplar gözlemlenmiştir. Bununla birlikte iki OPK formülünde depolama modülü *T. versicolor* ile 24 gün inkübasyon sonrası artmıştır. Aynı etki *G. trabeum* içinde sadece %70 odun unu ve %24 HDPE den oluşan formülde görülmüştür. Bu artışlar odun dolgu maddesi ve polimer matris arasındaki ara yüzey boşluklarında bulunan mantar misellerinin malzemenin iç bütünlüğünü ve sertliğini artırmasına bağlanmıştır. Dinamik sıcaklık taramaları kayıp modülünde 30°C ve 63°C arasında frekans ve mantar muamelesine bağlı olan bir pik açığa çıkarmıştır. Kayıp modülünün pik sıcaklığı HDPE’deki α -geçişini işaret etmektedir. Depolama modülündeki artışlar, 77 gün boyunca *T. versicolor* ile inkübe edilen OPK örneklerinin kontrol grupları

ile karşılaştırıldığında α -geçişi için daha fazla aktivasyon enerjisine ihtiyacı olması ile de desteklenmiştir. Bu gözlemler OPK'lerin *T. versicolor* ile inkübe edilmesinin ara yüzey adezyonunu geliştirdiğini ve deney koşullarında kompoziti güçlendirdiğini göstermiştir. 77 gün sonunda *T. versicolor* ilk formülde %19 ikinci formülde %21; *G. trabeum* ise sırasıyla %0.5 ve %8'lik bir ağırlık kaybına neden olmuştur.

Bu tez çalışmasının hedefi olan çinko boratın etkisinin incelenmesi için kullanılan diğer formülasyonlar incelendiğinde ise şu sonuçlara varılmıştır. İçeriğinde katkı maddesi olarak sadece %1 çinko borat bulunan 2, 5, 8 ve %2 çinko borat bulunan 11. grupların ağırlık kaybı değerleri incelendiğinde aynı odun unu içeriğine sahip OPK örneklerinin ağırlık kaybı değerlerine göre çok önemli miktarlarda düşüş göstermişlerdir. Bu düşüş *P. placenta* mantarında çinko boratsız kompozit örneklerinin ağırlık kaybı değerlerine göre yarıdan fazla olurken *C. puteana* mantarında genelde üçte biri dolaylarında olmuştur. Son olarak çinkoboratl formülasyonlara MAPE'nin eklendiği 3., 6., ve 9., gruplarda da ağırlık kaybı değerleri her iki mantar türünde de genellikle biraz daha düşüş göstermiştir.

Dylingowski (2003), DCOIT (4,5-Dichloro-2-octyl-4-isothiazolin-3-one) kimyasalının çinko borata göre mantar gelişimini önlemede daha iyi bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu bileşik yüksek ısı kararlılığı, çok düşük suda çözünürlüğe ve mantar, aktinomiset ve gram pozitif bakterilere karşı çok geniş bir yelpazede aktiviteye sahiptir.

Ashori ve ark. (2013), farklı biyosit kimyasallar ile muamele edilmiş örneklerin çürümeye karşı daha dayanıklı olduğunu ve mukavemet kayıplarının muamele edilmemiş kontrol örneklerine göre önemli ölçüde daha az olduğunu göstermiştir. Su alma ve kalınlık artışı açısından fiziksel özellikler mantar önleyici ajanların eklenmesi ile iyileştirilmiştir fakat muamele edilmiş örnekler arasında önemsenecek bir değişim gözlemlenmemiştir. Genel olarak MOR, MOE ve şok değerlerindeki kayıplar mantar önleyici ajanın miktarı %0,3 ten %0,9 artırıldığında azalmıştır. 12 hafta sonunda muamele edilmemiş referans örneklerinin ağırlık kayıpları %7,5 e yakın olmuştur. Muamele edilmiş örneklerin ağırlık kaybı ise %1,1 ile %4,5 arasında değişmiştir. Mantara karşı dayanıklılık kullanılan mantar önleyicinin miktarı ile doğru orantılı olmuştur. Mantar önleyici ajanın %0,3 ten %0,9'a artmasıyla ağırlık kaybı önemli ölçüde azalmıştır. IPBC ile muamele edilen OPK'ların %0,9 miktarda A3 formülasyonunda bu çalışmada kullanılan mantar için kayda değer bir koruma sağladığı belirlenmiştir. Muamele edilmiş örneklerin ağırlık kayıpları mekanik ve fiziksel özelliklerin sonuçlarını ayrıca desteklemiştir. Bunun yanında IPBC ile muamele

edilmiş örnekler TBZ ile muamele edilmiş ve kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında daha düşük ağırlık kaybı göstermişlerdir. Buna ek olarak IPBC ile muamele edilmiş örnekler TBZ ile muamele edilenler ile karşılaştırıldığında çok azda olsa daha düşük kütle kaybına uğramıştır. En yüksek kütle kaybı kontrol örneklerinde olmuştur. Bu nedenle IPBC ve TBZ OPK için koruyucu olarak etkili bir şekilde kullanılabilir. Ancak, IPBC, TBZ ile karşılaştırıldığında daha üstün sonuçlar göstermiştir ve OPK koruma için uygun olduğu önerilmiştir.

OPK formüllerine MAPE eklenmesi diğer kompozit örneklerine kıyasla odun taneciklerinin polimer matrisle bağını arttırmış ve mantar saldırılarına karşı biraz daha iyi korunaklı hale gelmiştir. OPK malzemelerin biyolojik bozunurluğunu etkileyen önemli faktörlerden biri odun ve polimerin birbiri ile etkileşimidir. Odun ve polimer malzeme farklı polarite özelliğine sahip olduğundan dolayı rutubet karşısında odun, boşluklarına ve çepere su alır. Bunun sonucunda iki malzeme arasında gerilmeler oluşmaya başlayarak polimer ve odun arasında arasındaki bağ zayıflar ve malzeme içerisinde çatlaklar ve yarıklar oluşturmaya başlar. Formu bozulan malzeme daha kolay rutubet alır ve biyolojik saldırılara karşı savunmasız hale gelir. Bu nedenle farklı özellikteki odun ve polimerin bir arada bir yapı oluşturabilmesi için bağlayıcı kimyasalların kullanılması gerekmektedir (Klyosov, 2007).

Lomeli-Ramirez ve ark. (2009) ise yaptıkları bir çalışmada iki farklı biyolojik bozunuruluk testini karşılaştırmıştır ve toprak blok testlerinde OPK örneklerinin mantar çürüklüğüne maruz kalma oranı agar testine göre oldukça fazla olmuştur. Akçaağaç ve meşe içeren kompozit örnekleri ise çam içeren örneklerle oranla mantar saldırısına daha fazla maruz kalmışlardır. *G. trabeum* ve *P. placenta* mantarları akçaağaç ve meşe içeren OPK'larda daha fazla ağırlık kaybına neden olmuşlardır. *T. versicolor* mantarı agar testinde OPK örneklerinde daha fazla ağırlık kaybına oluşmasına sebep olmuştur. Agar testlerinde altı hafta inkübasyon sonrasında *T. versicolor* mantarı meşe odunu içeren OPK örneklerinde %10'luk bir ağırlık kaybına sebep olmuştur. Aynı mantar on iki hafta sonrasında akçaağaç ve meşe içeren kompozitlerde sırasıyla %16 ve %13'lük bir ağırlık kaybına sebep olmuştur. Genellikle hem toprak blok hem de agar testinde 12 hafta sonunda OPK örneklerinin rutubet içeriği %30'un altında olmuştur. En fazla rutubet oranı %28 ile 12 hafta sonunda *T. versicolor* ile inkübe edilen akçaağaç içeren örneklerde olurken en düşük nem oranı %10 ile 6 hafta sonunda *P. placenta* ile inkübe edilen çam içeren örneklerde görülmüştür.

C. puteana mantarına maruz bırakılan %50 odun unu kullanılan ilk üç örnekte ağırlık kaybının en çok çinko borat kullanılmayan ilk örnek olduğu görülmektedir. Diğer 2. ve 3.grup örneklerinde ise çinko borat ve MAPE'nin etkisiyle bu değerlerde düşüş görülmüştür. %60 odun unu kullanılan 4-5. ve 6. grupta ise yine çinko borat kullanılmayan 4.grupta ağırlık kaybının daha fazla olduğu, çinko borat kullanılan 5. grupta bu değerlerin düştüğü, hem çinko borat hem MAPE etkisiyle 6. grupta ise ağırlık kaybı değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. %70 odun unu kullanılan 7-8-9-10. ve 11. gruplar incelendiğinde ise ağırlık kaybının en fazla olduğu grup çinko borat kullanılmayan 7. grup olduğu görülmektedir. 8-9. ve 11. gruplarda çinko borat kullanıldığı için değerlerde düşüş olmuştur. Ancak çinko boratsız ve MAPE eklenmiş 10. grupta ise tekrar ağırlık kaybı değerlerinde artış olmuştur.

Simonsen ve ark. (2004) kalıplama işlemi öncesi OPK içine çinko borat veya kalsiyum/sodyum boratlar ile karışımlarının eklenmesinin mantar çürüklüğünden kaynaklı kütle kayıplarını önemli ölçüde azalttığını belirlemişlerdir. Yüksek odun içeriğinin (%60) plastik enkapsülasyonunu azalttığından yüksek ağırlık kaybına sebep olacağı belirtilmiştir. Aynı seviyedeki çinko borat ile karşılaştırıldığında sodyum/kalsiyum boratlarda ağırlık kaybı daha fazla olmuştur. Kütle kaybı ortalamaları odun içeriği temel alınarak hesaplandığında %2 altında çıkmıştır, bununla birlikte herhangi bir biyolojik önleyici katkı maddesi olmayan bir OPK'in maksimum ağırlık kaybı sadece %6 (60/40 : odun/PP) veya 1.56 (60/40 : odun/HDPE) olmuştur.

Esmer çürüklük mantarı *P. placenta* odun plastik kompozit örneklerinde en fazla ağırlık kaybına sebep olmuştur. En yüksek ağırlık kayıpları (%12.1) *P. placenta* mantarının kullanıldığı çinko boratsız %70 odun içeren örneklerde, en az ağırlık kayıpları (%0.99) ise *T. versicolor* mantarının kullanıldığı çinko boratlı %50 odun içeren örneklerde görülmüştür. Plastiğin mantar degradasyonuna dayanıklı olması sebebiyle OPK malzeme içindeki odun/plastik oranının malzemenin çürüklük dayanımı üzerinde doğrudan etkisinin bulunmaktadır. OPK malzeme içindeki yüksek orandaki odun içeriği genellikle daha hızlı su absorpsiyonu ile sonuçlanır. Çünkü hidrofilik olan lignoselülozik materyal su alımı için uygundur. Bu karakteristik özellikler rutubet alımına ilaveten mantar gelişimini sınırlandırmak için de önemlidir. (Verhey ve ark., 2002; Clemons, 2002).

Bir çalışmada Clemons ve Ibach (2004) ekstrüzyonla üretilen kompozitlerin en fazla nemi adsorbe ettiğini, onu sırasıyla basınçlı kalıplama ve enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen kompozitler takip ettiğini belirlemişlerdir. Kompozitler 2 haftalık suya

ıslatma veya periyodik kaynama ile kurutma işlemleri ile nem maruz bırakılmıştır. Suya ıslatma ile daha fazla nem adsorpsiyonu sağlanırken diğer yöntemde kompozitlerin yapısında bozulmalar meydana gelmiştir. Kompozit örneklerinin nem içeriği, eğilme özellikleri ve ağırlık kaybı 12 hafta boyunca kahverengi çürüklük mantarı *G. trabeum*'a maruz bırakılarak ölçülmüştür. Kompozitlerin nem içeriği yaklaşık %12-15'e ulaştığı zaman önemli ölçüde bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. En yüksek ağırlık kaybı kaynatma yöntemi ile muamele edilen ve ekstürizyon yöntemi ile üretilen kompozitlerde görülmüştür. Mekanik performanslar ağırlık kaybına oranla mantar çürüklüğünü ölçmede daha az duyarlı olmuştur. Bununla birlikte her bir örnek için eğilme modülünde ve kuvvetindeki azalma ağırlık kayıpları ile iyi bir biçimde korelasyon göstermiştir.

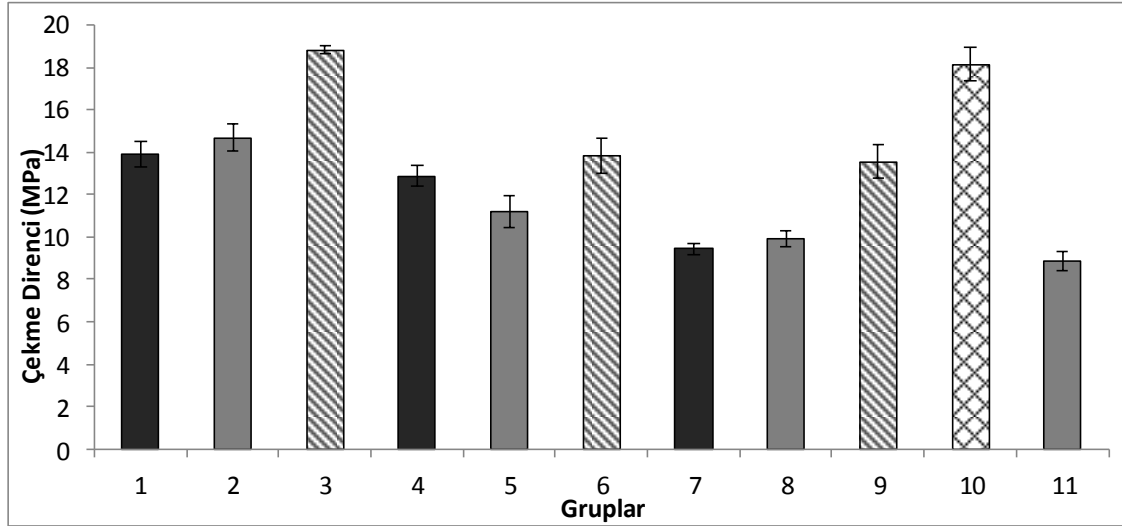
P. placenta mantarı OPK örneklerinin biyolojik performansı ile ilgili çok net fikirler vermesi adına üç mantar türü arasında en verimli olduğu olmuştur. Bu mantar da *C. puteana* mantarı gibi tüm formüllerde yukarıda açıklananlara benzer biçimde eğilimler göstermiştir. Tek farklılık çinkoborat içermeyen MAPE katkılı %70 odun içeriğine sahip kompozit örneklerine görülmüştür. *P. placenta* mantarı ile inkübe edilen örneklerde 16 hafta sonunda 10. gruptaki ağırlık kaybı değerleri (%11,6) *C. puteana* mantarı ile inkübe edilen örneklerin ağırlık kaybı değerine (%3,96) kıyasla daha fazla olmuştur. Bu durum 10. gruptaki örneklerin çinko borat içermemesinden kaynaklı olarak testlerde kullanılan *P. placenta* mantarının *C. puteana* mantarına göre çok daha aktif olması nedeniyle daha fazla çürütmeye neden olması ile açıklanmıştır. Ayrıca, 10. grup örneklerinin formüllerinde odun unu oranının fazla olması dolayısı ile MAPE'nin odun ile bağlantı yapacağı plastiğin az olmasına sebep olmuş böylece odun tanecikleri mantar saldırılarına aynı formülasyonun çinko borat içerenine (9. Grup) kıyasla daha açık hale gelmiştir.

Schirp ve Wolcott (2005)'un yaptığı çalışmanın sonuçlarına göre kompozit örneklerinin elastikiyet modülü mantar çürüklüğüne kıyasla rutubet adsorpsiyonundan daha fazla etkilenmiştir. İçeriğinde %70 odun içeren örneklerin eğilme dirençleri mantar çürüklüğü sonrası hiç etkilenmezken nem adsorpsiyonu ile önemli ölçüde düşmüştür. Kullanılan modifiye agar blok ve toprak blok testleri OPK örneklerindeki ağırlık kaybını belirlemede eşit şekilde uygunluk göstermiştir fakat agar blok testleri daha kısa bir sürede tamamlanmıştır. İçeriğinde %70 odun unu içeren ve modifiye agar blok testinde *T. versicolor* ile inkübe edilen örneklerin ağırlık kaybı referans için kullanılan kızılâğaç örneklerine göre iki kat daha fazla (%6'ya karşı %3) olmuştur. Bununla birlikte %49 odun içeren örneklerde ise sadece %1'lik bir ağırlık kaybı görülmüştür. Bu sonuçlar,

formülasyonların malzeme kompozisyonunu kontrol ederek OPK'lerin mantar çürüklüğüne karşı dayanımını arttıracak şekilde dizayn edilebileceğini göstermiştir. Ağırlık kaybı OPK ve kızıl ağaç örnekleri için eğilme direnci ve elastikiyet modülüne oranla mantar çürüklüğünde daha duyarlı bir belirteç olmuştur.

5.2. Mekanik Test Sonuçları

Şekil 5.11.'de OPK örneklerine ait çekme direnci değerleri verilmiştir. Çekme direnci değerleri tüm gruplarda incelendiğinde, genel olarak odun unu oranı arttıkça çekme direnci değerlerinde düşüş görülmüştür. Sadece plastik matrisi ve odun unu kullanılmış olan 1.,4. ve 7. gruplar incelendiğinde odun unu oranı arttıkça çekme direnci değerlerinde düşüş olmuştur. Çinko borat eklenmiş olan 2., 5., 8. ve 11. gruplarda yine hem odun unu oranı artışı hem de çinko borat olması nedeniyle değerlerde düşüş meydana gelmiştir.

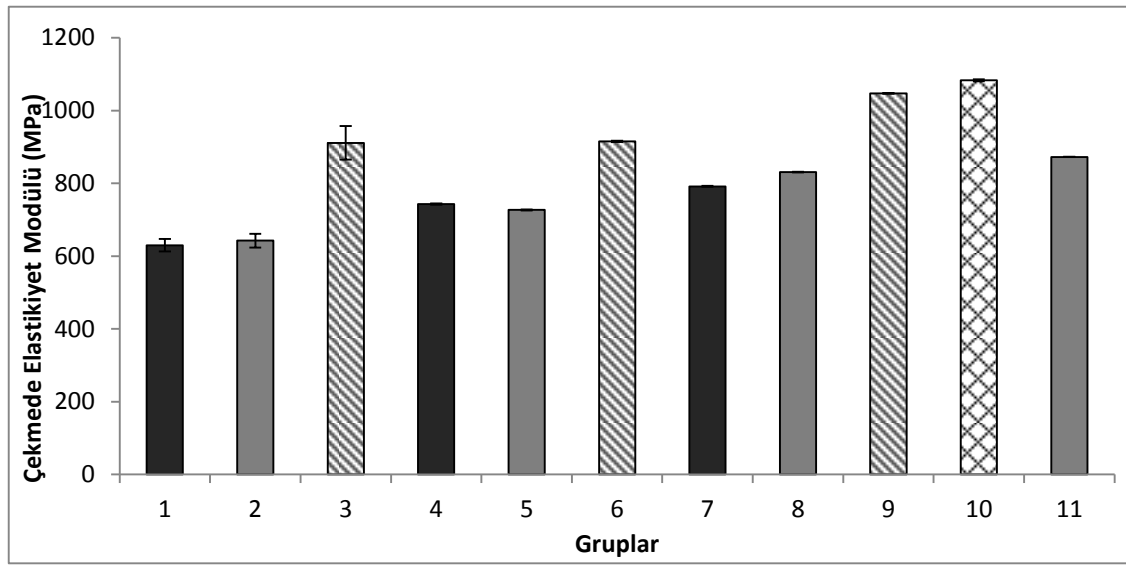


Şekil 5.11. OPK örneklerinin çekme direnci değerleri

Hem MAPE hem de çinko borat eklenmiş olan 3., 6. ve 9. Gruplar incelendiğinde ise hem odun unu oranı artışı hem de çinko borat olması nedeniyle değerlerde düşüş olmuştur. Ancak MAPE kullanılmayan örneklerle karşılaştırıldığında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Sadece MAPE eklenmiş olan 10. grupta ise odun unu oranı %70 olmasına rağmen MAPE etkisiyle %50 odun unu kullanılmış olan 3.grup örneğe yakın değerler olduğu görülmüştür. En düşük değer %70 odunun unu ve %2 çinko borat kullanılmış 11. grup, en yüksek %50 odun unu, MAPE ve çinko borat eklenmiş 3. grup olduğu görülmüştür. Lignoselülozik maddelerin kullanımı arttıkça plastik oranı azalır. Bu durum ise eğilme direncinde olduğu gibi çekme direncinde de düşüşe neden olabilir (Chaharmahali ve ark., 2010). Literatürde çekme direncindeki düşüşün ana nedeninin

kullanılan termoplastik matrisi ile lignoselülozik dolgu maddesi arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanan adhezyon problemleri olduğu belirtilmiştir (Drouglas, 2001; Mishra ve Naik, 2005; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Cui ve ark., 2010; Kord, 2011b). Bunun yanı sıra lignoselülozik materyallerin çekme dirençleri (çoğunlukla 4 ile 12 N/mm² aralığında), saf YYPE çekme direncinden daha düşük olduğu için termoplastik polimer matrisi içerisindeki plastik oranının azalmasına bağlı olarak düşmektedir (Rowell ve ark., 1997).

Şekil 5.12’de ise OPK örneklerine ait çekmede elastikiyet modülü değerleri verilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde, çekme direncinin tersine plastik matrisi içerisinde odun unu oranı arttıkça yükselme gözlenmiştir.



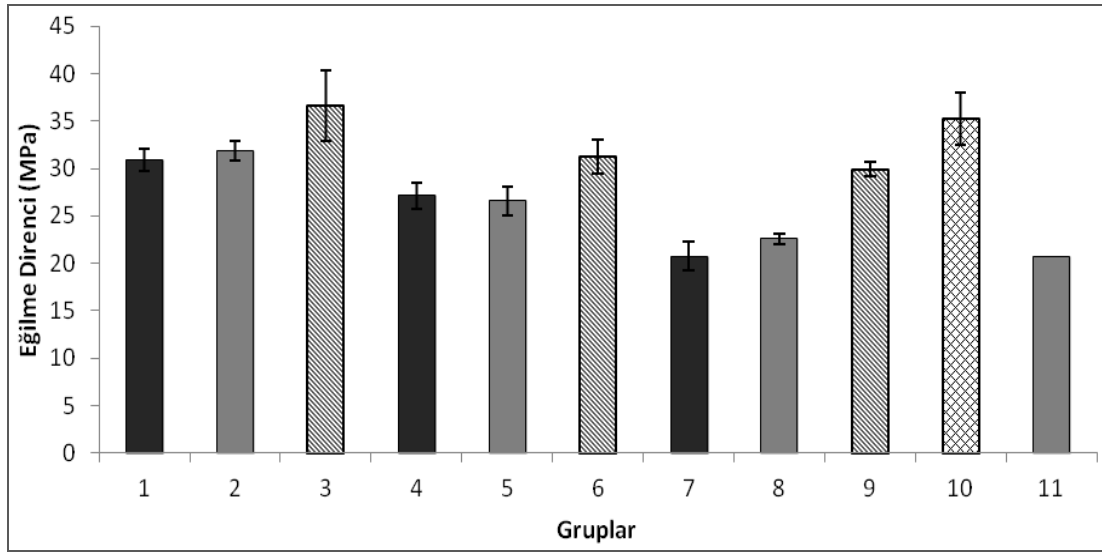
Şekil 5.12. OPK örneklerinin çekmede elastikiyet modülü

Sadece plastik matrisi ve odun unu kullanılmış olan 1.,4. ve 7. gruplar incelendiğinde odun unu oranı arttıkça çekmede elastikiyet modülü değerlerinde artış olmuştur. Çinko borat eklenmiş olan 2., 5., 8. ve 11. gruplarda yine hem odun unu oranı artışı hem de çinko borat olması nedeniyle değerlerde artış meydana gelmiştir. Hem MAPE hem de çinko borat eklenmiş olan 3., 6. ve 9. gruplar incelendiğinde ise hem odun unu oranı artışı hem de çinko borat olması nedeniyle değerlerde artış olmuştur. Ancak MAPE kullanılmayan örneklerle karşılaştırıldığında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Elastikiyet modülünün en düşük %50 odun unu kullanılmış olan 1.grup, en yüksek %70 odun unu ve MAPE eklenmiş 10. grup olduğu görülmüştür.

Odun plastik kompozitlerle ilgili yapılan bir çalışmada YYPE içerisine farklı oranlarda bağlayıcı ve odun unu ekleyerek kompozit malzeme üretmişlerdir. Elde edilen kompozit malzemenin eğilme, çekme ve şok direnç özellikleri belirlenerek incelemişlerdir.

Bağlayıcı maddenin matris malzeme ve lifler arasında tutunmayı artırdığı saptanmıştır. Böylece odun plastik kompozit malzemenin mekanik özelliklerinin iyileştiği anlaşılmıştır. Bağlayıcının etkili olması ile daha düşük oranda plastik kullanımı sağlanacağı bunun da maliyeti düşürücü bir etki yapacağı yorumu yapılmıştır (Jeefferie ve ark., 2011).

Şekil 5.13’de OPK örneklerine ait eğilme direnci değerleri verilmiştir. Eğilme direnci değerleri incelendiğinde, odun unu oranı arttıkça eğilme direnci değerlerinde düşüş görülmüştür. Sadece plastik matrisi ve odun unu kullanılmış olan 1.,4. ve 7. gruplar incelendiğinde odun unu oranı arttıkça eğilme direnci değerlerinde düşüş olmuştur.

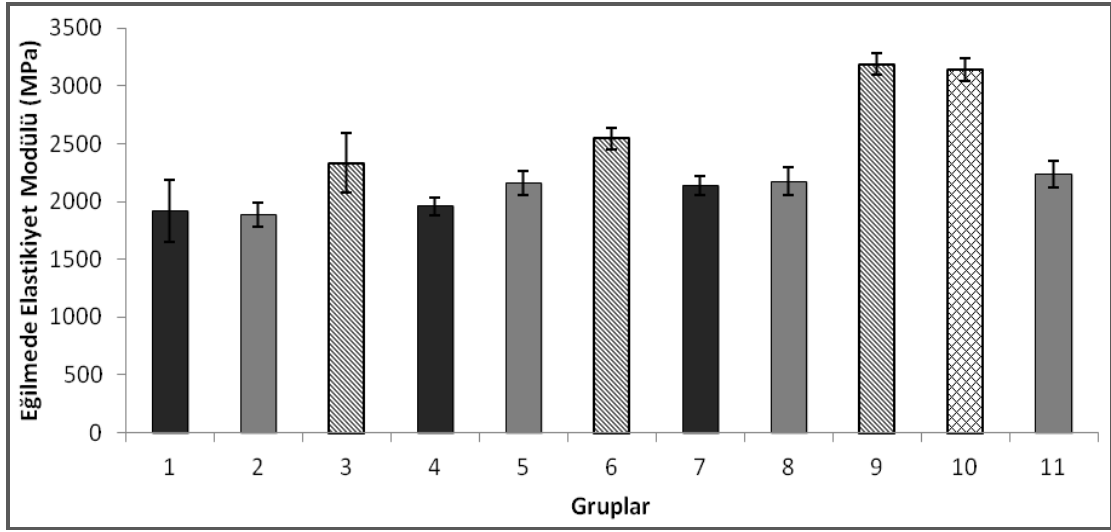


Şekil 5.13. OPK örneklerinin eğilme direnci değerleri

Çinko borat eklenmiş olan 2., 5., 8. ve 11. gruplarda yine hem odun unu oranı artışı hem de çinko borat olması nedeniyle değerlerde düşüş meydana gelmiştir. Hem MAPE hem de çinko borat eklenmiş olan 3., 6. ve 9. gruplar incelendiğinde ise hem odun unu oranı artışı hem de çinko borat olması nedeniyle değerlerde düşüş olmuştur. Ancak MAPE kullanılmayan örneklerle karşılaştırıldığında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Sadece MAPE eklenmiş olan 10. grupta ise odun unu oranı %70 olmasına rağmen MAPE etkisiyle %50 odun unu kullanılmış olan 3.grup örneğe yakın değerler olduğu görülmüştür. Eğilme direncinin en düşük %70 odun unu ve %2 çinko borat eklenmiş olan 11. grup, en yüksek %50 odun unu, MAPE ve çinko borat eklenmiş olan 3. grup olduğu görülmüştür. Lignoselülozik maddelerin kullanımı arttıkça plastik oranı azalır. Bu durumda ise eğilme direncinde düşüşe neden olabilir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Chaharmahali ve ark., 2010). Hidrofil karakterde olan lignoselülozik madde ve hidrofobik plastik arasındaki zayıf bağlanma, lignoselülozik maddenin polimer matrisi içerisinde homojen olarak dağılmasını da engellemektedir ve bölgesel yığılmalara neden olmaktadır (Drouglas, 2001; Mishra ve

Naik, 2005; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Cui ve ark., 2010; Kord, 2011b). Bölgesel yığılmalar ise eğilme özelliklerinin homojen bir yapı göstermesini engellemektedir.

Şekil 5.14’de ise OPK örneklerine ait eğilmede elastikiyet modülü değerleri verilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde, eğilme direncinin tersine plastik matrisi içerisinde odun unu oranı arttıkça yükselme gözlenmiştir. Sadece plastik matrisi ve odun unu kullanılmış olan 1.,4. ve 7. gruplar incelendiğinde odun unu oranı arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış olmuştur.



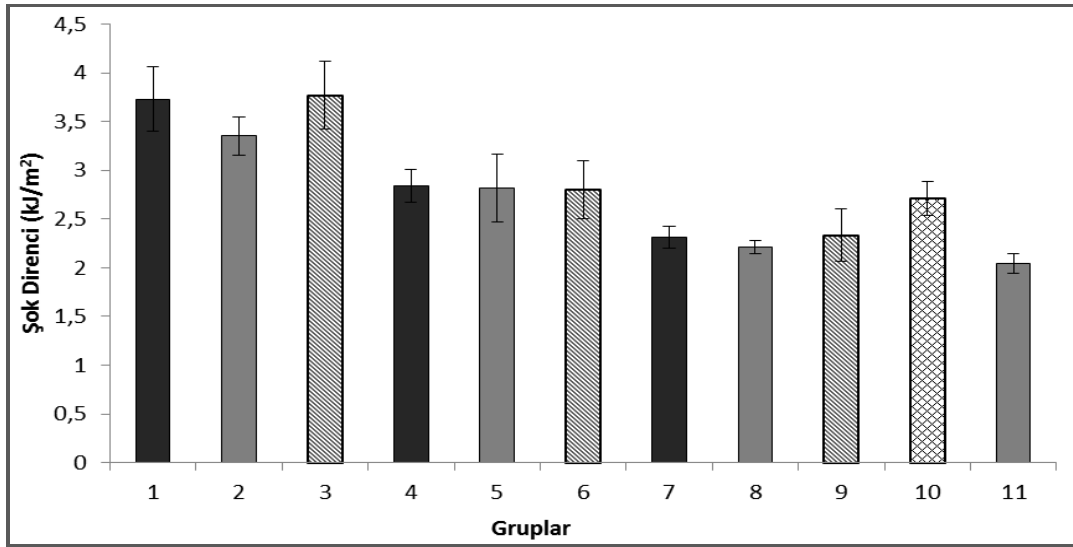
Şekil 5.14. OPK örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü

Çinko borat eklenmiş olan 2., 5., 8. ve 11. gruplarda yine hem odun unu oranı artışı hem de çinko borat olması nedeniyle değerlerde artış meydana gelmiştir. Hem MAPE hem de çinko borat eklenmiş olan 3., 6. ve 9. gruplar incelendiğinde ise hem odun unu oranı artışı hem de çinko borat olması nedeniyle değerlerde artış olmuştur. Ancak MAPE kullanılmayan örneklerle karşılaştırıldığında daha yüksek değerler elde edilmiştir. Elastikiyet modülünün en düşük %50 odun unu kullanılmış olan 1.grup, en yüksek %70 odun unu, MAPE ve çinko borat eklenmiş 9. grup olduğu görülmüştür.

Lignoselülozik dolguların elastikiyet modülü değerleri plastik malzemelerden daha yüksektir. Bu nedenle çekmede elastikiyet modülü odun unu oranı arttıkça artış göstermiştir. Bu durum literatürde karışım kuralı ile izah edilmektedir (Ward ve Hardley 1993; Matuana ve Balatinecz, 1998; Bouafif, 2009; Zabihzadeh, 2010; Chaharmahali ve ark., 2010). Rowel ve ark. (1997). Karışım kuralına göre; farklı özellikte hammaddelerden oluşan kompozit malzeme özellikleri kendini oluşturan hammaddelerin özelliklerinin ağırlıklı ortalamasıdır (Askeland ve ark., 2010). Elastikiyet modülü, test sırasında levhada oluşan deformasyon hızına bağlıdır. Deformasyon hızı artması elastikiyet modülünün

artmasına yol açar. Bu ise polimer zincirindeki gevşeme süresinin azalması ile ilişkilidir (Ward ve Hardley 1993; Zabihzadeh, 2010). Brandt ve Fridley (2003)'e göre lignoselülozik dolgu oranı arttıkça levhanın viskoz akış etkisi (akıcılığı) azalır ve buna bağlantılı olarak elastikiyet modülü artar.

Şok direnci değerleri incelendiğinde ise, genel olarak elastikiyet modülü değerlerinin artışı beraberinde şok direnci değerlerinde düşüş meydana getirmiştir (Mengeloğlu ve Ark., 2007). Şekil 5.15'de OPK örneklerinin şok direnci değerleri verilmiştir.

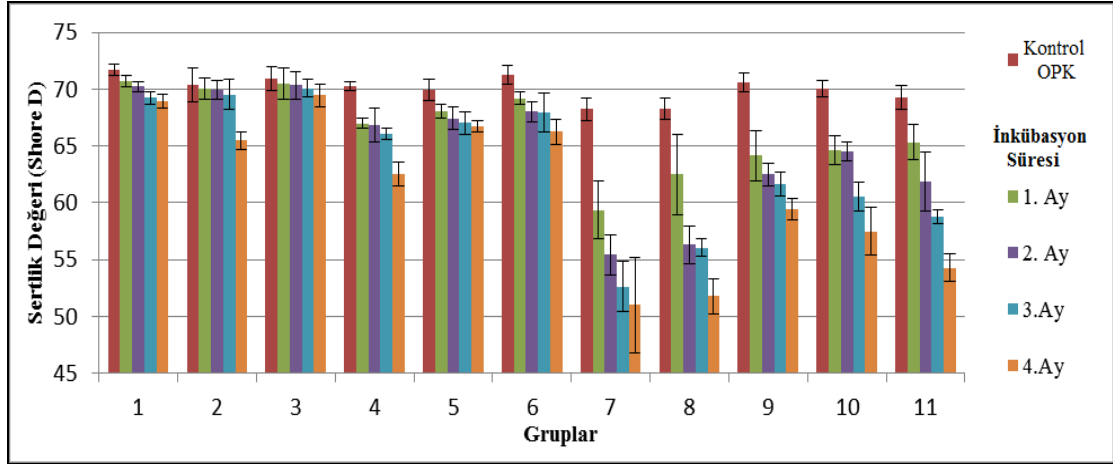


Şekil 5.15. OPK örneklerinin şok direnci değerleri

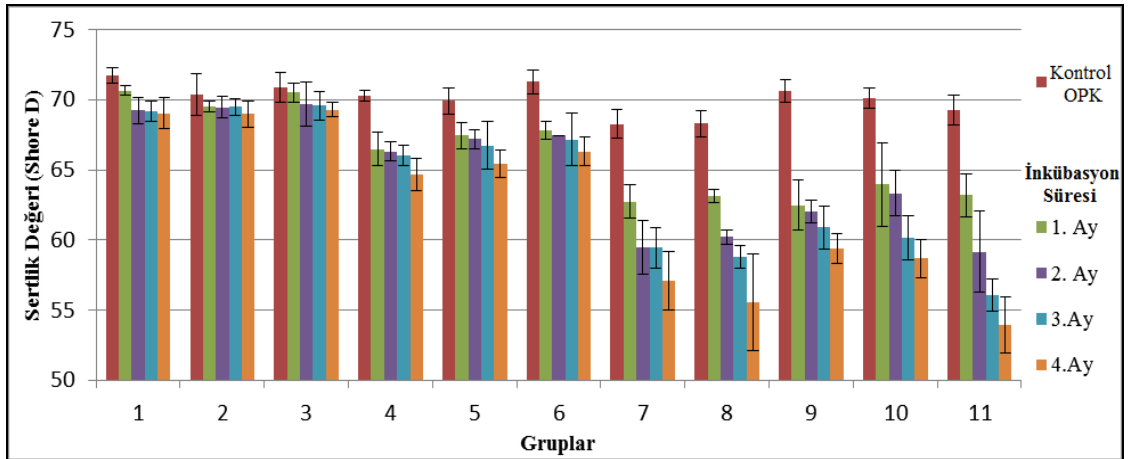
Bu bağlamda Şekil 5.15 incelendiğinde odun unu oranı arttıkça şok direnci değerleri düşmüştür. Sonuçlara göre en düşük %70 odun unu ve %2 çinko borat kullanılmış olan 11. grup, en yüksek %50 odun unu, MAPE ve çinko borat eklenmiş olan 3. grup olduğu görülmüştür. Lignoselülozik maddenin termoplastik matrisi içerisinde dolgu oranı arttıkça levhayı daha sert ve gevrek hale getirir (Clemons, 2002; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Cui ve ark., 2010). Termoplastik oranı azaldıkça süneklik azalmakta ve malzeme darbe direnci azalmaktadır. Morreale ve ark. (2008) odun ununu %15'den %65'e kadar farklı kademelerde ticari bir polimer içerisinde dolgu olarak kullandıkları çalışmalarında, odun unu miktarı arttıkça levhanın sertliği arttığından darbe direncinin azaldığını rapor etmişlerdir.

5.3. Yüzey Sertliği Sonuçları

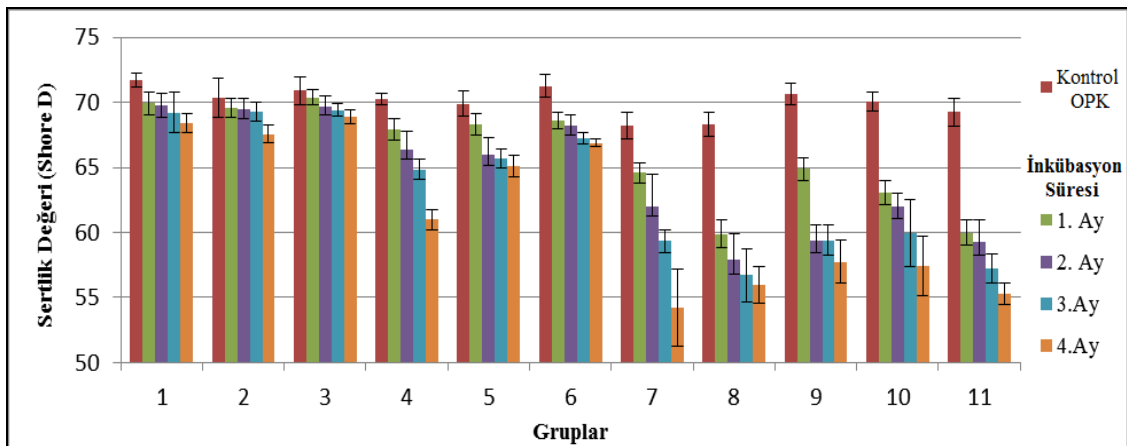
Üç farklı çürüklük mantarına maruz kalmış OPK örneklerinin biyolojik bozunurluk testine maruz kaldıktan sonra yüzey sertliği değerlerindeki meydana gelen değişim ilk halleri ile karşılaştırılmalı olarak Şekil 5.16-5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.16. *T.versicolor* mantarına maruz kalan OPK örneklerinin yüzey sertlik değerleri



Şekil 5.17. *C. puteana* mantarına maruz kalan OPK örneklerinin yüzey sertlik değerleri



Şekil 5.18. *P. placenta* mantarına maruz kalan OPK örneklerinin yüzey sertlik değerleri

Tüm gruplar incelendiğinde genel olarak odun unu oranı %50 olan OPK örneklerinin yüzey sertliği değerlerinde çok bir değişim olmayıp birbirlerine yakın değerler çıkmıştır. Öte yandan %60 odun unu kullanılmış örnekler incelendiğinde sadece MAPE ve çinko borat eklenmemiş olan 4. Grupta diğerlerine göre daha belirgin olarak bir düşüş görülmüştür. Son olarak %70 odun unu kullanılmış örnekler incelendiğinde ise genellikle mantara maruz kaldıktan sonra tüm örnekler etkilenerek sertlik değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Çünkü odun unu oranının artmasıyla mantarların OPK örneklerini bozunuma uğratması daha kolay olmuştur ve dolayısı ile kompozit örneklerinin bütünlüğü ve rijitliği bozularak yüzey sertliği azalmıştır. Ancak %70 odun unu kullanılan örnekler arasında ağırlık kaybı az olanların yüzey sertliği değerlerinde de buna bağlı olarak daha az kayıp olmuştur. Sertlik değerlerinde en fazla kayıp %70 odun unu kullanılmış, MAPE ve çinko borat eklenmemiş olan 7. Grupta olduğu görülürken en az kayıp ise beklendiği gibi yapısı itibarıyla en dayanıklı olan ve %50 odun unu, %3 MAPE ve %1 çinko borat içeren örneklerde olmuştur.

Çürüme ile sertlikte kayıp olması gerekmektedir. Ligninden dolayı beyaz çürüklükte sertlik kaybı daha fazla olmalıdır (Bozkurt ve ark., 1995). Beyaz çürüklük mantarına maruz kalan odunda ilk olarak, korozyon delikçikleri ve kanalları meydana gelir. Daha sonra lignin ve selüloz degradasyonu ilerlemeye devam eder ve yoğunluk belirgin olarak düşer. Sonrasında odun poroz bir şekil alır, hafifler ve sonuçta sertliğini kaybeder (Bozkurt ve ark., 1995). Esmer çürüklük mantarına maruz kalan odunda, başlangıç safhasında sertlik az düşmektedir. Sebebi ilk aşamada selüloza hemen hemen hiç dokunulmamıştır. Selülozun belirgin derece tahribinden sonra sertlikte süratli bir düşme görülmektedir (Bozkurt ve ark., 1995).

5.4. ATR/FT-IR Spektroskopisi Bulguları

Çürüklük mantarlarının odunda meydana getirdiği tahribatın etkisi, odunda meydana getirdikleri ağırlık kaybı değerleri ile ölçülmektedir. Son zamanlarda odunun kimyasal yapısında meydana gelen değişikliği belirlemek amacıyla FTIR (Faix ve ark., 1991) ve NMR spektroskopisi analizleri ile belirlenmeye çalışılmıştır (Faix ve ark., 1991; Kim ve Newman, 1995; Çetin ve ark., 2010). FTIR spektroskopisi çürüklük mantarına maruz kalmış odunda meydana gelen kimyasal değişimlerin tespit edilmesinde oldukça kullanışlı bir tekniktir. Analiz için örnek hazırlanmasının basit oluşu, ufak miktarda örnek gerektirmesi (miligram), kolay ve hızlı bir yöntem oluşu bu yöntemin avantajları arasındadır. Beyaz çürüklük mantarına maruz kalmış kayın odununun çürümesi esnasındaki değişimler FTIR analizi ile tespit edilmiştir (Faix ve ark., 1991). Sarıçam

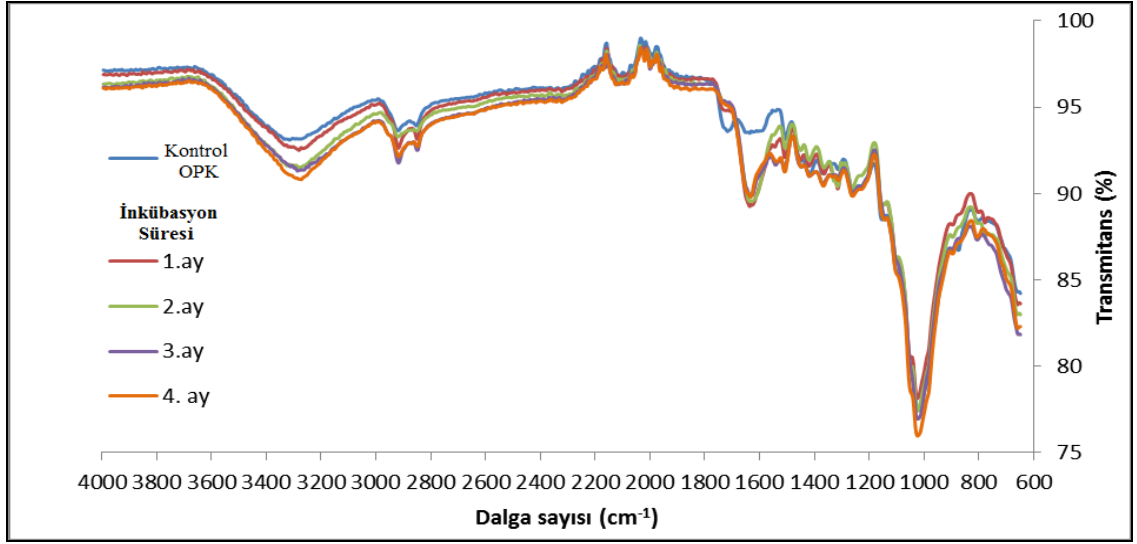
odununda kahverengi çürüklük mantarlarının meydana getirdiği kimyasal değişimde bu teknikle tespit edilmiştir (Korner ve ark., 1992; Çetin ve ark., 2010).

Bu çalışmada kullanılan sarıçam diri odun ve OPK örneklerinin ilk hallerine ve 16 hafta mantara maruz kaldıktan sonraki hallerine ait FTIR analiz spektrumları Şekil 5.19-5.27’de, bu sepektrumlara ait fonksiyonel grup analizi sonuçları ise Çizelge 5.1’de verilmiştir. Mantar çürüklüğünün odun ve OPK örneklerinde meydana getirdiği kimyasal değişimlerin tam olarak kıyaslanabilmesi için şekillerde sadece ayrı ayrı her bir mantar türü için saf odun örneklerinin, odun oranı en yüksek OPK örneklerinden olan 7. grubun ve bu grupla benzer formülasyondaki fakat içeriğinde %1 oranında çinko borat bulunan 8.grubun FTIR spekturumları verilmiştir.

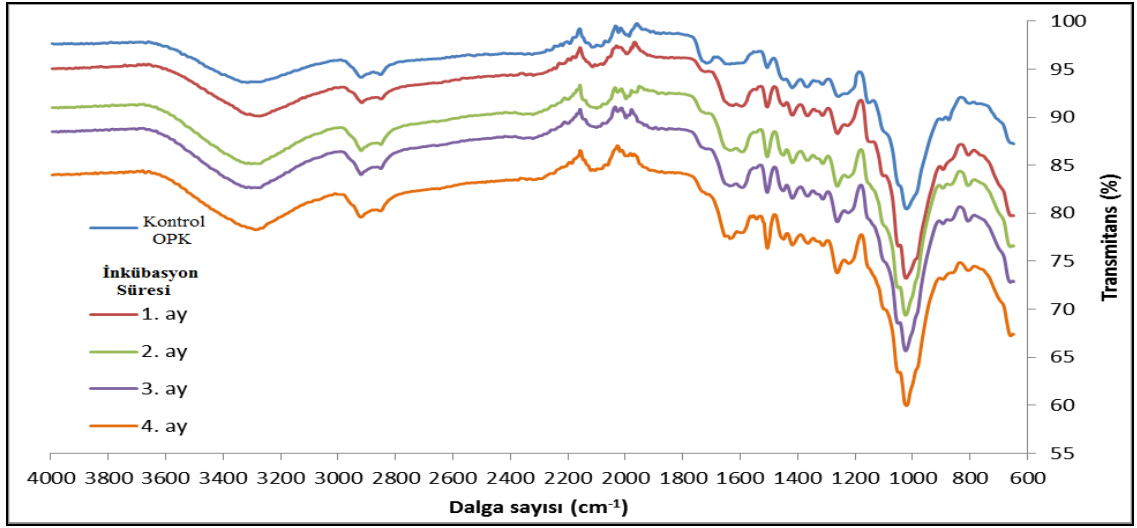
Esmer çürüklük mantarları olan *P. placenta* ve *C. puteana* mantarlarına maruz kalmış sarıçam ve OPK örneklerinin FTIR spekturumları incelendiğinde genel anlamda benzer bir çürüklük etkisi gösterdikleri belirlenmiştir. Çünkü esmer çürüklük mantarları ligninolitik enzimler üretmemesine rağmen ligninin propil yan zincirlerinin oksidasyonu ve oksidatif demetilasyon ile sonuçlanan enzimatik olmayan mekanizmaya sahiptir. Goodell (2003) göre lignin tipi ve miktarı esmer çürüklük mantarlarının çürütmesi üzerine çok az etkiye sahiptir. Beyaz çürüklük mantarları enzimatik olmayan ve enzimatik ligninolitik mekanizma nedeniyle lignin bozunması yapabilir (Korkut ve Kocaefe, 2009).

Esmer çürüklük mantarı selüloz ve glukomannan iskeletini bölen C4 ve özellikle C1’de karbonhidratlara saldırmayı tercih eder. Bu mantar türleri ilk olarak mikrobiyal saldırılara karşı odunu koruyan ligninden önce selülozu parçalar. Mantarlar selüloz kristalimsi yapıyı açmak için kristalimsi yapının ana H-bağı bağlama yerlerinde hidroksimetil (CH₂OH) gruplarının dış halkasını bölmeyi muhtemelen denerler. Amorf yapı selülozun su itici özelliğini azaltır ve enzimatik selüloz bozunmasını kolaylaştır. Lignin bozunması demetoksilasyonu sınırlar ve aromatik halka açılımı az veya hiç, hatta beyaz çürüklük mantarı saldırısına uğradıktan sonra bile gözlemlenmez (Boonstra, 2008; Korkut ve Kocaefe, 2009).

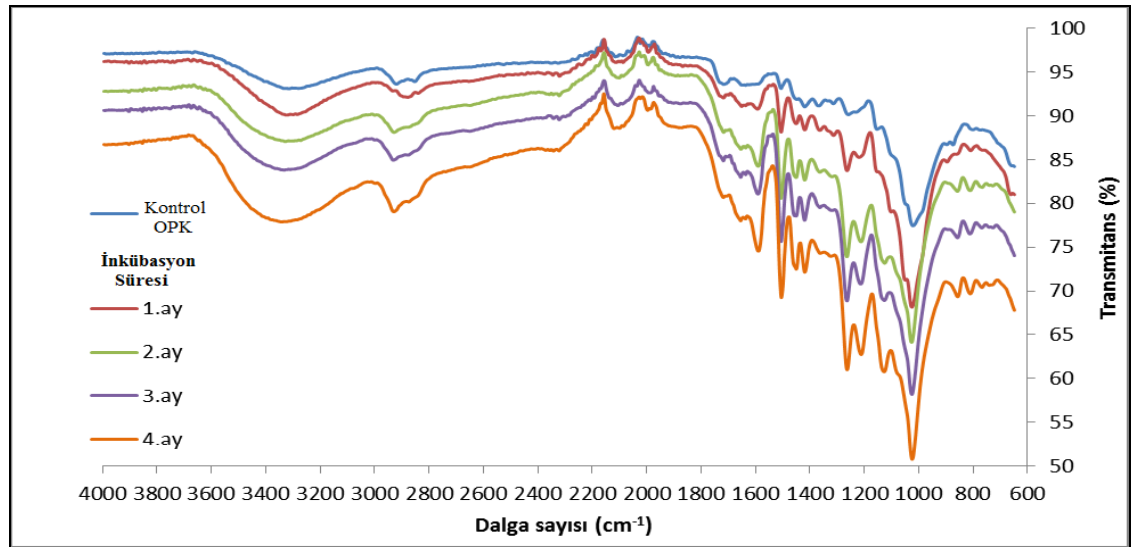
T. versicolor mantarına maruz kalmış odun örneklerinin FTIR spektrumları (Şekil 5.19) incelendiğinde ise bu mantarın beklendiği gibi odunu çürütmede çok yetersiz kaldığı belirlenmiştir. *T. versicolor* geliştiği şartlarda odunda en fazla çürüklüğe sebep olan mantarlardan biri olarak bilinmektedir.



Şekil 5.19. *T. versicolor* mantarına maruz kalan diri odun örneklerinin FTIR spektrumları



Şekil 5.20. *C. puteana* mantarına maruz kalan diri odun örneklerinin FTIR spektrumları



Şekil 5.21. *P. placenta* mantarına maruz kalan diri odun örneklerinin FTIR spektrumları

Çizelge 5.1. OPK örneklerinin FTIR spektrumlarında bulunan piklerin karakterizasyonu (Fabiya ve ark., 2011; Kartal ve ark., 2013; Wei ve ark., 2013)

Dalga Sayısı (cm ⁻¹)	Fonksiyonel Grup	Kimyasal Yapı
2910	CH ₂ asimetrik gerilmesi	Polietilen
2843	CH ₂ simetrik gerilmesi	Polietilen
1460	CH ₂ bükülme deformasyonu	Polietilen
717	CH ₂ salınım deformasyonu	Polietilen
3278-3339	OH gerilmesi	Odun
2917	CH asimetrik gerilmesi	Odun
2850	CH simetrik gerilmesi	Odun
1743	C=O gerilme titreşimi	Hemiselüloz (ksilan)
1640-1650	OH (absorbe edilmiş su)	Odun
1595	C=C Aromatik iskelet titreşimi	Lignin
1506	C=C Aromatik iskelet gerilme titreşimi	Lignin
1453	C-H deformasyonu	Lignin
1420	C-H deformasyonu (aromatik halka)	Lignin
1365	C-H deformasyonu	Selüloz ve Hemiselüloz
1313	C-O titreşimi	Lignin (syringyl)
1260	C-O gerilmesi	Lignin (guaiacyl)
1211	C-C, C-O ve C=O gerilmesi	Lignin (guaiacyl)
1154	C-O-C titreşimleri	Selüloz ve Hemiselüloz
1021	C-O gerilmesi	Lignin (birincil alkoller)
895	C-H deformasyonu	Selüloz

Bu mantar hemiselüloz ve lignine polisakkaritlere (selüloz) kıyasla seçici biçimde saldırarak önemli bir çürümeye sebep olmaktadır (Wei ve ark., 2013). Şekil 5.19 incelendiğinde bu beyaz çürüklük mantarına maruz kalan diri odunda çok fazla bir değişim olmamış sadece 1743 cm⁻¹ dalga sayısında bulunan hemiselüloz (ksilan) ait C=O bağların yok olmasına neden olmuştur.

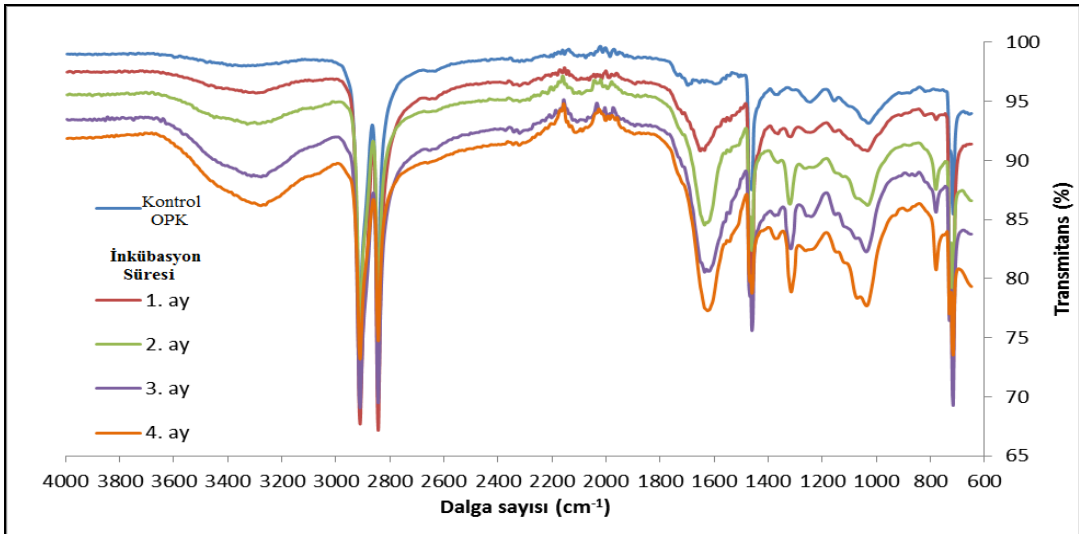
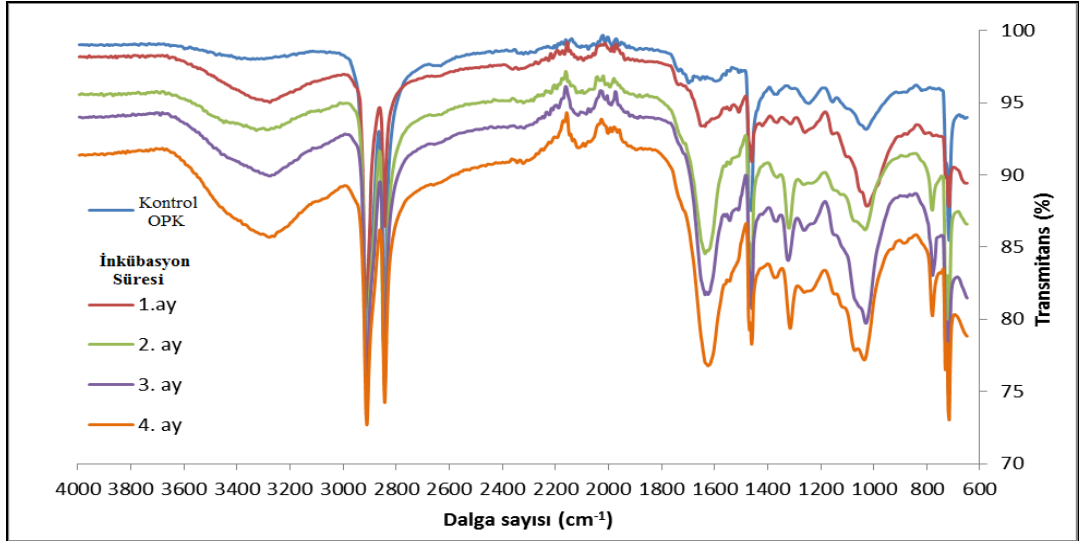
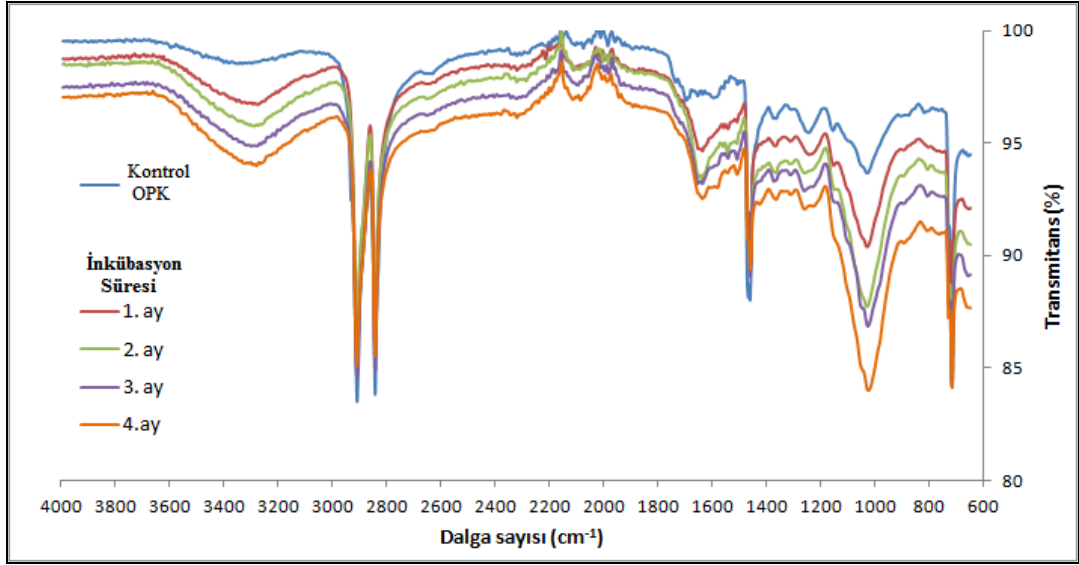
Esmer çürüklük mantarlarına maruz bırakılan saf sarı çam diri odun örneklerine ait FTIR spektrumları (Şekil 5.20-5.21) incelendiğinde özellikle bu mantarların seçici olarak tercih ettiği için selüloz ve hemiselülozdaki polisakkaritlere ait 895 cm⁻¹, 1154 cm⁻¹ ve 1365 cm⁻¹ dalga dalga sayısındaki, ksilan bileşiğinin asetil gruplarına ait 1743 cm⁻¹ dalga sayısındaki piklerde çürüklük sonrası gözle görülür bir değişim gözlemlenmiştir. Özellikle *C. puteana* mantarına maruz kalan örneklerde 1743 cm⁻¹ dalga sayısındaki bu pik 4. ayın sonunda kaybolmuştur. Bununla birlikte odunun yapısındaki lignine ait karakteristik piklerden olan ve 1595 cm⁻¹, 1506 cm⁻¹, 1453 cm⁻¹, 1420 cm⁻¹, 1260 cm⁻¹, 1211 cm⁻¹, 1154 cm⁻¹ ve 1021 cm⁻¹ dalga sayılarındaki piklerin yoğunluğunda önemli ölçüde artış gözlemlenmiştir.

Öte yandan lignine ait bu piklerin yoğunluğundaki artış her iki mantar türü için farklı oranlarda olmuştur. Daha önce Bölüm 5.1.1 ve 5.1.2’de açıklanan mantarların etkinlikleri ile ilgili sonuçlar FTIR spektrumları ile de kanıtlanmıştır. Buna göre lignine ait pikler karşılaştırıldığında *P. placenta* mantarına maruz kalmış örneklerin spektrumları incelendiğinde *C. puteana* mantarına maruz kalan örneklerden açık biçimde daha yoğun olduğu görülmüştür. Bu durum *P. placenta* mantarın karbonhidrat bileşiklerini etkili biçimde tüketerek geriye kalan ligninin daha fazla olduğunu göstermiştir.

Diğer yandan çürüklük testleri sırasında aşırı neme maruz kalan odunlarda absorbe edilmiş nemden kaynaklı -OH gruplarının varlığına işaret eden 1640-1650 cm^{-1} dalga sayısı aralığındaki piklerin yoğunluğunda önemli bir artış olmuştur.

OPK örneklerinden 7. grubun üç farklı çürüklük mantarına maruz kaldıktan sonraki durumlarının ilk halleri ile karşılaştırıldığı FTIR spektrumları Şekil 5.22-5.24’de verilmiştir. Saf sarı çam diri odunlarında olduğu gibi OPK örneklerinde de aynı mantarlar için benzer çürüklük sonuçları elde edilmiştir. Yapıdaki polietilenin varlığına işaret eden 2910 cm^{-1} , 2843 cm^{-1} , 1460 cm^{-1} ve 717 cm^{-1} dalga sayılarındaki pikler (Çizelge 5.1) aynı kalırken oduna ait piklerin yoğunluğunda mantar türüne ve mantarın testlerdeki etkinliğine bağlı olarak artmalar ve azalmalar meydana gelmiştir. İki esmer çürüklük mantarı oduna benzer biçimde OPK örneklerini belli seviyede çürütürken beyaz çürüklük mantarı çok fazla etkili olamamıştır. Esmer çürüklük mantarlarına maruz kalan örneklere ait FTIR spektrumları incelendiği zaman çürüklük ilerledikçe yapıdaki karbonhidrat bileşenlerinden kaynaklanan piklerde belirgin bir azalış görülmüştür.

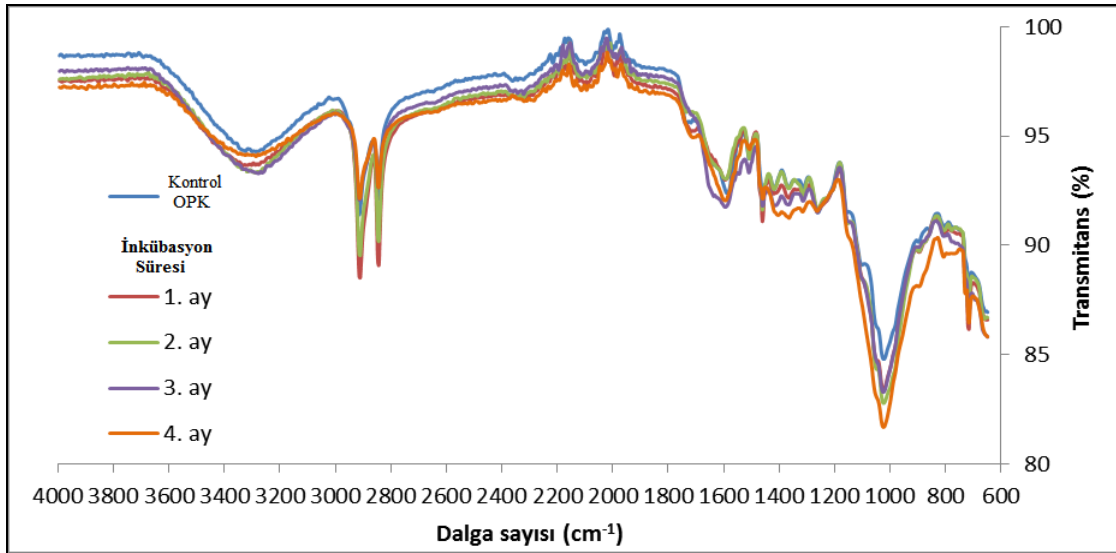
Özellikle bu bileşiklere ait 1743 cm^{-1} , 1365 cm^{-1} , 1154 ve 895 cm^{-1} dalga sayısındaki piklerde belli oranda düşüşler görülmüştür. Diğer yandan lignin bileşenlerinden kaynaklanan 1595 cm^{-1} , 1506 cm^{-1} , 1453 cm^{-1} , 1420 cm^{-1} , 1260 cm^{-1} , 1211 cm^{-1} , 1154 cm^{-1} ve 1021 cm^{-1} dalga sayısındaki piklerde ise artışlar görülmektedir. FTIR grafiklerinden anlaşılacağı gibi OPK örnekleri esmer çürüklük mantarlarına maruz kaldığında, üç bileşen içerisinde en fazla karbonhidrat bileşenleri (hemiselüloz ve selüloz) zarar görmüş, ligninde meydana gelen bozunum sınırlı kalmıştır. Belirgin biçimde 1640-1650 cm^{-1} dalga sayısı aralığında OPK örneklerinin çürüklük testleri sonrası yapıya absorbe edilmiş suyu gösteren pikler ile 1313 cm^{-1} ve 1021 cm^{-1} dalga sayılarında sırasıyla ligninin syringyl birimlerinin ve lignin yapısındaki birincil alkollerin C-O titreşimlerini işaret eden piklerde çürüklük sonrası önemli artışlar görülmüştür. Bu esmer çürüklük mantarlarının OPK yapısında bulunan odun dolgu maddesinin karbonhidrat içeriğine saldırdığını göstermektedir.



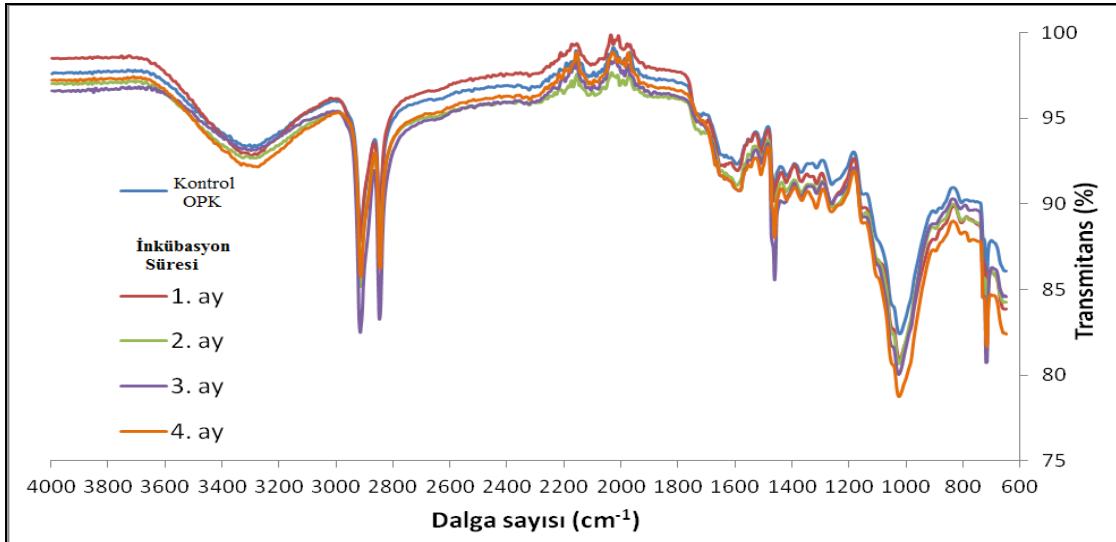
Beyaz çürüklük mantarına maruz kalan OPK örneklerinin FTIR spektrumları incelendiğinde ise ağırlık kaybı değerleri ile paralellik gösteren ve aynı mantar ile diri odun örneklerinde meydana gelen bozunurluklar sonrası elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. *T. versicolor* mantarı etkinliğini tam anlamıyla gösteremediğinden OPK örneklerinin kimyasal yapısında da odun örneklerine benzer biçimde çürüklük sonrası herhangi bir değişime neden olamamıştır. Çürüklük sonrası OPK örneklerin FTIR spektrumları ile kontrol grubu spektrumları arasında çok az ya da hiç farklılık gözlemlenmemiştir.

Son olarak %70 odun unu dolgu maddesi içeren OPK örneklerinde önemli ölçüde çürüklüğe sebep olan kahverengi çürüklük mantarlarının ve beyaz çürüklük mantarının çinko borat içeren OPK örneklerindeki etkisine ait FTIR spektrumları Şekil 5.25-5.27’de verilmiştir. FTIR spektrumları incelendiği zaman OPK örneklerine çinko borat katkısının mantarların gelişmesini ve OPK örneklerinin çürümesini engellediği açık biçimde görülmüştür. Özellikle %70’lik odun katkılı OPK örneklerinde iyi gelişme göstermiş *C. puteana* ve *P. placenta* esmer çürüklük mantarları çinko boratın etkisi ile OPK malzemeye arız olamamış dolayısıyla FTIR spektrumlarında kontrol grupları ile karşılaştırıldığında herhangi bir değişime sebep olmamıştır. Yapıdaki selüloz, hemiselüloz ve lignine ait pikler mantar çürüklük testleri sonrasında da aynı şekilde kalmıştır.

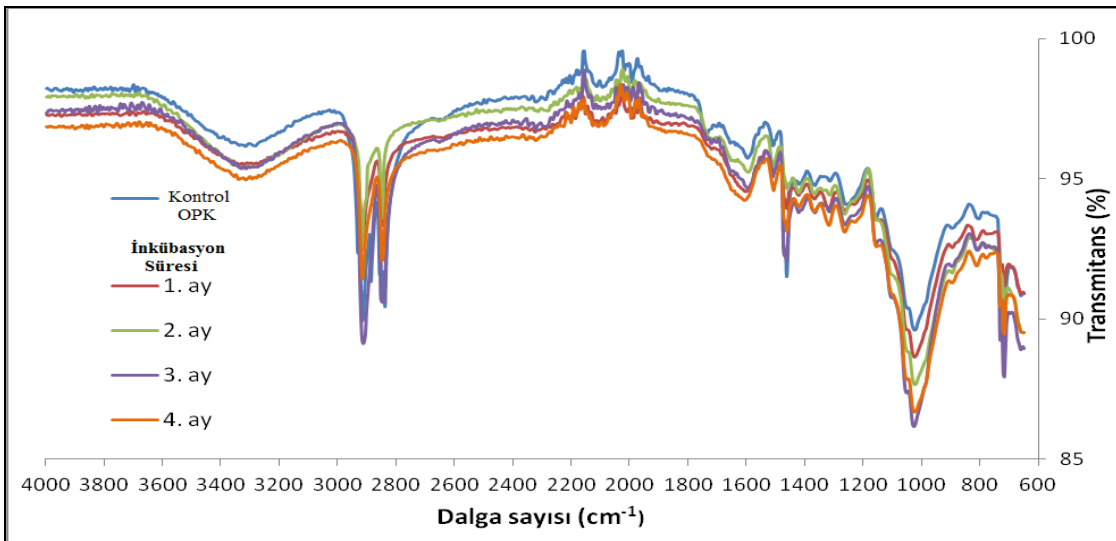
Naumann ve ark. (2012) farklı yangın geciktiriciler kullanarak ürettikleri OPK malzemede yangın geciktiricilerin mantar çürüklüğünü artırabileceği olasılığının aksine, *T. versicolor* ve *C. puteana* mantarları ile 16 hafta boyunca inkübe edilen örneklerde ağırlık kaybı ve eğilmede elastikiyet modülü düşüşlerine göre zıt bir durumun olduğu görülmüştür. Çünkü OPK üretiminde kullanılan bir alev geciktirici kimyasal grubu olan halojensiz yangın geciktiriciler odunda çürüklüğe sebep olan mantarlar için bir besin kaynağı olarak hizmet eden ve odunun çürümesini hızlandıran yüksek miktarda azot, fosfor ve sülfür içermektedirler. Yalnızca çürüklük testlerinde kullanılan başka bir mikroorganizma olan yüzey küfü *A. alternata* ağırlık kaybı ve FTIR analizlerine göre azot içeren yangın geciktiricili OPK örneklerinde içermeyen örnekler ile karşılaştırıldığında çürümenin artmasına sebep olmuştur. *A. alternata* bütün yangın geciktirici içeren örneklerde kontrol örneklerine benzer veya daha az olacak şekilde gelişme göstermiştir ve ilk üç yangın geciktiricinin bulunduğu örneklerde (azot ve fosfor içeren) ağırlık kaybını arttırmıştır. Bu durum tipik odun çürüten mantarlara göre spesifik olmayan bu mantarın ekstra azot ve fosfordan dolayı etkinliğinin artmasına bağlanmıştır.



Şekil 5.25. *T. versicolor* mantarına maruz kalan çinko boratlı OPK'lerin FTIR spektrumları



Şekil 5.26. *C. puteana* mantarına maruz kalan çinko boratlı OPK'lerin FTIR spektrumları



Şekil 5.27. *P. placenta* mantarına maruz kalan çinko boratlı OPK'lerin FTIR spektrumları

5.5. Termal Analiz Bulguları

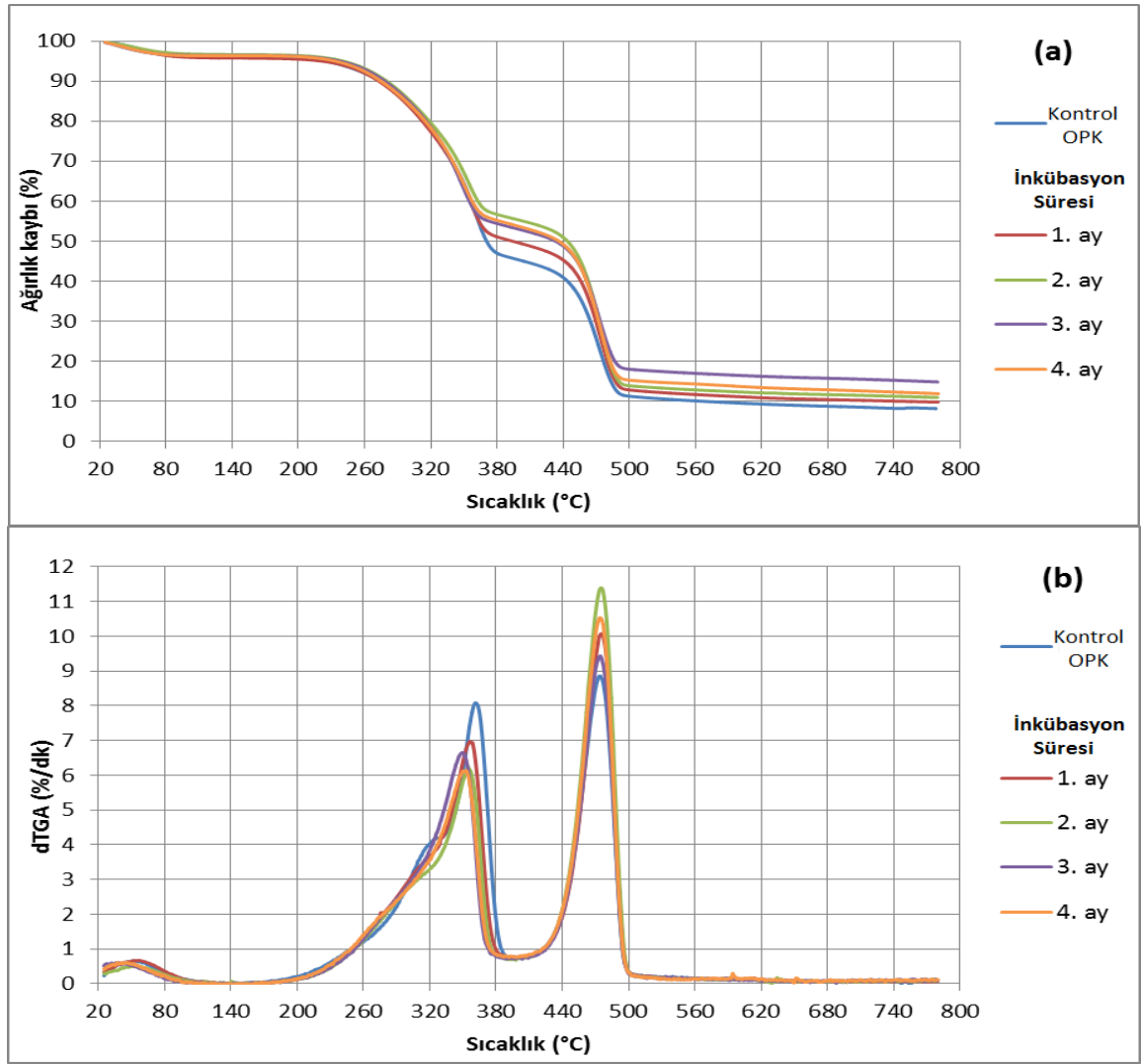
TGA ağırlığın yani numunenin kütlesinin, numunenin sıcaklığına ya da zamana göre ölçümüdür. Alternatif olarak, TGA eğrilerinin birinci türevi zaman ya da sıcaklığa bağlı olarak kullanılabilir. Bu değerler de kütle değişimini gösterir. Bu eğrilere dTGA eğrileri adı verilir. Kütle değişikliği numunenin birkaç farklı yoldan malzeme kaybıyla yada onu saran ortamla reaksiyona girmesiyle oluşur. Bu oluşumda TGA eğrilerinde bir omuz şeklinde yada dTGA eğrilerinde bir doruk noktası şeklinde oluşur. Termogravimetrik yöntemlerin en önemli uygulamaları polimerlerdir. Çeşitli polimerik maddelerin bozunma mekanizmaları termogramlardan (TGA eğrileri) alınan bilgilerle açıklanabilir. Bu nedenle OPK malzemeler içinde bu yöntem malzemenin ısı özelliklerini belirlemede oldukça kullanışlıdır.

Mantar bozunurluğu sonrası malzemenin ısı bozunma özelliklerinde meydana gelen değişimleri açıklayabilmek için örnek olarak esmer çürüklük mantarları ile yapılan biyolojik bozunurluk testleri sonucunda en fazla ağırlık kaybına uğramış olan 7. Grubun termal analiz sonuçları Şekil 5.28-5.31’de verilmiştir.

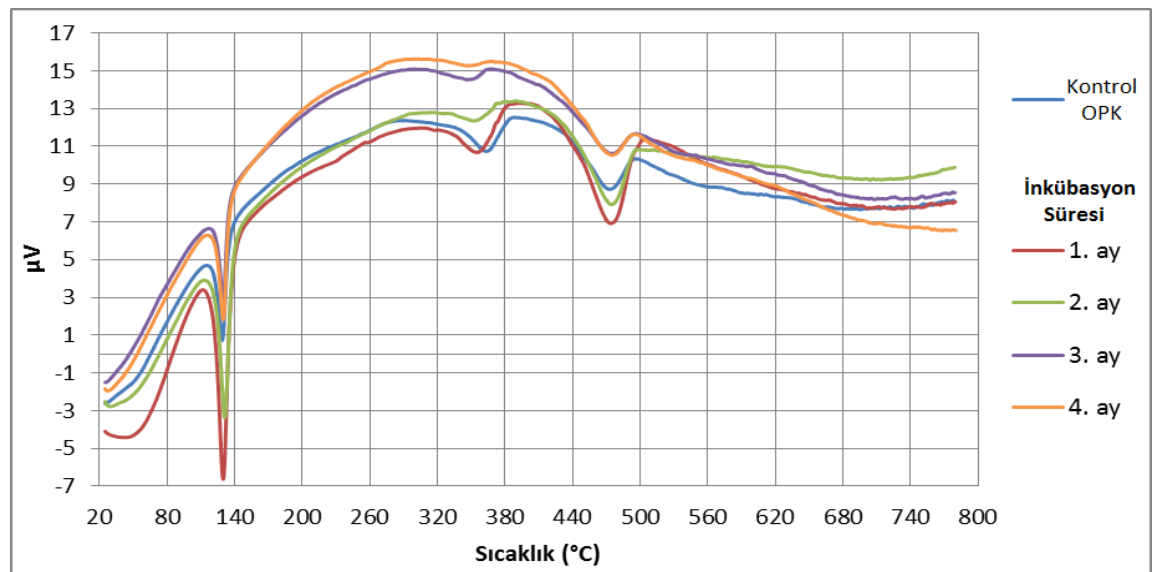
Termal analizler hem biyolojik bozunurluk öncesi hem de sonrasında her ay için ayrı ayrı yapılarak çürüklük sonrasında kompozitlerin ısı bozunma özelliklerinde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Termal analizler bir malzemenin ısı bozunma özelliklerinin belirlenmesi hakkında önemli bilgiler vermektedir.

Odunun termal bozunumu incelendiğinde aktif bozunmasının yaklaşık 250 °C’de selülozun bozunması ile başladığı görülmektedir. Odun yapısında farklı polimerik yapılar bulundurduğundan TGA eğrisinde farklı bozunma bölgeleri oluşturmaktadır. Öncelikle 100 °C’ye kadar yapıdaki serbest su molekülleri uzaklaşmakta daha sonra ise 250-400 °C arasında selülozun bozunması gerçekleşmektedir. Diğer yandan polifenolik bir polimer olan lignin bozunması ise üç farklı sıcaklık aralığında üç aşamada gerçekleşmektedir. Bu aralıklar genellikle 115-225 °C, 225-360 °C ve 360-500 °C sıcaklık aralıklarından oluşmaktadır (Randriamanantena ve ark., 2009).

Saf bir polimer olan HDPE’nin bozunma özellikleri incelendiği zaman ise tek bir bozunma bölgesinden oluştuğu görülmektedir. Polimerin bozunması genellikle 400-500 °C sıcaklık aralığında hızlı bir biçimde olmakta ve kütlesinin %99’nı kaybetmektedir. Yapısında maksimum ağırlık kaybı ise yaklaşık 460-465 °C sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir (Contat-Rodrigo ve ark., 2002).



Şekil 5.28. *C. puteana* mantarına maruz kalan kompozit örneklerinin (7. Grup) TGA (a) ve dTGA (b) eğrileri



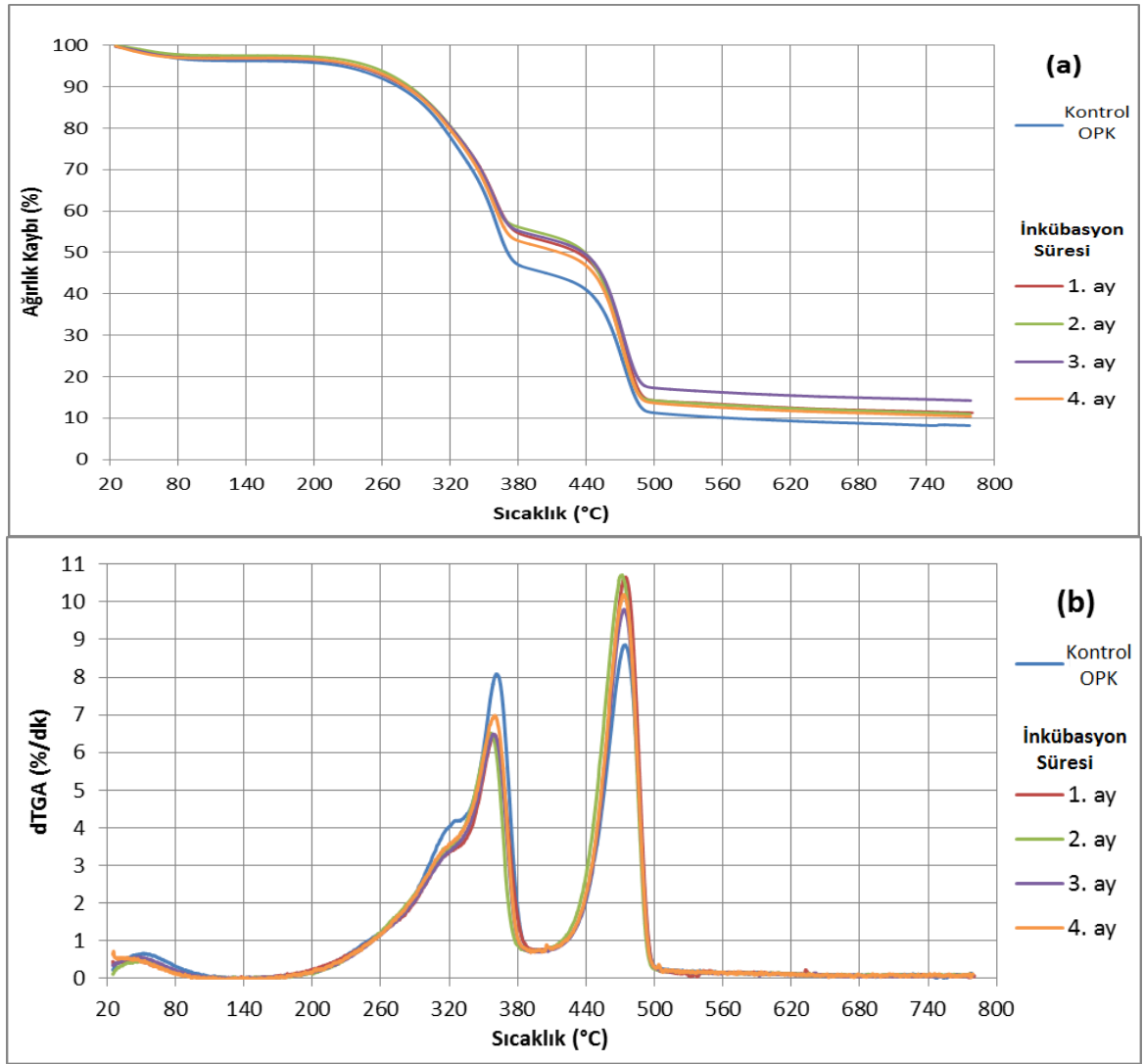
Şekil 5.29. *C. puteana* mantarına maruz kalan kompozit örneklerinin (7. Grup) DTA eğrisi

%70 odun unu ve HDPE ile yapılmış olan OPK örneği incelendiğinde, TGA eğrileri 3 kısımda incelenebilir. 100 °C'ye kadar olan ilk kısımda meydana gelen ağırlık kaybı OPK 'in serbest su moleküllerinden kaynaklanmaktadır. 180-400 °C' ye kadar olan 2. kısımda maksimum 361,24 °C'de, 8,08 %/dk dTGA değerinde, % 43,49'luk bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu kısımdaki ağırlık kaybı OPK kompozitinde bulunan odundan kaynaklanmaktadır. 400-500 °C'ye kadar olan 3. Kısımda 474,34°C'de, 8,85 %/dk dTGA değerinde, %78,01'lik bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu kısımdaki meydana gelen ağırlık kaybı ise OPK malzeme içerisinde bulunan HDPE'den kaynaklanmaktadır. Bu malzeme 181,38 °C'de bozunmaya başlayıp 370,67 °C'de malzemenin %50 bozunmuştur. Analiz sonunda ise %8.15'lik bir kalıntı kalmıştır.

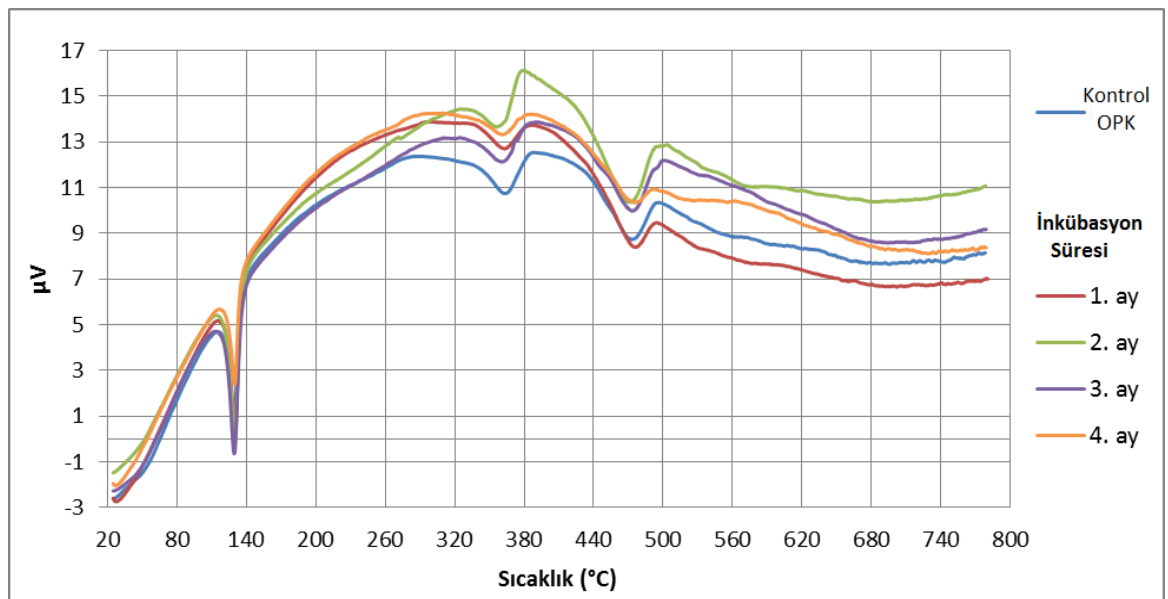
C. puteana esmer çürüklük mantarına maruz kalmış olan %70 odun unu ve HDPE ile yapılmış olan OPK örnekleri incelendiğinde ise, TGA eğrileri 3 kısımda incelenebilir. 100 °C'ye kadar olan ilk kısımda meydana gelen ağırlık kaybı OPK 'in serbest su moleküllerinden kaynaklanmaktadır. 180-400 °C' ye kadar olan 2. kısımda maksimum 356,22 °C'de, 6,96 %/dk dTGA değerinde, %40,25'lik bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

Bu kısımdaki ağırlık kaybı OPK kompozitinde bulunan odundan kaynaklanmaktadır. 400-500 °C'ye kadar olan 3. Kısımda 475,39°C'de, 11,39 %/dk dTGA değerinde, %72,95'lik bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu kısımdaki meydana gelen ağırlık kaybı ise OPK malzeme içerisinde bulunan HDPE'den kaynaklanmaktadır. Bu malzemeler genel olarak 195,87 °C'de bozunmaya başlayıp 436,32°C'de malzemenin %50'si bozunmuştur. Analiz sonunda ise %9,77'lik bir kalıntı kalmıştır. *C. puteana* esmer çürüklük mantarına maruz kalmış olan %70 odun unu ve HDPE ile yapılmış olan OPK örneklerinin DTA değerleri incelendiğinde, 130,33 °C'de görülen pik OPK malzeme içindeki HDPE polimerinin varlığını gösteren erime noktasıdır. Son olarak 351,92 °C'deki görülen pik OPK malzeme içindeki odunun bozunma noktasıdır. 473,98 °C'deki görülen pik ise HDPE polimerinin bozunma noktasıdır.

P.placenta esmer çürüklük mantarına maruz kalmış olan %70 odun unu ve HDPE ile yapılmış olan OPK örnekleri incelendiğinde ise, TGA eğrileri yine 3 kısımda incelenebilir. 100 °C'ye kadar olan ilk kısımda meydana gelen ağırlık kaybı OPK 'in serbest su moleküllerinden kaynaklanmaktadır. 180-400 °C' ye kadar olan 2. kısımda maksimum 360,08 °C'de, 6,98 %/dk dTGA değerinde, %39,43'lük bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu kısımdaki ağırlık kaybı OPK kompozitinde bulunan odundan kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.30. *P. placenta* mantarına maruz kalan kompozit örneklerinin (7. Grup) TGA (a) ve dTGA (b) eğrileri



Şekil 5.31. *P.placenta* mantarına maruz kalan kompozit örneklerinin (7. Grup) DTA eğrisi

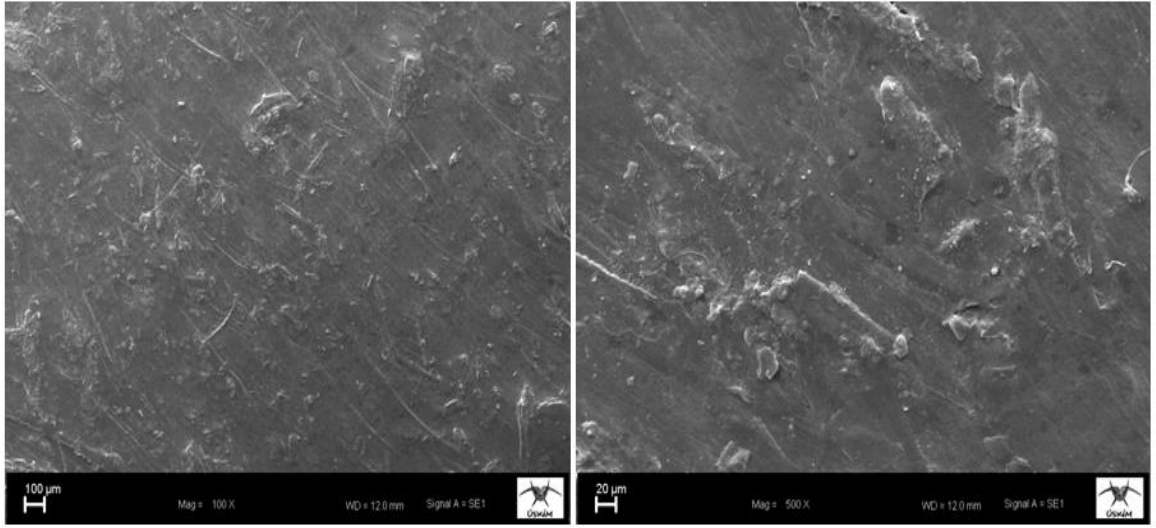
400-500 °C'ye kadar olan 3. Kısımda 471,69°C'de, 10,71 %/dk dTGA değerinde, %72,49'luk bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Bu kısımdaki meydana gelen ağırlık kaybı ise OPK malzeme içerisinde bulunan HDPE'den kaynaklanmaktadır. Bu malzemeler genel olarak 183,28 °C'de bozunmaya başlayıp 416,47°C'de malzemenin %50'si bozunmuştur. Analiz sonunda ise %10,39'luk bir kalıntı kalmıştır.

P.placenta esmer çürüklük mantarına maruz kalmış olan %70 odun unu ve HDPE ile yapılmış olan OPK örneklerinin DTA değerleri incelendiğinde, 128,89 °C'de görülen pik OPK malzeme içindeki HDPE polimerinin varlığını gösteren erime noktasıdır. 363,26 °C'deki görülen pik OPK malzeme içindeki odunun bozunma noktasıdır. 473,14 °C'deki görülen pik ise HDPE polimerinin bozunma noktasıdır.

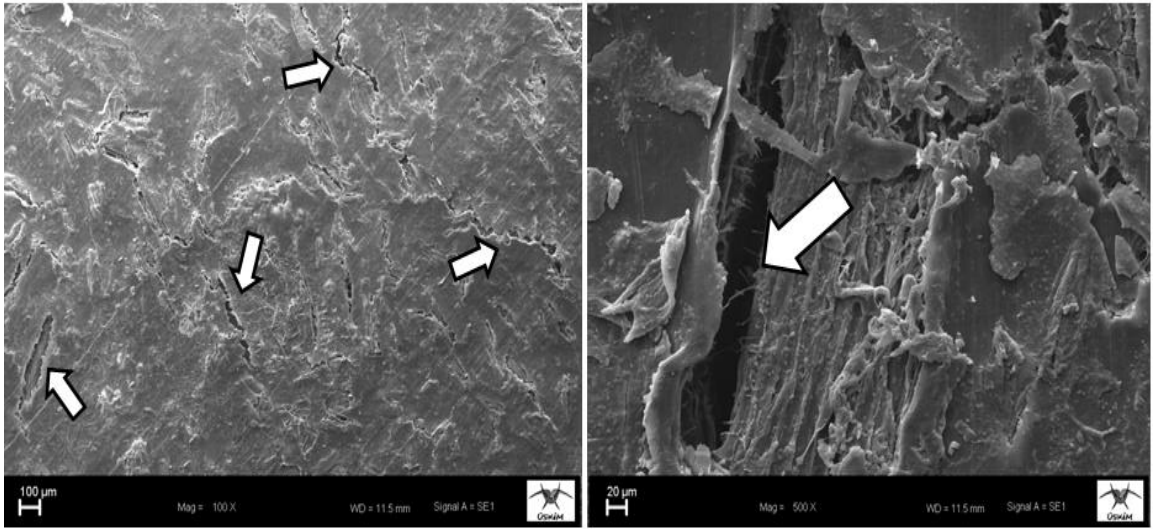
Genel olarak OPK örnekleri her iki esmer çürüklük mantarına maruz kaldıktan sonra 2. kısımda meydana gelen ağırlık kayıplarında bir düşme meydana gelmiştir. Bunun nedeninin mantarın OPK örneklerindeki odun dolgu maddesinin içeriğinde bulunan özellikle selüloz bileşimini çürütmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Mantar çürüklüğü sonrası kompozit yapıdaki odunun amorf ve kristalin bölgelerinin artışı ısıl direncini arttırmış ve ilk haline göre daha geç sıcaklıkta bozunması gerçekleşmiştir. Çünkü TGA ve dTGA eğrilerinde 2. kısımda bulunan omuz ve pikler odun dolgu maddesinde bulunan bileşiklere ait bozunmalara işaret etmektedir. Diğer yandan OPK malzeme içerisindeki odun unu dolgu maddesinin mantar çürüklüğü sonrasında yapısında meydana gelen değişimler DTA analizi ile de gösterilmiştir. Buna göre oduna ait bozunma piklerinde aylar geçtikçe odunda meydana gelen ağırlık kaybından dolayı piklerin büyüklüğünde gözle görülür bir azalma saptanmıştır.

5.6. SEM Bulguları

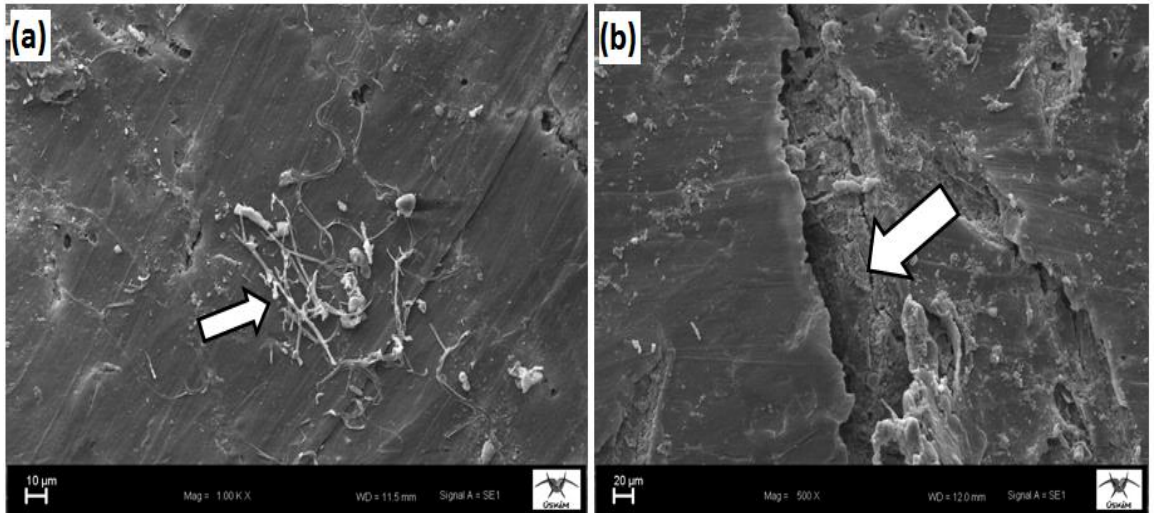
Biyolojik bozunurluk sonucunda OPK örneklerinde en fazla ağırlık kaybına uğramış olan 7.grubun ilk ve mantara maruz kaldıktan sonraki SEM görüntüleri Şekil 5.32-34'de görülmektedir. Şekil 5. 32'de 7. Grubun ilk hali olması dolayısıyla yüzeyde düzgünlük görülmektedir. Şekil 5. 33'de *C. puteana* mantarına maruz kalmış olan OPK örneklerinde mantara maruz kaldıktan sonra çatlaklar ve lif kopuklukları görülmektedir. Ayrıca HDPE polimerine ait olan ağsı bir yapı görülmektedir. Şekil 5. 34'de *P.placenta* mantarına maruz kalmış olan OPK örneklerinde mantara maruz kaldıktan sonra yüzeyinde misel kalıntıları (Şekil 5. 34a) görülmektedir. Yine diğer mantarda görüldüğü gibi kompozit yüzeyinde mantar saldırısına işaret eden yarıklar (Şekil 5. 34b) oluşmuştur.



Şekil 5.32. OPK örneklerinden 7.grubun SEM görüntüleri



Şekil 5.33. *C. puteana* mantarına maruz kalmış olan 7. grubun SEM görüntüleri



Şekil 5.34. *P. placenta* mantarına maruz kalmış olan 7. grubun SEM görüntüleri

Bu yarıklar homojen yapıdaki OPK örneklerinin polimer matrisleri içerisindeki odunun mantarlar tarafından seçici biçimde çürütülmesinden kaynaklanmıştır.

Mankowski ve Morrell (2000) yaptıkları çalışma sonucunda odun/HDPE %70/30 karışımı ile üretilen kompozitlerin mantar etkisine en duyarlı olduğunu, odun/HDPE %50/50 ile hazırlanan kompozitlerin ise çok az veya hiç bozunma göstermediğini belirlemişlerdir. En büyük ağırlık kaybı odun/HDPE %70/30 karışımında *G. trabeum* ile inkübe edilen örneklerde %20.4 ile görülmüştür. SEM analizleri mantar testine maruz kalmamış örneklerde odun partiküllerinin plastik içinde rast gele dağıldığını bazılarının plastik tarafından sarıldığını ve çoğu partikülün etrafında yüksek miktarda boşluğun olduğunu göstermiştir. Mantarlara maruz kalan örneklerde ise mantarların direk olarak yüzeye yakın bölgelerde temas noktalarındaki odun partiküllerinde kolonize olduğu gösterilmiştir. Ayrıca kompozitlerde var olan boşlukların derin bölgelerinde de mantar misellerine rastlanmıştır.

Pendleton ve ark. (2002) ise mantar çürüklüğü sonrası örneklerin morfolojik özelliklerini analiz etmek için kullanılan SEM görüntülerine göre mantar çürüklüğüne maruz kalan örneklerin yüzeyine yakın bölgelerde odun ve termoplastik malzemenin arasında ara yüzey boşluklarında mantar misellerinin yoğunlaştığı belirlemiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) odun unu ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılarak OPK malzeme üretilmiş ve bu malzemelere çeşitli katkı maddelerinin eklenmesinin malzemenin çürüklük dayanımını nasıl etkilediği araştırılmıştır. OPK örneklerinin belirli gruplarına lif-plastik arasında uyumsuzluğu gidermek amacıyla MAPE ve mantar çürüklüğünü önlemek amacı ile çinko borat takviye edilmiştir. OPK örneklerinin mekanik (eğilme direnci, çekme direnci, şok direnci) testleri, biyolojik bozunurluk testi, yüzey sertlik testi ve ATR-FTIR analizleri yapılmıştır. Bu test ve analizler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Çekme direnci değerleri sarıçam odun unu kullanım oranları arttıkça azalmıştır. En düşük sonuçlar %70 oranında lignoselülozik madde içeren levhalardan elde edilmiştir. Odun unu kullanım oranının artması ile çekmede elastikiyet modülünün arttığı tespit edilmiştir.

Eğilme direnci değerleri lignoselülozik dolgu kullanım oranları arttıkça azalmıştır. En düşük sonuçlar %70 oranında odun unu kullanılan levhalardan elde edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde, eğilme direncinin tersine termoplastik matrisi içerisinde odun unu oranı arttıkça yükselme gözlenmiştir.

Darbe (şok) direnci değerleri odun unu kullanım oranları arttıkça azalmıştır. En düşük sonuçlar %70 oranında odun unu kullanılan levhalardan elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre eklenen bağlanma ajanının (MAPE) şok direncinde belirgin olmamakla beraber diğer mekanik özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir.

Yüzey sertliği sonuçlarına göre OPK örnekleri çürüklük testlerine maruz bırakıldığında hem yapıdaki dolgu maddesi odunun yapısının bozunması hem de yoğun bir neme maruz kalmaları sebebi ile malzemenin bütünlüğü bozularak lifsel bölümü gevşemiş ve sertlik değeri düşmüştür. Özellikle hiçbir katkı maddesi bulunmayan %70 odun unu dolgulu örneklerinin yüzey sertliğinde çürüklük sonrası önemli düşüşler görülmüştür.

Biyolojik bozunurluk test sonucunda hesaplanan ağırlık kaybı değerlerine bakılarak çinko borat maddesinin antifungal etkisi araştırılmıştır. Genel olarak odun unu oranı arttıkça değerlerde bir artış gözlenmiştir. En fazla ağırlık kaybı %70 odun unu kullanılan örneklerde olduğu tespit edilmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen testte %70 odun unu kullanılan OPK örneklerinde çinko boratsız olan karışımda ağırlık kaybı %12'lerdeyken bu

oran çinko boratlı örneklerde %2'lere kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bu bağlamda çinko borat maddesinin OPK örneklerindeki çürüklüğü önleyici yönde etkisinin olduğu görülmüş olup ağırlık kaybı değerlerinde önemli ölçüde düşüş olduğu tespit edilmiştir.

Ağırlık kayıpları sonucunda odunda oluşan kimyasal değişimler FTIR analizi ile de görülmüştür. Özellikle OPK örneklerinde belli ölçüde çürüklüğe sebep olan kahverengi çürüklük mantarlarına maruz kalmış örneklerin lignin ve karbonhidrat bileşenlerindeki değişimleri FTIR analizi ile tespit etmek mümkün olmuştur. *C. puteana* ve *P. placenta esmer* çürüklük mantarlarının öncelikli olarak yapıdaki odun unu dolgu maddesinin karbonhidrat bileşenlerini tahrip ettiği ligninde herhangi bir bozunmaya sebep olmadığı tespit edilmiştir. Çinko borat maddesinin OPK örneklerinde çürüklüğü önleyici yönde etkisinin olduğunu FTIR analizleri ile de doğrulanmıştır. Çinko boratlı OPK örneklerinde çok fazla bir bozunma olmadığından dolayı kimyasal değişim de az olmuştur.

TGA ve dTGA eğrileri sonuçlarına bakıldığında, OPK örnekleri her iki esmer çürüklük mantarına maruz kaldıktan sonra odun dolgu maddesinde meydana gelen ağırlık kayıplarında bir düşme meydana gelmiştir. Bunun nedeninin mantarın OPK örneklerindeki odun dolgu maddesinin içeriğinde bulunan özellikle selüloz bileşiğini çürütmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar DTA analizi ile de desteklenmiştir. DTA analizlerine göre oduna ait bozunma piklerinde mantar çürüklüğü sonrası her ayda belirgin bir düşüş görülmüştür.

Son olarak SEM görüntülerine göre OPK örneklerinde mantara maruz kaldıktan çatlak ve saçaklanmalar meydana gelmiştir. Çürüklük mantarları OPK örneklerinin bütünlüğünün bozularak polimer matriks içinde açıklıkların oluşmasına sebep olmuştur.

Ülkemizde OPK alanında üretim yapan üretici firmalar vardır ve sayıları gün geçtikçe artmaktadır. Bu firmalar ürünlerinin biyolojik kusurlara karşı dayanıklılıklarını artırabilmeleri için yurtdışında çeşitli antifungal maddeler ihraç etmektedirler. Ülkemizde bor madenin bol olması dolayısıyla yerli üreticiler çinko borat maddesini çok daha ekonomik fiyatlara temin edebileceklerdir. Bu nedenle çinko borat katkılı dış mekan uygulamalarında biyolojik bozunmaya dirençli bu malzemenin kullanılmasıyla da rekabet payı, üretilen alternatif ürün özelliği sebebiyle de yurt içi ve yurt dışı pazarda daha etkili olacaktır. Çinko borat maddesinin çevreci, ekonomik, bakım giderlerinin az olması ve maliyetin düşüklüğü kullanım alanında bir çok avantaj sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abalı, Y., Gümüş, R., 2010. Simitsonit Cevherinden Çinkoborat Üretimi. *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 2 (14) : 76-91.
- Adhikary, K.B., Pang, S. ve Staiger, M.P., 2008. Dimensional Stability and Mechanical Behaviour of Wood-plastic Composites Based on Recycled and Virgin High-Density Polyethylene (HDPE). *Composites: Part B*, 39 : 807-815.
- Akkurt, S., 2007. Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 552s.
- Askeland, D.R., Fulay, P.P., Wright, W.J., 2010. The Science and Engineering Materials, Sixth Edition, CL-Engineering, USA, 944s.
- Aslan, M., 2008. Odun Plastik Kompozitlerinde Geri Dönüşüm ve Atık Malzeme Kullanımı. Düzce, Türkiye. VI. Ulusal Orman Fakülteleri Öğrenci Kongresi, 8-9 Mayıs 2008, s.63-67.
- ASTM D 2017-05: Standard Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods. American Society for Testing and Materials.
- Avcı, E., 2012. Ahşap Plastik Kompozitlerin Kullanım Performansları Üzerine Araştırmaları, Doktora Tezi. İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 267s.
- Aysal, S. 2014. Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Biyolojik Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 125s.
- Aysal, S., Kartal, S.N., Terzi, E., 2013. Evaluation Of Relationship Between Moisture Content And Biological Performance Of Wood Plastic Composites, International Caucasian Forestry Symposium, Artvin, Turkey. 24-26 October, 2013, s.888-893.
- Biron, M., 2007. Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastics Users, Elsevier Science Ltd, UK, 944s.
- Boonstra, M.J., 2008. A Two-Stage Thermal Modification of Wood. Ph.D. Dissertation In Cosupervision Ghent University and Université Henry Poincaré - Nancy 1, 297s.
- Bouafif, H., Koubaa, A., Perré, P., Cloutier, A., 2009. Effects of Fiber Characteristics on the Physical and Mechanical Properties of Wood Plastic Composites, *Composites: Part A*, 40 : 1975-1981.
- Bozkurt, A.Y., Erdin, N., 1997. Ağaç Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 3998/445, ISBN 975-404-449-X, İstanbul.
- Bozkurt, A.Y., Erdin, N., Ünligil, H., 1995. Odun Patolojisi Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No:3878/432, İstanbul, 398s.
- Bozkurt, Y.A., Göker, Y. ve Erdin, N., 1993. Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No:3779/425, İstanbul, 429s.
- Brandt, C.W., Fridley, K.J., 2003. Effect of Load Rate on Flexural Properties of Woodplastic Composites, *Wood Fiber Science*, 46 (6) : 812-819.

- Çakır, G., 2012. Bor Katkılı Zeytin Kara Suyunun Bağ Budama Atıklarından Üretilmiş Yonga Levhaların Mekanik ve Çürüklük Direncine Olan Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 116s.
- Çavdar, D., A. 2011. Farklı Lignoselülozik ve Termoplastik Maddelerle Üretilen Odun-Plastik Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 268s.
- Çetin, N. S., Birinci, E., Özmen, N., 2010. Doğu Ladini (*Picea Orientalis*) ve Sarıçam (*Pinus Sylvestris*) Öz ve Diri Odunlarının Kahverengi (*Coniophora Puteana*) ve Beyaz (*Trametes Versicolor*) Çürüklük Mantarlarına Karşı Dayanımının Araştırılması. Artvin, Türkiye. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Bildiriler Kitabı, Cilt: IV, s.1639-1648.
- Chaharmahali, M., Mirbagheri, J., Tajvidi, M., Najafi, S.K., Mirbagheri, Y., 2010. Mechanical and Physical Properties of Wood-plastic Composite Panels, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29:310–319.
- Chow, P., Nakayama, F.S., Youngquist, J.A., Muehl, J.H., Krzysik, A.M., 2002. Durability of Wood/Plastic Composites Made From Parthenium Species. 33rd IRG Conference, IRG/WP 02-40225, 12-17 May 2002, Stockholm, Sweden, 12s.
- Clemons, C. M., Ibach, R. E., 2004. Effects Of Processing Method And Moisture History On Laboratory Fungal Resistance Of Wood-HDPE Composites. *Forest Products Journal*, 54(4) : 50-57.
- Clemons, C.M., 2002. Wood Plastic Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries, *Forest Products Journal*, 52 (6) : 10-18.
- Contat-Rodrigo, L., Ribes-Greus, A., Imrie, C.T., 2002. Thermal Analysis of High-Density Polyethylene and Low- Density Polyethylene with Enhanced Biodegradability. *Journal of Applied Polymer Science*, 86 : 764–772.
- Crawford, R.J., 2001. Plastic Engineering, Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition), Polymers, (Ed. Meyers, R. A., Academic Press), s.457-474.
- Cui, Y.H., Tao, J., Noruziaan, B., Cheung M. ve Lee, S., 2010. DSC Analysis and Mechanical Properties of Wood--Plastic Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (2) : 278-289.
- Daniel, G., 1994. Use Of Electron Microscopy For Aiding Our Understanding Of Wood Biodegradation. *FEMS Microbial Reviews*, 13 : 199–233.
- Dizman, E., Yıldız, Ü.C., Yıldız, S., Aslan, M., Temiz, A., 2006. Asetillendirilmiş Ladin Yongalevhalarının Esmer Çürüklük Mantarına (*Coniophora Puteana*) Karşı Dayanıklılığı, *Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 7(2) : 106-115.
- Drouglas, R. C., 2001. Structural Properties of Recycled Plastic/Sawdust Lumber Decking Planks. *Resources, Conserve and Recycling*, 31 (3) : 241–251.
- Dylingowski, P., 2003. *Maintaining The Aesthetic Quality of Wood–Plastic Composite Decking With Isothiazolone Biocide*. Proceedings of the 7th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, 19-23 May 2003. Forest Products Society, Madison, WI, s.177-186.

- El-Haggar, S.M., Kamel, M.A. 2011. Wood Plastic Composites, *Advances in Composite Materials - Analysis of Natural and Man-Made Materials*, (Ed. Tesinova, P.), ISBN: 978-953-307-449-8, InTech, Croatia, s.326-344.
- Ellis, M.B., Ellis, J.P., 1990. *Fungi Without Gills (Hymenomycetes and Gastromycetes)*, An Identification Handbook, Chapman and Hall, London, 329s.
- Erkan, Ö., 2011. Çocuk Oyun Parklarında Modül Tasarımında Ahşap-Plastik Kompozit Malzemenin Kullanım Olanakları. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 113s.
- European Committee for Standardization (CEN), 2004. prCEN/TS 15083-1: Durability of Wood and Wood-Based Products -Determination of The Natural Durability of Solid Wood Against Wood-Destroying Fungi, Test Methods-Part 1: Basidiomycetes. Technical Committee CEN/TC 38.
- Ezdeşir, A., Erbay E., Taşkıran, I., Yağcı, M.A., Cöbek, M., Bilgiç, T. 1999. Polimerler I. PAGEV, İstanbul, 185 s.
- Fabiyi, J.S., McDonald, A G, Morrell, J J, Freitag, C., 2011. Effects of Wood Species on Durability and Chemical Changes of Fungal Decayed Wood Plastic Composites. *Composites Part A*, 42 (5) : 501-510.
- Faix, O., Bremer, J., Schmitz, O., Stevanovic, T., 1991. Monitoring of Chemical Changes in White-Rot Degraded Beech Wood By Pyrolysis-Gas Chromatography and Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 21 : 147–162.
- Felix, J.M., Gatenholm, P., Schreiber, H.P., 1993. Controlled Interactions in Cellulose-Polymer Composites – I. Effect On Mechanical Properties, *Polymer Composites*, 14 (6) : 449-457.
- Freeman, M.H., Nicholas, D.D., Schultz, T.P, 2006. Non- Arsenical Wood Protection: Alternatives for CCA, Creosote, and Pentachlorophenol. In: *Environmental Impacts of Treated Wood*. Townsend, T.G., Solo Gabriele, H. Taylor&Francis Group , CRC Press, 520s.
- Gnatowski, M., 2003. Water Absorption By Wood Plastic Composites In Exterior Exposure, *Proceedings of The 8th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*, Forest Products Society, Madison, WI., s.249-256.
- Goodell, B., 2003. Brown-rot fungal degradation of wood: our evolving view. In *Wood Deterioration and preservation. Advances in Our Changing World* (Editörler: Goodell, Nicholas and Schultz). American Chemical Society, Washington DC, 845: 97-118.
- Green, F., Schultz, T.P. 2003. New Environmentally-Benign Concepts in Wood Protection: The Combination of Organic Biocides and Non-Biocidal Additives. In: *Wood Deterioration and Preservation Advances in Our Changing World*.(Editörler: Goodell B., Nicholas, D.D., Schultz, T.P.). ACS Symposium Series 845, 482s.
- Harting, R., 1874. Wichtige Krankheiten der Waldbäume. Beiträge zur Mycologie und Phytopathologie für Botaniker und Forstmänner, Berlin: Springer.. (Important Disease of Forest Trees. Contributions to Mycology and Phytopathology for Botanist And Foresters Phytopathological Classics No. 12; 1975. St Paul.MN: American Phytopathological Society.) 127s.

- Hill, A.S., 2000. Wood-Plastic Composites: Strategies for Compatibilising The Phases. *Journal of the Institute of Wood Science*, 15 (3) : 140-146.
- Hubert, E.E. 1924. The diagnosis of decay in wood. *Journal of Agricultural Research*, 29 (11) : 523–569.
- Ibach, R.E., Gnatowski, M., Sun, G., Field and Laboratory Decay Evaluations of Wood–Plastic Composites, *Forest Products Journal*. 63 (3/4) : 76-87.
- Jeefferie, A.R., Yuhazri, M.Y., Sihombing, H., 2011. Mechanical Properties Evaluation for Enviro-Wood Plastic Composite Made of HDPE-PPB-RWF Mixtures. *International Journal of Advances in Science and Technology*, 3 (2): 87-101.
- Kabakçı A., 2009. Buğday Sapı Unu Oranının Ve Plastik Tipinin Odun-Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 68s.
- Kamdem, D. P., Jiang, H., Cui, W., Freed, J., 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*, 35 : 347–355.
- Karimi, A.N., Tajvidi, M., Pourabbasi, S., 2007. Effect of Compatibilizer on the Natural Durability of Wood Flour/High Density Polyethylene Composites Against Rainbow Fungus (*Coriolus versicolor*). *Polymer Composites*. 28 (3): 273-277.
- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., Akbulut, T., 2014. Dış Cephe Kaplamalarına Ekolojik bir Yaklaşım: Ahşap Polimer Kompozitler, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 3–4 Nisan, 2014, İstanbul.
- Kim, J.K., Pal, K., 2010. Recent Advances in The Processing of Wood-Plastic Composites Springer Berlin, 184s.
- Kim, Y.S., Newman, R.H., 1995. Solid state ¹³C NMR Study of Wood Degraded by The Brown Rot Fungus *Gloeophyllum trabeum*. S. *Holzforschung* 49 : 109–114.
- Klyosov A.A., 2007. Wood-Plastic Composites, John Wiley & Sons, New Jersey, 726s.
- Kollmann, F.F.P., Côte, W.A., 1968. Principles of Wood Science and Technology, I. Solid Wood. Springer-Verlag, New York, 592s.
- Kord, B., 2011a. Effect of Wood Flour Content on the Hardness and Water Uptake of Thermoplastic Polymer Composites. *World Applied Sciences Journal*, 12 (9) : 1632-1634.
- Kord, B., 2011b. Investigation of Reinforcing Filler Loading In The Mechanical Properties Of Wood Plastic Composites. *World Applied Sciences Journal*, 13 (1) : 171-174.
- Korkut, S., Kocaefe D., 2009. Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi* 5 (2) : 11-35.
- Korner, I., Faix, O., Wienhaus, O., 1992. Attempt to Determine Brown-Rot Breakdown of Scots Pine Wood with The Aid of FTIR Spectroscopy, *Holz als Roh- und Werksto* 7 (50) : 363–367.
- Köse, C., 2000. Esmer Çürüklük Mantarlarının (Basidiomycetes) Odunun Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 129s.
- Li, W., Shupe, T.F., Hse, C.Y., 2004. Physical and Mechanical Properties of Flakeboard Produced from Recycled CCA-treated Wood, *Forest Product Journal* 54 (2) : 89-94.

- Lloyd, J.D., 1998. Borates and Their Biological Applications, The International Research Group on Wood Preservation 29th Annual Meeting, Maastricht, Netherlands, s.14-19.
- Lomeli-Ramirez, M.G., Ochoa-Ruiz, H.G., Fuentes-Talavera, F.J., Garcia-Enriquez, S. M.A., Cerpa-Gallegos, J.A., 2009. Silva-Guzman, Evaluation of Accelerated Decay of Wood Plastic Composites by Xylophagus Fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63 : 1030–1035.
- Lu, J.Z., Wu, Q., McNabb, H.S., 2000. Chemical Coupling in Wood Fiber and Polymer Composites: A Review of Coupling Agents and Treatments. *Wood Fiber Science*, 32 (1) : 88-104.
- Mankowski, M.M., Morrell, J.J., 2000. Patterns Of Fungal Attach In Wood-Plastic Composites Following Exposure In A Soil Block Test, *Wood Fiber Science*, 32 (3) : 340-345.
- Manning, M. .J, Ascher, F. M., Mankowski, M. E. 2006. Wood-Plastic Composites and The Durability Dilemma: Observations From the Field, IRG/WP 06-40351, 37th IRG Conference, 18-22 June 2006, Tromsø, Norway.
- Manson, J.A., Sperling L.H. 1976. Polymer Blends and Composites. Plenum Pres, New York, 513s.
- Markarian, J.,2005. Wood-Plastic Composites: Current Trends in Materials and Processing. *Plastics, Additives and Compounding* 7 (5) : 20–26.
- Matthews, F.L., Rawlings, R.D., 1999. Composite Materials: Engineering and Science, Chapman and Hall, New York, 470s.
- Matuana, L.M., Heiden, P.A., 2004. Wood Composites, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 12 : 521- 546.
- McDonald, A.G., Fabiyi, J.S., Morrell, J.J., Freitag, C. 2009. Effect Of Wood Species On The Weathering And Soil Performance Of Wood Plastic Composites. In: Proceeding of the 10th International Conference on Wood and Biofiber-Plastic Composites, Madison, Wisconsin. s84–89.
- Mengeloglu, F., Karakus, K., 2008. Thermal Degradation, Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic Composites. *Sensors*, 8 : 500-519.
- Mengeloglu, F., Kurt, R., Gardner, D.J., O’Neil, S. 2007. Mechanical Properties of Extruded High Density Polyethylene and Polypropylene Wood Flour Decking Boards. *Iranian Polymer Journal*, 16 (7) : 477-487.
- Mishra, S., Naik, J.B., 2005. Mechanical Properties of Wood Polymer Composites Prepared from Agro-Waste and HDPE. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 44 : 511–522.
- Mo, X., Wang, D., Sun, X.S. 2005, Straw Based Biomass and Biocomposites. Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites (Editörler: Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T). CRC Press, Boca Raton, s473-496.
- Morreale, M., Scaffaro R., Maio, A., La Mantia, F.P., 2008. Effect of Adding Wood Flour to the Physical Properties of a Biodegradable Polymer. *Composites: Part A*, 39 : 503–513.

- Morrell, J.J. 2010. Occurrence of Preservative-Treated Wood in a Wood Recovery Center in Western Oregon. *Forest Products Journal*, 60 (1) : 23-26.
- Morrell, J.J., Stark, N.M., Pendleton, D.E., McDonald, A.G. 2010. Durability of Wood-Plastic Composites, 10th International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites and Cellulose Nanocomposites, Madison, Wisconsin, USA, s.71-75.
- Morris, P.I., Cooper, P. 1998. Recycled Plastic/Wood Composite Lumber Attacked By Fungi, *Forest Products Journal*, 48 (1) : 86-88.
- Müller, M., Gellerich, A., Militz, H., Krause A. 2013. Resistance of Modified Polyvinyl Chloride/Wood Flour Composites to Basidiomycetes. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71 : 199-204.
- Naumann, A., Seefeldt, H., Stephan, I., Braun, U., Noll, M., 2012. Material Resistance Of Flame Retarded Wood-Plastic Composites Against Fire And Fungal Decay, *Polymer Degradation and Stability*, 97 : 1189-1196.
- Özen, E., 2005. Zehirli Bitki Geofit Ekstraktları İle Ağaç Malzemenin Mantar Çürüklüklerine Karşı Korunmasına İlişkin Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 108s.
- Özmen, N., Çetin, N.S., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., Altuntaş, E. 2014. MDF Atıklarının Odun Plastik Kompozitlerin Üretiminde Değerlendirilmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15 : 65-71
- Pendelton, D.E., Hoffard, T.A., Adcock, T., Woodward, B., Wollcott, M.P. 2002. Durability of An Extruded HDPE/Wood Composite, *Forest Products Journal*. 52 (6) : 21-27.
- Pendleton D.E., Hoffard, T.A., Adcock, T., Woodward, B., Wolcott M.P., 2002. Durability of An Extruded HDPE/Wood Composite, *Forest Product Journal*, 52(6) : 21-27.
- Randriamanantena, T., Razafindramisa, F.L., Ramanantsizehena, G., Bernes, A., Lacabane, C. 2009. Thermal Behaviour of Three Woods of Madagascar By Thermogravimetric Analysis in Inert Atmosphere. 4th High-Energy Physics Conference in Madagascar Antanarivo, 21-28 August 2009, Madagascar.
- Rowell, R.M., 1983. Chemical Modification of Wood, Advantages and Disadvantages. *Forest Products Journal*. 6 (12) : 363-382.
- Rowell, R.M., 2006. Advances and Challenges of Wood Polymer Composites. Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 20–23 November 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Rowell, R.M., Sandi, A.R., Caulfield, D.F., Jacobson, R.E., 1997. The Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problem and Opportunities. Lignocellulosic Plastic Composites (Editörler: Leao, A.L., Carvalho, F.X., Frollini, E.) Brazil, s.23-51.
- Rowell, R.M., Young, R.A., Rowell, J.K., 1997. Paper and Composites from Agro – Based Resources, CRC Press, Inc., ISBN 1-56670-235-6, Florida, USA, 464s.
- Şahin, Y., 2000, Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 327s.
- San, P.K., Nee, L.A. ve Meng, H.C., 2008. Physical and Bending Properties of Injection Moulded Wood Plastic Composites Boards. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (5) : 13-19.

- Sanadi, A.R., Caufield, D.F., Jacobson, R.E. 1997. Agro-fiber Thermoplastic Composites. Paper and Composites from Agro-Based Resources (Editörler: Rowell, R.M., Young, R.A., Rowell J.K.). CRC Lewis Press Boca Raton, Florida, s.377-401.
- Sanadi, A.R., Walz, K., Wieloch, L., Jacobson, R.E., Caulfield, D.E., Rowell, R.M. 1995. Effect of Matrix Modification on Lignocellulosic Composite Properties. Woodfiber-Plastic Composites: Virgin and Recyled Wood Fiber and Polimer for Composites, Forest Products Society, Madison USA, s166-172.
- Schirp A., Wolcott M.P., 2006. Fungal Degradation of Wood-Plastic Composites and Evaluation Using Dynamic Mechanical Analysis, *Journal of Applied Polymer Science*, 99 : 3138–3146.
- Schirp, A., Ibach, R.E., Pendleton, D.E., Wolcott, M.P. 2008. Biological Degradation of Wood-Plastic Composites (WPC) and Strategies for Improving the Resistance of WPC against Biological Decay. Development of Commercial Wood Preservatives Efficacy, Environmental, and Health Issues. (Editörler: Schultz, T.P., Militz, H., Freeman, M.H., Goodell, B., Nicholas, D.D.) American Chemical Society, USA, s.480-507.
- Schirp, A., Wolcott, M.P., 2005. Influence of Fungal Decay and Moisture Absorbtion on Mechanical Properties of Extruded Wood Plastic Composites, *Wood and Fiber Science*, 37 (4) : 643-652.
- Selik, M. 1988. Odun Patolojisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 136s.
- Şen, S. 2001. Bitki Fenollerinin Odun Koruyucu Etkinliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Bartın, Temmuz, 300s.
- Silva Guzman, J.A., 2003. Development of an Accelerated Method for Assessing Decay of Wood Plastic Composites (WPCs). Ph.D. Dissertation submitted to Oregon State University.
- Silva, A., Gartner, B.L., Morrell, J.J. 2007. Towards The Development Of Accelerated Methods For Assessing The Durability Of Wood Plastic Composites, *Journal of Testing and Evaluation*, 35 (3) : 203-210.
- Simonsen, J., Freitag, C. M., Silva, A., Morrell, J.J. 2004. Wood/Plastic Ratio: Effect on Performance of Borate Biocides Against a Brown Rot Fungus. *Holzforschung*, 58: 205-208.
- Sivrikaya, H., Can A., 2014. Bazı odun çürüklük mantarlarına karşı bakır-azol ve su itici maddelerin performansı, Türkiye II. Orman Entomolojisi ve Patolojisi Sempozyumu, 7-9 Nisan 2014, Antalya. s. 431-435.
- Stark, N.M., Rowlands, R.E. 2003. Effects of Wood Fiber Characteristics On Mechanical Properties Of Wood/Polypropylene Composites. *Wood Fiber Science*, 35: 167-174.
- Süünaç, Ö.F. 2007. Odun Plastik Kompozitlerinin Üretimi, Özellikleri ve Kullanım Yerleri Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 90 s.
- Tankut, A.N., Bardak, T., Ulunam, M., Bardak, S., 2011. İleri Mühendislik Malzemelerinin Orman Endüstrisinde Kullanımı. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (19) : 90-99.

- Taşcıoğlu C., Yoshimura, T., 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.
- Taşcıoğlu, C., Tufan, M., Yalçın, M., Akçay, Ç., Uygur, İ., 2013. Emprenyeli Ağaç Malzemeden Üretilen Odun Plastik Kompozitlerin Bazı Özellikler, 1st International Symposium on Plastic and Rubber Technologies and Exhibition 29 - 31 May 2013, Ankara, Turkey.
- Taylor, A.M., Freitag, C.M., Morrell, J.J. 2004. Ability of Bleach and Other Biocide Treatments to Remove and Prevent Mold Growth on Douglas-Fir Lumber, *Forest Products Journal*, 54 (4) : 45-49.
- Tufan, M., Mengeloğlu, F. 2010. Odun Plastik Kompozitleri ve Ülkemizde Odun Plastik Kompozit Üretiminde Kullanılabilecek Hammaddeler Üzerine Genel Bir Değerlendirme, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Artvin. Cilt: IV, Sayfa: 1658-1664.
- URL1, <http://www.komwood.com.tr> (Erişim tarihi: Aralık, 2015).
- Verhey, S.A., Lacks, P.E. 2002. Wood Particle Size Effects The Decay Resistance of Wood Fiber/Thermoplastic Composites, *Forest Products Journal*, 52 (11/12) : 78-81.
- Verhey, S.A., Lacks, P.E., Richter, D.L. 2002. The Effect Of Composition On The Decay Resistance Of Model Wood Fiber-Thermoplastic Composites. The Sixth International Conference on Woodfiber-plastic Composites, The Forest Products Society, Madison, Wisconsin, s79-86.
- Vick, C.B. 1995. Coupling Agent Improves Durability of PRF Bonds to CCA-Treated Southern Pine, Composites & Manufactured Products, *Forest Product Journal*, 45(3) : 78-84.
- Wang, W., Morrell, J.J. 2004. Water Sorption Characteristics Of Two Wood-Plastic Composites, *Forest Product Journal*, 54 (12) : 209-212.
- Ward, I.M., Hadley, D.W. 1993. Mechanical Properties of Solid Polimers, John Wiley&Sons LTD, Chichester, England. 334s.
- Wei, L., McDonald, A.G., Freitag, C., 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.
- Wolcott, M.P., Englund, K., 1999. A Technology Review of Wood-plastic Composite. Proceeding of 33rd International Particleboard/ Composite Materials Symposium, Washington, USA, s.103-111.
- Yalçın H., Gürü M. 2002. Malzeme Bilgisi, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Yalınkılıç, M.K. 1990. Odun Zararlıları I. Bölüm. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, No: 39, Trabzon, 258s.
- Yamaguchi, H. 2003. Silicic Acid: Boric Acid Complex as Wood Preservatives. *Wood Science Technology*, 37: 287-297.
- Yang, H.S., Kim, H.J., Park, H.J., Lee, B.J., Hwang, T.S., 2007. Effect of Compatibilizing Agents on Rice-husk Flour Reinforced Polypropylene Composites. *Composite Structures*, 77: 45-55.

- Yildiz, S. 2007. Retention and Penetration Evaluation of Some Softwood Species Treated With Copper Azole. *Building and Environment*, 42 : 2305-2310.
- Zabel, R.A., Morrell, J.J., 1992, Wood Microbiology, Decay and Its Prevantion. Academic Press, Inc., San Diego, California. 476s.
- Zabihzadeh, S.M., 2010. Flexural Properties and Orthotropic Swelling Behavior of Bagasse/Thermoplastic Composites. *Bioresources*, 5 (2) : 650-660.
- Zakut, M., Zeybek, M.S., Borik Asitten Çinko Borat Üretimi, 11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 2-5 Eylül 2014, Eskişehir.
- Zhang, F., Endo, T., Qiu, W., Yang, L., Hirotsu, T., 2002. Preparation and Mechanical Properties of Composite of Fibrous Cellulose and Maleated Ppolyethylene, *Journal of Applied Polymer Science*, 84 : 1971-1980.

EKLER

EK-1. Biyolojik bozunurluk testleri sonrası kompozit ve odun örneklerinde oluşan ağırlık kayıpları (%)

<i>Coniophora puteana</i>												
Gruplar Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	S
1.ay	0,43 (0,18)	0,54 (0,11)	0,26 (0,14)	1,08 (0,54)	0,79 (0,11)	0,67 (0,13)	0,93 (0,08)	1,83 (0,39)	1,3 (0,2)	1,55 (0,55)	1,78 (0,19)	10,18 (0,408)
2.ay	0,65 (0,22)	0,82 (0,18)	0,72 (0,1)	2,05 (0,72)	1,41 (0,17)	1,24 (0,15)	2,49 (0,91)	2,59 (0,39)	2,11 (0,1)	2,61 (0,45)	2,28 (0,13)	23,55 (1,196)
3.ay	0,82 (0,12)	0,89 (0,12)	0,77 (0,17)	2,22 (0,47)	1,42 (0,3)	1,38 (0,14)	2,56 (0,57)	2,97 (0,29)	2,47 (0,14)	3,56 (0,41)	2,45 (0,34)	31,85 (0,572)
4.ay	1,45 (0,25)	1,01 (0,13)	0,99 (0,08)	2,82 (0,68)	1,7 (0,24)	1,58 (0,15)	5,88 (0,77)	3,51 (0,43)	2,76 (0,11)	3,96 (0,67)	2,84 (0,41)	37,82 (0,452)
<i>Postia placenta</i>												
Gruplar Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	S
1.ay	1,77 (0,28)	0,44 (0,22)	0,37 (0,24)	2,1 (0,96)	0,89 (0,43)	0,77 (0,18)	4,82 (0,65)	1,44 (0,27)	0,92 (0,68)	3,98 (0,86)	1,7 (0,13)	15,82 (8,622)
2.ay	2,62 (0,67)	0,78 (0,13)	0,81 (0,14)	4,74 (1,5)	0,96 (0,14)	1,05 (0,12)	6,47 (0,8)	2,04 (0,31)	1,84 (0,33)	6,37 (1)	1,96 (0,21)	32,96 (2,565)
3.ay	3,85 (0,84)	0,89 (0,06)	0,83 (0,07)	7,49 (0,95)	1,41 (0,1)	1,14 (0,11)	8,07 (2,8)	2,38 (0,27)	1,87 (0,42)	9,55 (0,47)	2,03 (0,14)	54,16 (0,863)
4.ay	5,36 (0,26)	1,12 (0,11)	0,85 (0,16)	7,58 (2,66)	1,72 (0,14)	1,56 (0,09)	12,1 (1,12)	2,42 (0,15)	2,65 (0,09)	11,6 (0,89)	2,71 (0,57)	56,58 (6,695)
<i>Trametes versicolor</i>												
Gruplar Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	S
1.ay	0,72 (0,51)	0,51 (0,12)	0,46 (0,12)	0,97 (0,15)	1,12 (0,28)	0,73 (0,16)	1,44 (0,15)	1,04 (0,29)	1,02 (0,09)	1,25 (0,12)	0,95 (0,12)	2,287 (0,482)
2.ay	0,8 (0,13)	0,85 (0,14)	0,68 (0,14)	1,32 (0,1)	1,28 (0,14)	1,22 (0,22)	2,39 (0,63)	1,95 (0,28)	1,65 (0,14)	1,87 (0,1)	1,2 (0,46)	4,046 (0,25)
3.ay	0,99 (0,12)	0,97 (0,12)	0,8 (0,12)	1,58 (0,08)	1,52 (0,11)	1,31 (0,16)	2,44 (0,25)	2,25 (0,19)	2,12 (0,36)	2,07 (0,18)	1,77 (0,14)	6,906 (0,694)
4.ay	1,29 (0,14)	0,99 (0,07)	1,2 (0,15)	2,45 (0,13)	1,61 (0,19)	1,33 (0,1)	3,65 (0,35)	2,29 (0,53)	2,2 (0,09)	2,58 (0,26)	1,95 (0,34)	7,766 (0,415)

EK-2. OPK örneklerinin mekanik test sonucu değerleri

Örnek Grupları	Çekme Direnci (MPa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Eğilme Direnci (MPa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Şok Direnci (kJ/m²)
1	13,89 (0,59)	629,72 (17,14)	30,85 (1,16)	1918,58 (265,33)	3,73 (0,33)
2	14,68 (0,66)	642,73 (18,96)	31,89 (1,02)	1888,12 (101,48)	3,35 (0,20)
3	18,84 (0,17)	911,34 (46,10)	36,62 (3,67)	2332,67 (255,31)	3,77 (0,35)
4	12,87 (0,47)	743,12 (52,27)	27,12 (1,38)	1959,85 (75,76)	2,84 (0,17)
5	11,20 (0,76)	726,92 (7,48)	26,56 (1,58)	2158,78 (106,12)	2,82 (0,35)
6	13,83 (0,83)	915,30 (28,12)	31,21 (1,82)	2542,98 (88,51)	2,80 (0,30)
7	9,43 (0,28)	791,71 (29,23)	20,75 (1,51)	2140,75 (80,75)	2,31 (0,11)
8	9,91 (0,40)	830,78 (33,18)	22,61 (0,76)	2174,24 (117,72)	2,21 (0,07)
9	13,54 (0,80)	1047,52 (34,95)	29,90 (0,73)	3185,21 (94,00)	2,33 (0,27)
10	18,16 (0,79)	1083,25 (37,23)	35,24 (2,81)	3134,96 (98,06)	2,71 (0,17)
11	8,86 (0,42)	872,57 (40,69)	20,73 (0,55)	2233,20 (114,40)	2,04 (0,10)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Esra Yılmaz
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1991 Fethiye
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0505 415 9529
e-posta : esraylmz9113@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	K.S.Ü. Orman Endüstri Müh.	2013
Lise	Fethiye Lisesi	2009

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2012	Panel Lamine Ahşap, Antalya	Stajyer Mühendis
2012	Tektaş Ahşap Emprenye, Adana	Stajyer Mühendis
2009	Panel Lamine Ahşap, Antalya	Yardımcı

Yabancı Dil

Yayınlar

Yılmaz, E., Karaoğul, E., Narlıoğlu, N., Altuntaş, E., Alma, M.H. (2014) Köyceğiz Yöresinde Elde Edilen Sığla Yağının Kimyasal Karakterizasyonu, III. Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu, 8-10 Mayıs 2014, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.

Hobiler

Film, Müzik, Yürüyüş