



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



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ODUN PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELERİN  
BİYOLOJİK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

**Sema AYSAL**

**Orman Endüstri Mühendisliği**

**Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi**

**Danışman**

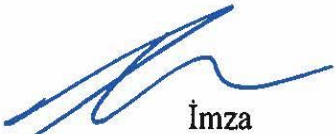
**Prof. Dr. Saip Nami KARTAL**

**Aralık, 2014**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 22/12/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Endütri Mühendisliği Anabilim Dalı Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi:**

  
İmza  
Prof. Dr. Saip Nami KARTAL (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Orman Fakültesi

  
İmza  
Doç. Dr. Nural YILGÖR  
İstanbul Üniversitesi  
Orman Fakültesi

  
İmza  
Doç. Dr. A. Dilek DOĞU  
İstanbul Üniversitesi  
Orman Fakültesi

  
İmza  
Doç. Dr. Coşkun KÖSE  
İstanbul Üniversitesi  
Orman Fakültesi

  
İmza  
Yrd. Doç. Dr. Günay ÖZBAY  
Karabük Üniversitesi  
Orman Fakültesi

## ÖNSÖZ

İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Programı'nda gerçekleştirmiş olduğum, dünyada kullanımı her geçen gün artan odun plastik kompozit malzemelerin rutubet karşısındaki davranışlarını ve farklı yaşlandırma metotları kullanılarak biyolojik dayanıklılıklarının incelenmesini kapsayan yüksek lisans tez çalışmamda ve yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini esirgemeyen, her konudaki üstün bilgi ve tecrübesine güvendiğim Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm Başkanı ve Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı Başkanı değerli hocam Sayın Prof. Dr. Saip Nami KARTAL'a teşekkür ederim.

Özellikle laboratuvar çalışmalarında ve her konuda yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Coşkun KÖSE ve Arş. Gör. Evren TERZİ'ye teşekkür ederim.

Japonya, RISH Kyoto Üniversitesi'nde gerçekleştirdiğimiz çalışmalarda göstermiş oldukları yardım ve desteklerinden ötürü merhum Prof. Dr. Kunio TSUNODA ve Prof. Dr. Tsuyoshi YOSHIMURA'ya, tüm ilgi ve alakalarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarında kullanmış olduğum malzemelerin temin edilmesinde yardımcı olan Japonya'da MISAWA Homes Co. Ltd., Türkiye'de ise Alsan Elektrik Plastik San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne göstermiş oldukları ilgi ve yardımlardan ötürü teşekkür ederim.

Ayrıca böyle güzel günlere erişebilmeme sebep olan Merhum Annem Sabriye AYSAL, Babam Osman AYSAL ve kardeşlerime sonsuz şükranlarımı sunarım.

Aralık, 2014

Sema AYSAL

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

|                                                                                                 |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                                      | i    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                               | ii   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                              | v    |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                             | viii |
| SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....                                                                 | ix   |
| ÖZET.....                                                                                       | x    |
| SUMMARY .....                                                                                   | xiv  |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                   | 1    |
| 2. GENEL KISIMLAR .....                                                                         | 5    |
| 2.1. ODUN.....                                                                                  | 5    |
| 2.1.1. Odunun Kimyasal Yapısı .....                                                             | 5    |
| 2.1.1.1. Selüloz ve Yapısı .....                                                                | 6    |
| 2.1.1.2. Hemiselülozlar (Polyoslar) ve Yapısı .....                                             | 7    |
| 2.1.1.3. Lignin ve Yapısı .....                                                                 | 7    |
| 2.1.1.4. Ekstraktifler ve Yapısı.....                                                           | 8    |
| 2.2. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİ.....                                                             | 8    |
| 2.2.1. Odun Plastik Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Odun ve Odun Esaslı Materyaller..... | 8    |
| 2.2.1.1. Partikül Büyüklüğü .....                                                               | 9    |
| 2.2.2. Odun Plastik Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Termoplastik Türleri.....            | 10   |
| 2.2.2.1. Polietilen.....                                                                        | 10   |
| 2.2.2.2. Polipropilen .....                                                                     | 11   |
| 2.2.2.3. Polivinil Klorür (PVC).....                                                            | 12   |
| 2.2.3. Katkı Maddeleri ve Uyumlaştırıcılar (Coupling Agents).....                               | 13   |
| 2.2.4. Koruyucu Maddeler (Çinko Borat) .....                                                    | 16   |
| 2.2.5. Odun-Polimer Etkileşimi .....                                                            | 17   |
| 2.2.6. Odun Plastik Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri .....                                    | 18   |
| 2.2.6.1. Ekstrüzyon Metodu .....                                                                | 19   |
| 2.2.6.2. Enjeksiyon Metodu.....                                                                 | 19   |
| 2.2.6.3. Basınçla Kalıplama Metodu .....                                                        | 20   |

|           |                                                                                                                                                       |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.7.    | Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Su Absorbsiyonu .....                                                                                              | 20        |
| 2.2.8.    | Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları .....                                                                                            | 21        |
| 2.3.      | ODUN PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELERİN BİYOLOJİK PERFORMANS ÖZELLİKLERİ .....                                                                             | 24        |
| 2.3.1.    | Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Biyolojik Performansını Etkileyen Faktörler .....                                                                  | 24        |
| 2.3.1.1.  | <i>Ağaç Türü</i> .....                                                                                                                                | 25        |
| 2.3.1.2.  | <i>Polimer Türü</i> .....                                                                                                                             | 26        |
| 2.3.1.3.  | <i>Odun Partikül Büyüklüğü</i> .....                                                                                                                  | 26        |
| 2.3.1.4.  | <i>Odun/Plastik Katılım Oranı</i> .....                                                                                                               | 27        |
| 2.3.1.5.  | <i>Odun/Polimer Etkileşimi</i> .....                                                                                                                  | 27        |
| 2.3.1.6.  | <i>Organizma Türleri</i> .....                                                                                                                        | 28        |
| 2.3.1.7.  | <i>Odun-Plastik Kompoziti Üretim Metodu</i> .....                                                                                                     | 28        |
| 2.3.2.    | Odun Plastik Kompozit Malzemelerde Rutubet ve Biyolojik Performans İlişkisi .....                                                                     | 29        |
| 2.3.3.    | Odun Plastik Kompozit Malzemeler için Biyolojik Performans Ölçme Standart Test Metotları .....                                                        | 30        |
| 2.3.3.1.  | <i>Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Test Edilmesinde Karşılaşılan Zorluklar</i> .....                                                               | 30        |
| 2.3.3.2.  | <i>Odun için Kullanılan Standart Test Metotları</i> .....                                                                                             | 30        |
| 2.3.3.3.  | <i>Odun Plastik Kompozit Malzemeler İçin Geliştirilen Test Metotları</i> .....                                                                        | 33        |
| <b>3.</b> | <b>MALZEME VE YÖNTEM .....</b>                                                                                                                        | <b>35</b> |
| 3.1.      | ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİ VE ODUN ÖRNEKLERİ .....                                                                                                     | 35        |
| 3.2.      | TEST MANTARLARI .....                                                                                                                                 | 36        |
| 3.2.1.    | <i>Tyromyces (Fomitopsis) palustris</i> türü.....                                                                                                     | 36        |
| 3.2.2.    | <i>Pycnopus coccineus</i> türü .....                                                                                                                  | 37        |
| 3.2.3.    | <i>Coriolus (Trametes) versicolor</i> türü .....                                                                                                      | 38        |
| 3.2.4.    | <i>Gloeophyllum trabeum</i> türü .....                                                                                                                | 39        |
| 3.3.      | BİYOLOJİK PERFORMANS TESTLERİ .....                                                                                                                   | 40        |
| 3.3.1.    | JIS-K-1571 Standart Test Metodunun Modifiye Edilmesiyle Odun Polipropilen Kompozitlerin Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi .....                | 40        |
| 3.3.2.    | Suda Bekleyen Odun Polipropilen Kompozitlerinin Petri Kabı Metodu ile Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi .....                                  | 42        |
| 3.3.3.    | Suda Bekleyen Odun Polipropilen Kompozitlerinin AWPA E10-12 Toprak Blok (Soil-Block) Test Metoduna ile Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi ..... | 45        |

|                                                                                                                                                                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.4. Odun Polietilen Kompozit Örneklerinin Hızlı Yaşlandırma (70°C sıcak su içerisinde 5 gün bekletme) Metodu ile Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi .....                                                           | 49         |
| 3.3.5. Odun Polietilen Kompozit Örneklerinin Hızlandırılmış Yaşlandırılması ( 6 Aşamalı Yaşlandırma: Kaynatma – Buharlama – Dondurma – Kurutma – Buharlama - Kurutma) Metodu ile Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi... | 50         |
| 3.4. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME.....                                                                                                                                                                                        | 52         |
| <b>4. BULGULAR .....</b>                                                                                                                                                                                                     | <b>53</b>  |
| 4.1. JIS K STANDART METODU TEST SONUÇLARI .....                                                                                                                                                                              | 53         |
| 4.2. PETRİ KABI METODU TEST SONUÇLARI.....                                                                                                                                                                                   | 62         |
| 4.3. AWP A E10-12 STANDART METODU TEST SONUÇLARI.....                                                                                                                                                                        | 76         |
| 4.4. HIZLI YAŞLANDIRMA (6 AŞAMALI YAŞLANDIRMA: KAYNATMA-BUHARLAMA-KURUTMA-DONDURMA-BUHARLAMA-KURUTMA) METODU TEST SONUÇLARI .....                                                                                            | 83         |
| 4.5. HIZLI YAŞLANDIRMA (70 °C SICAKLIKTA 5 GÜN) BEKLETME METODU TEST SONUÇLARI .....                                                                                                                                         | 97         |
| <b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>                                                                                                                                                                                            | <b>103</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                                                                                                                                                                       | <b>116</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                                                                                                                                         | <b>124</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Odun hücre çeperi bileşenleri (Anonim, 2014a). ....                                                           | 6  |
| Şekil 2.2: Selülozun Kimyasal Yapısı (Moore, R. ve diğ., 1998). ....                                                     | 7  |
| Şekil 2.3: Hemiselülozların yapı taşları (Anonim, 2014b). ....                                                           | 7  |
| Şekil 2.4: Ligninin yapı taşları (Savage Group-University of Michigan, 2014). ....                                       | 8  |
| Şekil 2.5: Polipropilen Üretim Şeması (Anonim, 2014d). ....                                                              | 11 |
| Şekil 2.6: Polivinil klorür Üretim Şeması (Anonim, 2014d). ....                                                          | 12 |
| Şekil 2.7: Akronanitril Bütadien Stiren Üretim Şeması (Anonim, 2014c). ....                                              | 13 |
| Şekil 2.8: MAPP'ın lignoselülozik yüzeyde hidroksil grubu ile reaksiyonu (Rowell, 2006; Rowell ve diğ., 1997). ....      | 15 |
| Şekil 2.9: Erimiş polipropilenin, MAPP/Lignoselülozik madde ile ağ oluşturma (Rowell, 2006). ....                        | 15 |
| Şekil 2.10: Farklı üretim şekillerine göre odun plastik kompozit malzemeler (Anonim, 2014d). ....                        | 19 |
| Şekil 2.11: Odun plastik kompozit malzemenin yer döşemesi olarak kullanımı (Anonim, 2014g). ....                         | 22 |
| Şekil 2.12: Odun plastik kompozit malzemenin su ile temas halindeki alanlarda kullanımı (Anonim, 2014h). ....            | 23 |
| Şekil 2.13: Odun plastik kompozit malzemelerin dış mekan uygulamalarında kullanımı (Senco Holzfachhandel, 2014). ....    | 24 |
| Şekil 3.1: Odun-PE kompoziti üretiminde kullanılan polietilen granülleri ve odun unu. ....                               | 36 |
| Şekil 3.2: <i>Schizophyllum commune</i> (Anonim, 2010). ....                                                             | 37 |
| Şekil 3.3: <i>Pycnoporus coccineus</i> (Lepp, 2013; Manning ve diğ, 2006, Anonim, 2014g). ....                           | 38 |
| Şekil 3.4: <i>Coriolus versicolor</i> (Anonim, 2012). ....                                                               | 39 |
| Şekil 3.5: Şişelere konulan örneklerde mantar gelişimi. ....                                                             | 42 |
| Şekil 3.6: Su içerisinde bekletilen örnekler. ....                                                                       | 43 |
| Şekil 3.7: Malt agar besi ortamının hazırlanması. ....                                                                   | 44 |
| Şekil 3.8: Mantarların malt agar ekstraktına aşılma ve hazırlanan kültürlerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi. .... | 45 |

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.9:</b> Deneylerde kullanılan steril kabin ve sterilizatör (otoklav). ....                                                                    | 47 |
| <b>Şekil 3.10:</b> Suda bekletilen odun-PP kompozit örnekleri. ....                                                                                     | 48 |
| <b>Şekil 4.1:</b> <i>S. commune</i> mantarının NBRC4929 izolasyonunun sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                 | 57 |
| <b>Şekil 4.2:</b> <i>S. commune</i> mantarının NBRC30749 izolasyonunun sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                | 57 |
| <b>Şekil 4.3:</b> <i>S. commune</i> mantarının NBRC6504 izolasyonunun sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                 | 58 |
| <b>Şekil 4.4:</b> <i>P. coccineus</i> mantarının sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                                      | 58 |
| <b>Şekil 4.5:</b> <i>T. palustris</i> mantarının sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                                      | 59 |
| <b>Şekil 4.6:</b> Farklı odun/PP oranlarındaki örnek gruplarında test sonucunda oluşan ağırlık kayıpları. ....                                          | 59 |
| <b>Şekil 4.7:</b> Farklı odun/PP oranlarındaki örnek gruplarında test sonucunda oluşan ağırlık kayıpları. ....                                          | 60 |
| <b>Şekil 4.8:</b> Farklı odun/PP oranlarındaki örnek gruplarında test sonucunda oluşan ağırlık kayıpları. ....                                          | 61 |
| <b>Şekil 4.9:</b> %50 oranında odun içeren örneklerdeki partikül boyutu ve mantar türüne göre oluşan ağırlık kaybı. ....                                | 61 |
| <b>Şekil 4.10:</b> %70 Oranında odun içeren örneklerdeki partikül boyutu ve mantar türüne göre oluşan ağırlık kaybı. ....                               | 62 |
| <b>Şekil 4.11:</b> Odun : PP oranı 70 : 30 olan odun PP kompozit örneklerinin suda bekletilmesi sonucu oluşan kalınlığına şişme değerleri. ....         | 69 |
| <b>Şekil 4.12:</b> Odun : PP oranı 50 : 50 olan odun PP kompozit örneklerinin suda bekletilmesi sonucu oluşan kalınlığına şişme değerleri. ....         | 69 |
| <b>Şekil 4.13:</b> <i>P. coccineus</i> mantarının sebep olduğu ağırlık rutubet ilişkisi. ....                                                           | 71 |
| <b>Şekil 4.14:</b> <i>T. palustris</i> mantarının sebep olduğu ağırlık rutubet ilişkisi. ....                                                           | 71 |
| <b>Şekil 4.15:</b> <i>P. coccineus</i> mantarının suda bekletilmiş odun plastik kompozit örneklerinde sebep olduğu ağırlık rutubet ilişkisi. ....       | 72 |
| <b>Şekil 4.16:</b> <i>T. palustris</i> mantarının suda bekletilmiş odun plastik kompozit örneklerinde sebep olduğu ağırlık rutubet ilişkisi. ....       | 72 |
| <b>Şekil 4.17:</b> Suda bekletilmiş ve bekletilmemiş örneklerdeki ağırlık kaybının odun katılım oranı ve mantar türü bakımından değerlendirilmesi. .... | 73 |
| <b>Şekil 4.18:</b> Suda bekletilmiş ve bekletilmemiş örneklerin partikül boyutu ve mantar türü bakımından değerlendirilmesi. ....                       | 74 |
| <b>Şekil 4.19:</b> Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış odun PP kompozitlerinde ağırlık kaybı. ....                                                       | 75 |

|                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.20:</b> Suda bekletilerek yaşlandırılmış ve toprak blok testine maruz bırakılmış odun-PP kompozit örneklerinde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                | 79  |
| <b>Şekil 4.21:</b> Suda bekletilen ve toprak blok testlerine maruz bırakılan test örneklerindeki ağırlık kayıplarının odun/polimer oranı ve mantar türü bakımından karşılaştırılması. ....    | 80  |
| <b>Şekil 4.22:</b> Suda bekletilen ve toprak blok testlerine maruz bırakılan test örneklerindeki ağırlık kayıplarının partikül büyüklükleri ve mantar türü bakımından karşılaştırılması. .... | 82  |
| <b>Şekil 4.23:</b> <i>S. commune</i> mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                                                 | 90  |
| <b>Şekil 4.24:</b> <i>S. commune</i> mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmamış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                                               | 90  |
| <b>Şekil 4.25:</b> <i>S. commune</i> mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış ve çinko borat içeren örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                           | 91  |
| <b>Şekil 4.26:</b> <i>S. commune</i> mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmamış ve çinko borat içeren örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                         | 92  |
| <b>Şekil 4.27:</b> <i>T. palustris</i> mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                                               | 93  |
| <b>Şekil 4.28:</b> <i>T. palustris</i> mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmamış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                                             | 93  |
| <b>Şekil 4.29:</b> <i>T. palustris</i> mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış ve çinko borat içeren örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                         | 94  |
| <b>Şekil 4.30:</b> <i>T. palustris</i> mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmamış ve çinko borat içeren örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi. ....                                       | 94  |
| <b>Şekil 4.31:</b> İnkübasyon esnasında örneklerde meydana gelen rutubet değişimleri. ....                                                                                                    | 95  |
| <b>Şekil 4.32:</b> İnkübasyon sonucu oluşan haftalık ağırlık kayıpları. ....                                                                                                                  | 96  |
| <b>Şekil 4.33:</b> Hızlı yaşlandırmaya tabi tutulan örneklerdeki kütle kayıpları. ....                                                                                                        | 101 |
| <b>Şekil 4.34:</b> Hızlı yaşlandırma işlemi uygulanan örneklerde yaşlandırma işleminin etkisi. ....                                                                                           | 102 |

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 3.1 :</b> Üretilmiş olan odun-polipropilen örnek grupları.....                                                                                                                   | 35  |
| <b>Tablo 3.2:</b> Üretilmiş olan odun-polietilen örnek grupları .....                                                                                                                     | 36  |
| <b>Tablo 4.1:</b> Biyolojik performans test sonuçları.....                                                                                                                                | 55  |
| <b>Tablo 4.2:</b> Tüm örnek ağırlığı ve sadece odun içeriği katılması ile test sonrası örneklerde oluşan ağırlık kayıpları.....                                                           | 55  |
| <b>Tablo 4.3:</b> Biyolojik performansa ait istatistiksel değerlendirmeler.....                                                                                                           | 56  |
| <b>Tablo 4.4:</b> Suda bekletilerek yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış kompozit örneklerinde yaşlandırma sonucunda oluşan rutubet miktarı, test sonucu oluşan ağırlık kayıpları.....      | 65  |
| <b>Tablo 4.5:</b> Suda bekletmenin kompozit gruplarında ağırlık kayıpları üzerine etkisinin istatistiksel değerlendirmesi.....                                                            | 66  |
| <b>Tablo 4.6:</b> Suda bekletmenin kompozit gruplarında test sonrası rutubet miktarı üzerine etkisinin istatistiksel değerlendirmesi.....                                                 | 67  |
| <b>Tablo 4.7 :</b> Yaşlandırma işleminin ağırlık kaybı ve rutubet miktarı üzerine etkisi.....                                                                                             | 68  |
| <b>Tablo 4.8:</b> Suda bekletilen ve toprak blok testlerine maruz bırakılan test örneklerindeki ağırlık kayıpları ve rutubet içerikleri.....                                              | 77  |
| <b>Tablo 4.9:</b> Suda bekletilen ve toprak blok testlerine maruz bırakılan test örneklerindeki ağırlık kayıpları ve rutubet içeriklerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....    | 78  |
| <b>Tablo 4.10:</b> Hızlandırılmış olarak yaşlandırılmış örneklerdeki rutubet değişimi ve <i>S. commune</i> mantarına maruz bırakıldıktan sonraki elde edilen ağırlık kayıpları.....       | 85  |
| <b>Tablo 4.11:</b> Hızlandırılmış olarak yaşlandırılmış örneklerdeki rutubet değişimi ve <i>T. palustris</i> mantarına maruz bırakıldıktan sonraki elde edilen ağırlık kayıpları.....     | 86  |
| <b>Tablo 4.12:</b> <i>S. commune</i> mantarına maruz bırakılan odun-PE kompozitlerinde oluşan ağırlık kaybı ve rutubet miktarı değerlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.....   | 87  |
| <b>Tablo 4.13:</b> <i>T. palustris</i> mantarına maruz bırakılan odun-PE kompozitlerinde oluşan ağırlık kaybı ve rutubet miktarı değerlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi..... | 88  |
| <b>Tablo 4.14:</b> Yaşlandırma işleminin ağırlık kaybı ve rutubet miktarı üzerine etkisi.....                                                                                             | 89  |
| <b>Tablo 4.15:</b> Hızlı yaşlandırmaya tabi tutulan örneklerdeki rutubet içeriği ve ağırlık kayıpları.....                                                                                | 99  |
| <b>Tablo 4.16:</b> Sıcak su içerisinde bekletilerek yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş örneklerde oluşan ağırlık kaybı ve rutubet miktarı değerleri.....                                  | 100 |
| <b>Tablo 4.17:</b> Yaşlandırma işleminin ağırlık ve rutubet miktarı üzerine etkisi.....                                                                                                   | 101 |

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Simgeler | Açıklama |
|----------|----------|
|----------|----------|

|   |          |
|---|----------|
| % | : Yüzde  |
| ° | : Derece |

| Kisaltmalar | Açıklama |
|-------------|----------|
|-------------|----------|

|              |                                                                          |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABS</b>   | : Akronanitril Bütadien Stiren                                           |
| <b>ASTM</b>  | : Amerikan Materyal Test Derneği (American Society for Testing Material) |
| <b>AWPA</b>  | : Amerikan Odun Koruma Kurumu (American Wood Protection Association)     |
| <b>BS EN</b> | : İngiliz Standartları (British Standarts)                               |
| <b>dk.</b>   | : Dakika                                                                 |
| <b>DP</b>    | : Polimerizasyon Derecesi                                                |
| <b>DP</b>    | : Polimerizasyon derecesi                                                |
| <b>g</b>     | : Gram                                                                   |
| <b>HDPE</b>  | : Yüksek yoğunluklu polietilen (High Density Polyethylene)               |
| <b>JIS</b>   | : Japon Endüstriyel Standartı (Japanese Industrial Standard)             |
| <b>kPa</b>   | : Kilo Pascal                                                            |
| <b>MAPE</b>  | : Maleik Anhidrit Grafted Polietilen                                     |
| <b>MAPP</b>  | : Maleik Anhidrit Grafted Polipropilen                                   |
| <b>MDF</b>   | : Orta Yoğunluklu Lif levha (Medium Density Fiberboard)                  |
| <b>mL</b>    | : Mililitre                                                              |
| <b>OPK</b>   | : Odun Plastik Kompoziti                                                 |
| <b>PE</b>    | : Polietilen                                                             |
| <b>PP</b>    | : Polipropilen                                                           |
| <b>PVC</b>   | : Polivinil Klorür                                                       |
| <b>rpm</b>   | : Dakikadaki Devir Sayısı                                                |
| <b>UV</b>    | : Ultraviole                                                             |
| <b>WPC</b>   | : Wood Plastic Composites                                                |

## **ÖZET**

### **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

#### **ODUN PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELERİN BİYOLOJİK PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

**Sema AYSAL**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Prof. Dr. S. Nami KARTAL**

Odun plastik kompozit (OPK) malzemeye talebin artması ile bu malzemelerin laboratuvar ve alan testlerindeki biyolojik performansı önem kazanmıştır. Masif ahşap ile karşılaştırıldığında, odun plastik kompozit malzeme bileşiminde bulunan odun partiküllerinin matriks içerisinde plastik ile sarılmasının malzemeyi daha dayanıklı hale getirdiği düşünülmekte ve çürüklük oranı masif ahşapta olduğundan daha düşük olmaktadır.

Mantar için besin kaynağı olan odun, odun esaslı malzemelerde mantarın gelişiminde ve bunun sonucu olarak da çürüme prosesinde önemli bir rol oynamaktadır. Odun ve odun esaslı malzemelerde rutubetin (suyun) varlığı mantarların sebep olduğu çürüklük için hayati önem taşımaktadır. Çünkü odun çürüten mantarlar odunda çürüklük prosesini başlatabilmek için belirli bir miktarda suya ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle OPK malzemenin biyolojik performansı ile rutubet miktarı arasındaki ilişki son yıllarda önemli bir konu haline gelmiştir. Plastiğin odun partiküllerini sarması rutubet alışverişini ve mantar çürüklüğünü engellediği düşünülse dahi, kullanım yerinde OPK'da mantarın sebep olduğu çürüklük ve renklenme mümkün olabilmektedir. Dış mekân koşullarında, OPK'lar su ve biyolojik saldırılara maruz kalırlar. Bunun yanında OPK'nın dış mekân koşullarında kullanılması ultraviyole radyasyonu, iklimsel yaşlanma, oksidasyon, termal, kimyasal ve mekaniksel bozunma, yüzey bozunması ve erozyonu ile sonuçlanmaktadır. OPK'larda rutubet alışverişi odundan daha yavaş olur ancak yeterli seviyedeki su malzemede oluşabilecek mantar kaynaklı çürüklüğü destekler. %19 ya da daha az rutubet seviyelerine sahip odunda mantar gelişimi genellikle görülmemektedir. OPK'larda çürüklük prosesi boyunca düşük ağırlık kayıplarının oluşması kompozitin düşük rutubet alışverişi ile ilgili olmaktadır. OPK'larda rutubet alımı nispeten yavaş olsa da, kompozitin dış kısımlarındaki rutubet seviyeleri mantar gelişimi için uygun olabilmektedir. OPK'lar

uzun süre yağmur ve suda bekletildikten sonra en üst ve ince katman dışında nadiren %19 üzerindeki rutubet seviyesine ulaşmaktadır.

Toprak üstü uygulamalarında kullanılan OPK'lar mantarlar tarafından oluşturulan çürüklüğe karşı uygun olabilmektedir. Bazı çalışmalar esmer çürüklük mantarı *Gloeophyllum striatum* ve beyaz çürüklük mantarı *Pycnoporus sanguineus*'in Florida'da OPK yer döşemelerinde 4 yıldan sonra geliştiğini ve Hawaii'de sırasıyla 18 ve 30 aylık işlem süresinin sonunda OPK üzerinde *Schizophyllum commune* ve *Pycnoporus sanguineus* mantarlarının üreme organlarının bulunduğunu göstermektedir.

Günümüzde hem laboratuvar hem de alan testlerinde OPK'ların biyolojik performanslarını değerlendirmek için her hangi bir standart bulunmadığından OPK'ların dayanıklılığı toprak blok (soil-block) ve agar blok (agar-block) testi gibi masif ahşap için geliştirilmiş olan standart testler ile değerlendirilmektedir. Kuzey Amerika'da kullanılan laboratuvar mantar çürüklük testleri Amerikan Odun Koruma Kuruluşu (AWPA)'nın E10 standardı ya da Amerikan Test ve Materyal Derneği (ASTM)'nin D1413 ya da D2017 standart toprak blok testlerine uygun olarak gerçekleştirilirken, agar testleri de OPK'ların biyolojik performansını belirlemek için önerilmektedir. Mikro organizmaların masif ahşaba arız olabilmeleri için genellikle yüksek rutubet seviyelerine (>%30) ihtiyaç duymaktadır. Ancak OPK'ların düşük oranlardaki rutubet absorpsiyonu sebebiyle kullanılmakta olan bu metotların hiçbirisi yeterli ağırlık kaybı ile sonuçlanmaz. AWWA, son olarak AWWA E10-12 Standart testinde örneklerin rutubet içeriklerini arttırmak amacıyla odun plastik kompozitinin çürüklük testinden önce oda sıcaklığında 21 gün ya da 70°C su içerisinde 5 gün bekletmeyi önermiştir. Su içerisinde bekletilmeyen OPK örneklerinde düşük rutubet içeriğinden dolayı mantarların sebep olduğu yeterli ağırlık kaybı meydana gelmemektedir.

Bu yüksek lisans tezinin amacı farklı kombinasyonlarda üretilmiş olan bazı OPK'ların biyolojik dayanımı ve bu malzemelerin biyolojik dayanımı üzerinde partikül boyutu, partikül içeriği, ve üretim parametrelerinin etkileri incelenmesidir. Odun plastik kompozitleri iki farklı plastik materyal kullanılarak üretilmiştir: Polietilen (PE) ve Polipropilen (PP). Odun-PP kompozitleri iki farklı partikül içeriğine (%50 ve %70) ve 3 farklı partikül boyutuna (30, 60 ve 100 mesh) sahiptir. Bu kompozitlerin üretiminde uyumlaştırıcı kullanılmamıştır. Odun-PE kompozit örnekleri ise %50 odun, %49 PE ve %1 uyumlaştırıcı (coupling agent) içeren ve %50 odun, %44 PE, %5 çinko borat ve %1 uyumlaştırıcı içeren ticari yer döşemelerinden elde edilmiştir.

İlk olarak, Japon standardı JIS K 1571 standardı modifiye edilerek gerçekleştirilen testte standartta belirtilen kuvars kumu yerine, inkübasyon süresince örneklerin rutubet absorpsiyonunu yükseltmek ve böylece ağırlık kayıplarını arttırmak için toprak kullanılmış ve besleme levhası olarak da odun yongalarının eklenerek OPK örneklerinin biyolojik performansları değerlendirilmiştir.

Tezin diğer aşamalarında, test öncesinde odun plastik kompozit örneklerinin su absorpsiyonunu yükseltmek ve böylece örneklerde ağırlık kayıplarını arttırmak için bazı yaşlandırma ve rutubetlendirme işlemleri yapılmıştır. Bunlar arasında OPK örneklerinin su içerisinde bekletildiği (50 gün), hızlandırılmış yaşlandırma işlemine maruz bırakıldığı (70°C sıcak su içerisinde 5 gün bekletme), 6 aşamalı yaşlandırma işlemine (kaynatma, buharlama, dondurma, kurutma, buharlama ve kurutma) maruz bırakıldığı ve ardından oda koşullarında su içerisinde 4 ay bekletildiği çeşitli yaşlandırma ve rutubeti artırma

metotları bulunmaktadır. Yapılan yaşlandırma ve rutubetlendirme işlemlerinin ardından çeşitli biyolojik dayanım testleri gerçekleştirilmiş (toprak blok ve petri kabı agar metodu ile) ve ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Böylece rutubet ve yaşlandırma işlemlerinin odunda mantar sebebiyle gerçekleşen ağırlık kaybı oranlarını nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Test mantarı olarak *Tyromyces (Fomitopsis) palustris*, *Schizophyllum commune*, *Pycnoporus coccineus*, *Coriolus versicolor* ve *Gloeophyllum trabeum* türleri kullanılmıştır.

PP içeren odun plastik kompozitler için, yüksek partikül içeriği ve küçük partikül boyutuna sahip kompozit örneklerinin modifiye edilerek yararlanılan JIS-K1571 metodunun kullanıldığı çürüklük dayanım testinde çoğu kez ağırlık kayıplarının arttığı görülmüştür. Beklendiği üzere, yüksek partikül içeriğine sahip örneklerde düşük partikül içeriğine sahip örneklerdekinden daha fazla su absorpsiyonu görülmüştür. Diğer taraftan partikül boyutu örneklerdeki rutubet içeriği üzerinde belirgin olmayan bir etki göstermiştir.

Su içerisinde bekletilerek kondisyonlanan odun-PP kompozitleri AWWA E10-12 standart test metoduna uygun olarak toprak blok (soil-block) testi kullanılarak esmer ve beyaz çürüklük mantarları ile inkübe edilmiştir. Ön kondisyonlamadan sonra, örneklerin rutubet içerikleri %17 ile %27 arasında değişmiştir. *P. coccineus* mantarı ile karşılaştırıldığında *T. palustris* mantarının daha fazla ağırlık kaybı yaptığı görülmüştür.

AWWA tarafından modifiye edilen AWWA E10-12 standardına göre, test öncesinde örnekler 70°C sıcak su içerisinde 5 gün bekletilmiştir. Böylece suda bekletilen ve ardından mantar etkisine bırakılan örneklerin rutubet içerikleri yaklaşık olarak %900 oranında, mantarın sebep olduğu ağırlık kayıpları ise %80 oranında artmıştır.

Petri kabı agar testinden önce yaşlandırma metodu olarak kullanılan ASTM D1037-06 test standardındaki 6 aşamalı yaşlandırma işlemi uygulanan örneklerde ağırlık kayıpları ve rutubet içerikleri haftalık aralıklarla değerlendirilmiştir. Sonuçlar çinko borat içermeyen örneklerde, *S. commune* ve *T. palustris* mantarlarının her ikisinin de sebep olduğu ağırlık kayıpları pek çok durumda haftalık aralıklarda istatistik olarak belirli bir farklılık göstermemektedir. Ancak bu örneklerdeki rutubet içerikleri haftalık ölçümler arasında istatistiksel olarak belirgin farklılıklar göstermektedir. Çinko borat içeren ve içermeyen örnekler arasında hem ağırlık kaybı hem de rutubet içeriği bakımından haftalık ölçümler arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar görülmüştür.

Genel olarak her iki tip kompozit (PP ve PE) için, yüksek partikül içeriğine ve küçük boyutlu partiküllere sahip örnekler çürüklük dayanım testinde ağırlık kayıplarının arttırması ile sonuçlanmıştır. Diğer yandan, çinko borat içeren kompozit örnekleri 4 haftalık kısa bir zamanda tamamen mantar tarafından kolonize edilmiş ve çürüme sonucu meydana gelen ağırlık kaybı üzerinde çinko boratın belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Ön kondisyonlama ve yaşlandırma prosesleri rutubet alımını arttırmış ve örneklerin mantar gelişimi için gerekli olan rutubet seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Böylece, ön kondisyonlama ve yaşlandırma işlemlerinin çürüklük prosesi ve buna bağlı ağırlık kaybı üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada laboratuvar ortamında gerçekleştirilen metotlar ile belli miktarlarda rutubet ve ağırlık kaybı artışları elde edilmiştir. Ancak gelecek çalışmalarda daha fazla rutubet ve ağırlık kaybı artışı elde edilmesi için daha şiddetli iklimsel yaşlanma (weathering) ve yaşlandırma metotlarının uygulanması gerekebilir. Uygulanan yaşlandırma metotları, dış hava koşullarının malzemede oluşturduğu etkinin aynısını oluşturabilmesi açısından değerlendirilmeli ve bu yönde geliştirilmelidir. Bunun yanında daha küçük ve ince OPK örneklerinin kullanımı da mantarların sebep olduğu ağırlık kayıplarının artışı ile sonuçlanabileceği düşünülmektedir.

Aralık, 2014, 142. sayfa

**Anahtar kelimeler:** Odun-plastik kompozitler, Biyolojik performans, Rutubet miktarı, Üretim parametreleri, Mantarlar, Yaşlandırma

# **SUMMARY**

## **M.SC. THESIS**

### **EVALUATION OF BIOLOGICAL PERFORMANCE OF WOOD PLASTIC COMPOSITES**

**Sema AYSAL**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Forest Industrial Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr. Saip Nami KARTAL**

Biological performance of wood plastic composites (WPCs) in field and laboratory tests has become a major interest since the demand for WPCs has increased. When WPCs are compared with solid wood, they are generally considered to be more resistant to biodegradation than wood due to encapsulation of wood by the plastic in the matrix and decay rates in general are much slower than those in solid wood.

Water and wood as a food source play an important role in colonization and eventually decomposition of wood and wood based materials by fungi. The presence of moisture (water) is crucial for decay by fungi in a wood and wood based materials. Since wood decaying fungi need a specific amount of water in the wood to start a decay process. Therefore relationship between biological performance of WPCs and their moisture content has become an important issue in recent years. Even though the encapsulation of wood by plastic would prevent moisture sorption and fungal decay, decay and discoloration of WPC by fungi is also possible in service. In outdoor conditions, WPCs may expose to biological attack and water but also ultraviolet (UV) radiation, weathering, oxidation, thermal, chemical, and mechanical degradations are resulted in surface degradation and erosion in WPCs. Although WPCs have slower moisture sorption than wood, water supports fungal decay of the material. Lower weight losses occurred in WPCs during fungal decay process is related with the lower moisture sorption of the composite. Although moisture uptake in WPC is relatively slow, moisture levels in the outer parts of WPCs may have adequate water content for fungal attack. Wood material having moisture content of 19% or lower does not generally support the growth of mold fungi. WPCs have rarely moisture above 19%, except in the very top and thin layer after rain or immersion in water for long time.

Besides laboratory performance tests, WPCs in aboveground applications could also be susceptible to decay by fungi. Some studies showed the brown rot fungus *Gloeophyllum striatum* and the white rot fungus *Pycnoporus sanguineus* growing on WPC deck boards after 4 years in Florida and the presence of *Schizophyllum commune* and *Pycnoporus sanguineus* fruiting bodies on the surface of WPCs exposed for 18 and 30 months, respectively, in Hawaii.

Since there are presently no standards for assessing the biological performance of WPCs in either laboratory tests or in field exposure, durability of WPCs has been long tested by standard tests such as soil block tests or agar tests developed for solid wood. At present, laboratory fungal decay tests in North America are in general based on the American Wood Preservers' Association (AWPA) Standard E10 or the American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard D1413 or D 2017 soil block tests, although agar plate tests are suggested for biological performance of WPCs. Since high moisture levels (>30%) are in general needed by microorganisms to attack solid wood, neither of those methods produces sufficient weight losses on WPCs due to the slow rate of water absorption by WPCs. AWPA, however, has recently suggested water immersion at either room temperature or 70°C before decay testing of WPCs in the standard test AWPA E10-12 to increase the moisture content of the specimens. High moisture levels are generally needed by microorganisms to attack WPCs; however, test methods without water immersion of WPC specimens do not produce enough mass loss on specimens due to slow rate of water absorption.

This master thesis examined the decay resistance of wood plastic composites manufactured in various combinations and the effects of particle size, particle content, and manufacturing parameters on biological performance of wood plastic composites. WPCs were manufactured by using two different plastic materials: Polyethylene (PE) and Polypropylene (PP). Wood-PP composites had two different levels of particle content (50 and 70%) and three different particle sizes (30, 60, and 100 mesh). Wood-PE composites were commercial deck boards which had 50% wood partical content, 44% PE, 5% zinc borate and 1% coupling agent.

As a first step, the Japanese standard test method JIS K 1571 was modified to evaluate biological performance of the WPCs manufactured using soil substrate instead of quartz sand and adding wood chips as feeder in order to increase water absorption of the specimens during incubation and thus, increase mass losses in the specimens.

In the further steps of the thesis, some other decay performance tests were also followed to increase water absorption of WPC specimens before and during the tests, and thus, to increase weight losses in the specimens. Among them are Petri dishes methods by using WPC specimens immersed in water, soil-block test method by immersing WPC specimens in water based on the AWPA E10-12 standard test method, biological performance tests with WPC specimens exposed to accelerated aging (immersion in hot water at 70°C for 5 days), and determination of fungal resistance of WPC specimens exposed to a 6-cycle-aging process (boiling, steaming, freezing, drying, steaming and drying). *Tyromyces (Fomitopsis) palustris*, *Schizophyllum commune*, *Pycnoporus*

*coccineus*, *Coriolus versicolor* ve *Gloeophyllum trabeum* species were used as the test fungi.

For the PP-containing WPCs, the composite specimens produced with higher particle content and smaller particle size experienced increased mass losses in decay resistance tests in most cases in the modified JIS-K 1571 method. As expected, the specimens with higher particle content showed higher water absorption than those with lower particle content. Particle size, on the other hand, had an insignificant effect on moisture content in the specimens.

Pre-conditioned by immersed in water wood-PP composite specimens were incubated by brown-rot and white-rot fungi in soil-block test method according to the AWWA E10-12 standard test method. After the pre-conditioning, the moisture contents of the specimens changed between 17-27%. Higher weight losses were obtained when *T. palustris* was employed in comparison with *P. coccineus*.

According to modified AWWA E10-12 test standard by AWWA, before test the specimens soaked in 70°C hot water for 5 days. Thus, the moisture content of test specimens enhanced approximately %900. Weight losses were increased %80 by pre-conditioning.

The aging cycles in the test standard of ASTM D1037-06 used as an aging process before petri dishes agar test and weight losses and moisture content in the specimens were evaluated at weekly intervals. Results show that weight losses in the specimens without zinc-borate by both *S. commune* and *T. palustris* fungi did not show statistically significance among weekly intervals in most cases. However moisture contents in those specimens were statistically significant among the test intervals. In specimens wit zinc borate both weight losses an moisture content in the test specimens showed statistically significant differences among weekly intervals in most cases.

In general for both types of composites (PP and PE), the specimens containing higher particle content and smaller particle size mostly resulted in increased mass losses in decay resistance tests. On the other hand, the composite specimens along with Zn borate treated specimens were completely colonized by the fungi in a short period of 4 weeks and there were no a significant effect on the mass loss.

Pre-conditioning and aging process increased the moisture uptake and it has been seen that the moisture levels were the levels that are required by decay fungi. Thus, it was stated that the pre-conditioning and aging process had a significant effect on the decay process and weight loss.

Severer weathering or aging methods rather than the methods employed in the study might be needed to increase moisture content in WPC specimens before and during laboratory decay resistance tests as well as to increase weight losses in the specimens. In addition, durations of pre-conditioning procedures can be extended until enough water content is achieved in WPC specimens before biological performance test. In addition, smaller and thinner WPCs might be resulted in increased weight losses by fungi.

**Keywords:** Wood-plastic composites, Biological performance, Moisture content, Production parameters, Fungi, Ageing

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda çevre bilincinin artması, kıt kaynak olan odun hammaddesine alternatif materyallerin geliştirilmesi ve bunun yanında doğada geri dönüşümünün mümkün olabilmesi sebebiyle odun plastik kompozitlerinin (OPK) kullanımı artmıştır. OPK malzeme odun unu/lifi ve termoplastik polimerler ile bunlara eklenen çeşitli katkı maddelerinin bir araya getirilerek elde edilmesinden oluşan bir materyaldir. OPK mazlemeler daha çok çit, yer döşemesi, dış cephe kaplaması, oyun parkı malzemeleri, saksılar, pergola, kamelya vb. gibi dış mekân uygulamalarında kullanılan malzemelerdir (Morrell, 2002; Clemons, 2002; Acker, 2006; Smith ve Wolcott, 2006). Buralarda kullanılmasının en büyük sebebi rutubete karşı dayanımının masif ahşaptan daha iyi, direnç özelliklerinin ise saf plastik malzemeden daha üstün olmasıdır. Mekanik direncin ve akustik özelliklerinin iyi, hafif, düşük maliyetli ve biyolojik olarak bozunur olması sebebiyle son yıllarda otomotiv endüstrisinde özellikle otomobil iç aksamalarında kullanımı oldukça hızlı bir şekilde artış göstermektedir (Ashori, 2008). Tek başlarına bazı olumsuz özellikleri olan bu iki farklı malzemenin bir araya getirilerek kullanılması sahip oldukları olumsuz özellikleri en aza indirmektedir. Örneğin plastik rutubete ve biyolojik zararlılara karşı dayanım gösterirken, odun rutubete ve biyolojik zararlılara karşı hassastır. Ancak odun direnç özelliklerinin arandığı durumlarda (örneğin; sertlik, eğilme, çekme gibi) kullanılan, mukavemeti yüksek bir malzemedir. Oduna nazaran plastik bu etkilere çok daha düşük oranda direnç göstermektedir. OPK'lar bu iki malzemenin olumlu özelliklerinden yararlanılarak bir araya getirilmesi sonucunda elde edilmiş çok farklı özelliklere sahip yeni bir malzemedir (Wolcott ve Englund, 1999).

OPK malzemeler dünyada ve ülkemizde kullanımı hızla artan ve çok çeşitli kullanım yerinde masif, odun esaslı kompozit ve emprenye edilmiş ağaç malzemeye alternatif olarak kullanılabilecek, az bakım gerektiren ve yüksek dayanıklılığa sahip bir yapı malzemesi olma yolunda hızla ilerlemektedir. OPK malzemelerin bileşimindeki plastikten dolayı masif ağaç malzeme ile karşılaştırıldığında onu daha dayanıklı hale getirmesine karşın, yapısında odunun bulunması sebebiyle uygun şartlar altında bu tip yapı malzemelerinde biyolojik kaynaklı bozunmalara kullanım yerinde sıkça

rastlanabilmektedir. OPK malzemelerin biyolojik dayanıklılıklarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Odun/plastik karışım oranı, odun partikül büyüklüğü, plastik tipi, üretim metotları, ağaç türü, katkı maddeleri, koruyucu biyositlerin varlığı/yokluğu vb. parametreler en önemli faktörler içerisinde yer almaktadır (Wolcott ve Englund, 1999; Raberg ve Hafren, 2008; Mankowski ve diğ., 2005). Bunların yanında odun plastik kompozitlerin rutubet miktarı da bu tür malzemelerde çürüklük başlangıcı ve ilerleyişinde önemli bir role sahiptir (Defoirdt ve diğ., 2009).

Plastiğin odun partiküllerini sarması (çevrelemesi) sebebiyle odun plastik kompozit malzemelerin masif ahşaba nazaran biyodegradasyona daha dayanıklı olduğuna inanılmaktadır. Genel olarak çürüklük oranları odunda olandan daha az olsa da odun plastik kompozit malzeme içindeki odun, çürüklük için hassasiyetini korumaktadır (Kartal ve diğ., 2012).

Odun ve odun esaslı malzemelerde, besin kaynağı olan odun ve su mantar gelişiminde ve bunu takiben materyalin bozunmasında önemli rol oynamaktadır. Odun çürüten mantarların çürüklük prosesini başlatabilmeleri için besin kaynağı olan odunda belirli miktarda suya ihtiyaç duyduklarından, odun polimer kompozitlerde de çürüklük oluşabilmesi için yine belirli miktarda rutubete gereksinim vardır. Odunun kimyasal yapısı, yoğunluğu, türü vb. bir çok faktör sebebiyle, odun çürüten mantarların oduna arız olabilmesi için optimum bir rutubet değeri vermek zordur. Genel olarak, mantarlar tarafından odunda çürüklüğün başlayabilmesi için %25-30'un üzerindeki bir rutubet içeriğine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu rutubet seviyesi "lif doygunluğu noktası" sınırları içerisinde yer almaktadır. Lif doygunluğu noktası seviyesinde odun içindeki lümen boşluklarında su bulunmamaktadır ancak hücre çeperi biyolojik dayanım, fiziksel ve mekaniksel özellikler gibi pek çok özellikleri etkileyebilecek bağlı su ile doygun haldedir. Kurutma prosesi boyunca su miktarı lif doygunluğu noktasının çok daha altına düştüğünden odunun kuruması, mantar atağının azalmasına veya engellenmesine yardımcı olmaktadır. Diğer taraftan, çok daha fazla su odun içerisinde bulunursa da mantar aktivitesi azalır ya da ortadan kaldırılır. Böylece odun su içeriği Basidiomycetes mantarlarının sebep olduğu mantar degradasyonunu iki mekanizma ile sınırlandırır:

- 1) Düşük miktarda rutubet içeriği durumunda mantar metabolizması için gerekli olan suyun eksikliği,

2) Fazla miktarda suyun bulunması durumunda oksijen ve havanın eksikliğidir.

OPK'ların biyolojik performansı ve sahip olduğu rutubet içeriği arasındaki ilişkinin laboratuvar ve açık alan testlerinde incelenmesi son yıllarda esas ilgi alanı haline gelmiştir. Plastiğin odun partiküllerini sarması (çevrelemesi) sebebiyle odun plastik kompozit malzemeler masif ahşap ile mukayese edildiğinde genellikle mikroorganizmaların sebep olduğu biyodegradasyona karşı daha dayanıklı olmaktadır. Genel olarak çürüklük miktarı masif ahşapta olduğundan çok daha yavaş olmaktadır (Schmidt, 1993; Naghipour, 1996; Clemons, 2002; Wang ve Morrell, 2004; Ramirez ve diğ., 2009; Fabiyi ve diğ., 2011). Ancak yine de odun plastik kompozit matriksi içerisindeki odun bir şekilde su ile temas edebileceğinden çürümeye karşı hassas olabilecektir (Morris ve Cooper, 1998; Mankowski ve Morrell, 2000; Verhey ve diğ., 2001, 2002; Ibach ve Clemons, 2002; Pendleton ve diğ., 2002; Silva ve diğ., 2002; Simonsen ve diğ., 2002; Ibach ve diğ., 2003; Clemons ve Ibach, 2004). Ibach ve Clemons (2007) plastiğin odun partiküllerini sarmasının rutubet alışverişini ve sonuç olarak mantar çürüklüğünü engelleyeceğini belirtmiş olsa da, kullanım yerinde odun plastik kompozitlerde çürüme ve renklenmelerin de görüldüğü gözlenmektedir (Morris ve Cooper, 1998). Dış mekân koşullarında; odun plastik kompozitlerin biyolojik saldırılara ve suya (yağmur suyu/ıslanma) maruz kalacağı beklenmektedir, ayrıca açık hava etkilerini (weathering-iklimsel yaşlanma) ultraviyole (UV), oksidasyon, termal, kimyasal ve mekaniksel etkiler ile odun plastik kompozit malzeme yüzeyinde bozunma ve erozyon söz konusu olabilmektedir. Bu malzemelerde odundan daha yavaş rutubet alışverişi olmasına rağmen (Rowel ve diğ., 2002; Wang ve Morrell, 2004), su, matriks içindeki materyalin mantar tarafından çürütülmesine yardımcı olmaktadır (Clemons ve Ibach, 2002, 2004; Shrip ve Wolcott, 2005).

OPK'lardaki çürüklük prosesi boyunca oluşan ağırlık kaybının az olması bu kompozitlerin daha az rutubet almasıyla ilişkilidir. OPK'lardaki rutubet alımı masif ahşaba nispeten daha yavaş olsa da, malzemenin dış kısımlarındaki rutubet seviyeleri mantar saldırıları için yeterli olabilecek düzeyde olabilmektedir.. %19 ya da daha az rutubet içeriğine sahip olan odun genellikle küf mantarının gelişimine uygun olmamaktadır. Uzun süre yağmura maruz kalmaya ya da suda bekletilmediği sürece (en üst ve ince katmanı) odun plastik kompozit malzemeler %19 ya da daha fazla rutubet

seviyesine çok fazla ulaşmazlar. Ancak yine de rutubet, rutubetli koşullar bilhassa yetersiz havalandırma gibi bazı durumlarda OPK malzemenin rutubet içeriği %20-25'lere kadar çıkabilmektedir (Klyosov, 2007). Bu rutubet değerlerindeki OPK malzemeler odun çürüten mantarların gelişimine uygun ortam oluşturmaktadır. Kullanım yerinde ulaşılan bu rutubet seviyelerine laboratuvar ortamında da ulaşılacak suretiyle mantar dayanıklılığı testleri gerçekleştirilebilir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı odun plastik kompozitlerin biyolojik performanslarının belirlenmesine uygun test metotlarına temel oluşturmaktır. Biyolojik performans için uygun mevcut standart testler masif ahşabın özellikleri göz önünde bulundurularak geliştirilmiş ve belirli sürelerde (12 veya 16 hafta) masif ahşap örneklerinde meydana gelen ağırlık kayıplarına dayandırılmıştır. Masif ahşap örnekleri test süresince bulunduğu ortamdan (toprak, quartz kum veya malt-agar vb. gelişim ortamı) rutubet alabilmekte, rutubet odun örneği içerisinde derinlere taşınabilmekte ve bunun sonucu olarak da organizmalar tarafından bozunmayı hızlandırabilmektedir. Oysa plastik ve benzeri maddeler içeren odun kompozitlerde odun plastik oranı, odun partikül büyüklüğü, plastiğin odun partiküllerini sarması ve benzeri nedenlerle kompozit örnekleri testler sırasında yeterli rutubet alamamakta, plastik organizmalara karşı direnç gösterebilmektedir. Bunlar da testler sırasında performansı ölçebilecek nitelikte, örneklerde ağırlık kaybı oluşumunu etkilemektedir. Bu gibi nedenlerle bu çalışma sonucunda; i) odun plastik kompozit örnekleri için uygun testler ve test süreleri, ii) mevcut standart testlerde olası modifikasyonlar ve iii) testler öncesi kompozit örneklerde bozunmayı hızlandırmaya yönelik bazı ön işlemlerin (suda bekletme, buharlama, hızlandırılmış yaşlandırma vb.) yapılması önerilebilecektir.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ODUN

Tarih boyunca odunun karakteristik özellikleri ve bol miktarda bulunuşu onu ev (bina) ve diğer yapılar, mobilya, aletler, araçlar ve diğer objeler için doğal kaynak yapmıştır.

Odun, odunsu hücrelerden oluşan, anizotropik yapıda olmasının yanında higroskopik özellik gösteren, yanabilen ve biyolojik olarak geri dönüştürülebilir (bozunabilen), bazı kimyasallar ile tepkimeye girmeyen, mükemmel izolasyon özelliğine sahip, uygun koşullar altında kullanıldığında uzunca yıllar dayanıklılığını koruyan bir malzemedir (Fengel ve Wegener, 1984).

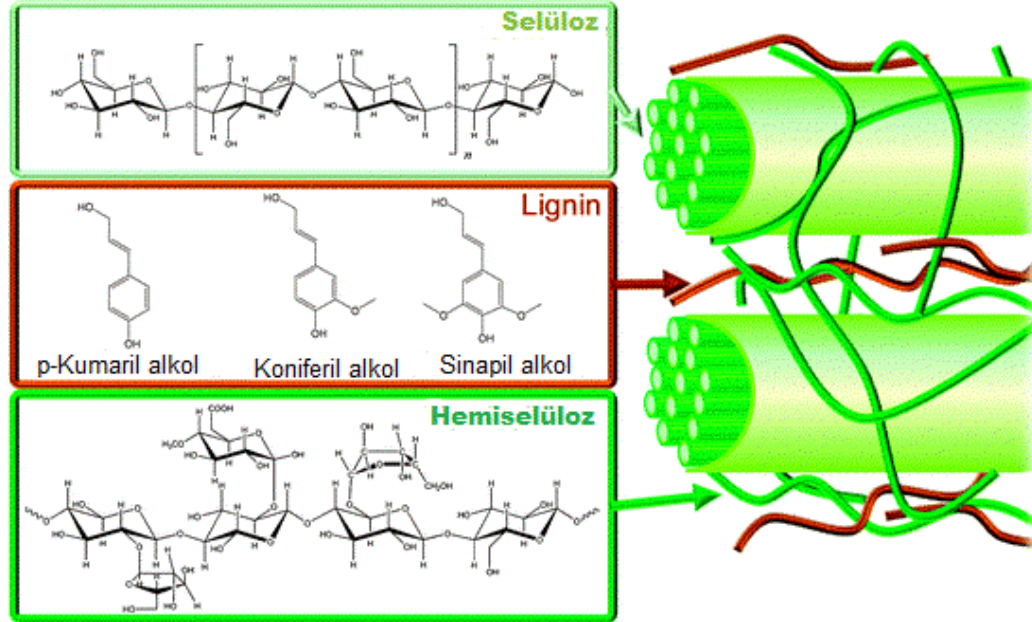
Odun, ağacın gövdesi boyunca birbirine paralel olarak sıralanmış genellikle içi boş, uzun iğimsi hücrelerden meydana gelir. Bu hücreler ve sıralanma şekilleri odunun makroskopik görünüşünü, maruz kalacağı etki ve kuvvetlere karşı dayanımını, su ve kimyasal maddelere karşı direncini, çürümeye karşı ise dayanıklılığını ve diğer pek çok özelliğini etkilemektedir (Fengel ve Wegener, 1984).

Odun, selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi doğal polimerlerden meydana gelen kompleks bir yapıdır. Bu polimerler odun hücre çeperinde eşit oranda bir dağılım göstermez ve miktarları da bir morfolojik bölgeden diğerine değişebilmektedir (Hon ve Shiraishi, 2001).

#### 2.1.1. Odunun Kimyasal Yapısı

Odun; üç ana polimerden meydana gelmektedir. Bu polimerlerin odunda bulunma miktarları ağacın türüne göre değişim göstermektedir. Genel olarak bir odunda kuru ağırlığa oranla %40-50 oranında selüloz, %18-32 oranında lignin ve %15-35 oranında

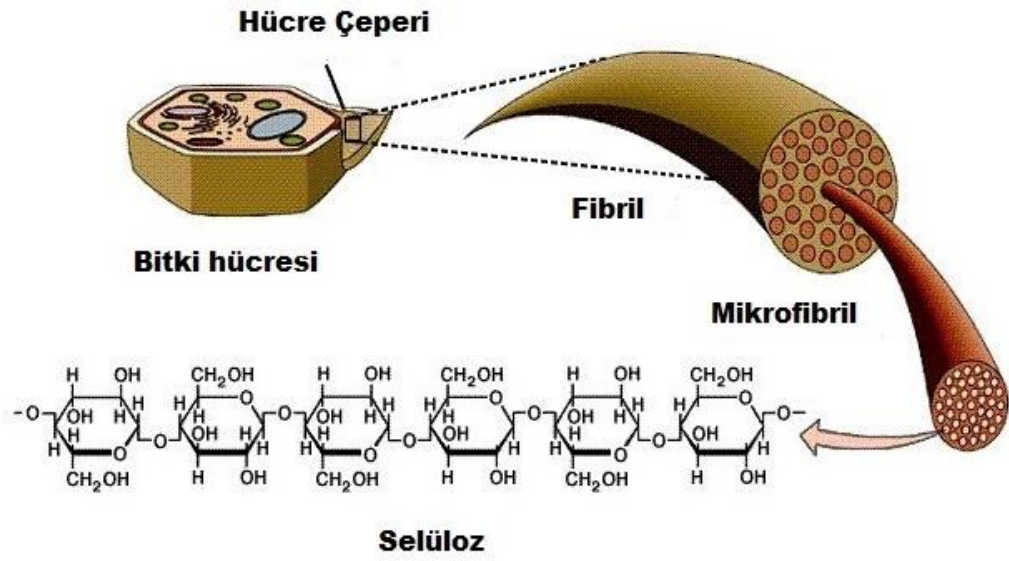
hemiselüloz bulunmaktadır (Pettersen, 1984; Fengel ve Wegener, 1984; Hon, ve Shiraishi, 2001).



Şekil 2.1: Odun hücre çeperi bileşenleri (Anonim, 2014a).

#### 2.1.1.1. Selüloz ve Yapısı

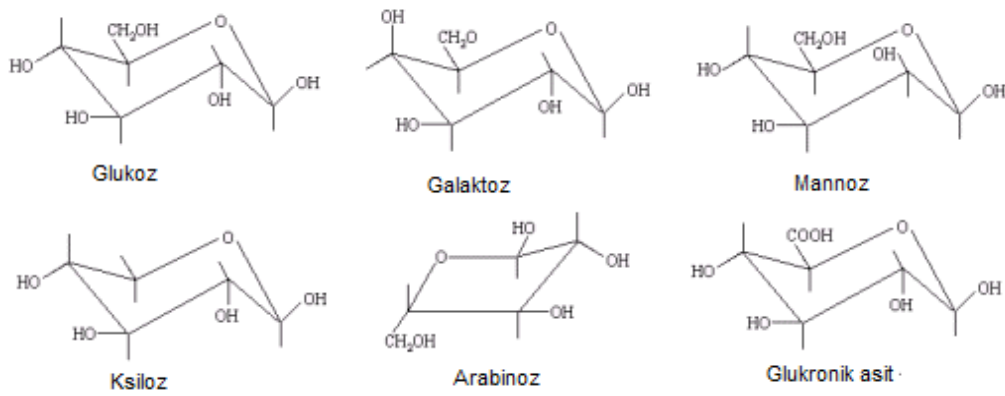
Hücre çeperinde en yüksek oranda bulunan polimer selülozdur. Doğrusal yapıdadır ve glukoz birimlerinden meydana gelmiştir.  $\beta$  1-4 glikozidik bağı ile her anhidrid glukoz birimi 180o dönerek diğer bir anhidrid glukoz birimine bağlanarak selülozu ( $C_6H_{10}O_5$ )n meydana getirirler (Fengel ve Wegener, 1984, 2013). Bir moleküler zincirde bulunan şeker birimi sayısı polimerizasyon derecesini (DP) göstermektedir. Selüloz yüksek alkali dâhil hemen hemen hiçbir çözücünde çözünmez (Pettersen, 1984).



Şekil 2.2: Selülozun Kimyasal Yapısı (Moore, R. ve diğ., 1998).

#### 2.1.1.2. Hemiselülozlar (Polyoslar) ve Yapısı

Hemiselülozlar, selülozlardan çeşitli kompozisyonlarda ve kısa zincir yapısına sahip şekerlerden oluşması ile ayrılan polisakkaridlerdir. Hemiselülozlar, selüloz gibi doğrusal bir zincir yapısı göstermez, dallanarak yan gruplar oluştururlar. Polimerizasyon derecesi selülozla kıyaslandığında oldukça düşüktür. Ayrıca diğer bir farklılık da hemiselülozun seyreltik alkalilerde çözünabiliyor ve asitlerde kolayca hidrolize olabiliyor olmasıdır (Fengel ve Wegener, 1984; Pettersen, 1984).

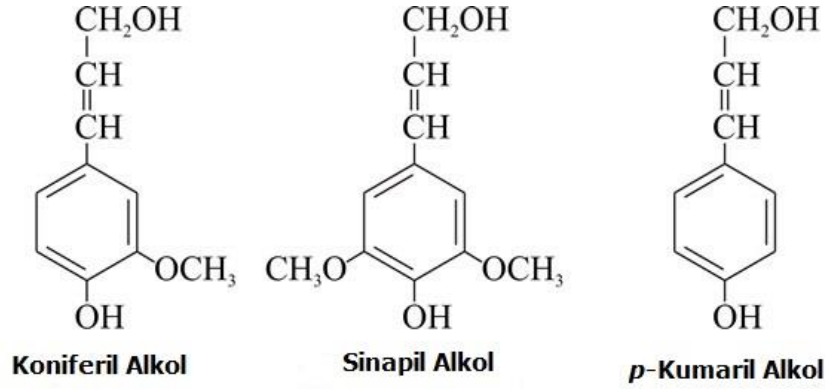


Şekil 2.3: Hemiselülozların yapı taşları (Anonim, 2014b)

#### 2.1.1.3. Lignin ve Yapısı

Lignin üç boyutlu fenilpropan birimlerinden meydana gelmiş, yüksek molekül ağırlığına sahip olan bir polimerdir. Karbon, hidrojen ve oksijenden oluşmuş olmasına rağmen

karbonhidrat değildir. Fenolik yapıda olan lignin termoplastik özellik gösteren organik bir polimerdir. Odun hücre çeperinde çeşitli formlarda bulunmaktadır ve yapısı tam olarak bilinmemektedir (Fengel ve Wegener, 1984).



Şekil 2.4: Ligninin yapı taşları (Savage Group-University of Michigan, 2014).

#### 2.1.1.4. Ekstraktifler ve Yapısı

Ekstraktifler odun hücresinin hem çeperinde hem de lümen boşluklarında bulunabilen, patojen saldırılarına karşı odunun doğal dayanıklılığını arttıran, su ve organik çözücüler ile çözünebilen maddelerdir. Ekstraktifler odunun dayanıklılığını arttırmasının yanı sıra odunun koku, renk, tat gibi fiziksel özelliklerini de etkilemektedirler. Odundaki ekstraktif konsantrasyonu elde edildiği ağacın yetiştiği mevsime göre farklılık gösterebilmektedir. Odunda organik olarak bulunan ekstraktiflere örnek olarak kinin, kinon, saponin, klorofin, lapakol ve lapakonon örnek olarak verilebilir (Fengel ve Wegener, 1984; Pettersen, 1984).

## 2.2. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİ

### 2.2.1. Odun Plastik Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Odun ve Odun Esaslı Materyaller

Odun plastik kompozitleri tipik olarak %30-70 oranında odun ve odunsu materyal içermektedir. Odun plastik kompozit üretiminde en fazla kullanılan materyal odun tozudur. Odun tozu ticari olarak planya talaşı, yonga ve testere talaşı (40 – 60 mesh) gibi işlenmiş materyallerin öğütülmesi sonucu elde edilmektedir. Odun lifi, odun tozuna göre daha zor işlenmesine rağmen, daha üstün özellik verir ve dolgu maddesinden ziyade malzemede güçlendirici madde olarak görev yapmaktadır. Odun lifi hem birincil hem de geri dönüşüm kaynaklarından temin edilebilmektedir. Geri dönüşüm kaynaklarına

paletler, tahrip olmuş odun, bina konstrüksiyon atıkları ve eski gazete kâğıtları örnek olarak verilebilir. Odun hammaddesi olarak küçük çaplı ağaçların odunlarından da yararlanılabilir (USDA, 2007; Winandy ve diğ. 2004; Tangram, 2004; Tangram, 2002). Odun plastik kompozit malzeme üretiminde odun partikül ve liflerinin yanında tarımsal bitki atıkları, jüt, kenaf ve kenevir gibi doğal lifler de kullanılmaktadır (Klyosov, 2007).

#### **2.2.1.1. Partikül Büyüklüğü**

Odun plastik kompozit malzeme üretiminde üretilecek ürünün tipine göre çok çeşitli partikül boyutları kullanılmaktadır. Kompozit üretiminde kullanılan odunlar genellikle partikül formunda ya da kısa lifler olmakta ve büyüklükleri mesh ölçüsü ile ölçülmektedir. Üretimde kullanılan odunların partikül büyüklükleri genellikle 20, 40, 60 ve 80 mesh olmaktadır (Silva, 2003).

Geçmişte odun plastik kompozit malzeme üretimi için büyük odun partiküller tercih edilmiş olsa dahi artık endüstri de gelişmiş performans ve biyolojik dayanım açısından daha iyi odun plastik kompozit malzemeleri üretmek için 80 mesh kadar küçük odun partikülleri kullanılmaktadır (Clemons, 2002).

Odun partikül büyüklüğü odun plastik kompozit malzemede rutubet absorpsiyonunu ve bununla beraber mantar saldırısına karşı direncini de etkilemektedir. Genel olarak üretimde kullanılan küçük odun partiküllerinin rutubet direncini arttırdığı görülmüştür. Çünkü küçük boyutlu partiküller odun ile plastik arasındaki ara yüzü geliştirmekte ve ara yüzde bulunan rutubet hareketi ve mantar gelişimi için yollar sağlayan boşlukları azaltmaktadır (Silva, 2003; Morrell ve diğ., 2010).

#### **2.2.1.2. Odun Partiküllerinin / Liflerinin Odun Plastik Kompozit Malzemelerdeki Rolü**

Odun plastik kompozit malzemede kullanılan odunun bileşimindeki selüloz elde edilen malzemenin mekanik özellikleri üzerinde olumlu özellikler gösterirken lignin malzemeyi daha zayıf hale getirmektedir. Üretim esnasında kolay yanmaya, CO, CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gibi gazların salınımına sebep olmaktadır (Brebu ve Vasile, 2009). Ayrıca yoğunluğu düşürmekte ve dış mekan uygulamalarında kullanılan odun plastik kompozit malzemenin renginde hızlı bir şekilde solmalara neden olmaktadır. Hemiselülozlar ise kullanılan plastiğin erime sıcaklığında bozunurlar ve ani basınç değişimi ve asetik asit oluşumu

sebebiyle makine teçhizatında korozyona sebep olmaktadırlar. Ekstraktifler de uçucu organik gazların oluşturarak malzemenin yoğunluğunun düşmesine neden olmaktadırlar (Klyosov, 2007). Tek başına selülozun kullanımı zor ve maliyetli olacağından çoğunlukla odun partikülleri ya da lifleri odun plastik kompozit malzeme üretiminde kullanılmaktadır.

Odun partikülleri plastik matriks içerisinde hem dolgu maddesi hem de destekleyici olarak görev yapmaktadır. Odun partikülleri (lifleri) destekleyici olarak lif yönünde direnç ve sertliği sağlayıcı bir fonksiyona sahiptir. Bu fonksiyonu sayesinde kompozit malzeme içerisinde bulunan odun malzemenin gerilme ve eğilme direnci özelliklerinin gelişmesini sağlamaktadır (Silva, 2003).

Dolgu maddesi olarak kullanıldığında ise istenilen hacimdeki ürünün eldesinin yanında maliyeti yüksek olan plastik malzemenin daha az kullanılması yönünde fayda sağlamaktadır. Cam lifi gibi diğer inorganik dolgu maddeleri ile mukayese edildiğinde odun partikülleri oldukça hafif olduğundan elde edilen malzemede bir o kadar hafif ve kullanımı kolay olmaktadır. Odun partiküllerinin plastik matriks içinde kullanılması plastiğin termal stabilitesini de arttırmaktadır (Silva, 2003).

## **2.2.2. Odun Plastik Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Termoplastik Türleri**

### **2.2.2.1. Polietilen**

Polietilen dünyada en çok üretimi yapılan polimer türüdür. Yapı ve yoğunluğuna göre 106 oC ve 130 oC arasında değişen nispeten daha düşük erime sıcaklığına sahiptirler ve çok farklı viskozitelerde üretilebilmektedirler (Saçak, 2005). Düşük erime sıcaklığı selülozik liflerin termal degradasyona uğramadan kullanılabilmelerini mümkün hale getirmektedir. Polietilen esaslı kompozit malzemelerin çivilenmesi, vidalanması ve kesilmesi çok daha kolay olmaktadır. Polietilen hemen hemen % 0 rutubet absorpsiyonuna sahiptir. 24 saat su içerisinde bekletilmesinin ardından % 0,02'nin altında bir rutubet absorpsiyonunun meydana geldiği gözlenmiştir. Kuvvetli asitlere karşı (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl vb.) yüksek oranda direnç göstermektedir (Akbulut, 2009).

- *Yüksek yoğunluklu polietilen*

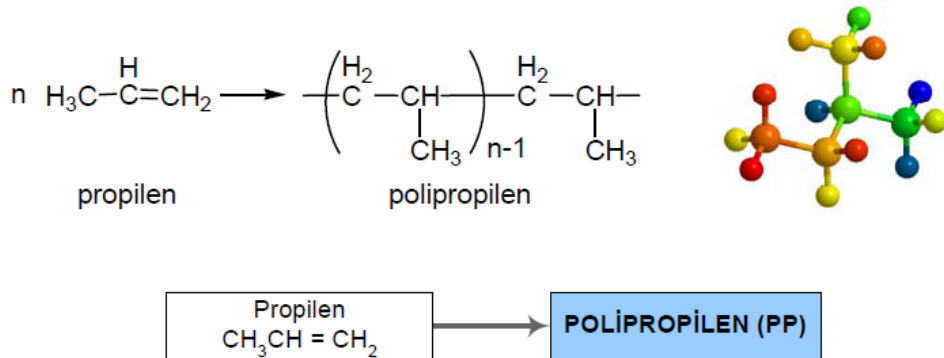
Yüksek yoğunluklu polietilenin üretimi 1950'li yıllara dayanmaktadır. Katalizörler yardımıyla düşük basınçlarda yüksek yoğunluklu polietilen sentezlenmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen genellikle kap, kutu, plastik şişe vb. gibi ürünlerin üretiminde kullanılmaktadır (Saçak, 2005).

- *Düşük yoğunluklu polietilen*

İlk üretimi gerçekleştirilen polietilen türüdür. Yapısındaki zincirlerin yoğun dallanması sebebiyle düşük yoğunlukludur. Bu sebeple günümüzde de aynı isimde üretimi gerçekleştirilmektedir. Ana zincirde meydana gelen dallanmalar, zincir içi transfer tepkimelerinde dolayı olmakta ve boyları genellikle kısa olan yan dallar bütül, etil, propil vb. gibi alkil gruplardır. Yüksek basınç altında üretildiğinden yüksek basınç polimeri olarak da isimlendirilir ve mol kütlesi 5000 ile 40000 arasındadır (Saçak, 2005).

#### 2.2.2.2. Polipropilen

Polipropilen propilenin polimerizasyonu ile elde edilen, yarı kristalin yapılı bir polimerdir. Sıkı, sert ve dayanıklı olmasının yanında kimyasal maddelere karşı direnç göstermektedir. Çok fazla uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar arasında ip, fiber, bagaj, halı, paketleme filmleri, vb. gibi ürünler yer almaktadır (Anonim, 2014c). Polipropilen, günümüzde, polietilenden sonra pazar payı en yüksek olan ikinci plastiktir. Erime sıcaklığı 160 °C'nin üzerinde olduğundan bulaşık makinesinde yıkanabilmekte ve bu nedenle yiyecek kapları üretimine uygundur (Anonim, 2014d).

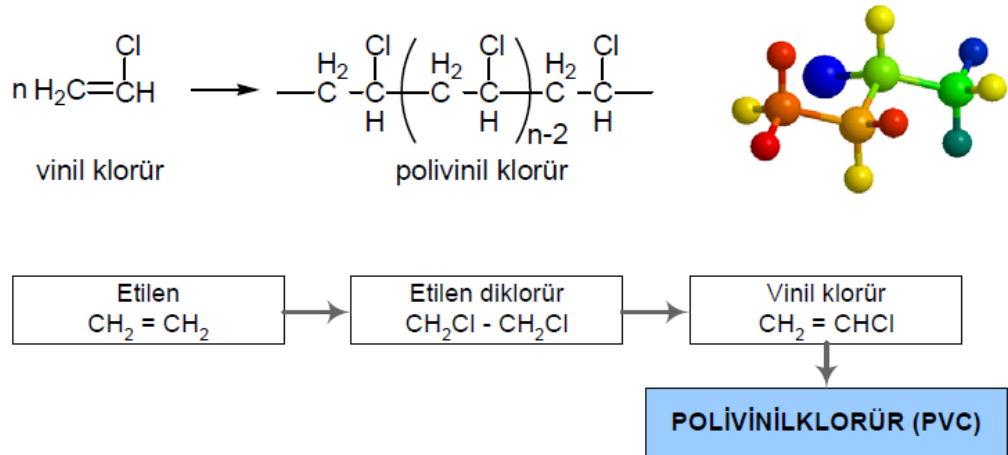


**Şekil 2.5:** Polipropilen Üretim Şeması (Anonim, 2014d).

### 2.2.2.3. Polivinil Klorür (PVC)

Polivinil klorür (PVC), vinil klorürden elde edilen amorf, hafif, uzun ömürlü, alevlenmeyen, sudan etkilenmeyen, iyi izolasyon özellikleri olan bir termoplastiktir. Sert ve sıkı olan bu plastik plastikleştiriciler ilave edildiğinde çok esnekleşir. Plastikleştiriciler PVC için en önemli katkı maddesidir. Farklı miktarlarda katılarak polimeri farklı yumuşaklıklara getirebilmekte ve bu sayede farklı ve çeşitli kullanım alanları sağlamaktadır (Saçak, 2005).

Karbon atomlarına bağlı klor atomları sayesinde polivinil klorür sert ve yanmaya dayanıklı bir plastik haline gelmektedir. Asitlere, tuzlara ve pek çok petrol ürünlerine dayanıklı olmasının yanında mantar gelişimine izin vermez ve farklı renklerde üretilebilir ancak aromatik hidrokarbonlar ve klorlu bileşiklerden etkilenmektedirler. Dünyada üretilen polivinil klorürün yarıdan fazlası konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılmakta, ucuz ve kolay monte edilmektedir. Son yıllarda ağaç, beton ve kil gibi pek çok malzemenin yerine ikame olarak kullanılmaktadır. Pencere profilleri, plaklar, borular, yer kaplamaları, çatı malzemeleri, elektrik kabloları, vb. bunlardan bazılarıdır (Anonim, 2014d).

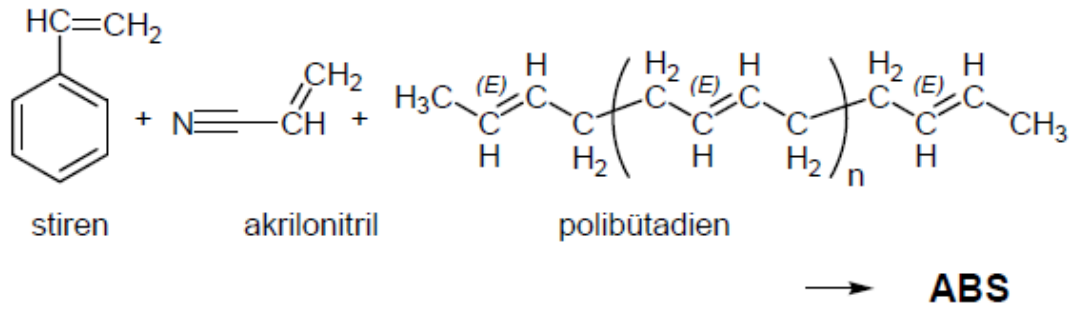


Şekil 2.6: Polivinil klorür Üretim Şeması (Anonim, 2014d).

### 2.2.2.4. Akronitril Bütadien Stiren Kopolimeri

Pazara 1940'lı yılların sonlarında girmiş olan akrilonitril bütadien stiren (ABS), sert ve sıkı yapılı bir kopolimerdir. ABS üretimi diğer termoplastik polimerlere (polietilen,

polipropilen veya polistiren) kıyasla oldukça karmaşık olmasına rağmen otomotiv ve elektronik sanayiinde, bilgisayar üretiminde ve beyaz eşya imalatı gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. ABS; akrilonitril, stiren ve bütadien olarak isimlendirilen üç monomerden elde edilir. Monomerlerin oranına ve iki fazın moleküler yapısına bağlı olarak farklı özellikler gösteren ABS'nin bu özellikleri ürün dizaynında esneklik sağlamaktadır (Anonim, 2014c).



Şekil 2.7: Akronitril Bütadien Stiren Üretim Şeması (Anonim, 2014c).

### 2.2.3. Katkı Maddeleri ve Uyumlaştırıcılar (Coupling Agents)

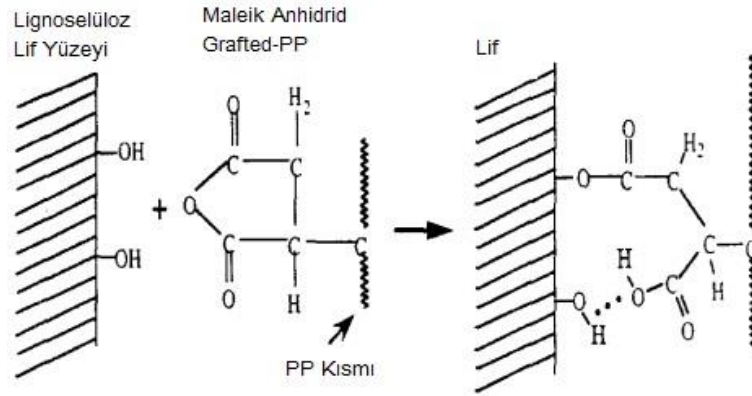
Katkı maddeleri, kompozitin özelliklerini geliştirmek için düşük miktarlarda ilave edilen maddelerdir. Odun ile plastiğin karıştırılması, çok sayıda farklı katkı maddesi tipinin kullanılmasını gerektirebilir. Yüksek performans özellikleri gerektiğinde kompozit malzemenin dispersiyon, akıcılık ve mekanik özelliklerini geliştirmek için uyum sağlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Katkı maddeleri ekstrüzyon işleminden önce karışıma eklenebilir. Örneğin yağlayıcı maddeler, kompozit malzemenin yüzey görünümünü ve işlenmesini iyileştirir; uyumlaştırıcı maddeler (coupling agents) odun ile plastik arasındaki yapışmanın gelişimini sağlar. Diğer katkı maddeleri ise renklendiriciler, ışık stabilizatörleri, köpük oluşturan maddeler, yanmayı geciktirici maddelerdir. Bunun yanında ultraviyole ve ısı stabilizasyonunu sağlayan kimyasallar da ilave edilebilir. (Rowell, 2006; USDA, 2007; Tangram, 2004).

Lignoselülozik madde ve polimerlerin arasındaki yapışmayı kuvvetlendirmek için hidrofobik polimerin modifiye edilmesi gerekmektedir (Rowell ve diğ. 1997). Plastik matriks ve lignoselülozik lifler arasındaki yapışma, kompozitin özelliklerini belirlemesi

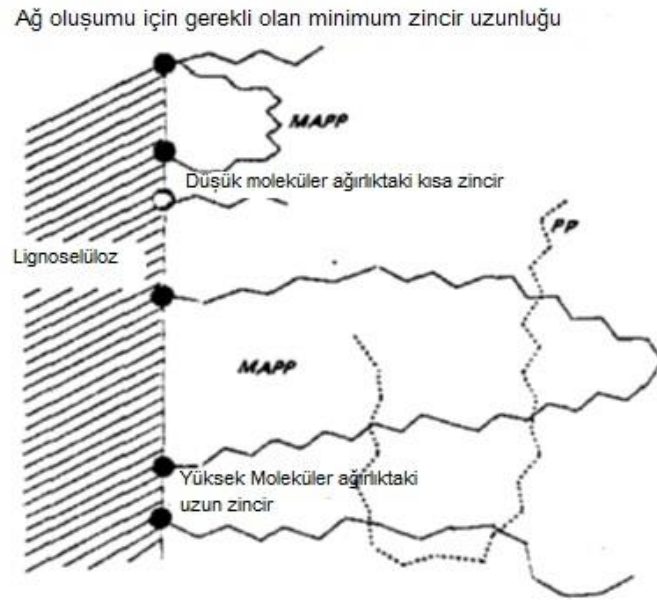
açısından önemli bir husustur. Lignoselülozik ile termoplastik maddeler arasındaki etkileşim ve dispersiyonu geliştirmek için farklı tiplerde katkı maddeleri kullanılmaktadır (Dalvag ve diğ. 1985; Kokta ve diğ. 1989).

Lignoselülozik liflerin hidrofilik olması, termoplastiklerin hidrofobik olması lif ve matriks arasındaki karışım ve yapışmada zorluklara sebep olmaktadır. Lif ve matriks fazları arasındaki yapışma ve etkileşimi kuvvetlendirmek için katkı maddelerinin doğru bir şekilde seçilmesi gereklidir. Maleik anhidrit grafted polipropilen (MAPP), lignoselülozik-polipropilen sistemleri için ideal ve verimli bir uyumlaştırıcı maddedir. Bu hem lif yüzeyine kovalent bağlanmayı sağlamakta, hem de etkileşimi kuvvetlendirmek için geniş moleküler bir ağ meydana getirmektedir. Bununla beraber kısa proses sürelerinden dolayı çok uzun zincirler lif yüzeyine MAPP'ın yerleşme olasılığını düşürebilir.

Günümüzde en yaygın kullanılan uyum sağlayıcı madde, MAPP veya maleik anhidrit grafted polietilen (MAPE)'dir. Bu konuda daha önce yapılan araştırmalar, hem maleik anhidrit (MA) miktarı hem de molekül ağırlığının, uyumlaştırıcıların verimliliğini belirleyen önemli parametreler olduğunu belirtmektedir (Sanadi ve diğ. 1993; Felix ve diğ. 1993). MAPP'ın içinde mevcut bulunan maleik anhidrit, polar etkileşimleri sağlamanın yanında lignoselülozik lif üzerindeki hidroksil grupları ile kovalent bağ yapabilmektedir (Rowell ve diğ. 1997). MAPP, son ürünün mekanik dirençlerini geliştirirken, üretimi de kolaylaştırmaktadır. (Rowell, 2006; Tangram, 2002).



**Şekil 2.8:** MAPP'ın lignoselülozik yüzeyde hidroksil grubu ile reaksiyonu (Rowell, 2006; Rowell ve diğ., 1997).



**Şekil 2.9:** Erimiş polipropilenin, MAPP/Lignoselülozik madde ile ağ oluşturması (Rowell, 2006).

İlk olarak MAPP veya MAPE'nin sonundaki anhidrit, odun yüzeyindeki hidroksil (OH-) grubu ile reaksiyona girer ve ester bağı biçimlenir. MAPP veya MAPE üzerine polipropilen ve 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).

Dış ortam koşulları altında ultraviyole (UV) stabilizasyonu önemlidir (Lundin, 2001; Rowell ve diğ., 2000). Çoğu odun plastik kompozit ürünü zamanla renk açılmasına eğilimlidir (Falk ve diğ. 2002). Bazı odun plastik kompozit malzeme üreticileri bu etkiyi yavaşlatmak için pigmentler eklemektedir. Bazıları ise renk değişikliğini daha az fark edilebilir yapmak için gri pigment eklemektedir. Bazı üreticiler ise odun plastik kompozit ürünlerinin üzerine UV stabilitesine sahip olan bir plastik tabaka ile koekstrüzyon (eş zamanlı olarak katmanlı ekstrüzyon) işlemi uygulamaktadırlar (Rowell, 2006).

Bazı laboratuvar yaşlandırma testlerinde, odun polipropilen kompozitleri 400 saatten 600 saate kadar UV etkisine maruz bırakılmıştır. 2000 saat UV ve su etkisinden sonra örnekler beyazlamış ve bu beyazlığın hemen hemen 10 mm derinliğe kadar devam ettiği gözlemlenmiştir. Odun hücre çeper bileşenlerinden, odunun yapısının içine serbest radikallerin daha derinlere nüfuz etmesine sebep olan lignin sayesinde büyük ölçüde renk değişimi meydana gelmiştir (Rowell ve diğ. 2000).

Odun plastik kompozit materyalleri ve ürünlerinin yanma performansı hala araştırılmakta olan bir konudur (Malvar ve diğ., 2001; Stark ve diğ., 1997). Bu kompozitler, birçok yapı materyalinden farklı, yanabilmesinin yanı sıra eriyebilmekte ve yanma direnci için test edilmesi ise zordur (Rowell, 2006).

Odun termoplastik kompozitlerinin yoğunluklarını ve ağırlıklarını düşürmek için köpük ve boşluk oluşturan maddeler, işlemiden önce termoplastik içinde eritilebilir ve yeknesak bir şekilde dağıtılabılır (Guo ve diğ., 2004). Bu maddeler odun ile kombine edildiğinde, düşük ağırlıklı kompozit bir malzeme elde edilebilmektedir (Rowell, 2006).

#### **2.2.4. Koruyucu Maddeler (Çinko Borat)**

Odun plastik kompozit malzeme üretiminde en çok kullanılan koruyucu katkı maddesi düşük maliyetli olması sebebiyle çinko borattır. Malzemeye genellikle malzeme ağırlığının % 2-3'ü kadar katılmaktadır (Klyosov, 2007).

Borik asit, boraks, disodyum oktaborat tetrahidrat gibi boratlar 50 yılı aşkın bir süredir odun koruyucu kimyasal olarak geniş ölçüde kullanım alanı bulmaktadır. Kullanımı çok uzun yıllara dayanmasına rağmen çinko borat endüstri tarafından kolay ve hızlı bir şekilde kabul edilmiş bir kimyasaldır. Genellikle mantar çürüklüğüne karşı etkili olduğu bilinmektedir. Küf ve renklenmeye karşı etkisi düşüktür (Klyosov, 2007).

Çinko borat su içerisinde kolay çözünmemektedir. Bu sebepten diğer biyosidlere oranla yıkanmaya karşı daha fazla dirençlidir. Isıya karşı dayanımı sayesinde odun plastik kompozit üretimi esnasında bozunmaz (Klyosov, 2007).

Yapılan bazı çalışmalarda toprak temaslı alan testlerine tabi tutulmuş % 1,3 ve % 5 oranında çinko borat içeren odun plastik kompozit malzeme örneklerindeki çinko boratın etkisiz, laboratuvar koşullarında % 1 konsantrasyondaki çinko borat içeren örneklerde ise etkili olduğu gözlemlenmiştir (Klyosov, 2007).

### **2.2.5. Odun-Polimer Etkileşimi**

Odun plastik kompozit malzeme üretiminde odun polimer etkileşimi büyük önem arz etmektedir. Malzeme üretilirken odun ve polimer arasında ara yüz elde edilmesi oldukça zordur çünkü hidrofobik olan termoplastığın polar olmaması bunun yanında hidrofilik olan odunun ise polar olması bu iki maddenin kuvvet açısından birbirinden farklı olduğunu göstermektedir. Üretim prosesi başladığında ilk olarak termoplastik odun partiküllerini sarmaya ve dağılmaya başlayarak etkileşim sürecini başlatmaktadır (Silva, 2003).

Odun ve polimer arasında kimyasal bir reaksiyon söz konusu değildir. Ara yüzde adezyon kuvvetleri vasıtasıyla bir kenetlenme görülmektedir. 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 (Silva, 2003).

Bu mekanizmaların odun ve plastik arasında bir köprü görevi görmek amacıyla adezyon kuvvetlerine katkı sağladığı düşünülmektedir. Bilindiği gibi adezyon iki faz arasındaki ara yüzeyde konsantrasyonun artması ya da başka bir deyişle moleküllerin temas ettikleri yüzeydeki çekme kuvvetlerine bağlı olarak o yüzeyle birleşmesi olarak tanımlanmaktadır. Bundan dolayıdır ki odun partiküllerinin geometrisi odun-plastik ara yüzünü etkilemektedir (Silva, 2003).

Partiküllerin boyutları da odun plastik ara yüzünü etkilemektedir. Daha büyük partiküller boşlukların oluşmasına olanak sağladığından iyi bir ara yüz oluşumunu engellemekte bunun aksine küçük partiküller boşlukları en aza indirerek iyi bir ara yüz oluşmasına olanak sağlamaktadırlar (Silva, 2003).

#### **2.2.6. Odun Plastik Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri**

Sıcak karışım-eriyik madde kompozitleri genellikle iki aşamalı prosesten meydana gelmektedir. Bunlar karıştırma ve şekillendirme'dir. Karıştırma aşamasında; odun tozu veya lifi ve katkı maddeleri, homojen bir kompozit materyal üretmek için erimiş termoplastik ile karıştırılır. Isıtılmış bu karışım daha sonra küçük kanallardan ekstrüde edilir. Makineden çıkan çubuklar kısa parçalar halinde kesilir ve pelet adı verilen materyal elde edilir. Daha sonra peletler, üretilecek son ürüne göre değişik şekillendirme metotlarında kullanılır. Odun plastik kompoziti üretimi için genel olarak 3 tane şekillendirme metodu bulunmaktadır. Bu metotlar;

1. Ekstrüzyon - erimiş kompozitin bir kalıp içine güç uygulayarak itilmesi
2. Enjeksiyon kalıplama - erimiş kompozitin soğuk bir kalıp içine güç uygulayarak itilmesi
3. Basınçla kalıplama - erimiş kompozitin iki kalıp arasında preslenmesi (Rowell, 2006; USDA, 2007).



**Şekil 2.10:** Farklı üretim şekillerine göre odun plastik kompozit malzemeler (Anonim, 2014d).

#### **2.2.6.1.Ekstrüzyon Metodu**

Profil ekstrüzyon yönteminde, kompozit materyal ilk olarak termoplastik bileşenin akıcı hale gelmesi için ısıtılır. Daha sonra, belirlenen enine kesit konfigürasyon kalıbının içinden devamlı olarak pompalanır ve sıkıştırılır. Materyalin soğuması, genelde soğuk su banyosu vasıtasıyla sağlanır. Bu işlemden sonra malzeme, son istenen uzunlukta parçalara kesilir. Çift helezonlu ekstrüderler, profil ekstrüzyon işlemi için karıştırıcı ve pompa olarak kullanılabilirler. Birçok ürün bu şekilde üretilmektedir. Yaygın olanlar; boru ve tüp üretimi, mobilya kenar kaplama malzemeleri, mobilya ve tabaka/levha şeklindeki eşyalardır (Rowell ve diğ. 1997). Katı ekstrüzyon ve ko-ekstrüzyon yöntemleri ise diğer ekstrüzyon üretim yöntemlerindendir (Rowell, 2006).

#### **2.2.6.2.Enjeksiyon Metodu**

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, profil ekstrüzyon yönteminden farklıdır. Bu yöntemde materyal ısıtıldıktan sonra kalıbın içine pompalanır. Bu kalıbın içinde materyal son şeklini alır ve soğur. Daha sonra kalıp açılır ve içinden bitmiş ürün çıkar. Enjeksiyon yöntemiyle kalıplanmış parçalar düğmelerden, bilgisayar kasalarına, otomotiv parçalarına kadar çok değişik şekilde kullanılmaktadır.

Enjeksiyon ile kalıplanmış kompozitler, odunu saran ve rutubet ile temastan koruyan termoplastik bakımından zengin bir yüzeye sahiptir. Bu nedenle enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilen malzemelerin rutubet sorpsiyonu, diğer yöntemlerle üretilen kompozitlerden daha iyidir (Rowell, 2006).

### **2.2.6.3. Basınçla Kalıplama Metodu**

Pratik olarak, düşük termoplastik içeren kompozitler, birçok performans karakteristiklerinde geleneksel lignoselülozik kompozitlere benzer şekilde üretilmektedir (Youngquist ve diğ. 1993). En basit şekliyle; termoplastik granüller, odun partikülleri veya lifler ile kuru bir şekilde karıştırılır. Daha sonra preslenerek levha ürünleri elde edilir. Çünkü termoplastik bileşen ısındığı zaman, erimiş bir halde kalır. Termoset reçinelerinde kullanıldığında uygulanan farklı presleme stratejileri kullanılmalıdır (Rowell ve diğ. 1997).

Bu tip kompozitleri üretmek için iki seçenek geliştirilmiştir. İlk seçenekte, her iki materyal odun ve plastik sıcak prese yerleştirilir ardından pres kapanır ve iki materyali birleştirir. Sıcaklık, termoplastik bileşeni eritmek transfer edilir. Termoplastik bileşen, lignoselülozik bileşenin etrafına akar. Pres daha sonra soğutulur, termoplastik bileşen donar. Burada amaç, kompozit malzemenin presten çıkarılabilmesidir.

Alternatif olarak; materyal, ilk olarak fırında veya sıcak preste ısıtılabilir. Sıcak materyal daha sonra soğuk prese transfer edilir. Burada, materyal hızlı bir şekilde birleştirilir ve rijit bir levha elde etmek için soğutulur. Bazı ticari yapısal olmayan lignoselülozik/termoplastik kompozitler, bu şekilde üretilir (Rowell ve diğ. 1997).

### **2.2.7. Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Su Absorbsiyonu**

Kompozit malzemenin en göze çarpan özelliği masif ahşap ile mukayese edildiğinde nispeten daha az su absorbe etmesidir. Odun ve OPK malzeme su içerisinde 24 saat bekletildiği takdirde odunun ağırlığının %25 oranında arttığı, kompozit malzemedede ise sadece %0,7-2 civarında bir ağırlık artışı olduğu görülmektedir (Klyosov, 2007). Bilindiği gibi odun plastik kompozit malzeme rutubete maruz bırakıldığında masif ahşaptan çok daha iyi boyutsal stabilizasyon göstermektedir (Clemons, 2002). Ancak genel olarak bilinenin aksine odun plastik matriks içerisinde tamamen çevrelenmemektedir. Pek çok test bu çevrelemenin özellikle de yüzey tabakasında

tamamlanamadığına işaret etmektedir. Bundan dolayı da rutubete maruz kalan kompozit malzeme içerisindeki odun bileşeni suyu absorbe edebilmektedir (Naghipour, 1996). Eğer bir kompozit malzeme %40'ın üzerinde selüloz içeriyorsa böyle bir çevreleme çok düşük olmaktadır. Çünkü odun katılım oranı arttıkça, kompozit malzeme içerisindeki odun partikül miktarı arttıkça bu partiküllerin polimer matriks içerisinde dağılımı da zorlaşmaktadır (Klyosov, 2007).

Aslında su absorpsiyonu materyalin dış katmanında oluşmakta ve iç kısımlara doğru ilerledikçe azalmaktadır. Bu miktar 24 saatlik su içerisinde bekletmenin ardından tüm su absorbe edilen suyun %15'ini oluşturmaktadır. Yüksek miktarda su absorbe eden kompozitler dirençte olası düşüşlere, malzemede dönüklük miktarının artmasına, şişmesi sonucunda yanında bulunan elemente yaptığı baskı sonucunda burulma çarpılma, mantar gelişimine ve bunu takip eden yapısal bozunmalar ile sonuçlanmaktadır (Klyosov, 2007).

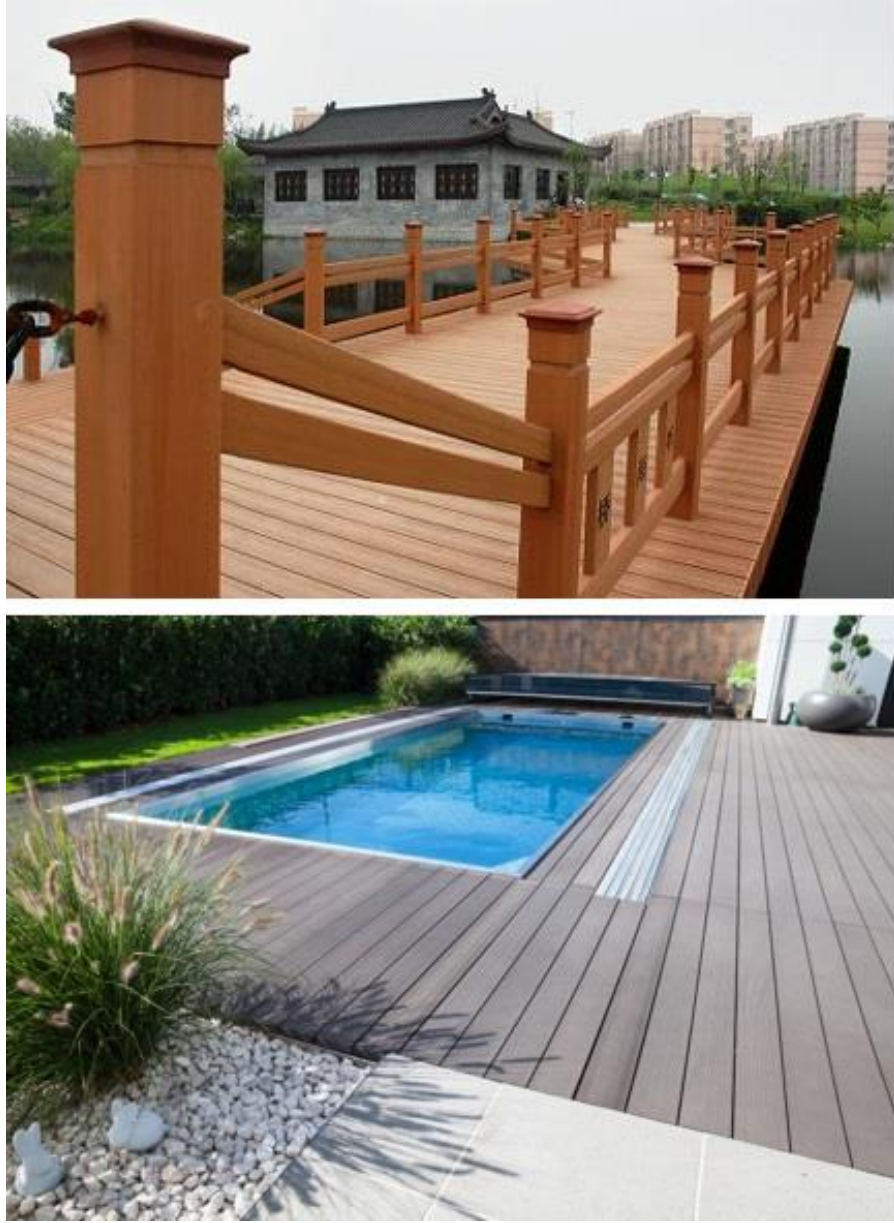
OPK malzemenin su absorpsiyonu, kendisinin sahip olduğu poroziteye, selüloz lifi miktarına ve bu liflerin su alma becerilerine bağlıdır (Klyosov, 2007).

#### **2.2.8. Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları**

OPK kullanım alanları orman ürünleri sektörüne girdiği günden beri gelişim göstermiş, hızlı gelişen alanlardan bir tanesi haline gelmiş ve birçok kullanım alanı bulmuştur. İnşaat sektöründe; kapı, pencere ve çerçeve, havalandırma, çatı, merdiven, bina içinde; dekoratif profiller, raf, yer kaplaması (Şekil 2-11), tırabzan, tabla, otomotivde kapı, iç panel, karoseri, arka raflar, bardak tutacakları, park ve bahçede; çit, park-bahçe mobilyası, kamelya (Şekil 2-14), yürüyüş parkurları, çocuk parkı, bank, ıslak zeminlerde yer döşemeleri (Şekil 2-13) endüstriyel olarak ise ambalaj, palet, iskele, uyarı levhaları, sandık olarak kullanım alanı bulmaktadır (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).



**Şekil 2.11:** Odun plastik kompozit malzemenin yer döşemesi olarak kullanımı (Anonim, 2014g).



**Şekil 2.12:** Odun plastik kompozit malzemenin su ile temas halindeki alanlarda kullanımı (Anonim, 2014h).



**Şekil 2.13:** Odun plastik kompozit malzemelerin dış mekan uygulamalarında kullanımı (Senco Holzfachhandel, 2014).

## **2.3.ODUN PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELERİN BİYOLOJİK PERFORMANS ÖZELLİKLERİ**

### **2.3.1. Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Biyolojik Performansını Etkileyen Faktörler**

Odun plastik kompozitlerde 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 diğ., 2002; Verhey ve Laks, 2002; Silva, 2003; Klyosov, 2007; McDonald ve diğ., 2009; Morrell ve diğ., 2010).

### **2.3.1.1. Ağaç Türü**

Her ağaç türü odunu farklı anatomik ve kimyasal yapıya sahip olması sebebiyle farklı performans özellikleri göstermektedir. Odun plastik kompozit 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 diğ., 2013).

Verhey ve Laks (2002) yapmış oldukları toprak blok (soil block) testleri sonucunda çam (*Pinus* spp.) ağaç türü odunu örneklerinin akçaağaç (*Acer* spp.) ağaç türü odunu örneklerinden daha hassas olduğunu görmüşlerdir.

Fabiyi ve diğ. (2011) odun plastik kompozitlerinde ağaç türünün dayanıklılık özellikleri 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 odunlarını incelemişlerdir. 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. Ponderosa çamı ve kavak türleri odunları mantar çürüklüğüne karşı en az dayanım gösteren türler olmuştur. Sonuç olarak ağaç türü seçiminin odun plastik kompozit malzemenin performans özellikleri üzerine etkisinin önemli ölçüde olduğunu belirtmişlerdir.

Kartal ve Green (2003) ise yapmış oldukları bir çalışmada sadece meşe (*Quercus* spp.), çam (*Pinus* spp.), kayın (*Fagus* spp.) ve karışık türler (çam, kayın ve meşe odununu artıklarından belli oranlarda karıştırarak) ile elde ettikleri orta yoğunluklu lif levhaları (MDF) mantar dayanım testine tabi tutmuşlar ve meşe (*Quercus* spp.), ile karışık türlerden elde edilmiş örneklerin diğer örneklere oranla daha dayanıklı oldukları sonucuna varmışlardır.

Çoğu standart testlerde, diri odun test örneklerindeki ağırlık kaybı mantar ve odun türüne bağlı olarak 12 haftalık test sonrasında genellikle %20 ila 65 arasındadır, ancak odun plastik kompozit malzemede gerçekleştirilen benzer testler sonucunda odundaki ağırlık kaybı sadece %5 ila 10 arasında olmuştur (Kartal ve diğ., 2012).

### **2.3.1.2. Polimer Türü**

Kullanılan plastiğin türü de kompozit malzemenin performans özelliklerini ve malzemedeki su absorpsiyonunu etkilemektedir. Bütün polimerler farklı erime sıcaklık ve davranışlarına, farklı kimyasal yapıya sahip olduğundan farklı performans özelliklerine sahiptir. Örneğin polietilen kompozitleri polipropilen ile elde edilmiş kompozit malzemelerden daha fazla su absorbe etmektedir (Naighpour, 1996).

### **2.3.1.3. Odun Partikül Büyüklüğü**

Odun partiküllerinin boyutları genellikle “mesh<sup>1</sup>” ölçü birimi ile ölçülmektedir. Odun plastik kompozit üretiminde kullanılan odun daha çok partikül formunda ya da çok kısa lifler halinde olup uzun lifler tercih edilmemektedir. Partikül büyüklüğü odun plastik kompozit 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 çevrenmeyi kolaylaştırarak odun partiküllerinin birbiri ile temasını azaltmaktadır. Böylece rutubet alış veriş en aza inmekte ve dolayısıyla mantar gelişimi de sınırlanmaktadır (Silva ve diğ., 2007). Bununla birlikte küçük boyutlu partiküller mekanik özellikler açısından da daha iyi özellikler vermektedir (Kociszewski ve diğ., 2012). Silva (2003) odun partikül büyüklüğünün odun plastik kompozit malzemenin su absorpsiyonu, sertlik, odun plastik etkileşimi ve mantar degradasyon hassasiyeti gibi özelliklerini etkileyebileceğini belirtmiştir. Genel olarak, küçük boyutta partikül içeren odun plastik kompozit malzeme artan bir rutubet dayanımı göstermektedir (Tatakani, 2000) çünkü böyle partiküller genellikle odun lifi ve plastik arasında ara yüz

---

<sup>1</sup> Enine ve boyuna eşit aralıklarla gerilmiş elek tellerinin oluşturduğu açıklık mesh olarak tanımlanır. Birim olarak ise bir elekten geçebilen en büyük parçanın ölçüsüdür.

oluşumunu geliştirmekte ve rutubet hareketine ve mantar gelişimine sebebiyet veren boşlukların oluşumunu engellemektedir (Mankowski ve Morrell, 2000).

Partikül büyüklüğü odun plastik kompozit malzemelerin biyolojik olarak bozunmasında etkili bir faktördür. Yapılan çalışmalar da bu faktörün önemli olduğunu göstermiştir. Örneğin; 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 (Klyosov, 2007).

#### **2.3.1.4.Odun/Plastik Katılım Oranı**

Silva (2003) plastiğin mantar degradasyonuna dayanıklı olması sebebiyle odun plastik kompozit malzeme içindeki odun/plastik oranının odun plastik kompozit malzemenin çürüklük dayanımı üzerinde doğrudan etkisinin olduğunu belirtmiştir. Günümüzde, en yaygın kullanılan odun/plastik oranı 50/50'dir, ancak 60/40 ve hatta 70/30 oranları da endüstri tarafından kullanılmaktadır (Pendleton ve diğ., 2002; Clemons, 2002). Odun plastik kompozit malzeme içindeki yüksek orandaki odun içeriği genellikle daha hızlı su absorpsiyonu ile sonuçlanır. Çünkü hidrofilik olan lignoselülozik materyal su alımı için uygundur (Verhey ve diğ., 2002; Clemons, 2002). Bu karakteristik özellikler rutubet alımına ilaveten mantar gelişimini sınırlandırmak için de önemlidir.

#### **2.3.1.5.Odun/Polimer Etkileşimi**

Odun plastik kompozit malzemenin iki ana maddesi olan odun ve plastik birbirlerinden çok farklı özellikler göstermektedir. Odun hidrofilik bir yapıya sahip iken plastik çoğunlukla hidrofobik özellik göstermektedir (Wolcott, 1996; Sanadi ve diğ., 1993). Bu sebeple rutubet karşısında odun, boşluklarına ve çepere su alarak çalışmaya başlar. Bunun yanında plastikte herhangi bir değişim söz konusu olmaz ancak iki malzeme arasında gerilmeler oluşmaya başlar ve bu gelişmeler var olan matriksin yapısını arttırarak malzeme içerisinde çatlaklar ve yarıklar oluşturmaya başlar. Plastik malzeme ve odun partikülü arasındaki bağ zayıflar ve malzemenin formu bozulur. Formu bozulan malzeme daha kolay rutubet alır ve biyolojik saldırılara karşı savunmasız hale gelir. Bu nedenle bu

iki farklı özellikteki materyalin bir arada bir yapı oluşturabilmesi için uyumlaştırıcı kimyasalların kullanılması gerekmektedir (Klyosov, 2007).

#### ***2.3.1.6.Organizma Türleri***

Kullanım yerinde ağaç malzemeye arız olabilecek pek çok organizma türü bulunmaktadır. Böcekler (özellikle termitler), bakteriler, algler, iskele kurdu ve odun çürüten mantarlar ve küf mantarları gibi organizmalar odunda tahribata sebep olmaktadır. Bu canlılardan bazıları odunu yaşam alanı bazısı ise sadece besin kaynağı, bazıları ise hem besin kaynağı hem de yaşam alanı olarak kullanabilmektedir. Ancak odunda en çok etkili çürüklüğe sebep olan mantar türleri esmer çürüklük yapan Basidiomycetes mantarlarıdır. Bu mantar türleri ilk olarak mikrobiyal saldırılara karşı odunu koruyan ligninden önce selülozu parçalar (Bozkurt ve diğ., 1995). 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 odun plastik kompozit malzemelerdeki plastiklere direkt olarak saldırmazlar. Tüm bu organizmalar içerisinde odun plastik kompozit malzemelere arız olan organizma türleri Basidiomycetes türü mantarlardır. Bu mantarlar yeterli rutubet seviyelerini ve yeterli boşluklu yapıyı elde ettiklerinde gelişmeye başlayabilirler (Morrell ve diğ., 2010). Dış hava koşullarında iklimsel yaşlanma, mekaniksel eskime ve ultraviyole etkisi ile yaşlanmış odun plastik kompozit malzeme üzerinde bazı mantar türlerinin üreme organlarının geliştiği görülmüştür (Morris ve Cooper, 1998) .

#### ***2.3.1.7.Odun-Plastik Kompoziti Üretim Metodu***

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki kullanılan üretim yöntemi odun plastik kompozit malzemenin biyolojik dayanımında oldukça etkilidir. Örneğin; Clemons ve Ibach (2004) yapmış oldukları çalışmada odun-yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kompoziti içerisinde rutubetin ilerlemesi amacıyla 2 haftalık suda bekletme veya kaynatma-kurutma döngüsü yöntemini kullanmışlardır. Kullandıkları kompozit malzemeler ekstrüzyon, enjeksiyon ve basınçla kalıplama yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Kondisyonlamanın ardından bu örnekler modifiye edilerek uygulanan toprak blok (Soil Block) (ASTM 1413) testi kullanılmış ve sonuç olarak bu kompozitlerin rutubet alışverişleri değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre en az rutubeti enjeksiyon yöntemine göre üretilen kompozitler, en fazla rutubeti ise ekstrüzyon yöntemine göre üretilen kompozitler almışlardır.

### **2.3.2. Odun Plastik Kompozit Malzemelerde Rutubet ve Biyolojik Performans İlişkisi**

Bilindiği üzere odun ve odun-plastik kompozitlerinde mantar gelişiminin gözlemlenebilmesi için şu şartların sağlanıyor olması gerekmektedir;

- Sindirilebilir bir substrat yüzeyi (selüloz lifi gibi)
- Kimyasal büyüme faktörleri (Karbonhidratlar, metaller, mineraller ve diğer besinler)
- Su (Tercihen %20-30 oranında)
- Oksijen
- Uygun sıcaklık (Tercihen 15-40 oC)
- Uygun pH aralığı (çok az asidik pH 4-5 arası) (Klyosov, 2007; Manning ve diğ., 2006 ).

Su, yani rutubet faktörü bunların arasında çok büyük önem teşkil etmektedir. 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 arayüzü yok olur, plastikte mikro çatlaklar oluşmaya başlar ve odun partikülleri parçalanarak kopmaya başlar (Morrell, 2010). Yapılan bazı çalışmalarda odun plastik kompozit malzemelerde çürüme ve mantar gelişim sürecini hızlandırma ve geliştirmek amacıyla bazı yaşlandırma işlemleri gerçekleştirilmiş ve malzemedeki rutubet seviyesi mantarın gelişmesi ve yaşaması için gerekli olan seviyeye ulaştırılarak çürüklük testleri gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Schirp ve Wolcott (2005) ekstrüzyon metodu ile elde edilmiş odun plastik kompozit malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde mantar çürüklüğünün ve rutubet absorpsiyonunun etkilerini araştırmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmada lale ağacı (*Liriodendron tulipifera* L.) diri odunu ve sekoya (*Sequoia sempervirens*) öz odunu ile polietilenin birlikte ekstrüde edilmesi sonucunda elde edilen odun plastik kompozit malzemeyi kullanmışlardır. Sonuç olarak da odun plastik kompozit malzemelerin sertliğinde rutubet absorpsiyonunun mantar çürüklüğünden çok daha fazla etkili olduğu

bilgisine ulaşmışlardır. Odun plastik kompozit malzemelerin direncinde ise mantar çürüklüğünün etkili olmadığı fakat % 70 oranında odun içeren formülasyonlarda rutubetin direnç değerlerini düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.

### **2.3.3. Odun Plastik Kompozit Malzemeler için Biyolojik Performans Ölçme Standart Test Metotları**

#### ***2.3.3.1.Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Test Edilmesinde Karşılaşılan Zorluklar***

Genel olarak, odun ve odun esaslı malzemelerin dayanıklılığının test edilmesinde kullanılan standart test yöntemleri standart test mantarlarının kullanımını gerektirmektedir. Çoğu standart testlerde, diri odun test örneklerindeki ağırlık kaybı mantar ve odun türüne bağlı olarak 12 haftalık test sonrasında genellikle %20 ila 65 arasındadır, ancak odun plastik kompozit malzemelerde gerçekleştirilen benzer testler sonucunda odundaki ağırlık kaybı sadece %5 ila 10 arasında olmuştur (Silva ve diğ., 2007). Masif ahşap için kullanılmakta olan standart test metotları odun plastik kompozit malzemede etkili değildir. Masif ahşap için oldukça şiddetli olan bu şartlar odun plastik kompozit malzeme için yeterli şiddette olamamaktadır. Çünkü odun plastik kompozit malzemede rutubet ilerleyişi oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Polimer matriks ile çevrelenmiş odun partiküllerine suyun ulaşması neredeyse imkânsızdır. Ancak sert dış hava koşullarında kullanılan malzemelerde polimer matriks ile odun partikülleri arasındaki bağ zayıflar ve odun partikülleri serbest kalır ve böylece rutubet ilerlemesine ve mantar saldırısına karşı hassasiyet kazanır (Morrell, 2010). Bundan dolayıdır ki dayanıklılık testine maruz bırakılacak odun plastik kompozit malzeme örneklerinin test öncesinde ön kondisyonlama ya da diğer bir deyişle yaşlandırma işlemine tabi tutulması gerekmektedir.

#### ***2.3.3.2.Odun için Kullanılan Standart Test Metotları***

Odun ve odun kompozitlerindeki mantar degradasyonunu değerlendirmede kullanılan pek çok test metodu bulunmaktadır. Ancak odun plastik kompozitlerinin biyolojik dayanımını test etmede kullanılmak suretiyle geliştirilmiş uygun bir laboratuvar test metodu bulunmamaktadır. Masif ahşabın biyolojik performansını belirlemede çürüklük seviyesinin malzemede oluşan ağırlık kayıplarının ölçülmesi ilkesine dayanan ve hali hazırda kullanılmakta olan “Soil-Block” (toprak blok) ve “Agar-Block” (agar blok) test

metotları odun plastik malzemelerin biyolojik performansını belirlemede de kullanılmaktadır.

- JIS K 1571 Odun koruyucu kimyasalların etkileri ve performans isteklerini belirleme test metodu

Japon standardı olan bu standartta diğer toprak blok testlerinden farklı olarak mantar gelişim ortamı olması amacıyla toprak yerine deniz kumu (Quarz kumu) kullanılmaktadır. Test edilecek olan örnek ölçüleri 20x20x10 mm olmakta ve toprak blok testinde olduğu gibi şişeler içerisine konulan örnekler 12 haftalık bir inkübasyon sürecine maruz bırakılmaktadır.

- BS EN 113 Odun koruyucu kimyasallar — Odunu tahrip eden basidiomycete mantarlarına karşı koruyucu etkinliğinin belirlenmesi test metodu — Zehirlilik değerlerinin belirlenmesi

Avrupa’da kullanılmakta olan bu standart odun koruyucuların test edilmesinde kullanılan en eski metottur. Test öncesinde 50x25x15mm ölçülerindeki test örnekleri 103°C’de 18 saat bekletilerek kondisyonlanır. Ardından oda koşullarında desikatörde soğutulur. Hacim ve ağırlıkları (0,01 g duyarlılıktaki bir terazide) belirlenerek yoğunlukları hesaplanır. Emprenye işleminin ardından örnekler 4 hafta kondisyonlanır. 1000 mL su içerisine 40 g malt agar ekstraktı karıştırılarak hazırlanan besi ortamı 121°C’de 103 kpa basınç altında 20 dk. sterilize edilir. Hazırlanan besi ortamı sıvısı kolle şişeleri içerisine dökülür. Sıvının donmasının ardından aşılama işlemi gerçekleştirilir. Tüm bu işlemler steril bir ortamda gerçekleştirilmelidir. Aşının ardından hazırlanan kültürlerin kontamine olmaması için şişelerin ağızları steril pamuk ile tıkanır. Ardından kültürler mantar gelişiminin başlaması için %70±5 bağıl nemde 20±2°C sıcaklıkta 7 gün geliştirilir. Test örnekleri kolle şişeleri içerisindeki agar besi ortamında geliştirilen esmer ya da beyaz çürüklük mantarına 16 hafta süre ile bırakılırlar. Test bitiminde örnekler tekrar 103°C’de kurutulduktan sonra tartılır (0,01 g duyarlılıktaki bir terazide) ve kütle kayıpları hesaplanır. %3’ün altındaki ağırlık kayıpları kabul edilmez.

- ASTM D1413 – Laboratuvar toprak blok kültürleri ile odun koruyucu kimyasallar için standart test metodu

Amerika’da genel olarak uygulanan mantar dayanım testlerinden biri Amerikan Materyal Test Derneği (ASTM)’nin standart test metodudur. 25x25x9 mm ölçülerindeki test örnekleri farklı konsatrasyonlarda hazırlanan emprenye maddeleri ile emprenye edilir. Denge rutubete gelinceye kadar konsiyonlama odasında bekletilir ve ardından değişmeyecek bir sıcaklık ve bağıl nemde 0,01 duyarlılıktaki bir hassas terazi ile ağırlıkları belirlenir. Substrat olarak toprak kullanılır. Kullanılacak toprağın su tutma kapasitesi %20 ile 40 arasında, pH’ı 5 ile 8 arasında, 120 m<sup>3</sup> toprağın fırın kurusu ağırlığı 90 g olmalıdır. 225 mL hacimde silindirik ya da kare şeklinde cam şişeler kullanılır. Toprak şişelere konulur ve toprağın su tutma kapasitesi % 130 olacak şekilde su eklenir. Ardından besleyici çubuklar toprak üzerine yerleştirilir. Bu şekilde şişeler 121°C’de 30 dk. sterilize edilir. Soğutulduktan sonra steril bir aşı kabini içerisinde mantarlar aşılır. Bir esmer bir beyaz çürüklük mantarı kullanılır. Aşılana şişeler 26,7±1°C sıcaklıkta %70±4 bağıl nemde 3 hafta ya da besi çubukları tamamen mantar miselleri ile kaplanana kadar iklimlendirme dolabında bekletilir. Bu sürenin ardından sterilize edilmiş odun örnekleri şişelerin içerisine dikkatle yerleştirilir. 12 haftalık beklemenin ardından örnekler çıkarılır, miseller temizlenir, örnekler başlangıçta kondisyonlandığı şekilde kondisyonlanırlar (aynı sıcaklık ve bağıl nemde). Ağırlık kayıpları kondisyonlamanın ardından hesaplanır.

- AWP A E10-12 Odun koruyucu kimyasalların laboratuvar toprak blok kültürleri ile test edilmesi standart test metodu

Kuzey Amerika’da genel olarak uygulanan mantar dayanım testlerinden biri Amerikan Odun Koruma Derneği (AWPA)’nin standart test metodudur. Test öncesinde teste tabi tutulacak olan tüm örnekler etüv içerisinde 40-105±1°C’de değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulur ve ağırlıkları 0,01 g duyarlılıktaki hassas terazi ile belirlenir. 225 mL hacimde silindirik ya da kare şeklinde cam şişeler kullanılır. Toprak özellikleri, aşı ve sterilizasyon işlemi ASTM standardı ile aynıdır. ASTM standardından farklı olarak örnek ölçüleri 19x19x19 mm ölçülerindedir. İnkübasyon koşulları 22 ile 28°C sıcaklık ve % 80 ile 90 bağıl nem aralığındadır. Odun plastik kompozitleri ön kondisyonlama işlemine maruz bırakılır. Bu da iki şekilde gerçekleştirilir; i) 70°C sıcak su içerisinde 5 gün bekletilerek ve ii) oda sıcaklığında su içerisinde 2 hafta bekletilerek. Test bitiminde ASTM ile benzer şekilde örnekler misellerden temizlenir ve 40-105±1°C’de değişmez

ağırlığa gelene kadar kurutulur ve ağırlıkları 0,01 g duyarlılıktaki hassas terazi ile belirlenir. Başlangıç ve son ağırlıkların belirlendiği sıcaklıklar aynı olmalıdır. Ağırlık kayıpları hesaplanır.

- ASTM D2017-05 Odunların doğal dayanıklılıklarının hızlandırılmış laboratuvar testleri standart test metodu

Bu yöntem pek çok yönü ile ASTM D1413 ile benzerdir. Farklı olarak örnek boyutları 25x25x9 mm'dir. İnkübasyon sıcaklığı ve 25 ve 27°C ve bağıl nem ise % 65 ve 75 arasındadır.

### ***2.3.3.3. Odun Plastik Kompozit Malzemeler İçin Geliştirilen Test Metotları***

Odun plastik kompozit malzemenin yapısı ve özellikleri masif ahşaptan farklı olduğu için var olan bazı standart test metotlarında değişiklikler yapılmıştır. Çünkü laboratuvar koşullarında masif ahşap için uygulanan test yöntemleri odun plastik malzemeye uygulandığında biyolojik olarak herhangi bir bozunma söz konusu olmamış ancak kullanım yerinde bu malzemelerde sert iklim koşulları sebebiyle fiziksel ve biyolojik olarak bozulmalar görülmüştür (Morris ve Cooper, 1998). Örneğin AWWA var olan toprak blok test metodunu test öncesinde bir kondisyonlama ekleyerek modifiye etmiştir (AWWA, 2012). Bu şekilde odun plastik kompozit malzemenin uzun süreli performans özellikleri öngörülebileceği düşünülmektedir. Kondisyonlamada amaç örneğin rutubet miktarını arttırarak çürüklük mantarları için malzemeyi uygun rutubet seviyesine ulaştırmaktır. Bu nedenle test öncesinde aşağıdaki her hangi bir kondisyonlama yöntemi kullanılmaktadır;

1. Odun plastik kompozit malzeme örnekleri test öncesinde 70°C sıcak su içerisinde 5 gün süre ile bekletilmektedir.
2. Odun plastik kompozit malzeme örnekleri test öncesinde oda sıcaklığındaki su içerisinde 2 hafta bekletilmektedir (AWWA, 2012).

Başka bir ön kondisyonlama, diğer bir deyişle suni yaşlandırma ASTM geliştirmiş olduğu D1037-06a Odun Esaslı Lif ve Yonga Levhaların Özelliklerinin Değerlendirmesi Test Metodudur. Bu yöntemde ise malzeme örnekleri test öncesinde 6 aşamalı bir suni yaşlandırma tabi tutulmaktadır. Döngü şu şekilde seyretmektedir;

1.  $49\pm2^{\circ}\text{C}$  sıcak su içerisinde 1 saat bekletme
2.  $93\pm2^{\circ}\text{C}$ 'de 3 saat sıcak buharlama
3.  $-12\pm3^{\circ}\text{C}$ 'de 20 saat dondurma
4.  $99\pm2^{\circ}\text{C}$ 'de kuru havada 3 saat kurutma
5. Tekrar  $93\pm2^{\circ}\text{C}$ 'de 3 saat sıcak buharlama
6.  $99\pm2^{\circ}\text{C}$ 'de kuru havada 18 saat kurutma

Döngüler tamamlandıktan sonra test örnekleri test öncesinde  $20\pm3^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve  $\%65\pm2$  bağıl nemde en az 48 saat süre ile kondisyonlanmalıdır (ASTM, 2010). Tüm bu ön kondisyonlama işlemleri ağaç malzemenin dış ortam koşullarındaki maruz kaldığı etkileri suni olarak elde etmek amacıyla yapılmaktadır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİ VE ODUN ÖRNEKLERİ

Bu çalışmada iki farklı odun plastik kompozit türü incelenmiştir. İlk grup Japonya’da üretilmiş olup, plastik türü olarak polipropilen (PP) kullanılmıştır. Diğer grup ise Türkiye’de üretilmiş olup üretiminde plastik türü olarak polietilen (PE) kullanılmıştır. Her iki kompozit malzemenin de üretiminde kullanılan odun partikülleri karışık türlerden oluşmaktadır. Odun polimer kompozit örnekleri MISAWA Homes Co. Ltd. tarafından Japonya’da üretilmiştir. Örnekler odun ve termoplastik reçinesi olan ticari PP kullanılarak hazırlanmıştır. PP 160 °C erime noktası ve 2g 10 dk.-1 akış oranına sahip ticari homopolimerdir (E-200GP). Odun ve PP karışımı kapalı bir karıştırıcı içerisinde 10 dk. süreyle sabit sıcaklık olan 180 °C’de, sabit olan karıştırıcı 30 rpm’lik devir hızı ile karıştırılmıştır. Test örnekleri 100x100x5 mm’lik kalıp kullanılarak yapılmıştır. Odun, PP ve diğer katkı maddeleri içeren kalıplar 180 °C’de ısıtılmış ve 45 saniye 2 MPa’lık basınç altında sıkıştırılmıştır, ardından oda sıcaklığında soğutulmuştur. Elde edilen odun plastik kompozit malzeme örnekleri 20x20x5 mm ebatlarında kesilmiştir. Üretilen odun plastik kompozit malzeme örnek grupları Tablo 3-1’de içerdikleri odun ve katkı maddeleri miktarları ile verilmiştir.

**Tablo 3.1 :** Üretilmiş olan odun-polipropilen örnek grupları.

| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | Odun İçeriği (g) | PP (g) | PE vaks (g) | Ca-stearate (g) | Pigment I (g) | Pigment II (g) | Toplam Ağırlık (g) |
|-------------------|------------------|---------------------------|------------------|--------|-------------|-----------------|---------------|----------------|--------------------|
| 1                 | 50               | 60                        | 30.69            | 24,12  | 0.56        | 0.56            | 0.28          | 2,79           | 60                 |
| 2                 | 50               | 30                        | 30.69            | 25,12  | 0.56        | 0.56            | 0.28          | 2,79           | 60                 |
| 3                 | 70               | 60                        | 41.86            | 13,95  | 0.56        | 0.56            | 0.28          | 2,79           | 60                 |
| 4                 | 70               | 30                        | 41.86            | 13,95  | 0.56        | 0.56            | 0.28          | 2,79           | 60                 |
| 5                 | 50               | 100                       | 30.69            | 25,12  | 0.56        | 0.56            | 0.28          | 2,79           | 60                 |
| 6                 | 70               | 100                       | 41.86            | 13,95  | 0.56        | 0.56            | 0.28          | 2,79           | 60                 |

Pigment I: Purple oksid; Pigment II: Br pigment

Odun polietilen kompozit üretimi ticari olarak odun plastik kompozit malzeme üretimi yapan Alsan Elektrik Plastik San. ve Tic. Ltd. Şti. tesislerinde gerçekleştirilmiştir. Üretim çift vidalı ekstrüder kullanılarak ticari yer döşemesi (deck) boyutlarında

gerçekleştirilmiştir. Odun plastik kompozit malzeme üretiminde ağırlıkça %50 odun unu ve %1 oranında uyumlaştırıcı (coupling agent) olarak kullanılmıştır. Üretimde değişken oranda yüksek yoğunluklu polietilen kullanılmıştır (Petkim S 0464). Çinko borat katkılı odun plastik kompozit üretiminde %5 oranında çinko borat (Melos A.Ş.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.1:** Odun-PE kompoziti üretiminde kullanılan polietilen granülleri ve odun unu.

**Tablo 3.2:** Üretilmiş olan odun-polietilen örnek grupları

| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | PE (%) | Kimyasal (ZnB) (%) | Uyumlaştırıcı (Coupling agent) (kg) |
|-------------------|------------------|--------|--------------------|-------------------------------------|
| K                 | 50               | 49     | -                  | 1                                   |
| Z                 | 50               | 44     | 5                  | 1                                   |

K: Çinko borat içermeyen odun polietilen kompozit örneği, Z: Çinko borat içeren odun polietilen kompozit örneği, PE: Yüksek yoğunluklu polietilen (Petkim S 0464), ZnB: Çinko borat (Melos A.Ş.).

### 3.2.TEST MANTARLARI

#### 3.2.1. *Tyromyces (Fomitopsis) palustris* türü

Hızlı gelişen, 2 haftada 25°C sıcaklıkta koloni oluşturabilen mat beyaz renkte misellere sahip optimum sıcaklığı 24°C olan ve bakırı degrade edebilen esmer çürüklük mantarıdır. Üreme organı yaklaşık 5 cm genişliğinde 2,5 cm uzunluğunda ve yaklaşık 1 cm kalınlığındadır. İkiye bölünmüş, parlak, ince çatlaklı bir kütikulası vardır. Beyaz renktedir. Gözenekleri ufak, ince septumları ve düzensiz kenarlara sahiptir. Daha çok

güneyde yayılış gösterir. Kuzey Amerika ve Kanada'da rastlanmaz (Berkeley ve Curtis, 1849).

### 3.2.2. *Schizophyllum commune* türü

*Schizophyllum commune* dünya çapında her yerde bulunan, lignin dahil kompleks bitki bileşenlerini degrade edebilen bir beyaz çürüklük mantarıdır. Saprofit olarak yaşamakta, yeni kesilmiş gövde ve kütüklere arız olmaktadır. Kuraklığa karşı dayanıklıdır. Üreme organı 2-5 cm genişliğinde, gri renkte ve yelpaze şeklindedir. Kenarları loplu ve ince kıllı bir yapıya sahiptir. Kırmızımsı lamelleri kuruyunca uzunlamasına çatlamakta ve uç kısımları geriye doğru kıvrılmaktadır (Şekil 3-2). Optimum gelişme sıcaklığı 30°C ancak 40°C'ye kadar gelişmeyi sürdürebilmektedir. Yeni kesilmiş oduna arız olmasından ötürü besin maddesi olarak hücre içi maddeleri kullandığı düşünülmektedir Bozkurt ve diğ., 1995).

*S. commune* küçük sporoforları, köksüz oluşu ve geniş yapraklı ağaçların odunlarında küçük kiremitvari yapısı ile kolayca teşhis edilebilmektedir. *S. commune* alt kısmında lameller ya da basit, düz bir yüzey yerine solungaçlara sahiptir (Kuo, 2003).

Miselyum genişliği 102,97 mm olmaktadır. Gelişimi için en uygun pH derecesi 5,5'dir (Adejoye ve diğ., 2007).



Şekil 3.2: *Schizophyllum commune* (Anonim, 2010).

### 3.2.2. *Pycnoporus coccineus* türü

Odun plastik kompozit malzeme üzerinde kullanım yerinde görülmüş olan bir mantar türüdür (Şekil 3-3 A). Üreme organının genellikle ikiye bölünmüş, genç üreme organları

1-2 cm çapında iken, gelişmiş olanları 5x15x1 cm ölçülerindedir. Üst yüzeyi azonal, derimsi tekstüre sahiptir. Kadifemsi dokuda olan mantarın rengi çoğunlukla turuncumsu, kırmızımsı turuncu ve kahverengimsi turuncudur (Şekil 3-3 B). Septumların kenara yakın kısımları nispeten kalın ancak yaşlandıkça incelmektedir. Hızlı bir şekilde gelişir ve saprofit olarak yaşamaktadır (Nobles ve Frew, 1962) . Odun hücre çeper tabakasında bulunan üç ana bileşik olan lignin, selüloz ve hemiselülozu da degrade edebilen beyaz çürüklük mantarıdır (Cody B.R.,2011).



Şekil 3.3: *Pycnoporus coccineus* (Lepp, 2013; Manning ve diğ, 2006, Anonim, 2014g).

### 3.2.3. *Coriolus (Trametes) versicolor* türü

Dünyanın pek çok yerinde görülmekte olan ve daha çok ılıman iklim kuşağındaki ülkelerde rastlanan (Bozkurt ve diğ., 1995), yapraklı ağaç odunlarının test edilmesinde kullanılmakta olan bir beyaz çürüklük test mantarıdır (ASTM, 2010). Odunda bulunan selüloz, lignin ve hemizselülozu hemen hemen aynı oranda tahrip edebilen ve oduna en fazla zarar veren Basidiomycete türü mantardır ancak ilk etapta en çok lignini degrade

etmektedir (Evans ve Palmer, 1983). Odunda çürüklüğün il göstergesi olarak beyaz lekeler meydana getirir. Çürüklüğün ileri safhalarında odun tamamen beyazlaşır ve oldukça ağırlık kaybeder (Bozkurt ve diğ., 1995).

Üreme organı 1-3 mm kalınlıkta, sert ve kiremitvari konsollar şeklindedir. Konsollar 3-8 cm çapında olmakta ve alt kısmındaki delikçikli yapı krem rengindedir. Üst kısmı kadifemsi yapıda ve rengi kahverengi ve ya grinin farklı tonlarında olmaktadır.



Şekil 3.4: *Coriolus versicolor* (Anonim, 2012).

#### 3.2.4. *Gloeophyllum trabeum* türü

Amerika, Orta Avrupa ve Güney Avrupa’da yayılış göstermekte olan hem iğne yapraklı hem de geniş yapraklı ağaç odununa arız olabilen esmer çürüklük mantarıdır. Odunda kübik çatlaklar oluşturur (Bozkurt ve diğ., 1995). İğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaç odunlarının her ikisinde test edilmesinde kullanılmakta olan mantar türüdür (ASTM, 2010) .

Üreme organı; ince bir konsol şeklinde, alt kısmında bulunan lameller 0,25-050 mm çapındadır. Başlangıçta rengi sarımsı kahverengi, sonradan koyulaşır. Daha sonra solar ve üst kısmı neredeyse tamamen ağarır. Sporları kitle halindeyken pas renginde olmaktadır. En önemli karakteristik özelliği yüksek sıcaklık derecelerinde hızlı bir şekilde büyümesidir. Optimum gelişim sıcaklığı 35°C’dir. Kurumaya karşı oldukça dayanıklıdır (Bozkurt ve diğ., 1995).

### 3.3. BİYOLOJİK PERFORMANS TESTLERİ

#### 3.3.1. JIS-K-1571 Standart Test Metodunun Modifiye Edilmesiyle Odun Polipropilen Kompozitlerin Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi

Bu test Japon Endüstriyel Standardı JIS K 1571 (JIS, 2004) test metoduna bazı modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Esmer çürüklük mantarı *Tyromyces (Fomitopsis) palustris* (Berkley et Curtis) Murrill (FFPRI 0507), beyaz çürüklük mantarı olarak ise *Schizophyllum commune* Fries mantarının 3 farklı izolasyonu (NBRC 4929, NBRC 30749 ve NBRC 6504) ve *Pycnoporus coccineus* (NBRC 9768) mantarı (Fries) Bondartzev & Singer kullanılmıştır. *T. palustris* mantarının kültürü Japonya Kyoto Üniversitesi'nden, *S. commune* ve *P. coccineus* mantarının kültürü ise Japonya Chiba Ulusal Teknoloji ve Değerlendirme Enstitüsü Biyolojik Kaynaklar Merkezi'nden (Biological Resource Center, National Institute of Technology and Evaluation, Chiba, Japan) temin edilmiştir. Tüm kültürler dekstroz patates agar ortamında  $27\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de geliştirilmiştir. Özellikle *S. commune* ve *P. coccineus* kullanılmasının sebebi kullanım yerinde bu mantara rastlanmış olmasıdır (Morris ve Cooper, 1998) .

Sıvı mantar kültürleri; 1000 mL'lik, 40 g glikoz, 3 g pepton, 15 g malt ekstraktı ve 1000 mL distile su ile mantar içeren sıvı ortamlar aşılansarak hazırlanmıştır. Hazırlanan ortam  $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de 100 rpm devirde 10 gün süre ile çalkalanmıştır.

Metot, deniz kumu yerine bahçe toprağı kullanılarak ve örnek boyutları 20x20x10 mm yerine orijinal levha kalınlığı olan 5 mm şeklinde değiştirilerek modifiye edilmiştir. Deniz kumu yerine bahçe toprağının kullanılmasındaki amaç daha fazla rutubet içeriğine sahip besi ortamları elde etmektir. Bahçe toprağının su tutma kapasitesi deniz kumu ile karşılaştırıldığında çok daha fazla olmaktadır. Cam test şişeleri 8 ile 20 mesh boyutlarında bahçe toprağı ile doldurulmuş ve toprağın su tutma kapasitesini Amerikan Odun Koruma Kuruluşunun AWWA E10-12 standart test metodunda önerdiği gibi %130 getirmek amacıyla distile su ile ıslatılmıştır (AWWA 2010). Toprağın suyu çekmesinin ardından üst kısmına, ortaya gelecek şekilde 2-3 cm uzunluğunda 2-3 cm genişliğinde 2-3 mm kalınlığında besi çubukları yerleştirilmiş ardından kapakları sıkıca kapatılmamak koşuluyla kavanozlar otoklavda 103,4 kPa basınç altında  $121^{\circ}\text{C}$ 'de 30 dk. boyunca buhar ile sterilize edilmişlerdir. Sterilizasyonun ardından her bir kavanoz 3 mL belirli bir mantar

kültürü ile aşılınmış ve  $27 \pm 2$  °C 'de  $\%70 \pm 2$  bağıl nemde besi çubukları ve toprağın üst yüzeyi tamamen mantar miselleri ile kaplanana kadar inkübe edilmiştir.

Ardından örnekler  $60^\circ\text{C}$ 'de fırın kurusu haline getirilerek tartıldıktan sonra etilen oksit gazı ile sterilize edilmiştir. Her kompozit grubu için 3 adet örnek önceden aşılınmış olan test şişelerinin içerisindeki toprağın yüzeyine yerleştirilmiştir. Her bir mantar türü için 9 adet örnek kullanılmıştır. Daha sonra test şişeleri  $27 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de  $\%70 \pm 2$  bağıl nemde 12 hafta bekletilmişlerdir. Test bitiminde örneklerde mantar sebebiyle gerçekleşen ağırlık kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$$\%ML = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (3.1)$$

ML: Ağırlık kaybı (%)

M1: Test öncesi ağırlık (g)

M2: Test sonrası ağırlık (g)

Rutubet miktarı ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\%MC = \frac{Mr - Mo}{Mo} * 100 \quad (3.2)$$

MC: Rutubet miktarı (%)

Mr: Rutubetli ağırlık (g)

Mo: Tam kuru ağırlık (g)



Şekil 3.5: Şişelere konulan örneklerde mantar gelişimi.

### 3.3.2. Suda Bekleyen Odun Polipropilen Kompozitlerinin Petri Kabı Metodu ile Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi

Bu yöntem ile altı farklı örnek grubu test edilmiştir. Bu grupların özellikleri Tablo 3-1 verilmiştir. Her bir grup için 18 adet 20x20x5 mm ölçülerinde odun-polipropilen kompozit örneği kullanılmıştır. Bu 18 örneğin yarısı esmer çürüklük mantarı olan *P. coccineus* mantarıyla, diğer yarısı ise beyaz çürüklük mantarı *S. commune* mantarı ile test edilmiştir. Her bir mantar türü için ayrılmış olan örnekleri 5 tanesi 50 gün su içerisinde bekletilmiş yaş (Şekil 3-6), 4 tanesi ise su içinde bekletilmemiş olan kuru örneklerdir. Bu yöntem besi ortamı hazırlama açısından EN 113 standart metodu ile benzerlik göstermektedir. Kolle şişeleri yerine petri kapları kullanılmış, örnek boyutları 50x25x15 mm yerine 20x20x5 mm şeklinde belirlenmiştir. İlk olarak test örnekleri 105°C’de 3 gün bekletilerek kondisyonlanmıştır. Ardından oda koşullarında desikatörde soğutulmuştur. Hacim ve ağırlıkları 0,01 g duyarlılıktaki bir mikrometre ve terazi ile

belirlenmiştir. Bu işlemi örneklerin bir kısmını su içerisine bırakma izlemiştir. Su içerisine bırakılan örneklerin hacim ve ağırlıkları 6, 24, 48, 120, 240, 480, 720 ve 1200 saat sonra tekrar belirlenmiştir. Böylece belli zaman aralıklarında odun plastik kompozit örneklerinde meydana gelen şişme hesaplanmıştır.



**Şekil 3.6:** Su içerisinde bekletilen örnekler.

50 günlük suda beklemenin ardından örnekler sudan çıkarılmış, tartılmıştır ve rutubet içerikleri belirlenmiştir. Daha sonra yaş örnekler ve kuru örnekler her ikisi de otoklav içerisinde 103,4 kPa basınç altında 121°C’de 30 dk. boyunca buhar ile sterilize edilmişlerdir.



**Şekil 3.7:** Malt agar besi ortamının hazırlanması.

Örneklerin sudan çıkarılmasından yaklaşık 10 gün evvel besi ortamları hazırlanmıştır. İlk olarak 1000 mL su içerisine 40 g malt agar ekstraktı karıştırılarak hazırlanan besi ortamı 121°C’de 103,4 kPa basınç altında 20 dk. sterilize edilmiştir. Hazırlanan besi ortamı sıvısı petri kapları içerisine dökülmüştür (Şekil 3-7). Sıvının donmasının ardından aşılama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemler steril bir ortamda (steril kabin içinde) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3-8). Aşının ardından hazırlanan kültürlerin kontemine olmaması için petrilerin etrafı parafilm bant ile iyice sarılmıştır. Ardından kültürler mantar gelişiminin başlaması için  $70 \pm 5$  bağıl nemde  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 7-10 gün iklimlendirme dolabı içerisinde bekletilmiştir. Gelişen mantar kültürlerinin kontemine olup olmadığı test boyunca kontrol edilmiştir. 7-10 gün sonunda gelişmiş olan kültürlerin içerisine sterilize edilmiş örnekler steril ortamda, dikkatlice yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminin ardından her bir petri kabının etrafı yine parafilm bant ile sarılmıştır. Örnek petri kabı içerisinde 12 hafta süre ile mantar inkübasyonuna bırakılmıştır. Test bitiminde örnekler 0,01 g duyarlılıktaki bir terazide tekrar tartılarak inkübasyon esnasında kazanılan rutubet miktarı belirlenmiştir. 105 °C’de kurutulduktan sonra yine 0,01 g duyarlılıktaki terazide tartılmış ve ağırlık kayıpları hesaplanmıştır.

Örneklerde mantar sebebiyle gerçekleşen ağırlık kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır;

$$\%ML = \frac{M1-M2}{M1} * 100 \quad (3.3)$$

ML: Ağırlık kaybı (%)

M1: Test öncesi ağırlık (g)

M2: Test sonrası ağırlık (g)

Rutubet miktarı ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\%MC = \frac{Mr-Mo}{Mo} * 100 \quad (3.4)$$

MC: Rutubet miktarı (%)

Mr: Rutubetli ağırlık (g)

Mo: Tam kuru ağırlık (g)



**Şekil 3.8:** Mantarların malt agar ekstraktına aşılması ve hazırlanan kültürlerin iklimlendirme dolabında bekletilmesi.

### 3.3.3. Suda Bekleyen Odun Polipropilen Kompozitlerinin AWPA E10-12 Toprak Blok (Soil-Block) Test Metoduna ile Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi

Bu test Amerikan Odun Koruma Kurumu (AWPA) tarafından belirlenmiş olan E10-12 laboratuvar toprak blok kültürleri ile odun koruyucu kimyasalların test edilme standart

yöntemi esas alınarak yapılmıştır. Bu testte kullanılacak örneklerin içerikleri hakkında bilgi Tablo 3-1’de verilmiştir. Her bir grup için 12 adet örnek kullanılmış olup, bu örneklerin yarısı esmer çürüklük mantarı olan *T. palustris*, diğer yarısı ise beyaz çürüklük mantarı olan *P. coccineus* mantarına maruz bırakılmıştır. Test öncesinde teste tabi tutulacak olan tüm örnekler etüv içerisinde 103°C’de değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuş, ağırlık ölçümlerinin yapılarak kaydedilmesinin ardından 50 gün süreyle su içerisinde bekletilmiştir (Şekil 3-10). Bu beklemin sonunda sudan çıkarılan örneklerin tekrar ağırlıkları belirlenmiştir. Rutubetin çürüklük prosesine ya da diğer bir deyişle materyal üzerinde mantar gelişimine etkisinin belirlenmesi amacıyla karşılaştırma örnekleri yani 103 °C’de kurutulmuş olan örnekler de teste tabi tutulmuştur. Cam test şişeler içerisine elenmiş (8-10 mesh) bahçe toprağı (torf) şişelerde yeterli boşluk kalacak şekilde doldurulmuş ve toprak Amerikan Odun Koruma Kurumu’nun AWP A E10-12 standardında önerdiği şekilde %130 su tutma kapasitesine kadar destile su eklenerek ıslatılmıştır (AWPA, 2010). Toprağın suyu çekmesinin ardından üst kısmına, ortaya gelecek şekilde 2-3 cm uzunluğunda 2-3 cm genişliğinde 2-3 mm kalınlığında besi çubukları (feeder) yerleştirilmiş ardından kapakları sıkıca kapatılmamak koşuluyla kavanozlar otoklavda (Şekil 3-9) 103.4 kPa basınç altında 121 °C ‘de 30 dk. boyunca buhar ile sterilize edilmişlerdir. Kavanozlar soğuduktan sonra steril kabin içerisine alınıp mantar kültürü ile aşılınmış ve  $27 \pm 2$  °C ve %  $70 \pm 2$  bağıl nemde besi çubukları ve toprağın üst kısmı tamamen kolonize olana kadar (yaklaşık 10-16 gün) inkübe edilmiştir.



**Şekil 3.9:** Deneylerde kullanılan steril kabin ve sterilizatör (otoklav).

İnkübasyon süresinin ardından 103.4 kPa basınç altında 121°C’de 20 dk. boyunca buhar ile sterilize edilen kompozit örnekleri mantar gelişiminin olduğu şişeler içerisine her şişeye iki örnek olacak şekilde dikkatlice yerleştirilmiştir. Ardından bütün şişeler iklimlendirme dolabı içerisinde 25°C sıcaklık ve %70±2 bağıl nemde 16 hafta süre ile bekletilmiştir. 16 haftalık inkübasyonun ardından örnekler şişelerden çıkarılarak yüzeydeki miseller yumuşak bir fırça yardımıyla temizlenmiştir. Temizlenen örneklerin tekrar ağırlıkları belirlenmiş ve böylece inkübasyon esnasında mantar sebebiyle gerçekleşen rutubet artış ve ya azalış miktarları % olarak hesaplanmıştır. Daha sonra örnekler etüvde 103 °C ±2 değişmez ağırlığa gelinceye dek kurutulmuş ve kuruma işlemi bittikten sonra tekrar ağırlıkları tartılmıştır. Örneklerde mantar sebebiyle gerçekleşen ağırlık kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%ML = \frac{M1-M2}{M1} * 100 \quad (3.5)$$

ML: Ağırlık kaybı (%)

M1: Test öncesi ağırlık (g)

M2: Test sonrası ağırlık (g)

Rutubet miktarı ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\%MC = \frac{Mr - Mo}{Mo} * 100 \quad (3.6)$$

MC: Rutubet Miktarı (%)

Mr: Rutubetli ağırlık (g)

Mo: Kuru ağırlık (g)

Yeterli sayıda örnek bulunmadığından yaşlandırılmamış örnek grupları hazırlanamamış ve çürüklük testine tabi tutulamamıştır.



**Şekil 3.10:** Suda bekletilen odun-PP kompozit örnekleri.

### 3.3.4. Odun Polietilen Kompozit Örneklerinin Hızlı Yaşlandırma (70°C sıcak su içerisinde 5 gün bekletme) Metodu ile Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi

Bu metot AWP A E10-12 standardının AWP A'nın kendi yapmış olduğu odun plastik kompozit malzeme örnekleri test öncesinde 70°C sıcak su içerisinde 5 gün süre ile bekletme modifikasyonunun yanında toprak blok kültür ortamı yerine petri kabında oluşturulan malt agar kültür ortamı kullanılmak suretiyle modifiye edilmiştir. Test edilecek olan örnekler 4 farklı grupta olup örneklerin içerik özellikleri Tablo 3-2'de verilmiştir. Her grup için 40 adet örnek test edilmiş olup, bu örneklerin 10 tanesi esmer çürüklük mantarı *Tyromyces palustris*, 10 tanesi yine esmer çürüklük yapan *Gloeophyllum trabeum*, 10 tanesi beyaz çürüklük mantarı *Coriolus versicolor* ve son 10 tanesi de yine beyaz çürüklük yapan *Schizophyllum commune* mantarına maruz bırakılmışlardır. Yaşlandırma işleminin öncesinde örnekler 100±2 °C sıcaklıkta etüv içerisinde 3 gün kurutulmuş ardından ağırlıkları belirlenip kaydedilmiştir. Deneye başlanmadan 1 hafta evvel besi ortamları hazırlanmıştır. İlk olarak 1000 mL su içerisine 40 g malt agar ekstraktı karıştırılarak hazırlanan besi ortamı 121°C'de 103 kPa basınç altında 20 dk. sterilize edilmiştir. Hazırlanan besi ortamı sıvısı petri kapları içerisine dökülmüştür. Sıvının donmasının ardından aşılama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemler steril bir ortamda (steril kabin içinde) yapılmıştır. Aşının ardından hazırlanan kültürlerin kontamine olmaması için petrilerin etrafı parafilm bant ile iyice sarılmıştır. Ardından kültürler mantar gelişiminin başlaması için % 70±5 bağıl nemde 20±2°C sıcaklıkta 7-10 gün iklimlendirme dolabı içerisinde bekletilmiştir. Gelişen mantar kültürlerinin kontamine olup olmadığı test süresince kontrol edilmiştir. 7-10 günün sonunda gelişmiş olan kültürlerin içerisine 103.4 kPa basınç altında 121°C 'de 20 dk. boyunca buhar ile sterilize edilen kompozit örnekleri steril ortamda, dikkatlice yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminin ardından her bir petri kabının etrafı yine parafilm bant ile sarılmıştır. Örnek petri kabı içerisinde 12 hafta süre ile mantar inkübasyonuna bırakılmıştır. Test bitiminde örnekler 0,01 g duyarlılıktaki bir terazide tekrar tartılarak inkübasyon esnasında kazanılan rutubet miktarı belirlenmiştir. 100±2°C'de kurutulduktan sonra 0,01 g duyarlılıktaki terazide tartılmış ve kütle kayıpları hesaplanmıştır.

Örneklerde mantar sebebiyle gerçekleşen ağırlık kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%ML = \frac{M1-M2}{M1} * 100 \quad (3.4)$$

ML: Ağırlık kaybı (%)

M1: Test öncesi ağırlık (g)

M2: Test sonrası ağırlık (g)

### 3.3.5. Odun Polietilen Kompozit Örneklerinin Hızlandırılmış Yaşlandırılması ( 6 Aşamalı Yaşlandırma: Kaynatma – Buharlama – Dondurma – Kurutma – Buharlama - Kurutma) Metodu ile Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi

Bu testte kullanılan odun polietilen kompozit örneklerinin özellikleri Tablo 3-2’de verilmiştir. Bu test için örnekler 8 farklı gruba ayrılmıştır. Bu testte inkübasyon sürecinin nasıl ilerlediğini haftalık olarak kontrol etmek amacıyla örnekler test ortamından haftalık olarak çıkarılmıştır. Bu nedenle de grup isimleri çıkarılan haftayı belirtmektedir. Örneğin 1. grup örnekleri test süreci başladıktan 1 hafta sonra, 4. grup örnekleri test süreci başladıktan 4 hafta sonra ortamdaki çıkarılmıştır. Her bir grupta 24 adet örnek bulunmakta ve bu örneklerin yarısı çinko borat içermekte, diğer yarısı ise içermemektedir. Çinko borat içeren ve içermeyen örneklerin yarısı esmer çürüklük mantarı olan *Tyromyces palustris* mantarına, diğer yarısı ise beyaz çürüklük mantarı olan *Schizophyllum commune* mantarına maruz bırakılmıştır. Örnekler test öncesinde  $20 \pm 3$  °C sıcaklık ve  $\%65 \pm 2$  kondisyonlanmış ve tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir ve ardından Amerikan Test ve Malzeme Kuruluşunun (ASTM) geliştirmiş olduğu D1037-06a Odun Esaslı Lif ve Yonga Levhaların Özelliklerinin Değerlendirmesi Test Metodu’nda bulunan 6 aşamalı bir hızlandırılmış yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Döngü şu şekilde seyretmiştir;

1.  $49 \pm 2$  °C sıcak su içerisinde 1 saat bekletme
2.  $93 \pm 2$  °C’de 3 saat sıcak buharlama
3.  $-12 \pm 3$  °C’de 20 saat dondurma

4.  $99\pm2$  °C’de kuru havada 3 saat kurutma
5. Tekrar  $93\pm2$  °C’de 3 saat sıcak buharlama
6.  $99\pm2$  °C’de kuru havada 18 saat kurutma (ASTM, 2010).

Döngüler tamamlandıktan sonra test örnekleri test öncesinde  $20\pm3$ °C sıcaklık ve  $\%65\pm2$  bağıl nemde 48 saat süre ile kondisyonlanmıştır. Tüm bu ön kondisyonlama işlemleri ağaç malzemenin dış ortam koşullarındaki maruz kaldığı etkileri suni olarak elde etmek amacıyla yapılmıştır. Tüm bu işlemlerin ardından örnekler yaklaşık 4 ay su içerisinde bekletilmiştir.

Örneklerin sudan çıkarılmasından yaklaşık 10 gün evvel besi ortamları hazırlanmıştır. İlk olarak 1000 mL su içerisine 40 g malt agar ekstraktı karıştırılarak hazırlanan besi ortamı  $121$  °C’de 103 kpa basınç altında 20 dk. sterilize edilmiştir. Hazırlanan besi ortamı sıvısı petri kapları içerisine dökülmüştür. Sıvının donmasının ardından aşılama işlemi gerçekleştirmiştir. Tüm bu işlemler steril bir ortamda (steril kabin içinde) gerçekleştirilmiştir. Aşının ardından hazırlanan kültürlerin kirlilik olmaması için petrilerin etrafı parafilm bant ile iyice sarılmıştır. Ardından kültürler mantar gelişiminin başlaması için  $\% 70\pm5$  bağıl nemde  $20\pm2$ °C sıcaklıkta 7-10 gün iklimlendirme dolabı içerisinde bekletilmiştir. Gelişen mantar kültürlerinin kontamine olup olmadığı test süresince kontrol edilmiştir. 7-10 gün sonunda gelişmiş olan kültürlerin içerisine 103,4 kPa basınç altında  $121$ °C’de 20 dk. boyunca buhar ile sterilize edilen kompozit örnekleri steril ortamda, dikkatlice yerleştirilmiştir. Yerleştirme işleminin ardından her bir petri kabının etrafı yine parafilm bant ile sarılmıştır. İlk 4 gruptaki örnekler 1’er hafta arayla çıkarılmış, diğer 4 gruptaki örnekler ise 2’şer hafta arayla ortamdan çıkarılmış, yüzeylerindeki miseller yumuşak bir fırça yardımıyla temizlenmiş ve 0,01 g duyarlılıktaki hassas terazide tekrar tartılarak inkübasyon esnasında kazanılan rutubet miktarı belirlenmiştir. Hemen ardından örnekler  $20\pm3$  °C sıcaklık ve  $\% 65\pm2$  bekletildikten sonra 0,01 g duyarlılıktaki terazide tekrar tartılmış ve ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Örneklerde mantar sebebiyle gerçekleşen ağırlık kayıpları aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\%ML = \frac{M1-M2}{M1} * 100 \quad (3.4)$$

ML: Ağırlık kaybı (%)

M1: Test öncesi ağırlık (g)

M2: Test sonrası ağırlık (g)

Rutubet miktarı ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\%MC = \frac{Mr-Mo}{Mo} * 100 \quad (3.2)$$

MC: Rutubet Miktarı (%)

Mr: Rutubetli ağırlık (g)

Mo: Tam kuru ağırlık (g)

### 3.4. İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRME

İstatistiksel değerlendirmeler Windows Microsoft Excel programı kullanılarak veriler üzerinde varyans analizi (tek yönlü ANOVA) yapılmıştır. Birbirinden farklı ve aynı grupların tespiti için Varyans analizi Turkey testi (Inarstat v-a 1.3) ile  $p < 0,01$  güven aralığında karşılaştırılmıştır (Vargas,1999). Değerlendirmeler sonucunda birbiriyle farklılık göstermeyen gruplar aynı harfler ile işaretlenerek belirtilmiştir. Bir sütunda aynı büyük harfi taşıyan ortalamalar birbiriyle önemli farklılıklar göstermemektedir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. JIS K STANDART METODU TEST SONUÇLARI

Odun plastik kompozit örneklerinde meydana gelen ağırlık kayıpları Tablo 4-1’de özetlenmiştir. Tablo’da da görüldüğü üzere *S. commune* mantarının kullanılan izolasyonlarının hepsinde benzer ağırlık kayıpları görülmüştür. Odun içeriği katılım oranının %50’den %70’e çıktığında ağırlık kayıpları da artmıştır. Bazı istisnalar dışında küçük boyutlu partikül içeren gruplarda büyük boyutlu partikül içeren gruplardakinden daha fazla ağırlık kaybı görülmüştür. Örneğin %50 odun içeren 30 mesh partikül boyutuna sahip kompozit örneklerinde *S. commune* mantarının sebep olduğu ağırlık kaybı %1,55 iken, yine %50 odun içeren 100 mesh partikül boyutuna sahip kompozit örneklerinde %1,93 olmuştur. En fazla ağırlık kayıpları *T. palustris* mantarının kullanıldığı %70 odun içeren 100 mesh partikül boyutundaki örneklerde, en az ağırlık kayıpları ise *S. commune* mantarının kullanıldığı %50 odun içeren 30 mesh partikül boyutundaki örneklerde görülmüştür. *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan örneklerde partikül katılım oranının çok düşük bir etkisi olmuş, partikül boyutunun ise karışık bir etkisi olmuştur. Esmer çürüklük mantarı *T. palustris* odun plastik kompozit örneklerinde en fazla ağırlık kaybına sebep olmuştur. *T. palustris* mantarına maruz bırakılan örneklerde odun katılım oranının etkisi diğer mantarlara maruz bırakılanlardan oldukça belirgin olmuştur ancak partikül boyutunun etkisi o kadar önemli ölçüde olmamıştır.

Bu çalışma sonucunda verilen yüzde ağırlık kayıpları ve rutubet miktarlarının hesaplanmasında örneklerin hem plastik hem de odun materyal içerdiği kabul edilmiştir. Bazı bilimsel araştırmalarda ise bu tür hesaplamalarda kompozit malzemeyi oluşturan plastik kısmın mantarlar tarafından çürütülemediği ve yine rutubet (su) almadığı prensibi ile hareket edilerek, kompozit malzeme örneklerindeki sadece odun kısmı hesaba katılmaktadır. Örneğin %50 odun ve %50 plastik içeren bir kompozit malzemede ağırlık kaybı %4 ise, sadece odun kısım hesaba katılarak ağırlık kaybı %8 olarak verilebilmekte, ancak bu durum verilerde belirtilmektedir. Bu hesaplamalardan yola çıkılarak bu çalışmada JIS K 1571 test metoduna göre yapılan biyolojik performans testlerinde örneklerde oluşan ağırlık kayıpları odun polipropilen kompozit örneklerin odun içerikleri hesaba katılarak Tablo 4-2’de yeniden oluşturulmuştur. Benzer şekilde çalışmada yapılan

diğer biyolojik performans testlerinde elde edilen veriler odun içeriği esas alınarak yeniden yapılandırılabilir.

Tablo 4-1’de test sonrası mantarların sebep olduğu rutubet değerleri görülmektedir. Sugi (*Cryptomeria japonica*) diri odunundan elde edilmiş olan masif ahşap örneklerinin test sonrası rutubet değerleri % 85 ila %154 arasında değişmiştir. Odun plastik kompozit örneklerinde ise bu değer daha düşük olmuş ve % 25 ila %42 arasında değişiklik göstermiştir. Daha fazla odun partikülü içeren örneklerdeki rutubet absorpsiyonu, daha az odun partikülü içeren örneklerdekinden daha fazla olmuştur. En fazla rutubet artışı *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan, % 70 oranında odun partikülü içeren 30 mesh partikül boyutuna sahip örneklerde, en az rutubet absorpsiyonu ise *T. palustris* mantarına maruz bırakılan % 50 odun partikülü içeren ve 30 mesh partikül boyutuna sahip örneklerde görülmüştür. Tablo 4-3’de teste tabi tutulan odun plastik kompozit örnek gruplarındaki ağırlık kayıpları ve test sonrası rutubet değerleri partikül boyutu ve odun katılım oranı bakımından istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. *S. commune* (NBRC4929) mantarına maruz bırakılan örnek gruplarından 1.,2. ve 5. gruplar arasında ağırlık kaybı bakımından anlamlı bir farklılık görülmemiştir ancak 1.,3. ve 4. örnek grupları arasında ağırlık kayıpları bakımından partikül boyutu ve odun katılım oranının sebep olduğu anlamlı bir farklılık söz konusu olmuştur. *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan örnek gruplarında ise ağırlık kayıpları bakımından partikül boyutu ve odun katılım oranının sebep olduğu anlamlı bir farklılık söz konusu olmamıştır. Rutubet değerleri incelendiğinde ise *T. palustris* mantarına maruz bırakılan örnek gruplarından 1., 2. ve 5. grupları arasında rutubet miktarı bakımından partikül boyutu ve odun katılım oranının sebep olduğu anlamlı bir farklılık olmamış ancak 3. ve 6. grup örneklerinde anlamlı bir farklılık gözlemlenmiştir. Şekil 4-1, 4-3, 4-4, 4-5’de de görüleceği gibi rutubet miktarlarının artmasının ağırlık kayıplarının artmasıyla doğrusal bir ilişkisi vardır.

**Tablo 4.1:** Biyolojik performans test sonuçları.

|                   |                  |                           | Ağırlık Kaybı (%)          |                             |                            |                              |                     | Test Sonrası Rutubet İçeriği (%) |                             |                            |                              |                     |
|-------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------|
| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | <i>S. commune</i> NBRC4929 | <i>S. commune</i> NBRC30749 | <i>S. commune</i> NBRC6504 | <i>P. coccineus</i> NBRC9768 | <i>T. palustris</i> | <i>S. commune</i> NBRC4929       | <i>S. commune</i> NBRC30749 | <i>S. commune</i> NBRC6504 | <i>P. coccineus</i> NBRC9768 | <i>T. palustris</i> |
| 1                 | 50               | 60                        | 1,71 ± 0,27                | 2,04 ± 0,15                 | 1,85 ± 0,28                | 3,63 ± 0,24                  | 4,21 ± 0,34         | 27,42 ± 0,96                     | 26,85 ± 0,76                | 27,23 ± 0,84               | 28,66 ± 0,78                 | 25,84 ± 3,54        |
| 2                 | 50               | 30                        | 1,55 ± 0,61                | 1,47 ± 0,23                 | 1,31 ± 0,18                | 3,16 ± 0,27                  | 4,19 ± 0,29         | 27,61 ± 1,90                     | 28,16 ± 1,15                | 27,09 ± 0,72               | 28,19 ± 1,21                 | 27,03 ± 1,10        |
| 3                 | 70               | 60                        | 4,7 ± 1,22                 | 3,04 ± 0,25                 | 2,87 ± 0,37                | 4,44 ± 0,68                  | 6,52 ± 0,60         | 36,35 ± 1,23                     | 37,17 ± 1,52                | 35,25 ± 1,34               | 39,31 ± 1,24                 | 33,29 ± 0,56        |
| 4                 | 70               | 30                        | 2,64 ± 1,08                | 1,99 ± 0,24                 | 2,07 ± 0,33                | 3,91 ± 0,47                  | 6,47 ± 0,84         | 39,26 ± 1,41                     | 38,76 ± 0,88                | 38,04 ± 1,24               | 41,53 ± 1,43                 | 39,19 ± 0,67        |
| 5                 | 50               | 100                       | 1,93 ± 0,57                | 1,8 ± 0,22                  | 1,73 ± 0,30                | 2,90 ± 0,28                  | 4,11 ± 1,13         | 26,35 ± 0,89                     | 26,56 ± 1,17                | 26,67 ± 0,68               | 26,84 ± 0,84                 | 24,77 ± 1,55        |
| 6                 | 70               | 100                       | 3,43 ± 0,21                | 3,31 ± 0,36                 | 3,54 ± 0,40                | 3,57 ± 0,36                  | 6,71 ± 1,07         | 36,08 ± 1,32                     | 36,63 ± 1,04                | 36,35 ± 1,04               | 39,99 ± 1,14                 | 36,59 ± 1,50        |
| Sügi Diri Odunu   | -                | -                         | 18,34 ± 3,42               | 17,21 ± 4,01                | 18,34 ± 2,46               | 21,13 ± 3,89                 | 46,86 ± 7,74        | 154,43 ± 22,50                   | 88,69 ± 17,63               | 85,32 ± 14,72              | 86,20 ± 10,95                | 132,18 ± 27,73      |

n: her bir mantar türü için 9 adet kompozit örneği kullanılmıştır.

**Tablo 4.2:** Tüm örnek ağırlığı ve sadece odun içeriği katılması ile test sonrası örneklerde oluşan ağırlık kayıpları.

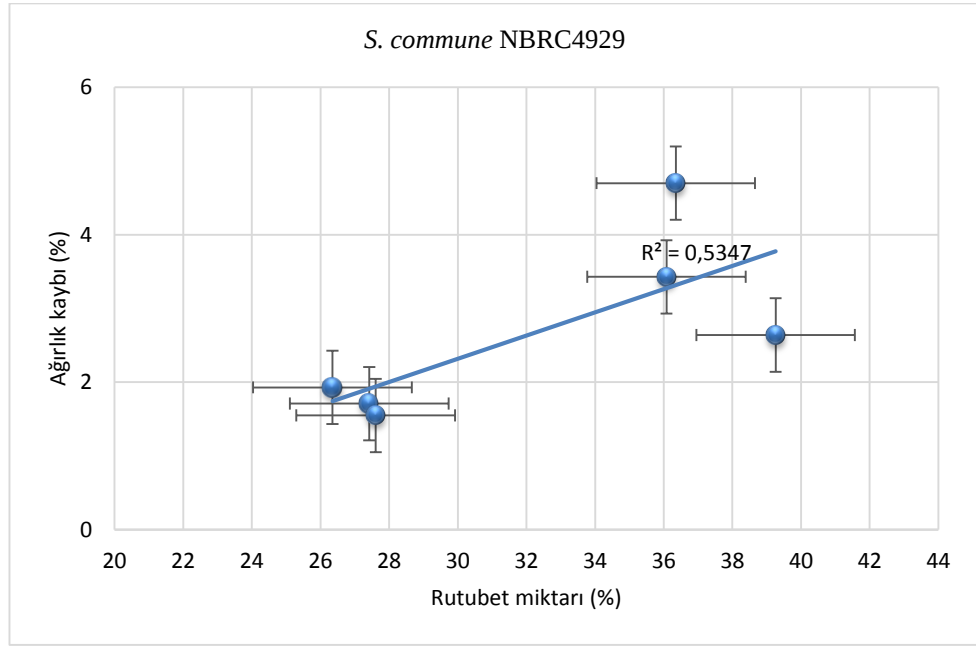
|                   |                  |                           | Ağırlık Kaybı (%) (Tüm örnek ağırlığı esas alınarak) |                             |                            |                              |                     | Ağırlık Kaybı (%) (Odun içeriğinin ağırlığı esas alınarak) |                             |                            |                              |                     |
|-------------------|------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------|
| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | <i>S. commune</i> NBRC4929                           | <i>S. commune</i> NBRC30749 | <i>S. commune</i> NBRC6504 | <i>P. coccineus</i> NBRC9768 | <i>T. palustris</i> | <i>S. commune</i> NBRC4929                                 | <i>S. commune</i> NBRC30749 | <i>S. commune</i> NBRC6504 | <i>P. coccineus</i> NBRC9768 | <i>T. palustris</i> |
| 1                 | 50               | 60                        | 1,71                                                 | 2,04                        | 1,85                       | 3,63                         | 4,21                | 3,42                                                       | 4,08                        | 3,70                       | 7,26                         | 8,42                |
| 2                 | 50               | 30                        | 1,55                                                 | 1,47                        | 1,31                       | 3,16                         | 4,19                | 3,10                                                       | 2,94                        | 2,62                       | 6,32                         | 8,38                |
| 3                 | 70               | 60                        | 4,70                                                 | 3,04                        | 2,87                       | 4,44                         | 6,52                | 6,71                                                       | 4,34                        | 4,10                       | 6,34                         | 9,31                |
| 4                 | 70               | 30                        | 2,64                                                 | 1,99                        | 2,07                       | 3,91                         | 6,47                | 3,77                                                       | 2,84                        | 2,96                       | 5,59                         | 9,24                |
| 5                 | 50               | 100                       | 1,93                                                 | 1,80                        | 1,73                       | 2,90                         | 4,11                | 3,86                                                       | 3,60                        | 3,46                       | 5,80                         | 8,22                |
| 6                 | 70               | 100                       | 3,43                                                 | 3,31                        | 3,54                       | 3,57                         | 6,71                | 4,90                                                       | 4,73                        | 5,06                       | 5,10                         | 9,59                |

n: her bir mantar türü için 9 adet kompozit örneği kullanılmıştır

**Tablo 4.3:** Biyolojik performansa ait istatistiksel değerlendirmeler.

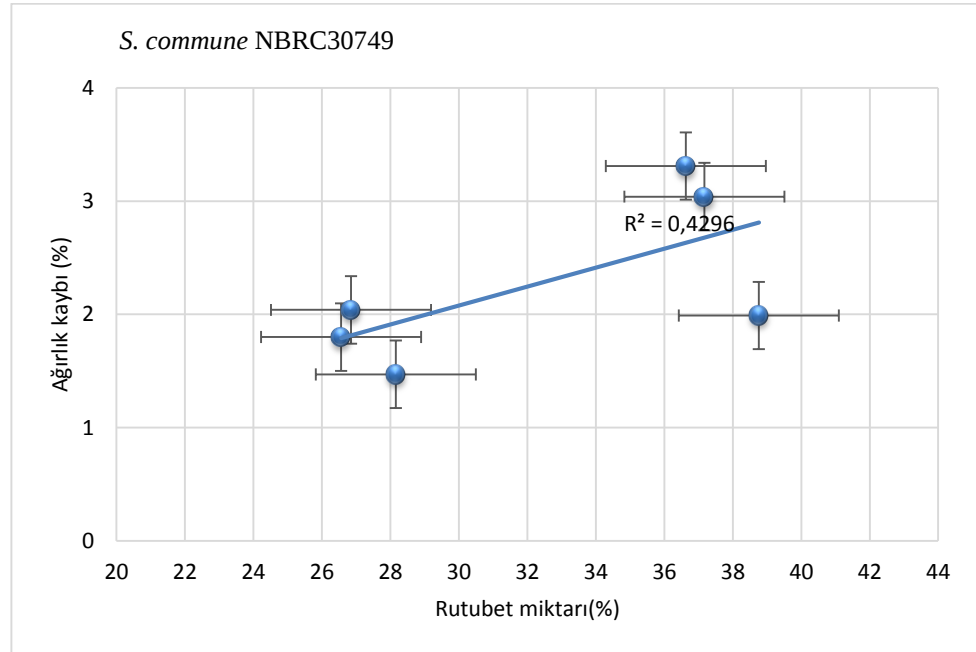
|                   |                  |                           | Ağırlık Kaybı (%)            |                             |                             |                              |                              | Test Sonrası Rutubet İçeriği (%) |                               |                               |                               |                               |
|-------------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | <i>S. commune</i> NBRC4929   | <i>S. commune</i> NBRC30749 | <i>S. commune</i> NBRC6504  | <i>P. coccineus</i> NBRC9768 | <i>T. palustris</i>          | <i>S. commune</i> NBRC4929       | <i>S. commune</i> NBRC30749   | <i>S. commune</i> NBRC6504    | <i>P. coccineus</i> NBRC9768  | <i>T. palustris</i>           |
| 1                 | 50               | 60                        | C                            | A                           | C                           | A                            | B                            | C                                | D                             | C                             | B                             | C                             |
| 2                 | 50               | 30                        | C                            | A                           | C                           | A                            | B                            | C                                | C                             | C                             | B                             | C                             |
| 3                 | 70               | 60                        | A                            | A                           | B                           | A                            | A                            | B                                | AB                            | B                             | A                             | B                             |
| 4                 | 70               | 30                        | B                            | A                           | C                           | A                            | A                            | A                                | A                             | A                             | A                             | A                             |
| 5                 | 50               | 100                       | C                            | A                           | C                           | A                            | B                            | C                                | D                             | C                             | BC                            | C                             |
| 6                 | 70               | 100                       | B                            | A                           | A                           | A                            | A                            | B                                | AB                            | B                             | A                             | AB                            |
| One-way ANOVA     |                  |                           | F: 23.1094<br>p: 9.69432E-12 | F: 1.8973<br>p: 0.112296699 | F: 603932<br>p: 1.51673E-19 | F: 1.1733<br>p: 0.336090352  | F: 25.3478<br>p: 2.05472E-12 | F: 169.3001<br>p: 2.86486E-29    | F: 216.0327<br>p: 1.11019E-31 | F: 254.4505<br>p: 2.57384E-33 | F: 330.2928<br>p: 6.08273E-36 | F: 104.1199<br>p: 1.44238E-24 |

İstatistiksel çalışmada her bir test mantarı için kompozit grupları arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Her bir sütunda yer alan harflendirmelerde birbiri ile farklılık göstermeyen kompozit grupları aynı harfle gösterilmiştir ( $p < 0.01$ ).

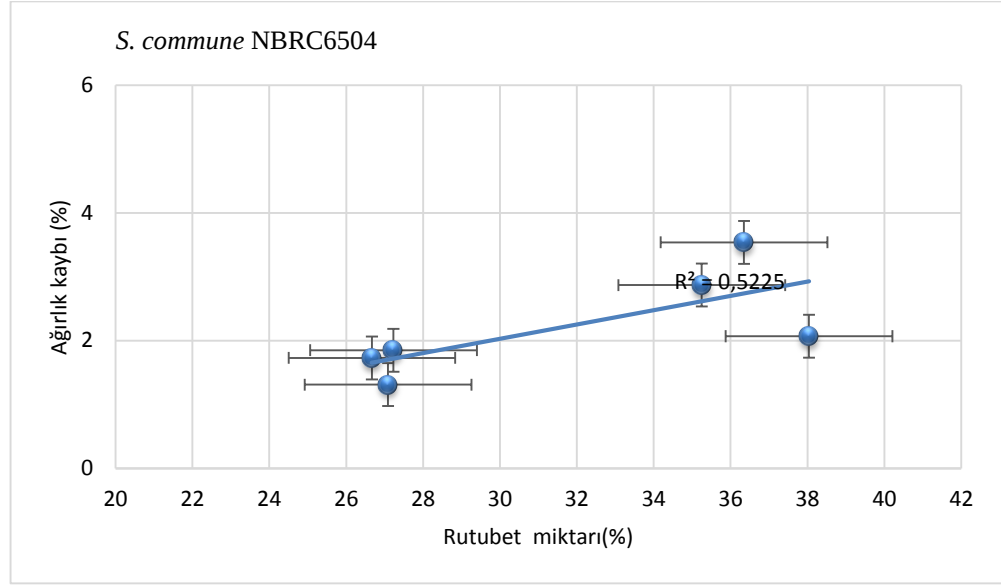


**Şekil 4.1:** *S. commune* mantarının NBRC4929 izolasyonunun sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

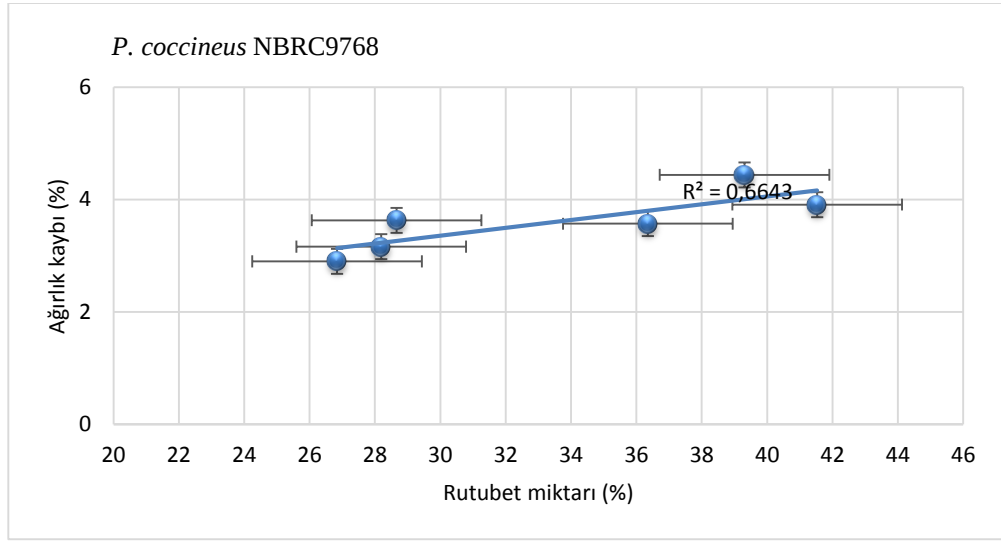
Şekil 4-1 incelendiğinde *S. commune* mantarının NBRC 4929 izolasyonunun sebep olduğu ağırlık kaybı ve rutubet arasında kuvvetli bir ilişki söz konusudur. NBRC 30749 (Şekil 4-2) izolasyonunda ise bu ilişki daha zayıftır.



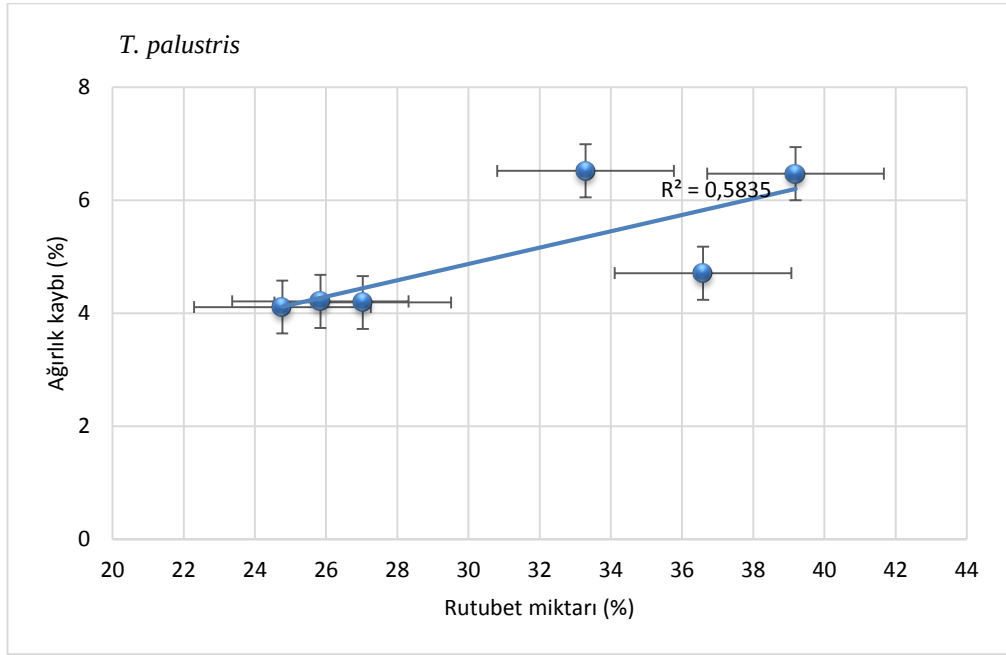
**Şekil 4.2:** *S. commune* mantarının NBRC30749 izolasyonunun sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.



**Şekil 4.3:** *S. commune* mantarının NBRC6504 izolasyonunun sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

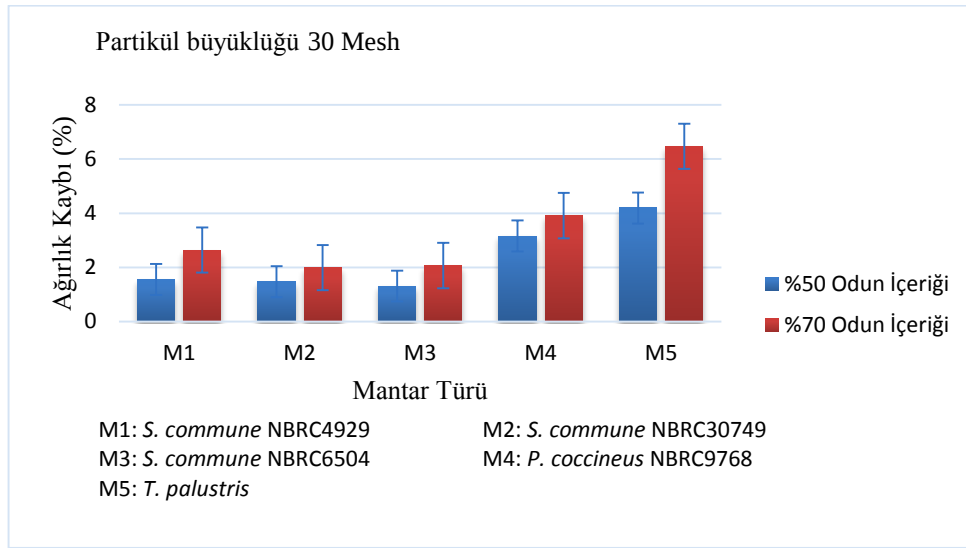


**Şekil 4.4:** *P. coccineus* mantarının sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.



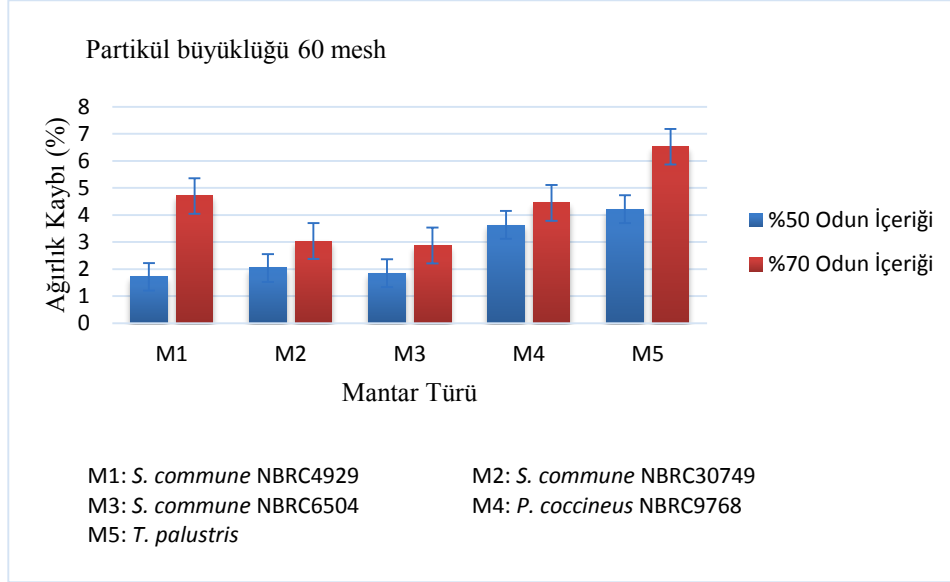
Şekil 4.5: *T. palustris* mantarının sebep olduğu ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

Şekil 4-6’da görüldüğü gibi 30 mesh partikül boyutuna sahip olan örneklerde en fazla ağırlık kaybı %70 oranında odun içeren *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış olan örnekler de, en az ağırlık kaybı ise %50 oranında odun içeren *S. commune* (NBRC6504) mantarına maruz bırakılmış olan örneklerde görülmüştür.



Şekil 4.6: Farklı odun/PP oranlarındaki örnek gruplarında test sonucunda oluşan ağırlık kayıpları.

Şekil 4-7’de görüldüğü üzere 60 mesh partikül boyutuna sahip olan örneklerde en fazla ağırlık kaybı yine %70 oranında odun içeren *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış olan örnekler de, en az ağırlık kaybı ise %50 oranında odun içeren *S. commune* (NBRC4929) mantarına maruz bırakılmış olan örneklerde görülmüştür.

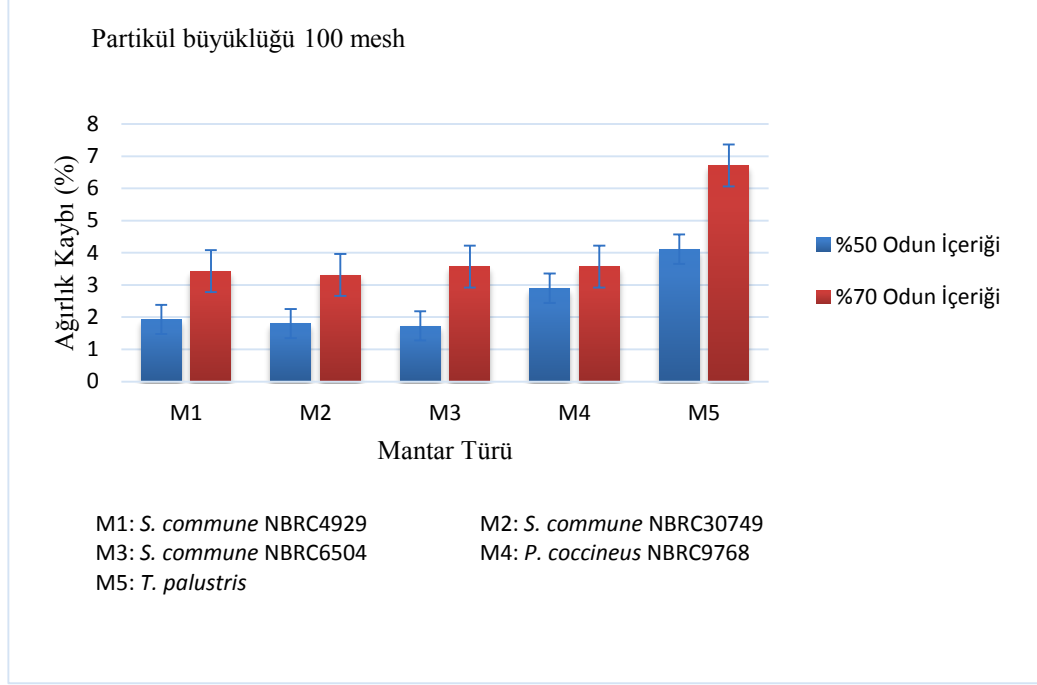


**Şekil 4.7:** Farklı odun/PP oranlarındaki örnek gruplarında test sonucunda oluşan ağırlık kayıpları.

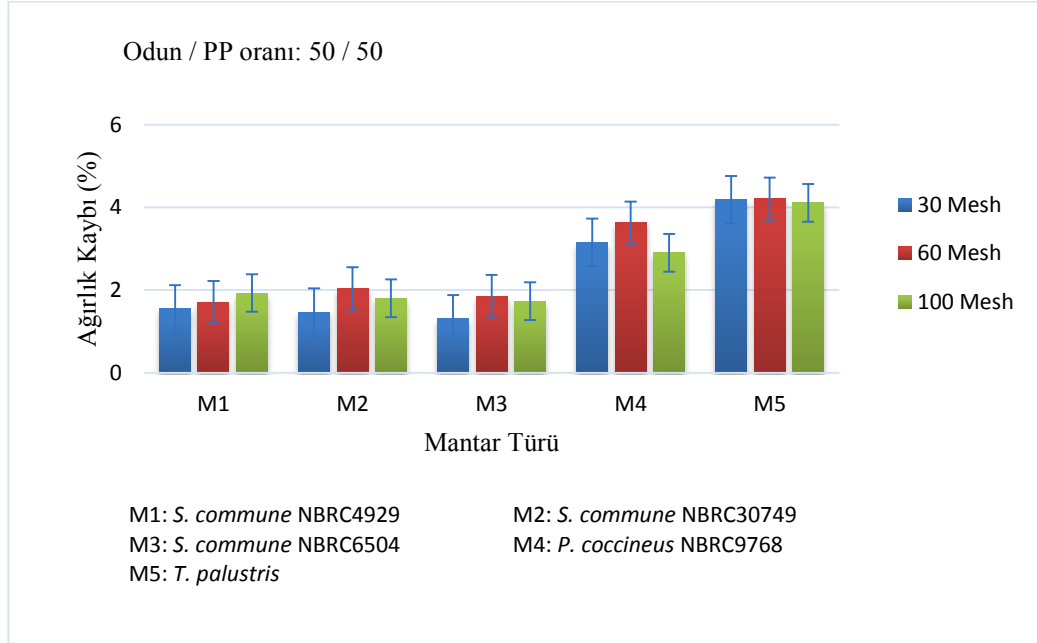
Şekil 4-8’de 100 mesh partikül boyutuna sahip olan örneklerde en fazla ağırlık kaybı yine %70 oranında odun içeren *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış olan örnekler de, en az ağırlık kaybı ise %50 oranında odun içeren *S. commune* (NBRC6504) mantarına maruz bırakılmış olan örneklerde görülmüştür.

Şekil 4-9 incelendiğinde %50 oranında odun içeren kompozit örneklerinde en fazla ağırlık kaybı 60 mesh boyutunda odun partiküllerinden oluşan ve *T. palustris* mantarına maruz bırakılan örneklerde, en az ağırlık kaybı ise 30 mesh boyutundaki odun

partiküllerinden oluşan ve *S. commune* (NBRC6504) mantarına maruz bırakılan örneklerde görülmüştür.

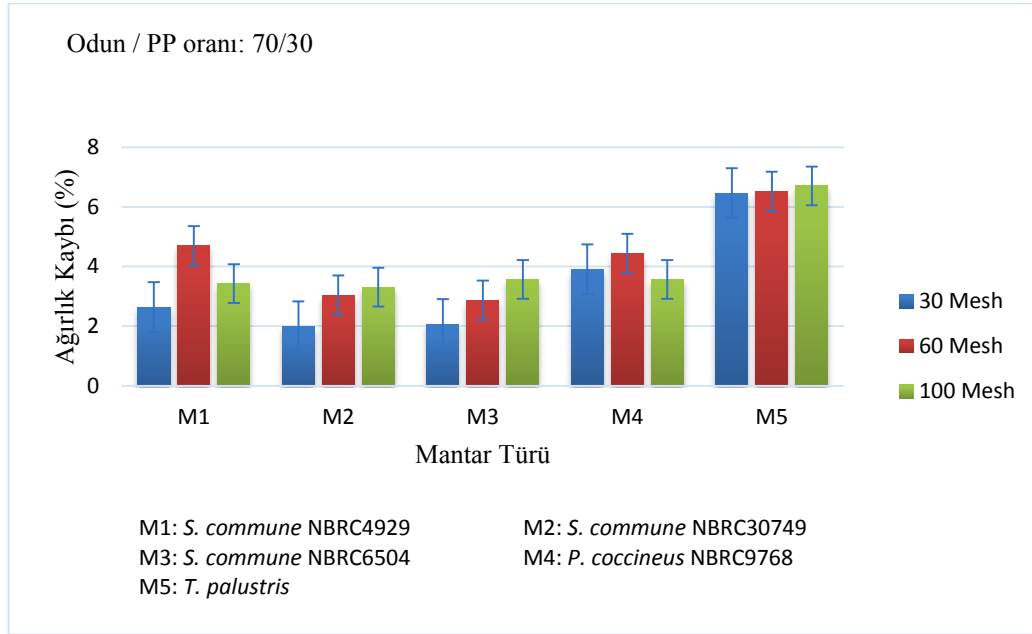


**Şekil 4.8:** Farklı odun/PP oranlarındaki örnek gruplarında test sonucunda oluşan ağırlık kayıpları.



**Şekil 4.9:** %50 oranında odun içeren örneklerdeki partikül boyutu ve mantar türüne göre oluşan ağırlık kaybı.

Şekil 4-10 incelendiğinde %70 oranında odun içeren kompozit örneklerinde en fazla ağırlık kaybı 100 mesh boyutunda odun partiküllerinden oluşan ve *T. palustris* mantarına maruz bırakılan örneklerde, en az ağırlık kaybı ise yine 30 mesh boyutundaki odun partiküllerinden oluşan ve *S. commune* (NBRC6504) mantarına maruz bırakılan örneklerde görülmüştür.



**Şekil 4.10:** %70 Oranında odun içeren örneklerdeki partikül boyutu ve mantar türüne göre oluşan ağırlık kaybı.

#### 4.2. PETRİ KABI METODU TEST SONUÇLARI

Petri kabı metoduna göre yapılan test sonucunda odun plastik kompozit örneklerinde meydana gelen ağırlık kayıpları ve test sonrası rutubet miktarları Tablo 4-4’de özetlenmiştir. En fazla ağırlık kaybının meydana geldiği örnek grupları 60 mesh partikül boyutuna sahip %70 oranında odun içeriği katılım oranına sahip, suda bekletilmiş örneklerde olmuş ve *T. palustris* mantarı tarafından gerçekleştirilmiştir. En az ağırlık kayıpları ise %50 odun içeriği katılım oranına ve 30 mesh odun partikül boyutuna sahip, suda bekletilmiş *P. coccineus* mantarına maruz bırakılmış örneklerde görülmüştür.

Odun katılım oranı tüm örnek gruplarında belirgin bir şekilde %50’den %70’e çıktığında, ağırlık kayıpları da buna paralel olarak artış göstermiştir (Şekil 4-17). *T. palustris*

mantarına maruz bırakılan örneklerde odun katılım oranının etkisi *P. coccineus* mantarına maruz bırakılanlardan oldukça belirgin olmuştur ancak partikül boyutunun etkisi o kadar önemli ölçüde olmamıştır.

Esmer çürüklük mantarı *T. palustris* odun plastik kompozit örneklerinde en fazla ağırlık kaybına sebep olmuştur. *T. palustris* mantarına maruz bırakılan örneklerde odun katılım oranının etkisi diğer mantarlara maruz bırakılanlardan oldukça belirgin olmuştur ancak partikül boyutunun etkisi o kadar önemli ölçüde olmamıştır %50 odun içeren kompozit örnek gruplarında *T. palustris* mantarının sebep olduğu ağırlık kayıpları bazı istisnalar dışında partikül boyutu arttıkça artmıştır ancak benzer etki *P. coccineus* mantarında görülmemiştir. Bu mantar türünde partikül boyutları küçüldükçe ağırlık kayıpları artmıştır. Benzer durum yine *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan %70 oranında odun içeriğine sahip örneklerde de görülmüştür. Partikül büyüklüğü bakımından ağırlık kayıpları bazı istisnalar dışında en çok 60 mesh partikül boyutlarına sahip olan örnek gruplarında görülmüştür. Tablo 4-4’de gruplar arasında partikül boyutu ve katılım oranının etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiş olup, *T. palustris* mantarına maruz bırakılan 1., 2. ve 3. örnek gruplarında oluşan ağırlık kayıplarında anlamlı bir farklılık görülmemiş ancak yine aynı gruplar için *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan örneklerde anlamlı farklılıklar görülmüştür.

Tablo 4-4 ve Şekil 4-19 incelendiğinde yaşlandırmanın etkisinin oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Yaşlandırılmış örnek gruplarındaki ağırlık kayıpları yaşlandırılmamış olan örnek gruplarındakinden belirgin şekilde fazla olmuştur. Yaşlandırma sonucu en fazla ağırlık kaybı %70 oranında odun içeren, 60 mesh partikül boyutuna sahip *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış örnek gruplarında olmuştur. Yaşlandırmanın en az etkili olduğu grup ise *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan %50 oranında odun içeren 30 mesh partikül boyutuna sahip örnek grupları olmuştur.

Suda bekletmenin (yaşlandırma) kompozit gruplarındaki ağırlık kayıpları üzerine etkisinin istatistiksel değerlendirilmesi 4-5’de görülmektedir. İstatistiksel olarak da test sonrası oluşan ağırlık kayıpları yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış örnek grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir.

Tablo 4-4’de görülen test öncesindeki ve test sonrası mantarların sebep olduğu rutubet değerleri odun katılım oranı arttıkça artış göstermiştir. 50 günlük suda beklemenin ardından örneklerin sahip olduğu rutubet miktarları %25,95 ile 17,97 arasında değişim göstermektedir. %70 oranında odun içeren örnek gruplarının en fazla rutubet absorpsiyonuna sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Test sonrası mantarların sebep olduğu rutubet artışı ise en fazla 3. grup, en az ise 2. grup örneklerinde görülmüştür. *T. palustris* mantarının sebep olduğu rutubet miktarında partikül boyutu bakımından pek farklılık olmazken, diğer mantar türünde karışık bir etkiye sebep olmuştur. *T. palustris* mantarına maruz bırakılan suda bekletilmemiş 1., 2. ve 5. grup örneklerindeki rutubet artışlarında partikül boyutu bazında anlamlı bir farklılık olmadığı yapılan istatistik çalışması sonucu görülmüştür. Benzer sonuç suda bekletilmiş örneklerde de gözlemlenmiştir.

Suda bekletilen ve bekletilmeyen örnek gruplarındaki test sonrası rutubet miktarları arasındaki farklılığın her iki mantar türü için de anlamlı olduğu Tablo 4-6’da görülmektedir. Tablo 4-7’de de suda bekletmenin (yaşlandırma) ağırlık kaybı ve rutubet değerlerini nasıl arttırdığı gösterilmiştir. Yaşlandırma ile % 80'lere varan bir ağırlık kaybı artışı ve % 45'lere varan bir rutubet artışı görülmüştür.

**Tablo 4.4:**Suda bekletilerek yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış kompozit örneklerinde yaşlandırma sonucunda oluşan rutubet miktarı, test sonucu oluşan ağırlık kayıpları.

| <i>T. palustris</i> |                  |                           |                                                      |                    |                         |                                  |                         | <i>P. coccineus</i>                                  |                    |                         |                    |                         |                                  |  |
|---------------------|------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------------|--|
|                     |                  |                           |                                                      | Ağırlık Kaybı (%)  |                         | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) |                         |                                                      |                    |                         | Ağırlık Kaybı (%)  |                         | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) |  |
| Kompozit Grupları   | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | 50 Gün Suda Beklemenin Sonundaki Rutubet Miktarı (%) | Suda Bekletilmemiş | 50 Gün Suda Bekletilmiş | Suda Bekletilmemiş               | 50 Gün Suda Bekletilmiş | 50 Gün Suda Beklemenin Sonundaki Rutubet Miktarı (%) | Suda Bekletilmemiş | 50 Gün Suda Bekletilmiş | Suda Bekletilmemiş | 50 Gün Suda Bekletilmiş |                                  |  |
| 1                   | 50               | 60                        | 18,03 ±1,05C                                         | 4,12 ±0,26B        | 6,03 ±0,21CD            | 13,50 ±0,77B                     | 16,92 ± 0,66D           | 18,32 ±0,76B                                         | 2,12 ±0,27B        | 3,82 ±0,60C             | 14,91 ±0,68B       | 20,12 ± 1,29C           |                                  |  |
| 2                   | 50               | 30                        | 18,55 ±0,97C                                         | 4,09 ±0,28B        | 4,73 ±0,60D             | 13,32 ±0,32B                     | 18,76 ± 1,5D            | 18,29 ±1,07B                                         | 1,74 ±0,29C        | 2,61 ±0,30D             | 15,35 ±0,61B       | 20,33 ± 0,80C           |                                  |  |
| 3                   | 70               | 60                        | 23,52 ±0,27AB                                        | 6,55 ±0,66B        | 11,70 ±2,39A            | 18,69 ±0,52AB                    | 21,33 ± 7,19C           | 24,17 ±1,39A                                         | 3,57 ±0,67A        | 6,24 ±1,10A             | 20,55 ±0,66A       | 28,57 ± 1,38B           |                                  |  |
| 4                   | 70               | 30                        | 25,60 ±0,69A                                         | 6,93 ±0,25A        | 8,06 ±1,27B             | 19,55 ±0,37A                     | 28,25 ± 0,59A           | 25,95 ±0,93A                                         | 2,52 ±0,19B        | 3,68 ±0,30C             | 21,40 ±0,3A        | 31,10 ± 1,61A           |                                  |  |
| 5                   | 50               | 100                       | 18,33 ±1,04C                                         | 3,71 ±0,24C        | 6,35 ±1,13C             | 13,40 ±0,73B                     | 17,40 ± 0,96D           | 17,97 ±1,24B                                         | 1,84 ±0,48C        | 3,17 ±0,30C             | 14,52 ±1,08B       | 18,29 ± 1,84CD          |                                  |  |
| 6                   | 70               | 100                       | 23,36 ±0,33AB                                        | 6,83 ±0,37A        | 8,42 ±0,59B             | 19,04 ±0,89A                     | 25,65 ± 1,45B           | 23,35 ±0,98AAB                                       | 3,62 ±0,31A        | 4,94 ±0,60B             | 20,6 ±0,95A        | 28,51 ± 1,17B           |                                  |  |

n: Her bir mantar türü için 9 adet örnek kullanılmıştır. İstatiksel değerlendirme için her bir sütunda yer alan harflendirmelerde, her bir kompozit grubu için kompozit grupları arasında farklılıklar farklı harflerle, birbiri ile farklılık göstermeyen kompozit grupları aynı harfle gösterilmiştir (p<0.01).

**Tablo 4.5:** Suda bekletmenin kompozit gruplarında ağırlık kayıpları üzerine etkisinin istatistiksel değerlendirmesi.

| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | Ağırlık kaybı - <i>T. palustris</i> |                  |               |                | Ağırlık kaybı - <i>P. coccineus</i> |                  |               |                |
|-------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------|---------------|----------------|-------------------------------------|------------------|---------------|----------------|
|                   |                  |                           | Suda bekletilmemiş                  | Suda bekletilmiş | One-way ANOVA |                | Suda bekletilmemiş                  | Suda bekletilmiş | One-way ANOVA |                |
| 1                 | 50               | 60                        | B                                   | A                | F: 293.9382   | p: 1.01406E-11 | B                                   | A                | F: 60.0832    | p: 8.3328E-07  |
| 2                 | 50               | 30                        | AB                                  | A                | F: 8.4088     | p: 0.010445642 | B                                   | A                | F: 39.1275    | p: 1.14853E-05 |
| 3                 | 70               | 60                        | B                                   | A                | F: 38.8279    | p: 1.20085E-05 | B                                   | A                | F: 38.6763    | p: 1.22836E-05 |
| 4                 | 70               | 30                        | AB                                  | A                | F: 6.8593     | p: 0.018606902 | B                                   | A                | F: 96.0381    | p: 3.63625E-08 |
| 5                 | 50               | 100                       | B                                   | A                | F: 47.0037    | p: 3.86237E-06 | B                                   | A                | F: 49.6882    | p: 2.7498E-06  |
| 6                 | 70               | 100                       | B                                   | A                | F: 46.9132    | p: 3.90786E-06 | B                                   | A                | F: 34.3819    | p: 2.399E-05   |

Herbir satırda yer alan harflendirmelerde herbir kompozit grubu için suda bekletme ve bekletmemenin etkileri birbirinden farklı ise farklı harfle gösterilmiştir (p<0.01).

**Tablo 4.6:** Suda bekletmenin kompozit gruplarında test sonrası rutubet miktarı üzerine etkisinin istatistiksel değerlendirmesi.

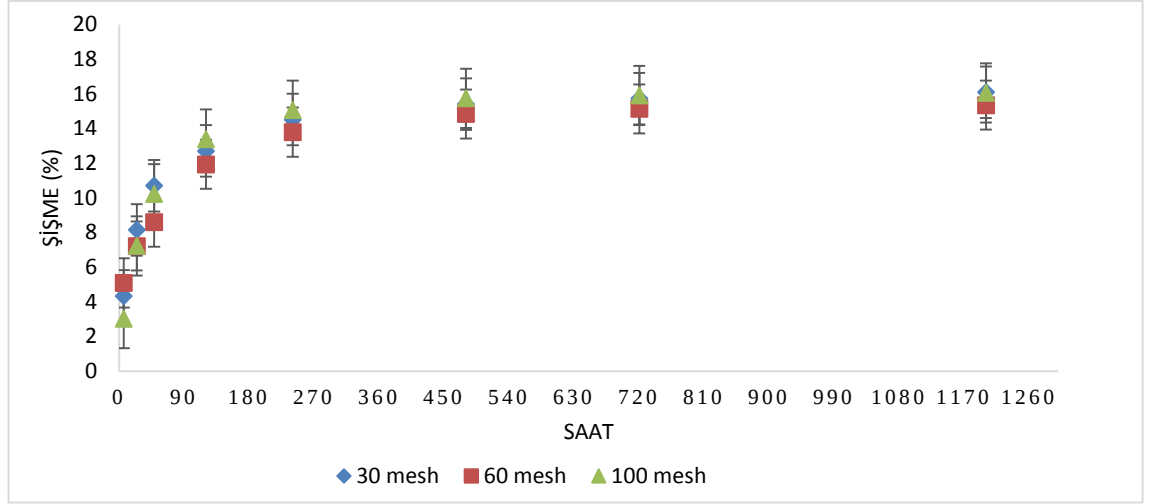
| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | Rutubet miktarı - <i>T. palustris</i> |                  |               |               | Rutubet miktarı - <i>P. coccineus</i> |                  |               |               |
|-------------------|------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------------------------------|------------------|---------------|---------------|
|                   |                  |                           | Suda bekletilmemiş                    | Suda bekletilmiş | One-way ANOVA |               | Suda bekletilmemiş                    | Suda bekletilmiş | One-way ANOVA |               |
| 1                 | 50               | 60                        | B                                     | A                | F: 102.3506   | p: 2.3363E-08 | B                                     | A                | F: 114.8822   | p: 1.0376E-08 |
| 2                 | 50               | 30                        | B                                     | A                | F: 113.2216   | p: 1.1501E-08 | B                                     | A                | F: 220.5351   | p: 8.8791E-11 |
| 3                 | 70               | 60                        | A                                     | A                | F: 1.2071     | p: 028817427  | B                                     | A                | F: 247.3862   | p: 3.744E-11  |
| 4                 | 70               | 30                        | B                                     | A                | F: 1404.5567  | p: 5.1118E-17 | B                                     | A                | F: 315.7265   | p: 5.8794E-12 |
| 5                 | 50               | 100                       | B                                     | A                | F: 99.0031    | p: 2.945E-08  | B                                     | A                | F: 28.1010    | p: 7.1688E-05 |
| 6                 | 70               | 100                       | B                                     | A                | F: 135.8491   | p: 3.1343E-09 | B                                     | A                | F: 247.9145   | p: 3.6846E-11 |

Herbir satırda yer alan harflendirmelerde herbir kompozit grubu için suda bekletme ve bekletmemenin etkileri birbirinden farklı ise farklı harfle gösterilmiştir (p<0.01).

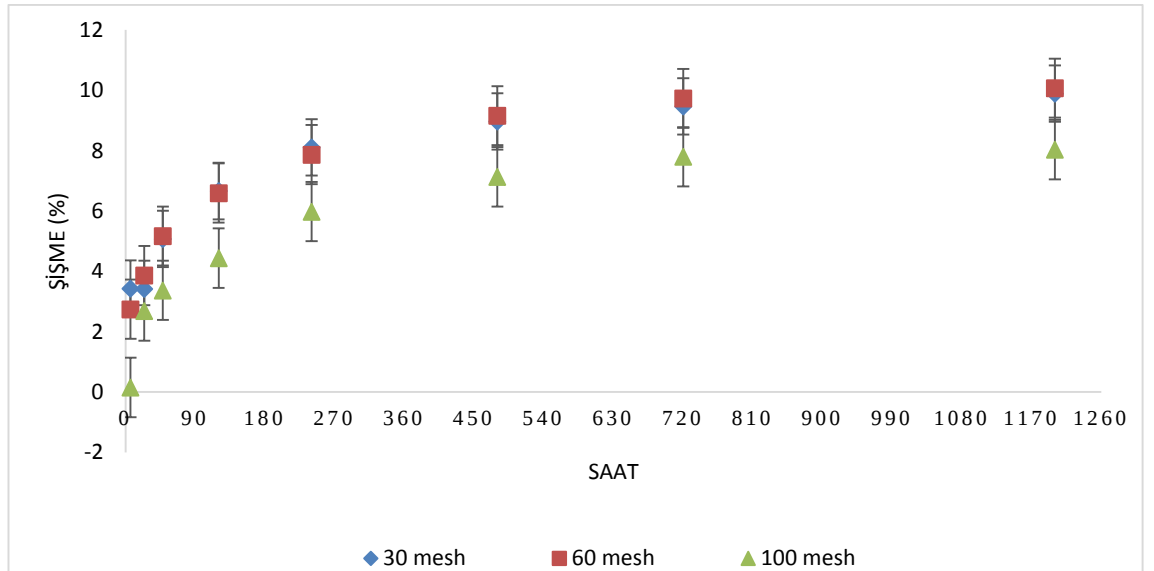
**Tablo 4.7 :** Yaşlandırma işleminin ağırlık kaybı ve rutubet miktarı üzerine etkisi.

|                   |                  |                           | <i>T. palustris</i>                      |                                    | <i>P.coccineus</i>                       |                                    |
|-------------------|------------------|---------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | Yaşlandırma ile Ağırlık Kaybı Artışı (%) | Yaşlandırma ile Rutubet Artışı (%) | Yaşlandırma ile Ağırlık Kaybı Artışı (%) | Yaşlandırma ile Rutubet Artışı (%) |
| 1                 | 50               | 60                        | 46,36                                    | 25,33                              | 80,19                                    | 34,94                              |
| 2                 | 50               | 30                        | 15,65                                    | 40,84                              | 50,00                                    | 32,44                              |
| 3                 | 70               | 60                        | 78,63                                    | 14,13                              | 74,79                                    | 39,03                              |
| 4                 | 70               | 30                        | 16,31                                    | 44,50                              | 46,03                                    | 45,33                              |
| 5                 | 50               | 100                       | 71,16                                    | 29,85                              | 72,28                                    | 25,96                              |
| 6                 | 70               | 100                       | 23,28                                    | 34,72                              | 36,46                                    | 42,12                              |

Şekil 4-11 ve Şekil 4-12’de odun kompozit örneklerinin belli aralıklarla ölçülen kalınlığına şişme değerleri verilmiştir. Örnekler ilk 270 saat içerisinde hızla rutubet alarak kalınlığına şişerken daha sonra bu şişme miktarı sabit kalmıştır.



**Şekil 4.11:** Odun : PP oranı 70 : 30 olan odun PP kompozit örneklerinin suda bekletilmesi sonucu oluşan kalınlığına şişme değerleri.



**Şekil 4.12:** Odun : PP oranı 50 : 50 olan odun PP kompozit örneklerinin suda bekletilmesi sonucu oluşan kalınlığına şişme değerleri.

50 gün suda beklemenin ardından odun kompozit örnekleri %8 ila 16 arasında kalınlığına şişmiştir. Kalınlığına şişme odun katılım oranı %50'den %70'e çıkarıldığında doğru orantılı olarak artış göstermiştir.

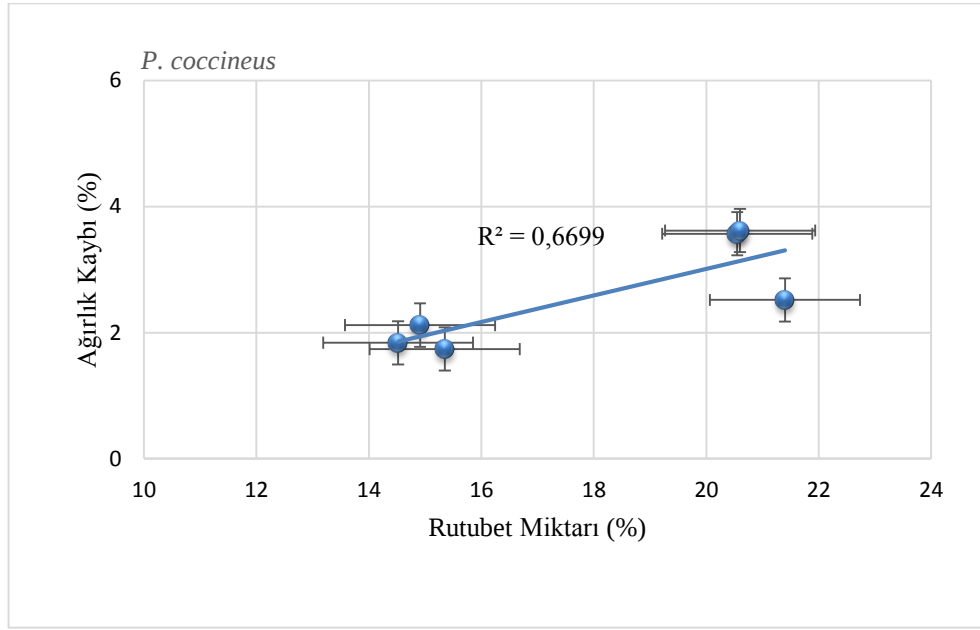
*T. palustris* mantarının sebep olduğu rutubet artışı ve ağırlık kaybı arasındaki doğrusal ilişki oldukça kuvvetli olmuş, *P. coccineus* mantarında ise bu ilişkinin yine doğrusal olduğu ancak *T. palustris*'de olduğu kadar kuvvetli olmadığı görülmektedir (Şekil 4-13 ve Şekil 4-14).

Suda bekletilmiş örneklerde ise bu ilişki suda bekletilmemiş örneklerde var olan ilişki ile hiçbir benzerlik göstermemektedir. İlişki hemen hemen yok denecek kadar azdır. Her iki mantar türü için de rutubet ve ağırlık kaybı arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı Şekil 4-15 ve Şekil 4-16'da görülmektedir.

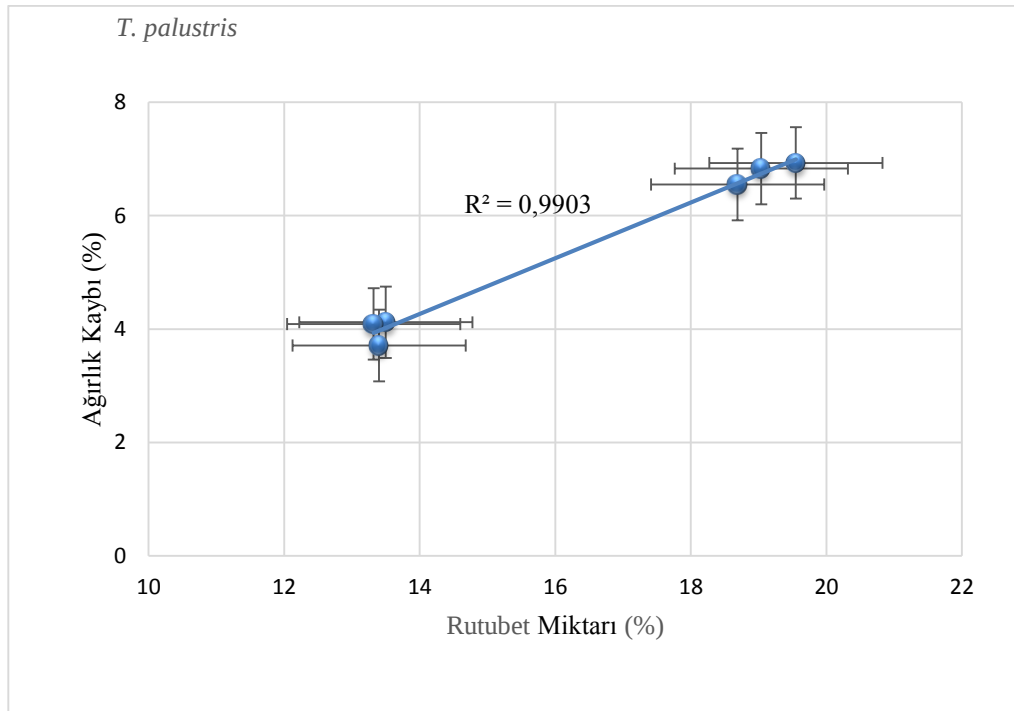
Şekil 4-17'de görüldüğü üzere %70 oranında odun içeren tüm odun içeren tüm odun-PP kompozit örneklerinde ağırlık kayıpları daha fazla olmuştur.

Şekil 4-18 incelendiğinde partikül boyutunun ağırlık kaybı üzerinde her iki mantar türüne de maruz bırakılmış örneklerde karışık bir etkisi olduğu, en fazla ağırlık kaybının 60 mesh partikül boyutuna sahip %70 oranında odun içeriğine sahip ve su içerisinde bekletilen örneklerde olduğu görülmektedir.

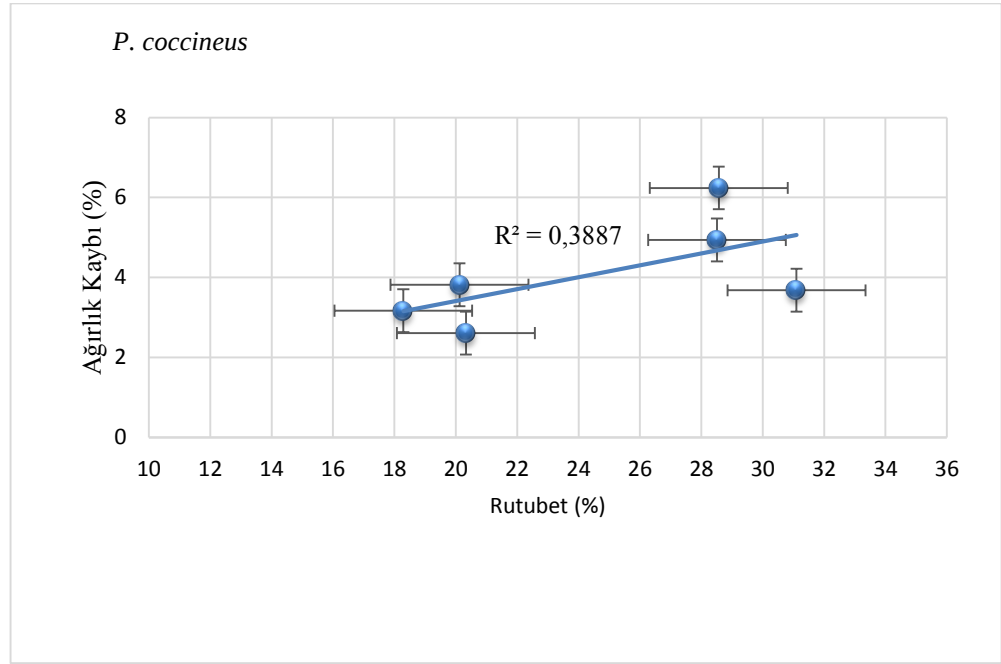
Yaşlandırma işleminin çürüklük prosesine etkisi Şekil 4-19'da görülmektedir. Yaşlandırılmış örneklerin her iki mantar türü için de ağırlık kayıplarını arttırdığı çok belirgin bir şekilde görülmektedir.



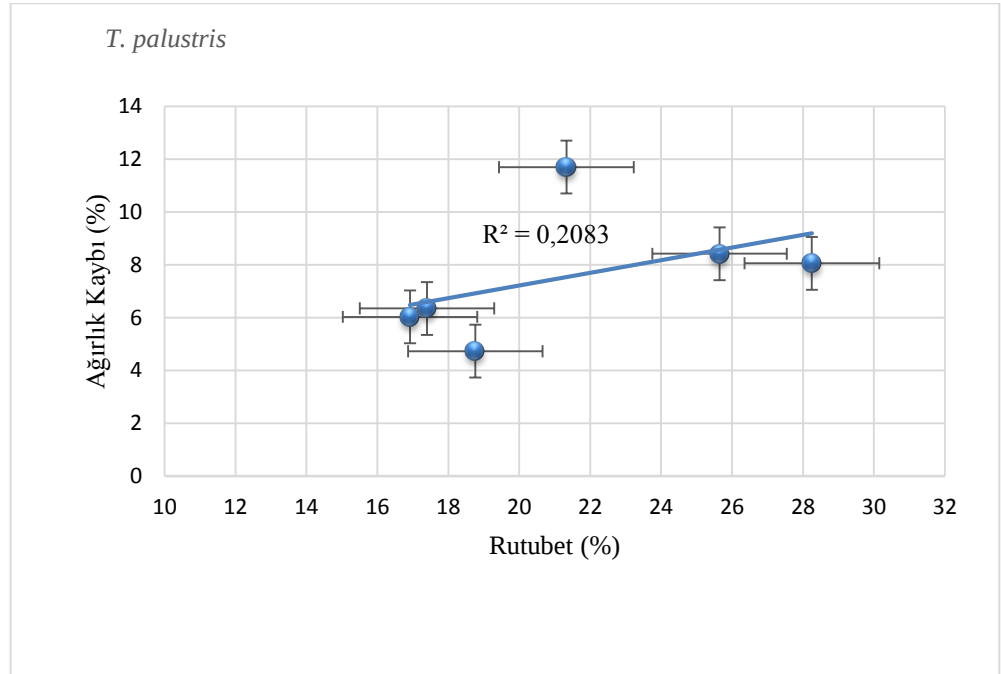
Şekil 4.13: *P. coccineus* mantarının sebep olduğu ağırlık rutubet ilişkisi.



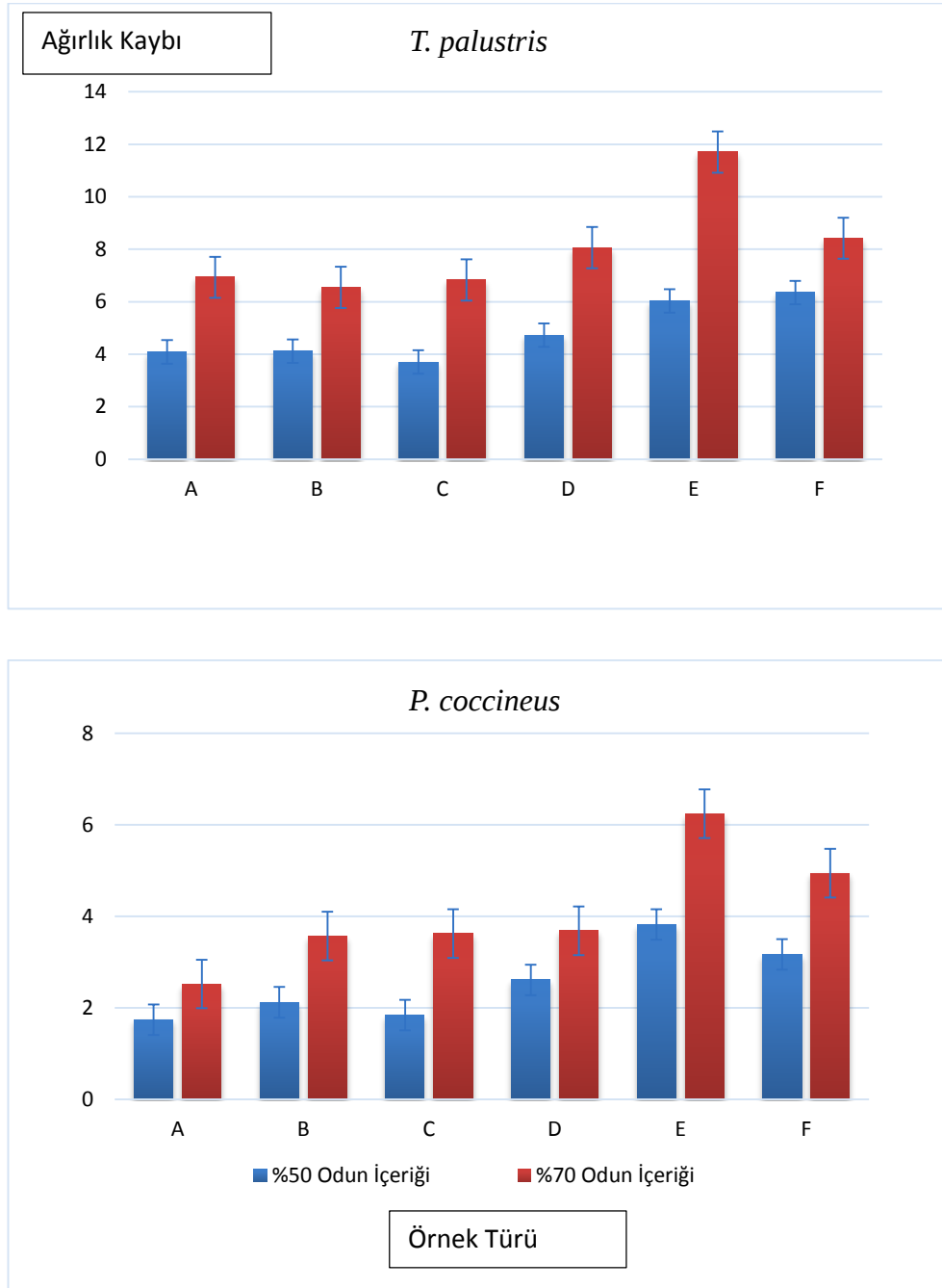
Şekil 4.14: *T. palustris* mantarının sebep olduğu ağırlık rutubet ilişkisi.



**Şekil 4.15:** *P. coccineus* mantarının suda bekletilmiş odun plastik kompozit örneklerinde sebep olduğu ağırlık rutubet ilişkisi.

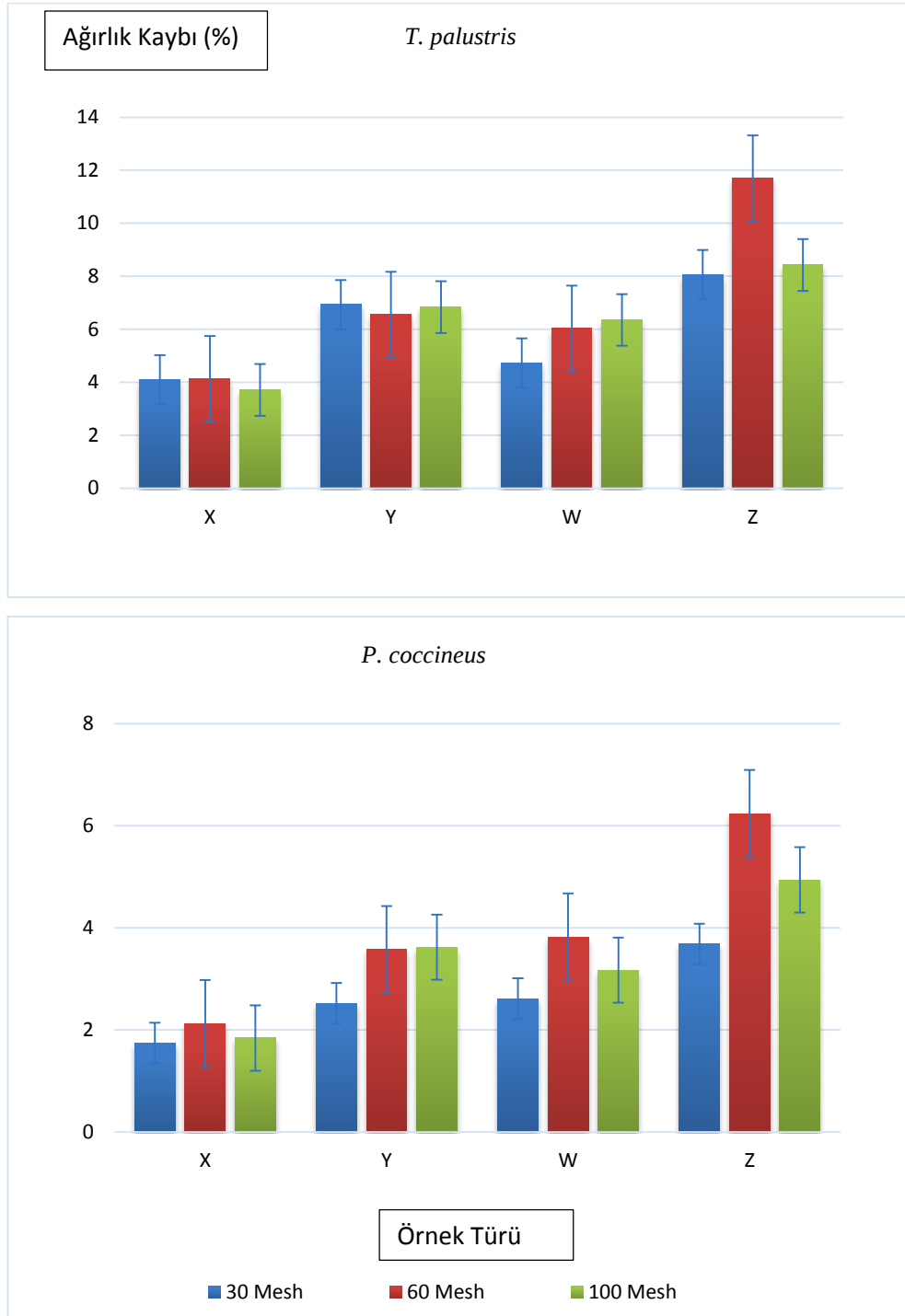


**Şekil 4.16:** *T. palustris* mantarının suda bekletilmiş odun plastik kompozit örneklerinde sebep olduğu ağırlık rutubet ilişkisi.



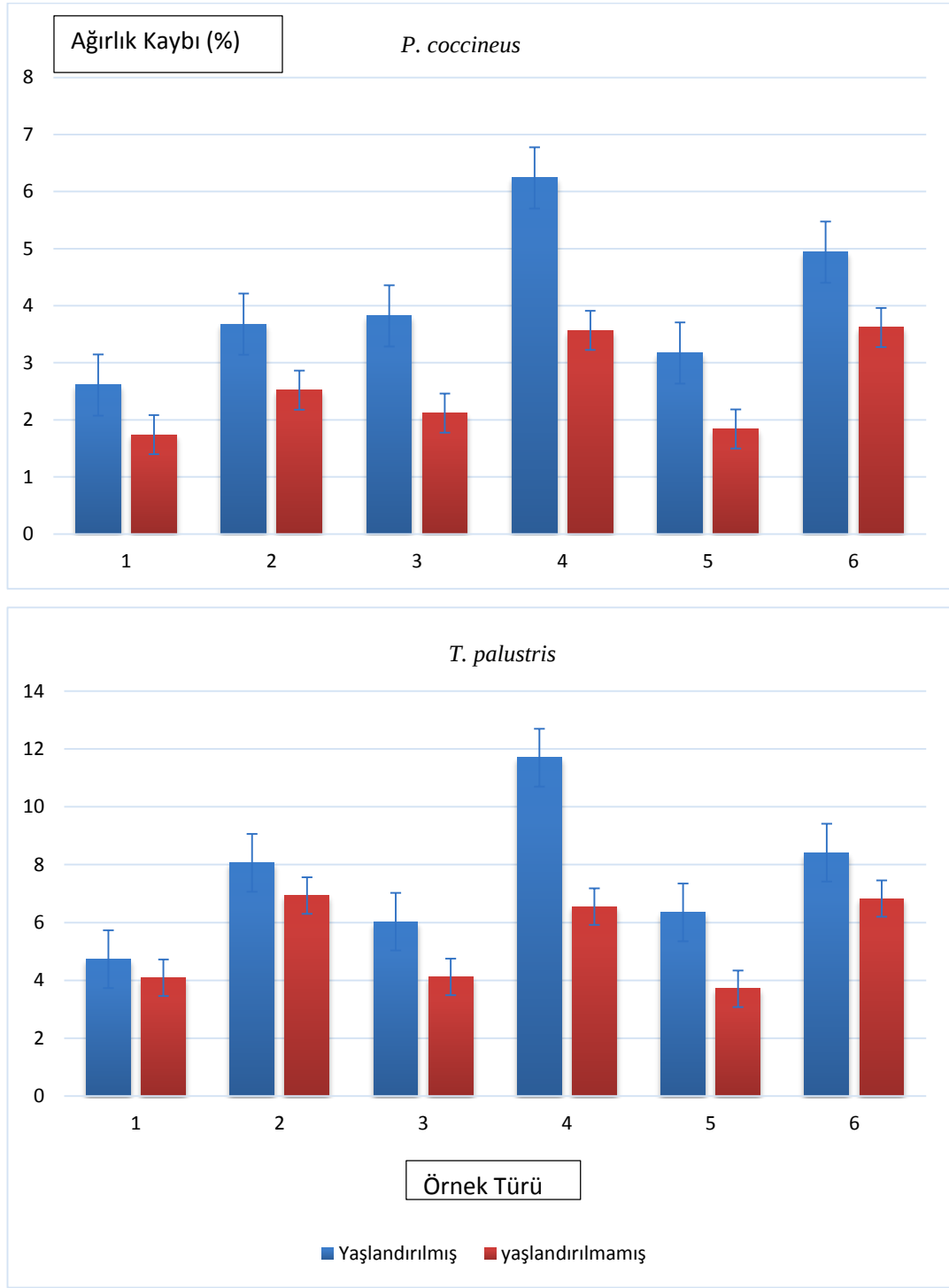
A: Suda Bekletilmemiş 30 Mesh, B: Suda Bekletilmemiş 60 Mesh, C: Suda Bekletilmemiş 100 Mesh D: Suda Bekletilmiş 30 Mesh, E: Suda Bekletilmiş 60 Mesh F: Suda Bekletilmiş 100 Mesh

**Şekil 4.17:** Suda bekletilmiş ve bekletilmemiş örneklerindeki ağırlık kaybının odun katılım oranı ve mantar türü bakımından değerlendirilmesi.



**X:** Suda Bekletilmemiş %50 Odun İçeren Örnekler **Y:** Suda Bekletilmemiş %70 Odun İçeren Örnekler **W:** Suda Bekletilmiş %50 Odun İçeren Örnekler **Z:** Suda Bekletilmiş %70 Odun İçeren Örnekler

**Şekil 4.18:** Suda bekletilmiş ve bekletilmemiş örneklerin partikül boyutu ve mantar türü bakımından değerlendirilmesi.



1: %50 Odun içeren 30 Mesh; 2: %70 Odun içeren 30 Mesh; 3: %50 Odun içeren 60 Mesh; 4: %70 Odun içeren 60 Mesh; 5: %50 Odun içeren 100 Mesh; 6: %70 Odun içeren 100 Mesh

**Şekil 4.19:** Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış odun PP kompozitlerinde ağırlık kaybı.

### 4.3 AWP A E10-12 STANDART METODU TEST SONUÇLARI

AWPA E10-12 standart metoduna göre gerçekleştirilen toprak blok (soil block) testi sonuçları Tablo 4-8’de görülmektedir. Odun katılım oranı tüm örnek gruplarında belirgin bir şekilde %50’den %70’e çıktığında, ağırlık kayıpları da buna paralel olarak artış göstermiştir (Şekil 4-21). 50 gün suda beklemenin ardından odun PP kompozit örneklerindeki rutubet miktarları %17-11-27,02 civarına ulaşmıştır. *T. palustris* mantarının sebep olduğu ağırlık kayıpları *P. coccineus* mantarının sebep olduğu ağırlık kayıplarından fazla olmuştur. Test sonrasında odun PP kompozit örneklerinde mantarların sebep olduğu rutubet artışları arasında her iki mantar türü için belirgin bir farklılık yoktur. *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış %50 oranında odun içeriğine sahip kompozit örneklerinde bazı istisnalar dışında partikül boyutu büyüdükçe ağırlık kaybı artmaktadır, %70 oranında odun içeriğine sahip kompozit örneklerinde ise tam aksine partikül boyutu küçüldükçe ağırlık kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan örneklerde ise partikül boyutu azaldıkça ağırlık kayıpları artmıştır.

Test sonrası her iki mantar türünün de sebep olduğu rutubet miktarları odun katılım oranının artmasıyla artmıştır. Partikül boyutu bakımından değerlendirildiğinde ise karışık bir etkinin söz konusu olduğu gözlemlenmiştir.

En fazla ağırlık kayıpları *T. palustris* mantarının sebep olduğu 4. grup örneklerinde, en az ağırlık kayıpları ise *P. coccineus* mantarının sebep olduğu 2. grup odun PP kompozit örneklerinde olmuştur.

Şekil 4-20’de görüldüğü gibi *T. palustris* mantarının sebep olduğu ağırlık kayıplarında rutubetin doğrusal ve oldukça kuvvetli bir ilişkisi olduğu, *P. palustris* mantarı için ise aynı ilişkinin söz konusu olmadığı ve var olan ilişkinin oldukça zayıf olduğu gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.8:** Suda bekletilen ve toprak blok testlerine maruz bırakılan test örneklerindeki ağırlık kayıpları ve rutubet içerikleri.

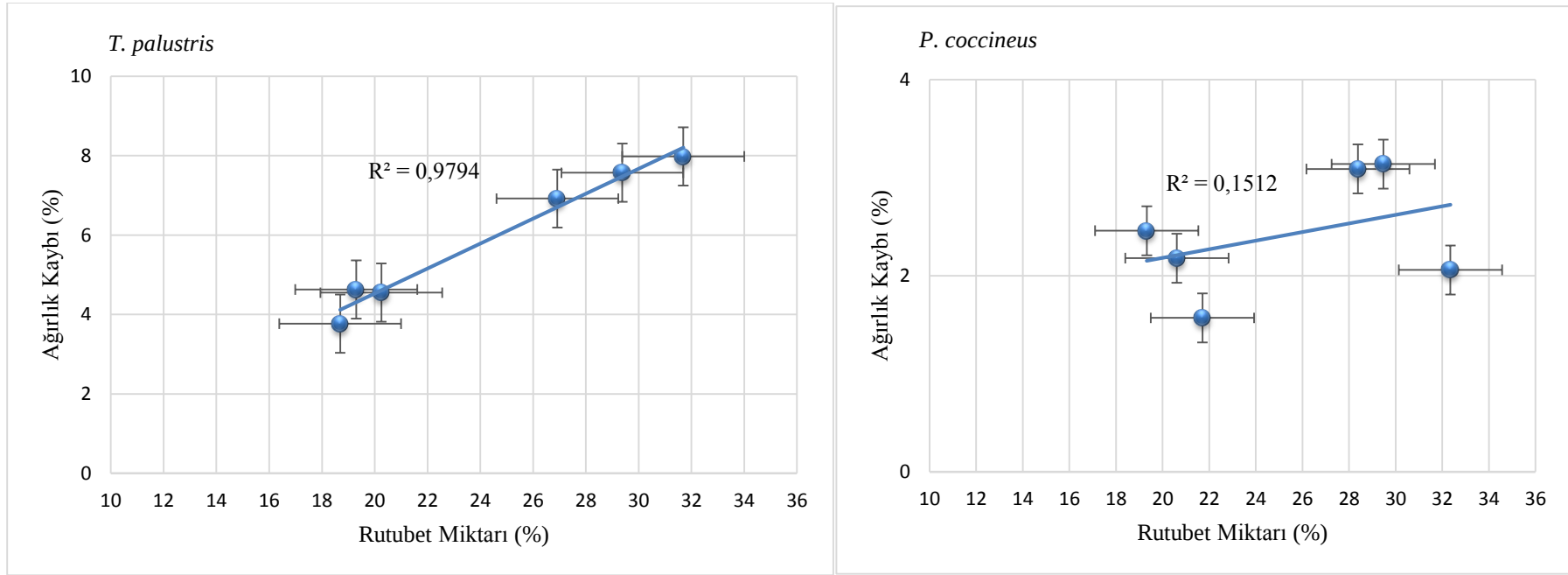
| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | <i>T. palustris</i>                                  |                   |                                  | <i>P. coccineus</i>                                  |                   |                                  |
|-------------------|------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|
|                   |                  |                           | 50 Gün Suda Beklemenin Sonundaki Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | 50 Gün Suda Beklemenin Sonundaki Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) |
| 1                 | 50               | 60                        | 18,91 ±0,78                                          | 4,55 ±0,34        | 20,25 ± 1,14                     | 18,86 ±0,99                                          | 2,18 ±0,58        | 20,61 ± 0,83                     |
| 2                 | 50               | 30                        | 18,89 ±0,94                                          | 3,77 ±0,60        | 18,69 ±1,21                      | 19,15 ±0,35                                          | 1,57 ±0,63        | 21,71 ±0,73                      |
| 3                 | 70               | 60                        | 24,72 ±0,60                                          | 7,57 ±0,39        | 29,38 ± 0,88                     | 24,01 ±0,82                                          | 3,14 ±0,74        | 29,47 ± 1,09                     |
| 4                 | 70               | 30                        | 27,02 ±1,38                                          | 7,98 ±1,99        | 31,69 ± 1,40                     | 25,57 ±1,00                                          | 2,06 ±0,38        | 32,35 ± 1,49                     |
| 5                 | 50               | 100                       | 17,65 ±1,08                                          | 4,63 ±1,62        | 19,30 ± 0,78                     | 17,11 ±0,85                                          | 2,46 ±0,91        | 19,32 ± 1,11                     |
| 6                 | 70               | 100                       | 23,71 ±0,68                                          | 6,92 ±1,61        | 26,92 ± 1,21                     | 22,98 ±0,94                                          | 3,09 ±0,76        | 28,38 ± 1,07                     |

n: Her bir grup için ve mantar türü için 6 adet örnek kullanılmıştır.

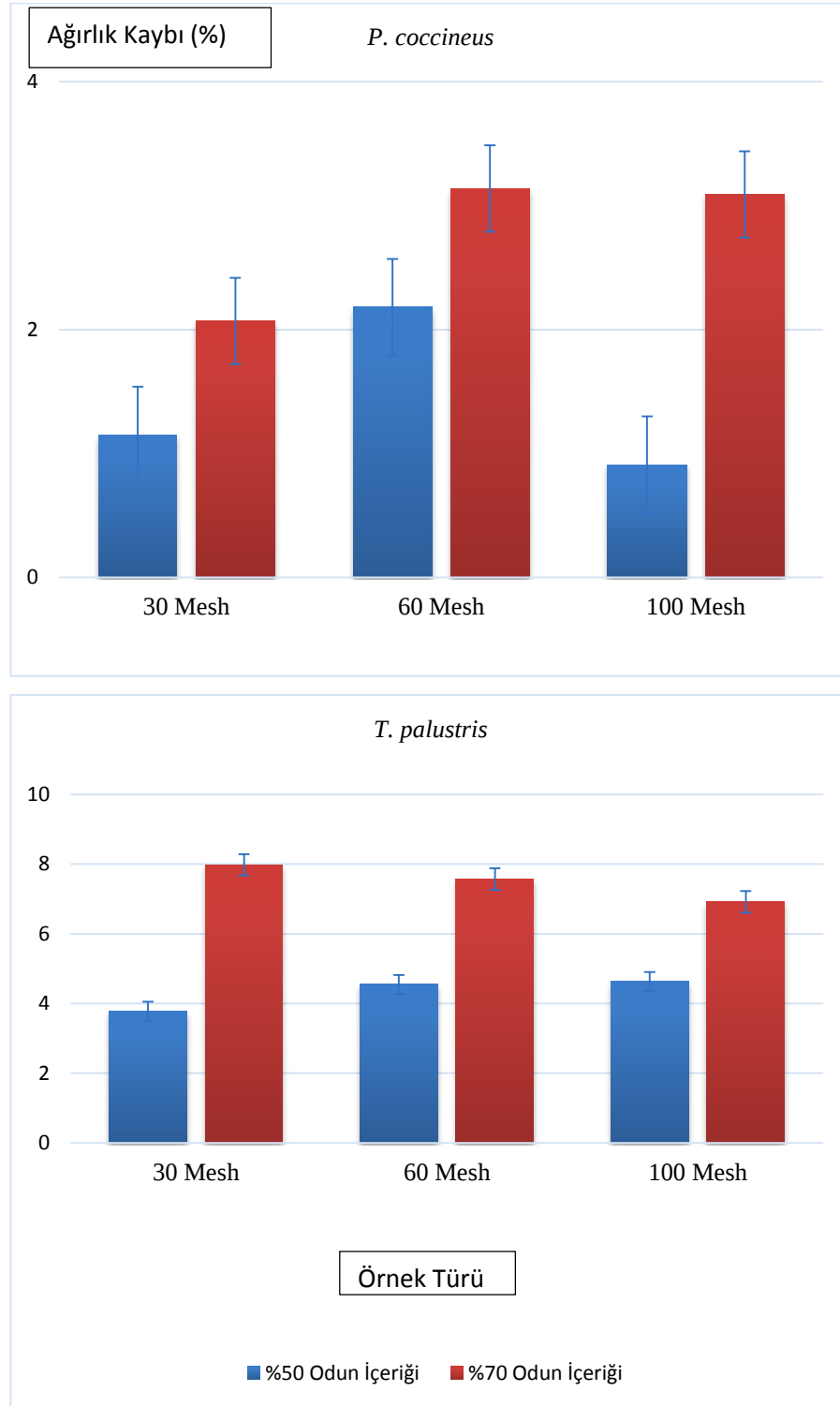
**Tablo 4.9:** Suda bekletilen ve toprak blok testlerine maruz bırakılan test örneklerindeki ağırlık kayıpları ve rutubet içeriklerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

| Kompozit Grupları | Odun İçeriği (%) | Partikül Büyüklüğü (mesh) | <i>T. palustris</i>                                  |                   |                                  | <i>P. coccineus</i>                                  |                   |                                  |
|-------------------|------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|
|                   |                  |                           | 50 Gün Suda Beklemenin Sonundaki Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | 50 Gün Suda Beklemenin Sonundaki Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) |
| 1                 | 50               | 60                        | C                                                    | B                 | D                                | C                                                    | B                 | C                                |
| 2                 | 50               | 30                        | C                                                    | C                 | D                                | C                                                    | D                 | C                                |
| 3                 | 70               | 60                        | B                                                    | A                 | B                                | AB                                                   | A                 | B                                |
| 4                 | 70               | 30                        | A                                                    | A                 | A                                | A                                                    | C                 | A                                |
| 5                 | 50               | 100                       | C                                                    | B                 | D                                | CD                                                   | AB                | C                                |
| 6                 | 70               | 100                       | B                                                    | AB                | C                                | B                                                    | A                 | B                                |
| One-way ANOVA     |                  |                           | F value                                              |                   |                                  |                                                      |                   |                                  |
|                   |                  |                           | p value                                              |                   |                                  |                                                      |                   |                                  |
|                   |                  |                           | 147,3317                                             | 6,3847            | 228,4321                         | 122,6106                                             | 9,4482            | 226,9158                         |
|                   |                  |                           | 6,57E-28                                             | 0,00012764        | 3,08E-32                         | 3,95E-26                                             | 2,55E-06          | 3,59E-32                         |

İstatistiksel çalışmada herbir test mantarı için kompozit grupları arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Herbir sütunda yer alan harflendirmelerde birbiri ile farklılık göstermeyen kompozit grupları aynı harfle gösterilmiştir ( $p < 0.01$ ).

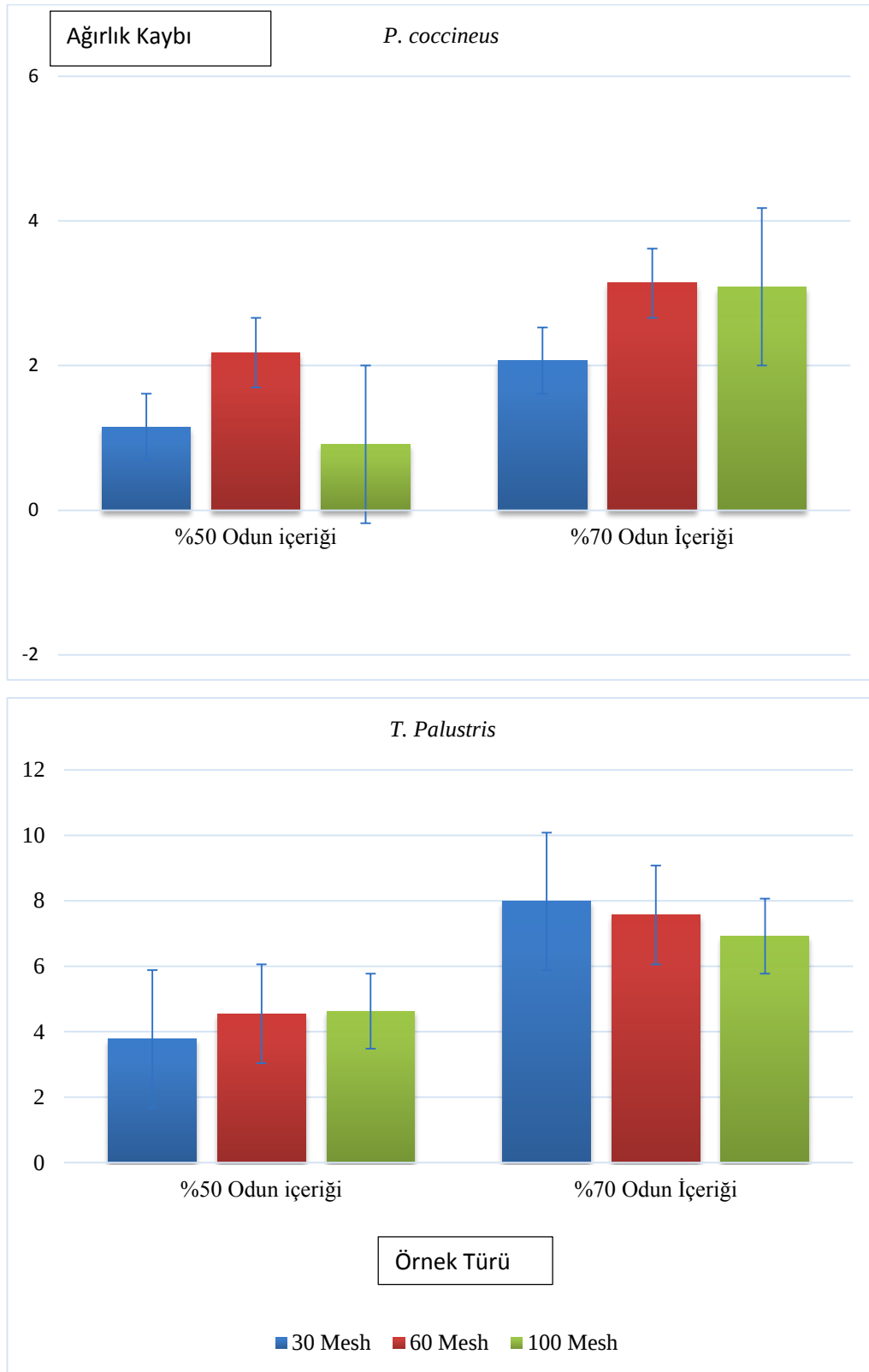


**Şekil 4.20:** Suda bekletilerek yaşlandırılmış ve toprak blok testine maruz bırakılmış odun-PP kompozit örneklerinde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.



**Şekil 4.21:** Suda bekletilen ve toprak blok testlerine maruz bırakılan test örneklerindeki ağırlık kayıplarının odun/polimer oranı ve mantar türü bakımından karşılaştırılması.

Şekil 4-21’de yine diğer test sonuçlarında olduğu gibi %70 oranında odun içeren örneklerde ağırlık kaybı oldukça yüksek olmaktadır. Mantar türü olarak incelendiğinde *T.palustris* mantarının büyük ölçüde etkin olduğu görülmektedir. Bu mantar türüne maruz bırakılan odun-PP örneklerinde partikül boyutu küçüldükçe ağırlık kayıplarının arttığı sonucuna varılmıştır. Şekil 4-22’de de görüldüğü üzere partikül boyutu ne olursa olsun en fazla ağırlık kayıpları %70 oranında odun içeriğine sahip odun-PP kompozit örneklerinde olmuştur.



**Şekil 4.22:** Suda bekletilen ve toprak blok testlerine maruz bırakılan test örneklerindeki ağırlık kayıplarının partikül büyüklükleri ve mantar türü bakımından karşılaştırılması.

#### **4.4.HIZLI YAŞLANDIRMA (6 AŞAMALI YAŞLANDIRMA: KAYNATMA-BUHARLAMA-KURUTMA-DONDURMA- BUHARLAMA-KURUTMA) METODU TEST SONUÇLARI**

Test öncesinde hızlı yaşlandırma işlemine (6 aşamalı yaşlandırma: kaynatma, buharlama, kurutma, dondurma, buharlama, kurutma) tabi tutulmuş çinko borat içeren ve içermeyen odun-PE kompozit örneklerinde oluşan haftalık ağırlık kayıpları ve rutubet miktarı değerleri Tablo 4-10'da özetlenmiştir. Çinko borat içeren ve içermeyen odun PE kompozit örneklerinde ilk haftalarda kayda değer bir ağırlık kaybı gözlenmemiştir. En fazla ağırlık kayıplarının gerçekleştiği haftalar 8, 10 ve 12. haftalar olmuştur.

Yaşlandırma işlemine tabi tutulmamış çinko borat içermeyen örneklerdeki ağırlık kayıpları, çinko borat içeren örneklerdekinden nispeten daha fazla olmuştur. Test boyunca inkübasyon süresinin artmasıyla ağırlık kayıplarının da arttığı görülmüştür.

Yaşlandırılmış örneklerdeki ağırlık kayıpları yaşlandırılmamış örneklerdekine oranla daha fazla olduğu oldukça belirgin bir şekilde görülmektedir. *T. palustris* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış çinko borat içeren örneklerde ilk haftalarda ağırlık kayıplarının başladığı gözlemlenmiştir. Bu mantar türü için en fazla ağırlık kaybı yaşlandırılmış örneklerde 6. ve 7. haftalarda görülmüştür.

Test sonrasındaki rutubet değerleri ise yaşlandırılmış örneklerde yaşlandırılmamış olanlara nispeten daha fazla olmuştur.

4. hafta dışındaki tüm haftalarda yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış olan, çinko borat içermeyen örneklerde meydana gelen ağırlık kayıpları arasında anlamlı bir farklılık görülmüştür. Çinko borat içeren yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış örneklerde 3. ve 4. haftalar dışında diğer tüm haftalarda ağırlık kayıpları arasında anlamlı bir farklılık bulunmuştur.

Test sonrası rutubet değerleri incelendiğinde 3, 10 ve 12. haftalar dışında tüm haftalarda çinko borat içermeyen yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış örneklerin rutubet değerlerinde anlamlı bir farklılığın olduğu görülmüştür. Çinko borat içeren örneklerde ise 3. hafta

dışında diğer tüm haftalarda oluşan rutubet artışları arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır.

**Tablo 4.10:** Hızlandırılmış olarak yaşlandırılmış örneklerdeki rutubet değişimi ve *S. commune* mantarına maruz bırakıldıktan sonraki elde edilen ağırlık kayıpları.

| Hafta | <i>S. commune</i>                            |                   |                  |                                  |                  |                                              |                   |                  |                                  |                  |
|-------|----------------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
|       | Çinko Borat İçermeyen                        |                   |                  |                                  |                  | Çinko Borat İçeren                           |                   |                  |                                  |                  |
|       | Yaşlandırma Sonrasındaki Rutubet İçeriği (%) | Ağırlık Kaybı (%) |                  | Test Sonrası Rutubet İçeriği (%) |                  | Yaşlandırma Sonrasındaki Rutubet İçeriği (%) | Ağırlık Kaybı (%) |                  | Test Sonrası Rutubet İçeriği (%) |                  |
|       |                                              | Yaşlandırılmış    | Yaşlandırılmamış | Yaşlandırılmış                   | Yaşlandırılmamış |                                              | Yaşlandırılmış    | Yaşlandırılmamış | Yaşlandırılmış                   | Yaşlandırılmamış |
| 1     | 10,75 ±1,41                                  | 0,07 ± 0,44       | 0                | 8,08 ± 0,87                      | 3,89 ±0,27       | 10,59 ±0,66                                  | 0,37 ± 0,18       | 0                | 10,89 ± 0,39                     | 5,78 ±0,64       |
| 2     | 10,67 ±1,23                                  | 0,15 ± 0,23       | 0,08 ± 0,19      | 8,15 ± 0,85                      | 5,71 ±0,76       | 10,13 ±0,64                                  | 1,20 ± 0,17       | 0,14 ± 0,22      | 10,69 ± 1,13                     | 5,26 ±1,18       |
| 3     | 10,74 ±1,47                                  | 0,07 ± 0,34       | 0                | 9,15 ± 1,52                      | 7,36 ±2,03       | 10,56 ±0,32                                  | 0,32 ±1,16        | 0                | 13,69 ± 1,86                     | 14,41 ±2,49      |
| 4     | 11,60 ±1,49                                  | 0,89 ± 0,40       | 0,24 ± 0,26      | 10,33 ± 1,52                     | 6,95 ±1,43       | 9,66 ±1,19                                   | 0,80 ± 0,98       | 0,23 ± 0,25      | 10,56 ± 1,12                     | 7,42 ±0,30       |
| 6     | 10,12 ±0,48                                  | 0,64 ± 0,22       | 0,76 ± 0,46      | 9,98 ± 0,65                      | 7,18 ±1,09       | 10,12 ±0,48                                  | 1,73 ± 0,68       | 0,14 ± 0,22      | 11,90 ± 1,21                     | 8,30 ±0,68       |
| 8     | 11,18 ±0,80                                  | 1,25 ± 0,70       | 0,94 ± 0,44      | 10,79 ± 1,28                     | 7,77 ±1,27       | 10,45 ±0,87                                  | 2,58 ± 0,91       | 0,86 ± 0,05      | 1,48 ± 0,98                      | 9,29 ±0,92       |
| 10    | 13,18 ±8,29                                  | 1,34 ± 0,81       | 0,95 ± 0,51      | 9,85 ± 0,57                      | 9,28 ±1,09       | 10,51 ±1,06                                  | 2,51 ± 0,75       | 0,77 ± 0,33      | 11,03 ± 0,39                     | 9,87 ±0,48       |
| 12    | 11,49 ±1,73                                  | 0,91 ± 0,93       | 0,60 ± 0,37      | 10,81 ±1,60                      | 9,55 ±1,35       | 10,48 ±0,66                                  | 2,13 ± 0,56       | 0,37 ± 0,35      | 10,91 ± 0,70                     | 9,66 ±0,75       |

n: Her bir grup için çinko borat içeren 6 adet, çinko borat içermeyen 6 adet örnek kullanılmıştır

**Tablo 4.11:** Hızlandırılmış olarak yaşlandırılmış örneklerdeki rutubet değişimi ve *T. palustris* mantarına maruz bırakıldıktan sonraki elde edilen ağırlık kayıpları.

| Hafta | <i>T. palustris</i>                          |                   |                  |                                  |                  |                                              |                   |                  |                                  |                  |
|-------|----------------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
|       | Çinko Borat İçermeyen                        |                   |                  |                                  |                  | Çinko Borat İçeren                           |                   |                  |                                  |                  |
|       | Yaşlandırma Sonrasındaki Rutubet İçeriği (%) | Ağırlık Kaybı (%) |                  | Test Sonrası Rutubet İçeriği (%) |                  | Yaşlandırma Sonrasındaki Rutubet İçeriği (%) | Ağırlık Kaybı (%) |                  | Test Sonrası Rutubet İçeriği (%) |                  |
|       |                                              | Yaşlandırılmış    | Yaşlandırılmamış | Yaşlandırılmış                   | Yaşlandırılmamış |                                              | Yaşlandırılmış    | Yaşlandırılmamış | Yaşlandırılmış                   | Yaşlandırılmamış |
| 1     | 9,37 ±0,77                                   | 0                 | 0                | 7,86 ± 0,39                      | 3,35 ±0,32       | 10,14 ±0,61                                  | 0,35 ± 0,32       | 0                | 10,19 ± 0,93                     | 4,68 ±0,73       |
| 2     | 11,52 ±1,15                                  | 0,07 ± 0,17       | 0                | 9,40 ± 1,40                      | 4,97 ±0,60       | 10,50 ±0,71                                  | 1,00 ± 0,21       | 0                | 10,69 ± 0,87                     | 4,80 ±0,31       |
| 3     | 10,53 ±1,38                                  | 0                 | 0                | 9,39 ± 1,47                      | 4,71 ±0,74       | 10,81 ±0,83                                  | 0,14 ± 0,21       | 0                | 11,31 ± 0,42                     | 7,85 ±0,87       |
| 4     | 11,21 ±0,97                                  | 0,48 ± 0,97       | 0,24 ± 0,26      | 9,22 ± 0,98                      | 7,39 ±0,89       | 10,48 ±1,19                                  | 1,28 ± 0,67       | 0                | 10,86 ± 0,57                     | 7,36 ±0,90       |
| 5     | 10,54 ±1,04                                  | 0,90 ± 0,26       | 0,40 ± 0,20      | 9,33 ± 1,56                      | 7,21 ±1,42       | 11,41 ±0,52                                  | 1,71 ± 0,57       | 0,42 ± 0,27      | 11,75 ±1,01                      | 7,27 ±0,45       |
| 6     | 11,17 ±1,46                                  | 4,05 ± 4,50       | 1,07 ± 0,40      | 10,47 ± 1,22                     | 7,38 ±1,26       | 11,11 ±0,54                                  | 2,94 ± 0,29       | 0,73 ± 0,24      | 11,25 ± 0,57                     | 8,76 ±0,99       |
| 7     | 11,97 ±1,18                                  | 3,40 ± 0,97       | 1,14 ± 0,76      | 10,24 ± 1,13                     | 7,52 ±1,46       | 10,4 ±1,15                                   | 2,09 ± 0,59       | 0,80 ± 0,20      | 10,88 ± 0,60                     | 8,84 ±0,42       |
| 8     | 11,48 ±0,87                                  | 2,88 ± 0,82       | 1,19 ± 0,73      | 9,28 ± 1,49                      | 8,37 ±1,40       | 10,63 ±0,59                                  | 1,67 ± 0,58       | 0,07 ± 0,18      | 12,07 ± 0,40                     | 10,05 ±0,98      |

n: Her bir grup için çinko borat içeren 6 adet, çinko borat içermeyen 6 adet örnek kullanılmıştır.

**Tablo 4.12:** *S. commune* mantarına maruz bırakılan odun-PE kompozitlerinde oluşan ağırlık kaybı ve rutubet miktarı değerlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

| Hafta           | S. commune            |          |          |                 |                                  |          |          |                 |                    |          |          |                 |                                  |          |          |            |
|-----------------|-----------------------|----------|----------|-----------------|----------------------------------|----------|----------|-----------------|--------------------|----------|----------|-----------------|----------------------------------|----------|----------|------------|
|                 | Çinko Borat İçermeyen |          |          |                 |                                  |          |          |                 | Çinko Borat İçeren |          |          |                 |                                  |          |          |            |
|                 | Ağırlık Kaybı (%)     |          |          |                 | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) |          |          |                 | Ağırlık Kaybı (%)  |          |          |                 | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) |          |          |            |
|                 | One-way ANOVA         |          |          |                 | One-way ANOVA                    |          |          |                 | One-way ANOVA      |          |          |                 | One-way ANOVA                    |          |          |            |
| Yaşlan dırılmış | Yaşlan dırılma mış    | F değeri | p değeri | Yaşlan dırılmış | Yaşlan dırılma mış               | F değeri | P değeri | Yaşlan dırılmış | Yaşlan dırılma mış | F değeri | p değeri | Yaşland ırılmış | Yaşlan dırılma mış               | F değeri | p değeri |            |
| 1               | A                     | A        | 0,1519   | 0,70493525      | A                                | B        | 126,9422 | 0,00000053      | A                  | B        | 25,3519  | 0,00051031      | A                                | B        | 5,6317   | 0,03906840 |
| 2               | A                     | A        | 0,3303   | 0,57816099      | A                                | B        | 27,4760  | 0,00037784      | A                  | B        | 87,21    | 0,0000029646    | A                                | B        | 66,2756  | 0,00001101 |
| 3               | A                     | A        | 0,2543   | 0,62497106      | A                                | A        | 2,9892   | 0,11451105      | A                  | A        | 0,4566   | 0,51453952      | A                                | A        | 0,3220   | 0,58292351 |
| 4               | A                     | B        | 11,138   | 0,00752393      | A                                | B        | 15,7386  | 0,00265537      | A                  | A        | 1,91     | 0,1975097       | A                                | B        | 44,0030  | 0,00005829 |
| 6               | A                     | A        | 0,3323   | 0,57704749      | A                                | B        | 29,2065  | 0,00029959      | A                  | B        | 29,70    | 0,0002811       | A                                | B        | 40,3634  | 0,00008317 |
| 8               | A                     | A        | 0,8435   | 0,38002332      | A                                | B        | 16,8309  | 0,00213584      | A                  | B        | 21,37    | 0,00094648      | B                                | A        | 202,5551 | 0,00000006 |
| 10              | A                     | A        | 0,9961   | 0,34180007      | A                                | A        | 1,2884   | 0,28281098      | A                  | B        | 27,06    | 0,00040039      | A                                | AB       | 21,1075  | 0,00098874 |
| 12              | A                     | A        | 0,5756   | 0,46556155      | A                                | A        | 2,1736   | 0,17117285      | A                  | B        | 42,62    | 0,000066533     | A                                | AB       | 8,9074   | 0,01371390 |

Her bir satırda yer alan harflendirmelerde herbir hafta için yaşlandırmanın etkileri birbirinden farklı ise farklı harfle gösterilmiştir ( $p < 0.01$ ).

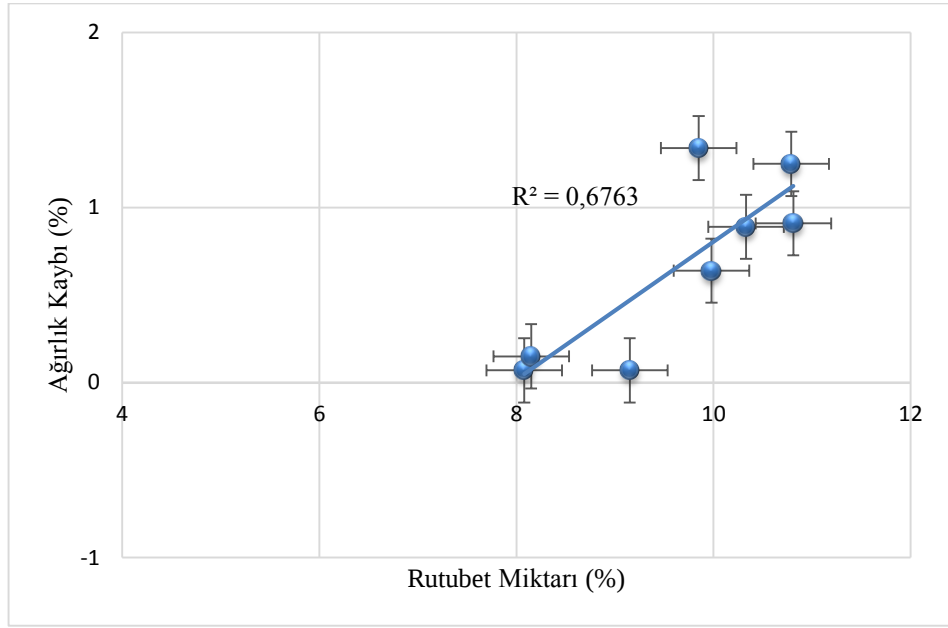
**Tablo 4.13:** *T. palustris* mantarına maruz bırakılan odun-PE kompozitlerinde oluşan ağırlık kaybı ve rutubet miktarı değerlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi

| Hafta | <i>T. palustris</i>   |                    |               |            |                                  |                    |               |            |                    |                    |               |            |                                  |                    |               |            |
|-------|-----------------------|--------------------|---------------|------------|----------------------------------|--------------------|---------------|------------|--------------------|--------------------|---------------|------------|----------------------------------|--------------------|---------------|------------|
|       | Çinko Borat İçermeyen |                    |               |            |                                  |                    |               |            | Çinko Borat İçeren |                    |               |            |                                  |                    |               |            |
|       | Ağırlık Kaybı (%)     |                    | One-way ANOVA |            | Test Sonrası Rutubet İçeriği (%) |                    | One-way ANOVA |            | Ağırlık Kaybı (%)  |                    | One-way ANOVA |            | Test Sonrası Rutubet İçeriği (%) |                    | One-way ANOVA |            |
|       | Yaşlan dırılmış       | Yaşlan dırılma mış | F value       | p value    | Yaşlan dırılmış                  | Yaşlan dırılma mış | F value       | p value    | Yaşlan dırılmış    | Yaşlan dırılma mış | F value       | p value    | Yaşlan dırılmış                  | Yaşlan dırılma mış | F value       | p value    |
| 1     | A                     | A                  | -             | -          | A                                | B                  | 479,5308      | 0,00000000 | A                  | A                  | 0,0718        | 0,79421136 | A                                | B                  | 130,3195      | 0,00000047 |
| 2     | A                     | A                  | 1,0173        | 0,3369418  | A                                | B                  | 50,7541       | 0,00003202 | A                  | B                  | 136,0544      | 0,00000038 | A                                | B                  | 244,0242      | 0,00000002 |
| 3     | A                     | A                  | -             | -          | A                                | B                  | 48,5193       | 0,00003873 | A                  | A                  | 2,6670        | 0,13351965 | A                                | B                  | 76,9630       | 0,00000520 |
| 4     | A                     | A                  | 0,3427        | 0,57125531 | A                                | B                  | 11,4656       | 0,00693133 | A                  | B                  | 21,8989       | 0,00086801 | A                                | B                  | 64,7634       | 0,00001118 |
| 6     | A                     | B                  | 13,9405       | 0,00388661 | A                                | AB                 | 6,0599        | 0,00335798 | A                  | B                  | 25,0995       | 0,00052952 | A                                | B                  | 98,4970       | 0,00000170 |
| 8     | A                     | A                  | 2,6106        | 0,13722426 | A                                | B                  | 18,6244       | 0,00152362 | A                  | B                  | 206,8073      | 0,00000005 | A                                | B                  | 28,5062       | 0,00032866 |
| 10    | A                     | B                  | 20,1815       | 0,00115665 | A                                | B                  | 13,0234       | 0,00477760 | A                  | B                  | 25,7269       | 0,00048329 | A                                | B                  | 46,5503       | 0,00004610 |
| 12    | A                     | B                  | 14,2177       | 0,00365771 | A                                | A                  | 1,1189        | 0,30117901 | A                  | B                  | 41,6486       | 0,00007315 | A                                | B                  | 21,8515       | 0,00087472 |

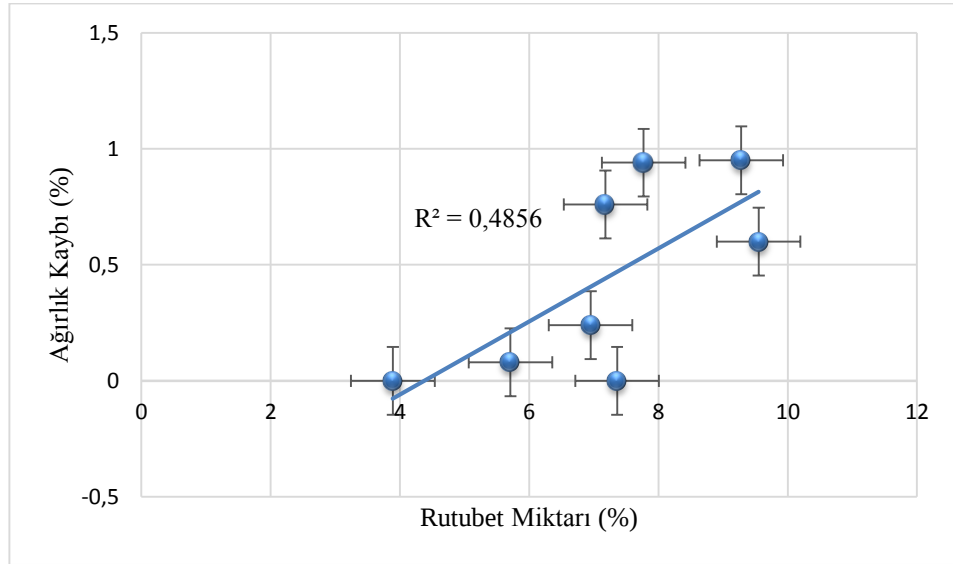
Her bir satırda yer alan harflendirmelerde herbir hafta için yaşlandırmanın etkileri birbirinden farklı ise farklı harfle gösterilmiştir ( $p < 0.01$ ).

**Tablo 4.14:** Yaşlandırma işleminin ağırlık kaybı ve rutubet miktarı üzerine etkisi.

| Örnek Grupları | <i>S.commune</i>                         |                                    |                                          |                                    | <i>T.palustris</i>                       |                                    |                                          |                                    |
|----------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|                | <i>Katkısız</i>                          |                                    | <i>Çinkoboratl</i>                       |                                    | <i>Katkısız</i>                          |                                    | <i>Çinkoboratl</i>                       |                                    |
|                | Yaşlandırma ile Ağırlık Kaybı Artışı (%) | Yaşlandırma ile Rutubet Artışı (%) | Yaşlandırma ile Ağırlık Kaybı Artışı (%) | Yaşlandırma ile Rutubet Artışı (%) | Yaşlandırma ile Ağırlık Kaybı Artışı (%) | Yaşlandırma ile Rutubet Artışı (%) | Yaşlandırma ile Ağırlık Kaybı Artışı (%) | Yaşlandırma ile Rutubet Artışı (%) |
| 1              | –                                        | 107,71                             | –                                        | 88,41                              | –                                        | 137,61                             | –                                        | 117,74                             |
| 2              | 87,50                                    | 42,73                              | 0,53                                     | 103,23                             | –                                        | 89,13                              | –                                        | 122,71                             |
| 3              | –                                        | 24,32                              | –                                        | -5,00                              | –                                        | 99,36                              | –                                        | 44,08                              |
| 4              | 270,83                                   | 48,63                              | 247,83                                   | 42,32                              | 100,00                                   | 24,76                              | –                                        | 47,55                              |
| 5              | -15,79                                   | 39,00                              | 1135,71                                  | 43,37                              | 125,00                                   | 29,40                              | 171                                      | 62,17                              |
| 6              | 32,98                                    | 38,87                              | 200,00                                   | 23,57                              | 278,50                                   | 41,87                              | 302,74                                   | 28,42                              |
| 7              | 41,05                                    | 6,14                               | 225,97                                   | 11,75                              | 198,25                                   | 36,17                              | 161,25                                   | 23,08                              |
| 8              | 5,17                                     | 13,19                              | 475,68                                   | 12,94                              | 142,02                                   | 10,87                              | 2285,71                                  | 20,10                              |



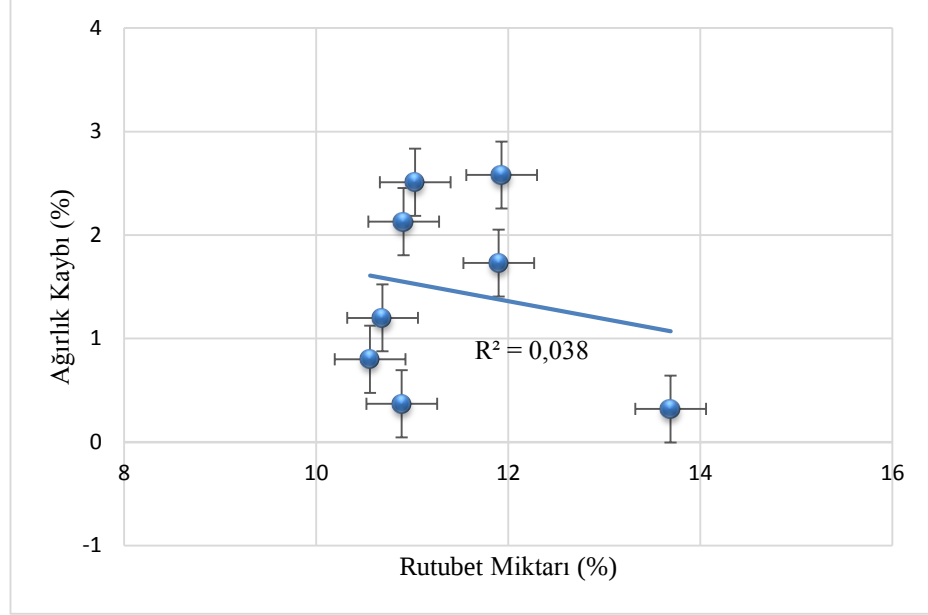
**Şekil 4.23:** *S. commune* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.



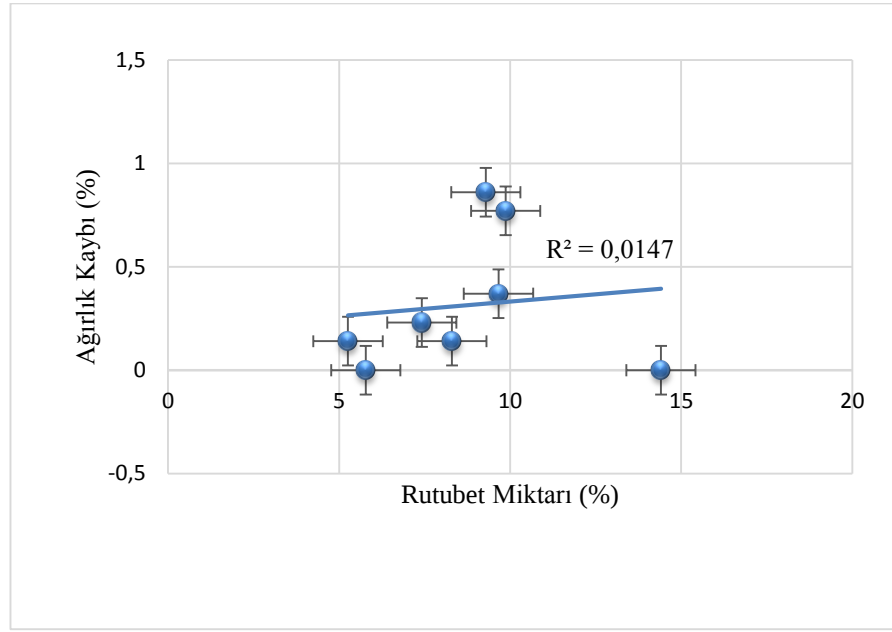
**Şekil 4.24:** *S. commune* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmamış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

Şekil 4-23 ve Şekil 4-24’de *S. commune* mantarına maruz bırakılan örneklerdeki mantarın sebep olduğu ağırlık kayıpları rutubet ilişkisi yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış örnek

ve yaşlandırılmış olan örneklerde bu ilişkinin yaşlandırılmış olan örneklerde olandan daha kuvvetli olduğu görülmüştür. Her ikisinin de sahip olduğu bu ilişki doğrusaldır.

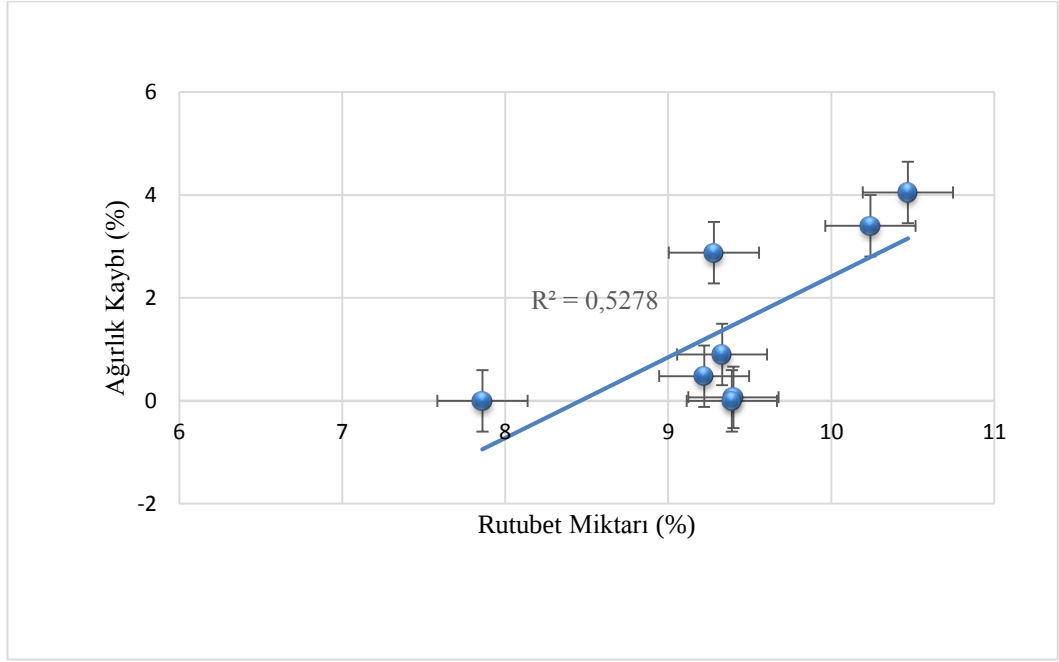


**Şekil 4.25:** *S. commune* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış ve çinko borat içeren örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

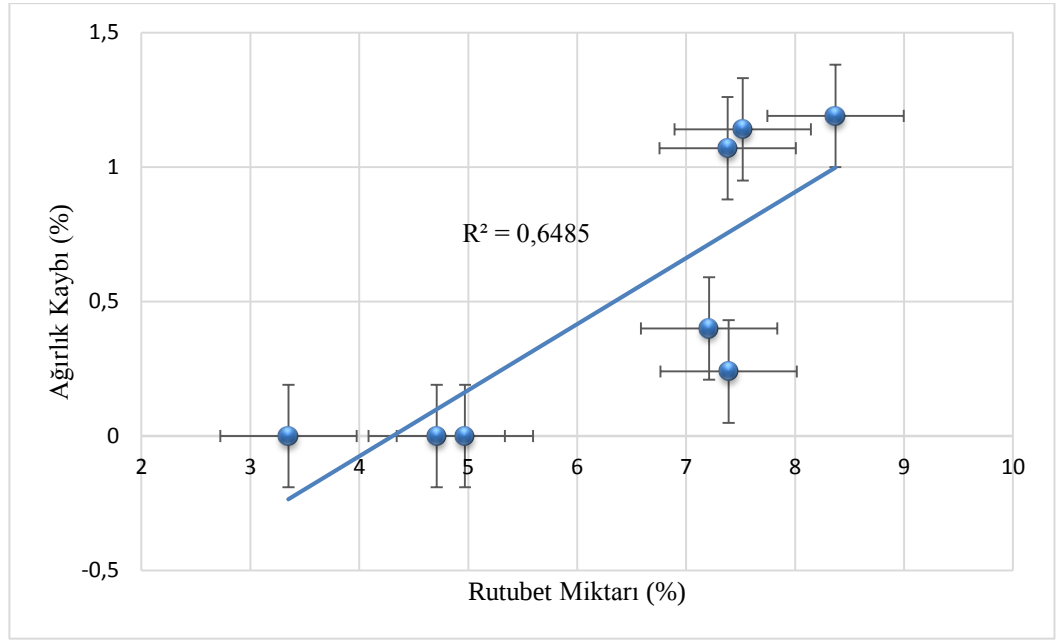


**Şekil 4.26:** *S. commune* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmamış ve çinko borat içeren örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

Çinko borat içeren örneklerdeki ağırlık kaybı rutubet ilişkisi Şekil 4-25 ve Şekil 4-26’da görüldüğü gibi oldukça zayıftır.

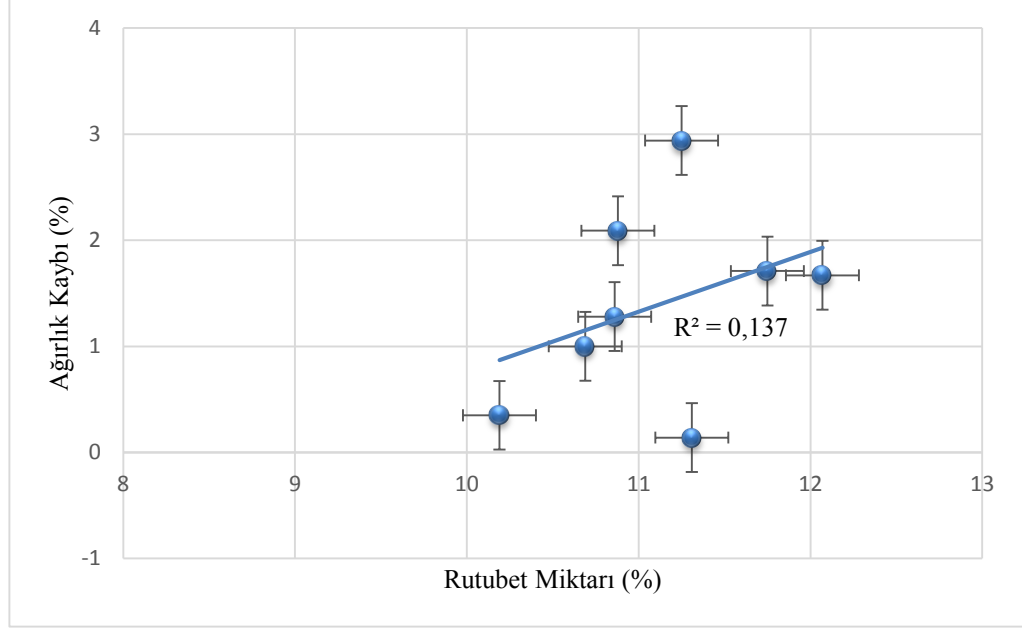


**Şekil 4.27:** *T. palustris* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

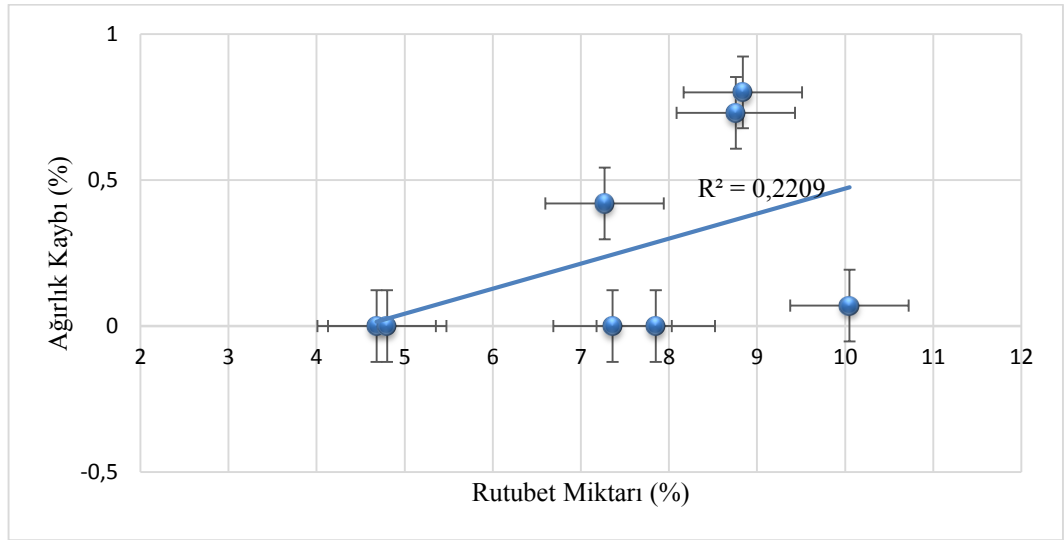


**Şekil 4.28:** *T. palustris* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmamış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

*T. palustris* mantarına maruz bırakılmış olan örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi ise hem yaşlandırılmış hem de yaşlandırılmamış örneklerde doğrusal ve kuvvetlidir.

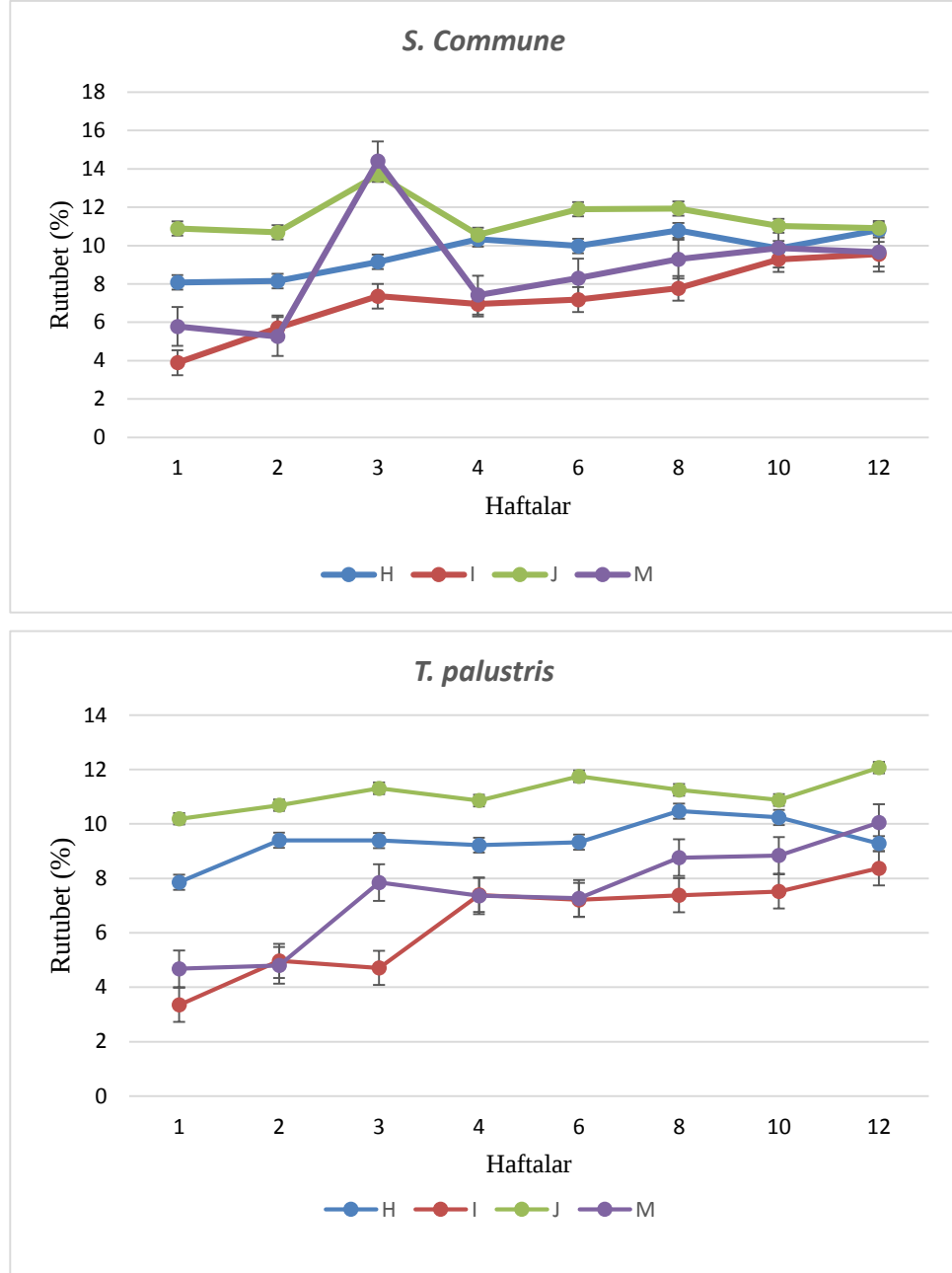


**Şekil 4.29:** *T. palustris* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış ve çinko borat içeren örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.



**Şekil 4.30:** *T. palustris* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmamış ve çinko borat içeren örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi.

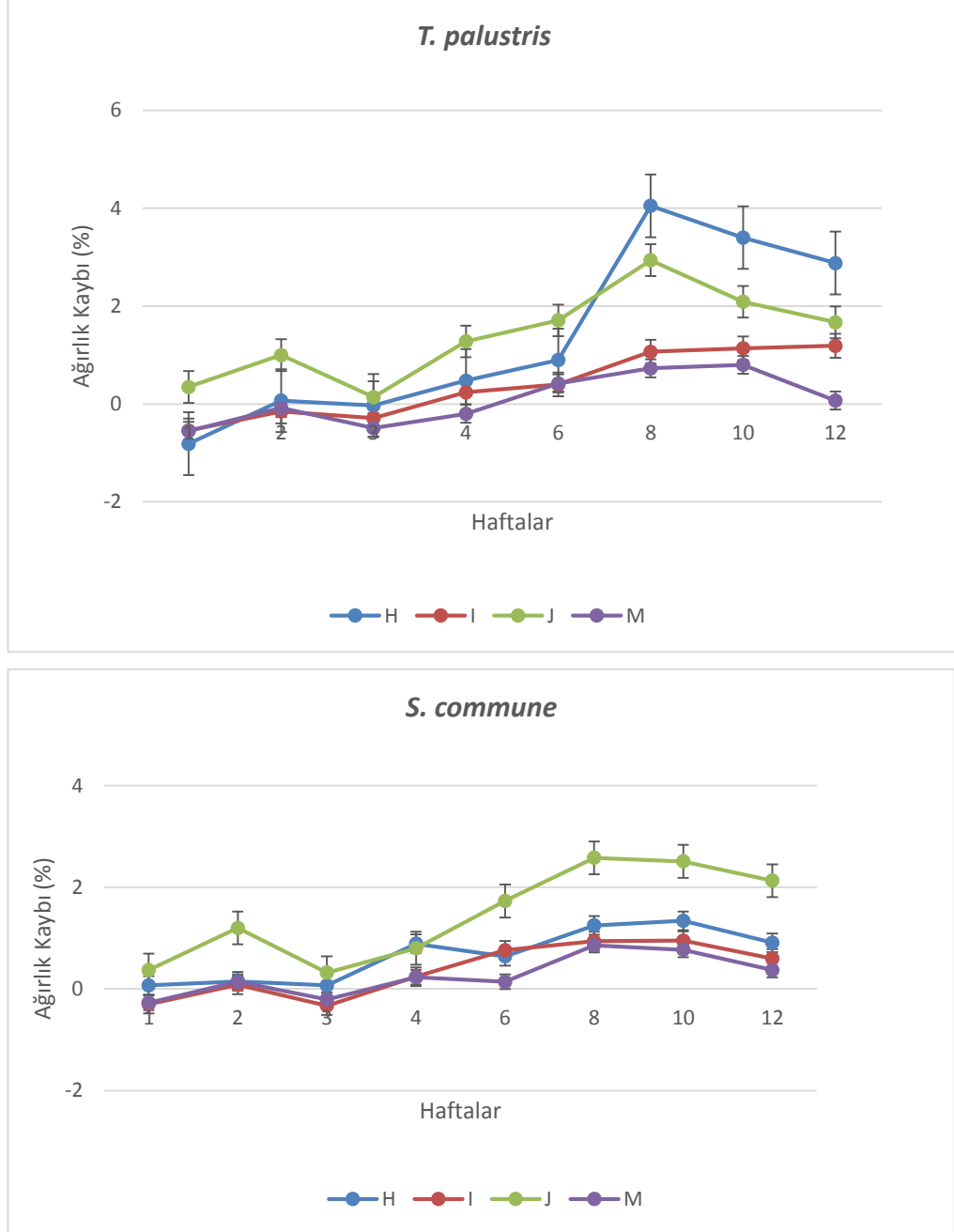
Aynı *S. commune*'de olduğu gibi *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış çinko borat içeren yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış örneklerde ağırlık kaybı rutubet ilişkisi zayıf ve doğrusal değildir.



H: Çinko Borat İçermeyen Yaşlandırılmış Odun-PE Kompozit Örneği, I: Çinko Borat İçermeyen Yaşlandırılmamış Odun-PE Kompozit Örneği, J: Çinko Borat İçeren Yaşlandırılmış Odun-PE Kompozit Örneği, M: Çinko Borat İçeren Yaşlandırılmamış Odun-PE Kompozit Örneği

**Şekil 4.31:** İnkübasyon esnasında örneklerde meydana gelen rutubet değişimleri.

Şekil 4-31’de inkübasyon esnasındaki çürüklük prosesindeki rutubet takibinin grafikleştirilmiş hali görülmektedir. 12. Haftada tüm örnek gruplarının yakın rutubet oranlarına geldiği *S. commune* mantarındaki örneklerde görülmektedir.



H: Çinko Borat İçermeyen Yaşlandırılmış Odun-PE Kompozit Örneği, I: Çinko Borat İçermeyen Yaşlandırılmamış Odun-PE Kompozit Örneği, J: Çinko Borat İçeren Yaşlandırılmış Odun-PE Kompozit Örneği, M: Çinko Borat İçeren Yaşlandırılmamış Odun-PE Kompozit Örneği

**Şekil 4.32:** İnkübasyon sonucu oluşan haftalık ağırlık kayıpları.

Grafikte de görüldüğü gibi zaman ilerledikçe örneklerdeki ağırlık kayıpları artmıştır. İlk 2 haftada herhangi bir değişim olmamış ancak özellikle 4. haftadan itibaren ağırlık kayıpları hızla artmıştır.

#### **4.5.HIZLI YAŞLANDIRMA (70 °C SICAKLIKTA 5 GÜN) BEKLETME METODU TEST SONUÇLARI**

Test öncesinde 70 °C sıcak su içerisinde 5 gün süre ile bekletilerek yaşlandırılmış, çinko borat içeren ve içermeyen örneklerde test sonrasında oluşan ağırlık kayıpları ve rutubet miktarları Tablo 4-16'da özetlenmiştir. Test sonrasında en fazla ağırlık kayıpları yaşlandırılmış, çinko borat içermeyen ve *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış odun-PE kompozit örneklerinde, en az ağırlık kayıpları ise yaşlandırılmamış ve çinko borat içermeyen, *G. trabeum* mantarına maruz bırakılmış örneklerde görülmüştür.

*C. versicolor*, *G. trabeum* ve *S. commune* en fazla yaşlandırılmış ve çinko borat içeren odun-PE kompozit örneklerinde ağırlık kayıplarına, *T. palustris* mantarı ise en fazla yaşlandırılmış ve çinko borat içermeyen odun-PE kompozit örneklerinde ağırlık kayıplarına sebep olmuşlardır.

*C. versicolor*, *G. trabeum* ve *T. palustris* mantarları en az ağırlık kayıplarına yaşlandırılmamış ve çinko borat içermeyen örneklerde sebep olmuşlardır. *S. commune* ise en az yaşlandırılmamış ve çinko borat içeren odun-PE kompozit örnekleri üzerinde etkili olmuştur.

Çinko boratın genel olarak odun-PE örnekleri üzerinde çok belirgin bir etkisi olmamıştır. Bu testte yine en etkili mantar türü *T. palustris* mantarı olmuştur. .

Yapılan istatistiksel çalışmalara göre *C. versicolor* mantarına maruz bırakılan örnek gruplarındaki ağırlık kayıpları ve rutubet miktarları arasında B ve C gruplarında anlamlı bir farklılık görülmektedir. *G. trabeum* mantarına maruz bırakılan örneklerde yine B ve C grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu, rutubet değerleri bakımından ise tüm gruplar arasında anlamlı bir farklılık gözlemlenmiştir. *T. palustris* mantarının sebep olduğu ağırlık kayıpları tüm gruplar için farklıdır ve bu fark anlamlıdır. Rutubet değerlerine bakıldığında ise sadece A ve C grupları arasında anlamlı bir farklılık

görülmemektedir. *S. commune* mantarına maruz bırakılan A ve D örnekleri arasında ağırlık kaybı ve rutubet miktarı bakımından anlamlı bir farklılık yoktur.

**Tablo 4.15:** Hızlı yaşlandırmaya tabi tutulan örneklerdeki rutubet içeriği ve ağırlık kayıpları.

| Kompozit Türü | <i>C. versicolor</i>                        |                   |                                  |                                 | <i>G. trabeum</i>                            |                   |                                  |                                 |
|---------------|---------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|               | Yaşlandırma Sonrasındaki Rutubet Miktarı(%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | Test Öncesi Rutubet Miktarı (%) | Yaşlandırma Sonrasındaki Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | Test Öncesi Rutubet Miktarı (%) |
| A             | 9,65 ±1,66                                  | 1,07 ±0,29        | 12,14 ±1,68                      | 2,25 ±0,61                      | 9,66 ±1,27                                   | 1,27 ±0,34        | 12,19 ±1,40                      | 2,13±0,46                       |
| B             | -                                           | 0,32 ±0,22        | 7,95 ±1,04                       | 2,10 ±0,27                      | -                                            | 0,26 ±0,23        | 8,58 ±1,27                       | 1,96±0,33                       |
| C             | 10,69 ±0,42                                 | 3,01 ±0,24        | 15,60 ±0,45                      | 1,79 ±0,41                      | 11,22 ±0,60                                  | 3,02 ±0,54        | 15,04 ±0,70                      | 1,86±0,28                       |
| D             | -                                           | 1,37 ±0,25        | 12,22 ±0,54                      | 1,94 ±0,23                      | -                                            | 1,38 ±0,22        | 10,23 ±0,90                      | 1,81±0,29                       |

| Kompozit Türü | <i>T. palustris</i>                          |                   |                                  |                                 | <i>S. Commune</i>                            |                   |                                  |                                  |
|---------------|----------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|               | Yaşlandırma Sonrasındaki Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | Test Öncesi Rutubet Miktarı (%) | Yaşlandırma Sonrasındaki Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) |
| A             | 9,98 ±1,48                                   | 3,72 ±1,39        | 13,36 ±1,90                      | 2,19±0,36                       | 10,11 ±1,45                                  | 1,26 ±0,38        | 12,02 ±4,44                      | 2,26±0,32                        |
| B             | -                                            | 0,86 ±0,49        | 8,13 ±1,54                       | 2,37±0,52                       | -                                            | 2,81 ±0,59        | 0,47 ±0,33                       | 0,00                             |
| C             | 10,63 ±06                                    | 2,43 ±0,46        | 14,22 ±1,02                      | 1,95±0,28                       | 11,44 ±0,78                                  | 2,93 ±0,33        | 15,61 ±0,85                      | 1,19±1,06                        |
| D             | -                                            | 1,44 ±0,97        | 10,79 ±0,66                      | 1,58±1,11                       | -                                            | 1,12 ±0,35        | 12,16 ±1,29                      | 1,99±0,47                        |

A:Yaşlandırılmış çinko borat içermeyen odun polietilen kompozit örneği, B: Yaşlandırılmamış çinko borat içermeyen odun polietilen kompozit örneği, C: Yaşlandırılmış çinko borat içeren odun polietilen kompozit örneği, D: Yaşlandırılmamış çinko borat içeren odun polietilen kompozit örneği

n: Her bir grup için 10 adet örnek kullanılmıştır.

**Tablo 4.16:** Sıcak su içerisinde bekletilerek yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş örneklerde oluşan ağırlık kaybı ve rutubet miktarı değerleri.

|               | <i>C. versicolor</i> |                                  | <i>G. trabeum</i> |                                  | <i>T. palustris</i> |                                  | <i>S. commune</i> |                                  |          |
|---------------|----------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|----------|
| Kompozit Türü | Ağırlık Kaybı (%)    | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%)   | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) | Ağırlık Kaybı (%) | Test Sonrası Rutubet Miktarı (%) |          |
| A             | B                    | B                                | B                 | A                                | A                   | A                                | B                 | B                                |          |
| B             | C                    | C                                | C                 | B                                | C                   | C                                | A                 | C                                |          |
| C             | A                    | A                                | A                 | C                                | AB                  | A                                | A                 | A                                |          |
| D             | B                    | B                                | B                 | CD                               | B                   | B                                | B                 | B                                |          |
| One-way ANOVA | F value              | 197,1164                         | 80,2941           | 92,3676                          | 57,0008             | 16,9851                          | 36,4565           | 18,2266                          | 70,7339  |
|               | p value              | 1,48E-20                         | 5,57E-15          | 7,64E-16                         | 6,19E-13            | 8,86E-07                         | 1,95E-10          | 4,44E-07                         | 3,27E-14 |

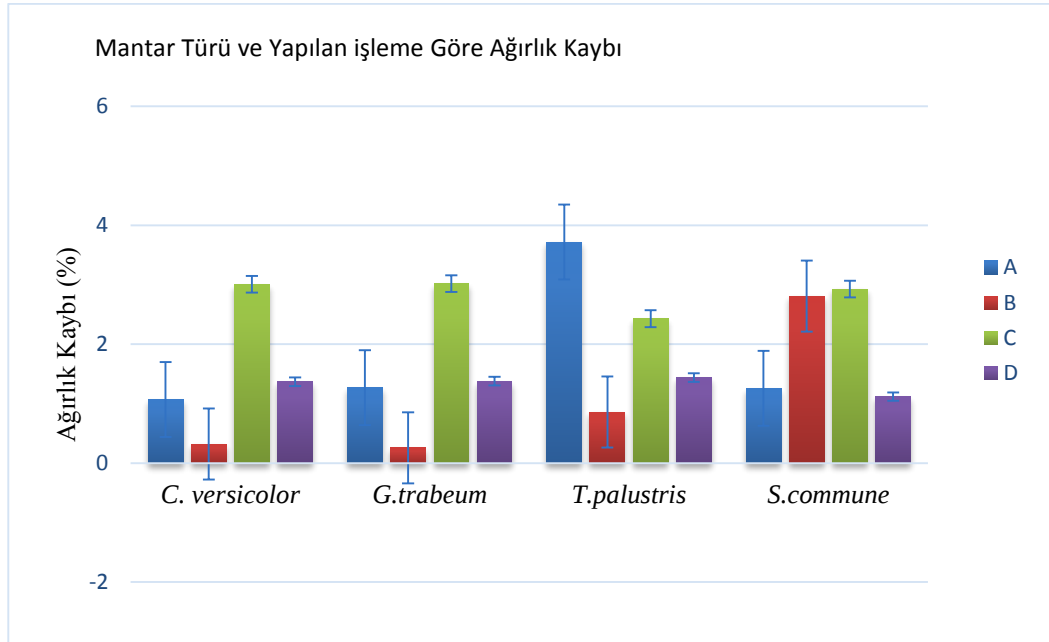
A:Yaşlandırılmış çinko borat içermeyen odun polietilen kompozit örneği, B: Yaşlandırılmamış çinko borat içermeyen odun polietilen kompozit örneği, C: Yaşlandırılmış çinko borat içeren odun polietilen kompozit örneği, D: Yaşlandırılmamış çinko borat içeren odun polietilen kompozit örneği

İstatiksel çalışmada her bir test mantarı için kompozit grupları arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Her bir sütunda yer alan harflendirmelerde birbiri ile farklılık göstermeyen kompozit grupları aynı harfle gösterilmiştir ( $p < 0.01$ ).

**Tablo 4.17:** Yaşlandırma işleminin ağırlık ve rutubet miktarı üzerine etkisi.

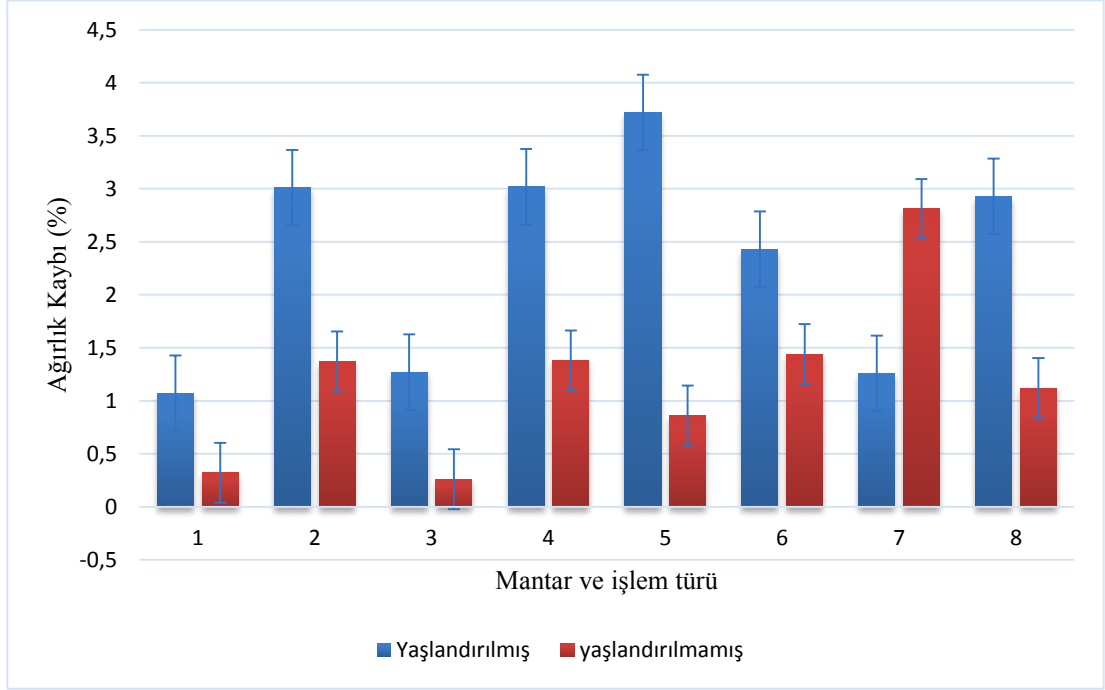
|                     | Çinko borat içermeyen                    |                                    | Çinko borat içeren                       |                                    |
|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
|                     | Yaşlandırma ile Ağırlık Kaybı Artışı (%) | Yaşlandırma ile Rutubet Artışı (%) | Yaşlandırma ile Ağırlık Kaybı Artışı (%) | Yaşlandırma ile Rutubet Artışı (%) |
| <i>C.versicolor</i> | 234,38                                   | 320,00                             | 119,71                                   | 497,21                             |
| <i>G.trabeum</i>    | 388,46                                   | 353,52                             | 118,84                                   | 503,23                             |
| <i>T.palustris</i>  | 332,56                                   | 354,79                             | 68,75                                    | 445,13                             |
| <i>S.commune</i>    | -55,16                                   | 347,35                             | 161,61                                   | 861,34                             |

Tablo 4-17’de görüldüğü gibi yaşlandırmanın etkisiyle örneklerdeki rutubet artışları %861’lere ulaşmıştır. En fazla rutubet artışı *S. commune* mantarına maruz bırakılan çinko borat içeren örneklerde, en az rutubet artışı ise *C. versicolor* mantarına maruz bırakılan çinko borat içermeyen örneklerde görülmüştür. Yine yaşlandırma işlemi ile ağırlık kayıplarında da %400’lere ulaşan artışlar görülmüştür. En fazla ağırlık kaybı artışı *G. trabeum* mantarına maruz bırakılan çinko borat içermeyen örneklerde olmuştur.



**A:**Yaşlandırılmış çinko borat içermeyen odun polietilen kompozit örneği, **B:** Yaşlandırılmamış çinko borat içermeyen odun polietilen kompozit örneği, **C:** Yaşlandırılmış çinko borat içeren odun polietilen kompozit örneği, **D:** Yaşlandırılmamış çinko borat içeren odun polietilen kompozit örneği

**Şekil 4.33:** Hızlı yaşlandırmaya tabi tutulan örneklerdeki kütle kayıpları.



1: Katkısız *C.versicolor* mantarına maruz bırakılan; 2: Çinkoborat içeren *C.versicolor* mantarına maruz bırakılan, 3: Katkısız *G.trabeum* mantarına maruz bırakılan, 4: Çinko borat içeren *G.trabeum* mantarına maruz bırakılan, 5: Katkısız *T.palustris* mantarına maruz bırakılan, 6: Çinko borat içeren *T.palustris* mantarına maruz bırakılan, 7: Katkısız *S.commune* mantarına maruz bırakılan, 8: Çinko borat içeren *S.commune* mantarına maruz bırakılan

**Şekil 4.34:** Hızlı yaşlandırma işlemi uygulanan örneklerde yaşlandırma işleminin etkisi

Yaşlandırmanın ağırlık kayıplarındaki etkisi belirgin olarak Şekil 4-34’de görülmektedir. Yaşlandırılmamış örneklerde en fazla ağırlık kaybı %2,81 iken, yaşlandırılmış örneklerde bu miktar %3,72’lere çıkmıştır.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Odun plastik kompozitlerin daha çok dış mekân uygulamalarında, rutubete maruz kalınabilecek alanlarda tercih edilmesinin en büyük sebebi rutubete karşı dayanımının masif ahşaptan daha iyi, direnç özelliklerinin ise saf plastik malzemeden daha üstün olmasıdır. Uzun yıllar odun plastik kompozit malzeme içerisindeki odun partiküllerinin plastik tarafından sarılması suretiyle rutubeti bünyesine alamayacağı ve dolayısıyla da mantarlar tarafından çürütülemeyeceği düşünülmekteydi. Ancak bu düşünce 1998 yılında Morris ve Cooper (1998)'in Florida'da (ABD) bir açık alanda bulunan 4 yılın sonunda odun plastik kompozitten yapılmış döşemeler (deck) üzerinde beyaz çürüklük mantarı *Pycnoporus sanguineus*, esmer çürüklük mantarı *Gloeophyllum striatum* ve mavi renk mantarı *Epicoccum purpurascens*'in gelişmiş olduğunu görmeleriyle geçerliliğini kaybetmiştir. Bunun üzerine Manning ve diğ. (2006) de kullanım yerindeki odun plastik kompozit malzemelerde dayanıklılığın bir sorun haline geldiğini belirtmişlerdir.

Odun plastik kompozit malzeme AWWA'nın hazırlamış olduğu kullanım kategori sistemine göre dış mekan toprak üstü uygulamalarda kullanılan UC3B sınıfında yer almaktadır. Bu gruptaki materyaller tipik olarak yer döşemesi (deck), korkuluk vb. gibi uygulamalarda kullanılmakta ve kullanım çevresi tüm iklimsel yaşlanma ve sürekli ıslanmalara maruz kalabilecek bir çevre olmaktadır.

Manning ve diğ. (2006)'nın yapmış olduğu çalışmada bazı odun plastik kompozit malzeme türlerinde dış hava etkilerinin rutubet alımı ve çürüklük hassasiyeti üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu ürünleri korumak amacıyla da çinko borat kullanılmış olup bu bileşiğin çürüklük üzerine etkisi gözlemlenmiştir. 18 aylık test süresinden sonra Hilo, Hawaii (ABD)'de gerçekleştirilen alan testinde beyaz çürüklük mantarı *S. commune* L. ve *P. sanguineus* Murrill mantarlarının üreme organlarının bazı odun plastik kompoziti döşemelerinde geliştiği görmüşlerdir (Şekil 3-3B). 21 ay boyunca Vancovur'da (Kanada) güneş ve gölge altında bıraktıkları bazı odun plastik kompozit örneklerinde rutubet miktarının dış tabakalardan iç tabakalara doğru ilerledikçe azaldığı gözlemlenmiştir. En fazla rutubet miktarı üst ve alt yüzeylerdeki ilk 5 mm' de görülmüştür. Çalışmada ayrıca çinko boratın çürüklük olasılığı bulunan yerlerde kullanılacak odun plastik kompozit

malzemeyi koruma amaçlı kullanılabileceğini belirtilmiştir. Ancak bu tez çalışmasında gerçekleştirilen testlerde çinko boratın önemli farklılıklar ortaya koymadığı görülmüştür.

Biyolojik performans için geliştirilmiş mevcut standart test metodları odun ve odun esaslı panellerin özellikleri göz önünde bulundurularak geliştirilmiş ve belirli sürelerde (12 veya 16 hafta) odun ve odun esaslı panel örneklerinde meydana gelen ağırlık kayıplarına dayandırılmıştır. Silva (2003) yapmış olduğu çalışmada bazı test metodlarından bahsetmiş ve bu metodlarının etkinliği bakımından birbirlerindeki üstünlük ve eksikliklerini değerlendirmiştir. Daha çok suda çözünen emprenye maddelerinin mantar çürüklüğüne karşı etkinliğini tespit etmek amacıyla kullanılan Petri kabı metodunda suni bir besi ortamı olan agar besi ortamı kullanılmıştır. Bu metodun temel avantajı düşük maliyetli olması, kolay uygulanabilir olması ve kısa sürede tamamlanmasıdır. Bu metodun esas sakıncası ise substratın odun olmamasıdır. Mantar odun üzerinde farklı şekilde gelişim göstermektedir. Buna rağmen agar test kimyasalların zehirliliklerini değerlendirmede geniş ölçüde kullanılmakta olan bir metottur. EN 113 agar ortamında odunu tahrip eden Basidiomyceteslere karşı odun koruyucu kimyasalların zehirlilik değerlerini belirlemede kullanılan agar blok (agar-block) test metodu, Avrupa Standartlaştırma Komitesi'nin (CEN) bir standardıdır. Steril Kolle şişeleri içerisinde gerçekleştirilen bu metotta besi ortamı yine malt agardır ve emprenye maddelerinin etkin olup olmadığını belirlemede kullanılan bir metottur. Toprak blok (Soil-block) test metodu ise daha çok Amerika'da kullanılmakta olan bir metottur. Farklı koşullarda standartlaştırılmıştır (ASTM 1413, ASTM 2017, AWWA E10). Toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri bu metotta büyük önem taşımaktadır. Toprağın pH'ı, rutubet içeriği ve sıcaklığı çürüklük prosesi üzerine etkilidir. Bazı toprak türleri esmer bazıları ise beyaz çürüklük mantarının gelişimine katkıda bulunabilmektedir. Bahçe kompostları (bitki gübreleri) ise yumuşak çürüklük mantarlarının gelişimine katkı sağlamaktadır. Silva (2003) agar blok ile toprak blok metodunu karşılaştırdığında her ikisinin de dayanıklılık belirlemek için tatmin edici olmadığını ancak sadece hızlı sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Agar blok test metodu kolayca gerçekleştirilmekte ancak odun besi ortamındaki suyu absorbe edebildiğinden örnek yerleştirilirken çok dikkatli olunması gerekmektedir. Toprak blok testinde ise esas önemli noktalar toprağın standardizasyonu, test mantarının seçimi ve toprak / odun rutubet ilişkisidir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen testlerde ise agar testi ile toprak

blok testi karşılaştırıldığında agar blok testine tabi tutulan odun PP kompozit örneklerinde biyolojik degradasyon sonrası daha fazla ağırlık kayıpları görülmüştür.

Silva'nın (2003) belirttiği diğer bir metot ise vermikülite gömme metodudur. Toprak blok ve agar test metotlarının her ikisi de toprak üzerinde uygulanmaktadır ve daha yüksek rutubet düzeylerine ihtiyaç duyan yumuşak çürüklük mantarlarının değerlendirilmesi için uygun olamamaktadır. Daha çok rutubete içeriğine ihtiyaç duyan bu mantarlar için örnekler çok nemli vermikulit ya da bahçe kompostu ve toprak karışımı içerisine gömülerek test edilmişlerdir. Bu metotlar Basidiomycete türleri için rutubet seviyeleri mantarların gelişimine elverişli olmadığı için uygun değildir. Vermikülit ucuz bir materyaldir ve yumuşak çürüklük mantarlarının çürütme kapasitesini test etmek için substrat olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında ise AWPA E10 ve ASTM 1413 standartlarında olduğu gibi OPK örnekleri toprak ile temas edecek şekilde test edilmiştir. Kullanılan toprak bitki kompostları içeren bahçe (torf) toprağıdır.

Defoirdt ve diğ. (2009) odun ve odun esaslı paneller için kullanılan biyolojik dayanıklılığı belirleme test metotlarının yeterli olmadığını bunun sebebinin ise odun plastik kompozit malzemenin rutubet alışverişinin yavaş bir şekilde gerçekleştiğini, bu testler yapılmadan evvel ön kondisyonlama gibi işlemlerin yapılması gerektiğini ve rutubet seviyesinin mantar gelişimine uygun düzeye getirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bunun için de en az 1 hafta 70°C sıcak su içerisinde bekletmeyi önermiştir. Çünkü kullanım yerinde mantarların açık hava etkisi ile odun plastik kompozit malzemeye hızlı ve kolay bir şekilde arız olabileceklerini belirtmişlerdir. Bu çalışmada ise ön işlem olarak oda sıcaklığında çeşitli sürelerde suda bekletme, 70 °C sıcak su içerisinde 5 gün bekletme ve 6 aşamalı yaşlandırma: kaynatma, buharlama, kurutma, dondurma, tekrar buharlama, ve tekrar kurutma metotları kullanılmıştır.

Odun plastik kompozit malzemelerin dayanıklılık performansını etkileyen faktörlerden biri kullanılan odun partikülünün boyutu ve karışıma katılım oranıdır. Bu tez dahilinde gerçekleştirilen tüm testlerde katılım oranı arttıkça ağırlık kayıplarının arttığı görülmüştür. Odun partikül büyüklüğünün ise hem modifiye edilmiş JIS K standart metodunda hem de suda bekletilerek Petri kabı metoduyla gerçekleştirilmiş olan test sonuçlarına göre karışık bir etkinin oluşmasına sebep olmuştur. Çoğu zaman partikül boyutu küçüldükçe ağırlık kayıpları artış göstermiştir. Kartal ve diğ. (2013)'nin yapmış

oldukları bir çalışmada ise termit dayanım testleri sonucunda odun partikül boyutları küçüldükçe ağırlık kayıplarının arttığını görmüşlerdir.

Verhey ve laks Laks (2002) ise % 50 odun içeren, akçaağaç ve ponderosa çamı türü ağaç odunlarından çeşitli partikül boyutlarına sahip odun-PP kompozit malzeme örneklerinde partikül boyutlarının *G. trabeum* ve *C. versicolor* mantarlarının çürüklüğü sebebiyle oluşan ağırlık kayıpları üzerindeki etkisini araştırmış ve partikül boyutları arttıkça ağırlık kayıplarının da arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen modifiye edilmiş JIS K metodunda odun içeriği katılım oranın % 50'den % 70'e çıktığında ağırlık kayıpları da artmıştır. Bazı istisnalar dışında küçük boyutlu partikül içeren gruplarda büyük boyutlu partikül içeren gruplardakinden daha fazla ağırlık kaybı görülmüştür. En fazla ağırlık kayıpları *T. palustris* mantarının kullanıldığı % 70 odun içeren 100 mesh partikül boyutundaki örneklerde, en az ağırlık kayıpları ise *S. commune* mantarının kullanıldığı % 50 odun içeren 30 mesh partikül boyutundaki örneklerde görülmüştür. *T. palustris* mantarına maruz bırakılan örneklerde odun katılım oranının etkisi diğer mantarlara maruz bırakılanlardan oldukça belirgin olmuştur ancak partikül boyutunun etkisi o kadar önemli ölçüde olmamıştır. Ramirez ve diğ. (2009) yapmış oldukları bir çalışmada % 40 oranında PP ve % 60 oranında, çam (*Pinus spp.*), akçaağaç (*Acer spp.*) ya da meşe (*Quercus spp.*) ağaç türü odunu içeren kompozit örneklerini kullanmışlardır. Çürüklük dayanımı toprak blok ve agar blok test metotları ile test edilmiştir. Test örnekleri beyaz çürüklük mantarı olarak hem *C. versicolor* hem de *Phanerochaete chrysosporium*, esmer çürüklük mantarı olarak hem *G. trabeum* hem de *Postia placenta* mantarına 12 hafta süre ile maruz bırakılmışlardır. Rutubet miktarı ve ağırlık kayıpları odun PP kompozitinde oluşan çürüklüğün değerlendirmesinde kullanılmıştır. Partikül boyutları 40, 60, 80 mesh olarak seçilmiştir. Toprak blok testi sonucunda elde edilen ağırlık kayıpları agar block testinde elde edilenden daha fazla olmuştur. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilmiş olan agar blok test sonuçları ise toprak blok ile karşılaştırıldığında daha fazla ağırlık kaybı ile sonuçlandığı görülmektedir. Ramirez ve diğ. (2009) yapmış olduğu bu çalışmada *G. trabeum* ve *P. placenta* mantarları akçaağaç ve meşe karışımından elde edilen odun plastik kompozit örneklerinde daha fazla ağırlık kaybına sebep olmuşlardır. *C. versicolor* mantarı en fazla agar testinde ağırlık kaybına sebep olmuştur. Bu tez çalışmasında

gerçekleştirilen tüm agar testlerinde ise esmer çürüklük mantarı *T. palustris* odun plastik kompozit örneklerinde en fazla ağırlık kaybına sebep olmuştur. Ramirez ve diğ. (2009) partikül boyutları polimer matriks içerisinde daha yeknesak bir dağılım sağladığından polimerin odun partikülünü sarmasının daha iyi bir şekilde olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen 30, 60, 100 mesh boyutunda odun partikülü içeren odun PP kompozit örneklerinde en küçük partikül boyutunda da en büyük partikül boyutunda da benzer ağırlık kayıplarına rastlanmıştır. Bunun nedeni kesin olmamasına rağmen bu örneklerin üretiminde uyumlaştırıcı kullanılmaması, karışımda kullanılan odunun elde edildiği ağaç türü ya da plastik materyalin tüm mesh boyutlarında odun partiküllerini eş değerde sarması olduğu düşünülmektedir.

Masif ahşap için belirlenmiş bu test metotlarına ön kondisyonlama ya da yaşlandırma (aging) gibi ön işlemler eklenerek odun plastik kompozit malzemede mantarın gelişmek için ihtiyaç duyduğu rutubet seviyesine ulaşmak mümkün olabilmektedir. Ibach ve diğ. (2001) gerçekleştirdikleri bir çalışmada farklı odun ve plastik katılım oranlarında aspen (titrek kavak) odunu ve PP kompoziti elde ederek bu kompozit üzerinde ıslatma ve kurutma şeklinde bir işlem uygulamışlardır. Yaptıkları bu çalışmada örnekleri 10 döngü olacak şekilde hem oda sıcaklığında suda bekletip ardından kurutmuşlar hem de 2 saat kaynayan su içerisinde bekletip ardından yine kurutmuşlardır. Her iki döngünün de etkisini araştırmışlar ve mantar türü olarak da *G. trabeum* ve *C. versicolor* kullanmışlardır. Araştırma sonucunda odun katılım oranı arttıkça örneklerde oluşan ağırlık kayıpları ve kalınlığına şişme miktarlarının da yükseldiği, uygulanan döngü sebebiyle de mantar gelişiminin arttığı görülmüştür.

Seegerholm ve diğ. (2012) ise farklı suni yaşlandırma metotları kullanarak odun plastik kompozit malzemedeki rutubet değerlerini yükseltmeye çalışmışlardır. Bu metotlar arasında suda bekletme, suni iklimsel yaşlandırma, beyaz ve esmer çürüklük mantarına maruz bırakma gibi metotların odun plastik kompozit örneklerinin rutubet alışverişindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki suni yaşlandırmalar kompozit yüzeyindeki HDPE matriksinde çatlaklara bunun sonucu olarak da odun polimer matriks arasındaki bağın kopmasına ve rutubet alışverişinde artışlara sebep olmuştur. En fazla rutubet alış veriş ise beyaz çürüklük mantarına maruz bırakılan örneklerde görülmüştür.

Bu tez çalışmasında da odun PP ve odun PE kompozit örneklerinin rutubet seviyelerini mantarların gelişebileceği seviyelere ulaştırmak amacıyla 3 farklı yaşlandırma metodu uygulanmıştır. Normal oda koşullarında suda bekletme metodunda örnekler belli bir süre su içerisinde bekletilmiş ardından agar blok ve toprak blok, bir kısım örnek ise ASTM D1037-06a Odun Esaslı Lif ve Yonga Levhaların Özelliklerinin Değerlendirmesi Test Metodu'nda bulunan 6 aşamalı hızlandırılmış bir yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Ardından çürüklük testine maruz bırakılan örneklerin çürüklük prosesi boyunca haftalık olarak gerçekleşen rutubet içeriği ve ağırlık kayıplarını belirlemek suretiyle örnekler haftalık olarak inkübasyondan çıkarılmış, ağırlık kayıpları ve rutubet artış ya da azalışları belirlenmiştir. Haftalık olarak ağırlık kayıplarında istatistiksel anlamada önemli bir farklılık görülmezken rutubet miktarında belirgin artışların olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada diğer bir yaşlandırma metodu olarak ise AWP A E10-12'de odun plastik kompozit örnekleri için geliştirilmiş olan 70°C sıcak su içerisinde 5 gün bekletilmesi metodu uygulanmıştır. Özellikle bu metot ile yaşlandırılmış örneklerde oluşan ağırlık kayıpları yaşlandırılmamış olanlara nazaran % 80'lere varan bir ağırlık kaybı artışı ve %900'lere varan bir rutubet artışı görülmüştür. Taşcıoğlu ve diğ. (2013) yine ağırlık kayıplarını arttırabilmek amacıyla malzeme yüzeyine kanallar açmışlar ve böylece yüzey alanını genişletmek istemişlerdir. Ancak bu işlem sadece *C. versicolor* mantarı üzerinde etkili olmuş, *T. palustris* mantarında ise belirgin bir etki gözlemlenmemiştir. Yine aynı çalışmada çinko borat içeren odun plastik kompozit örneklerin mantar ve termit dayanım testleri gerçekleştirilmiş ve % 1'lik bir çinko borat içeriğinin dahi mantar gelişimi ve termit tahribatını önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır.

Farahani ve Benikarim (2013) gerçekleştirdikleri çalışmada nano-çinko oksit ile muamele edilmiş odun PP kompozit örneklerinin çürüklük dayanımlarını araştırmışlardır. Beyaz çürüklük mantarı olarak *C. versicolor* ve esmer çürüklük mantarı olarak ise *C. puteana* kullanmışlardır. Araştırmacıların yapmış oldukları bu çalışmada farklı oranlarda nano-çinko oksit içeren örnekler hazırlanmış, örnek boyutlarını 10x10x10 mm olarak değiştirilmek suretiyle ASTM D1413 standart test metodu modifiye edilmiştir. Nano-çinko oksidin mantarlara karşı çürüklük dayanımını arttırdığı sonucuna varmışlardır. Ağırlıkça % 3 oranında nano- çinko oksitin kompozit içerisinde tamamen dağıldığını ve nano- çinko oksidin her iki mantar türünde de etkili olduğu sonucunu belirtmişlerdir.

Ancak bu tez çalışmasında çinko borat içeren odun-PE örneklerinde mantar dayanımında önemli belirgin farklılıklar gözlenememiştir.

Lopez ve diğ. (2005) de doğal liflerden hazırlanan HDPE kompozit örneklerin mantarlara karşı dayanıklılığını test etmek için toprak blok ASTM D-2017 standart test metodunu denemişlerdir. Kenevir lifi, keten bitkisi lifi, pirinç kabukları ve odundan hazırlanan odun plastik kompozit örnekler toprak blok testi test metoduna göre incelenmiş ve çeşitli beyaz ve esmer çürüklük mantarlarına maruz bırakılmışlardır. Test öncesinde 9 gün boyunca suda bekletilen örneklerde rutubet miktarlarının % 3,9'a kadar çıkabildiği belirlenmiştir. 16 haftalık toprak blok testi sonucunda doğal lif plastik kompozitlerde mantarlar tarafından oluşturulan ağırlık kayıplarının en fazla % 11'e kadar çıktığı görülmüştür. Araştırma sonucunda doğal lif-HDPE kompozitlerinin herhangi bir biyosid olmaksızın laboratuvar şartlarında bazı mantarlara karşı dayanıklı, bazı mantarlara karşı ise hassasiyet gösterdiği bulunmuştur. Şiddetli ön kondisyonlama şartlarında ve test şişelerindeki yüksek bağıl neme rağmen kompozit örneklerindeki rutubet miktarlarının örneklerde tam bir çürümeye neden olabilecek şekilde yüksek değerlere çıkamadığı ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar bu tür materyallerde daha uygun ön kondisyonlama işlemlerine ihtiyaçla duyulduğunu belirtmişlerdir. Bu tez çalışmasında da PP ile hazırlanan örneklerde 50 gün suda bekleyen örneklerde rutubet miktarlarının %17 ile %25 arasında değiştiği görülmüştür. Ardından yapılan 3 aylık toprak blok testleri sonuçlarında ise örneklerdeki rutubet miktarlarının %19 ile %32 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu rutubet artışlarına karşın esmer çürüklük mantarı denemelerinde ağırlık kayıpları %4 ile %8 arasında ve beyaz çürüklük mantarı denemelerinde ise ağırlık kayıplarının %2 ile 3 arasında değiştiği görülmüştür.

Benthien ve diğ. (2013) %50 ve %70 oranında odun içeren odun plastik kompozit örneklerini hem soğuk su hem de kaynar su içerisinde bekletmiş, kalınlığına şişme, su absorpsiyonu ve kenar şişmesi miktarlarını incelemişlerdir. Suyun sıcak ya da soğuk olmasına bakılmaksızın suda bekletme süresi ne kadar uzun olursa o kadar fazla kalınlığına şişme, rutubet absorpsiyonu ve kenar şişmesi olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca odun katılım oranı arttıkça bu değerlerin de artmış olduğu gözlemlenmiştir. 5 saat kaynamış su içerisinde bekletilen % 50 odun içeren kompozit örnekleri % 2,5, % 70 odun içeren kompozit örneklerinin %53,1 oranında su absorpsiyonuna, sırasıyla % 2 ve % 16,1

oranında ise kalınlığına şişme miktarına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Soğuk su ve kaynamış su içerisinde bekletme metotlarını karşılaştırmış ve her iki karışım oranında da kaynamış suda bekletilen örneklerin daha fazla kalınlığına şiştiğini gözlemlemişlerdir. Bu tez çalışmasında ise 50 gün içerisinde bekletilen odun PP kompozit örneklerinin belli aralıklarla ölçülen kalınlığına şişme değerleri belirlenmiş ve örneklerin ilk 270 saat içerisinde hızla rutubet alarak kalınlığına şişerken daha sonra bu şişme miktarının sabit kaldığı görülmüştür. 50 gün suda beklemenin ardından örneklerde % 8 ila 16 arasında şişme görülmüştür. Kalınlığına şişme, odun katılım oranı % 50'den % 70'e çıkarıldığında doğru orantılı olarak artış göstermiştir. 70°C sıcak su içerisinde 5 gün bekletilen odun-PE kompozit örneklerinde ise yaşlandırmanın rutubet miktarı ve ağırlık kayıplarındaki etkisi belirgin olmuştur. Yaşlandırılmamış örneklerde en fazla rutubet % 2,37 iken bu miktar yaşlandırma sonrasında % 12'lere, ağırlık kaybı % 2,81 iken, yaşlandırılmış örneklerde bu miktar % 3,72'lere çıkmıştır.

Nauman ve diğ. (2012) ise gerçekleştirdikleri bir çalışmada ilk olarak odun plastik kompozit örnekler üzerine iklimsel yaşlanmanın etkisini, ardından da materyalin mantarlar tarafından çürütülmesini araştırmışlardır. UV ışınları, su spreyleme ve tekrar eden dondurma işlemleri ile gerçekleştirilen iklimsel yaşlanma malzemede mikro ve makro boyutlarda çatlaklara sebep olmuştur. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ile yaşlandırılmış odun plastik kompozit örnekleri yüzeyindeki odun partiküllerinin delignifikasyonu (lignin uzaklaşması) görülmüştür. Mantar hüflerinin girişi ve rutubet içeriği de istenilen düzeyde olması bakımından yüzey alanının artmasına rağmen mantar çürüklüğüne bağlı ağırlık kayıpları çok az olmuştur. Oluşan ağırlık kayıpları foto-oksidasyona bağlı olarak ligninin uzaklaşmasının ve mantar gelişiminde önemli olan besin kaynaklarının kaybı ile degrade olmuş ürünlerin yıkanmış olmasından kaynaklı olduğunu düşünülmektedir. Araştırmacılar yaşlandırmanın örnekler üzerinde mikro ve makro boyutta çatlaklar ve lignininin uzaklaşmasıyla sonuçlandığını ancak yine de bu ön işlemin mantar çürüklüğünü hızlandırıcı olarak bir katkı sağlamadığı sonucuna varmışlardır.

Defoirdt ve diğ. (2009) yapmış oldukları bir çalışmada 3 farklı polimer içeren ve %50 ile %70 arasında odun katılım oranına sahip odun plastik kompozit örneklerini 5 farklı rutubetlendirme metoduna tabi tutmuşlardır. Ardından bu örnekler çürüklük testine maruz

bırakmış ve % 70 oranında odun içeren odun PP kompozit örneklerinin yüzeyinin yaklaşık 25 gün içerisinde yarısının mantar miselleri ile kaplandığını görmüşlerdir. Odun PP (geri dönüşümlü) kompozit örneklerin yüzeylerinin yarısının da 30 günün ardından kaplandığını görülmüştür. Çalışmada yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış örnekler arasındaki farklılıkların önemli ölçüde olduğu belirtilmiştir. Yine farklı rutubetlendirme metotları uygulandığında ortalama odun plastik kompozit malzemenin %18 oranında rutubet absorbe edebilecek poröz bir yapıya sahip olduğunu vurgulanmıştır.

Mankowski ve Morrell (2000) %70 odun içeren odun-HDPE kompozit örneklerinin mantar atağına karşı %50 odun içeren kompozitlerden daha hassas olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılar odun plastik kompozit ürünlerinin dış mekân uygulamalarında rutubet ile temas etmesi halinde mantar atağına karşı korunmasını ya da karışımdaki odun katılım oranının sınırlandırılması gerektiğini önermişlerdir. Bu tez çalışmasında ise AWPA E10-12 standart metoduna göre gerçekleştirilen toprak blok testi sonuçlarına göre odun katılım oranı tüm örnek gruplarında belirgin bir şekilde %50'den %70'e çıktığında, ağırlık kayıpları da buna paralel olarak artış göstermiştir. 50 gün suda beklemenin ardından odun PP kompozit örneklerindeki rutubet miktarları %17-27 civarına ulaşmıştır. *T. palustris* mantarının sebep olduğu ağırlık kayıpları *P. coccineus* mantarının sebep olduğu ağırlık kayıplarından fazla olmuştur. *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış, %50 oranında odun içeriğine sahip kompozit örneklerinde bazı istisnalar dışında partikül boyutu büyüdükçe ağırlık kaybı artmıştır. %70 oranında odun içeriğine sahip kompozit örneklerinde ise tam aksine partikül boyutu küçüldükçe ağırlık kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan örneklerde ise partikül boyutu azaldıkça ağırlık kayıpları artmıştır.

Test sonrası her iki mantar türünün de sebep olduğu rutubet miktarları odun katılım oranının artmasıyla artmıştır. Partikül boyutu bakımından değerlendirildiğinde ise karışık bir etkinin söz konusu olduğu gözlemlenmiştir.

En fazla ağırlık kayıpları *T. palustris* mantarının sebep olduğu 4. grup örneklerinde, en az ağırlık kayıpları ise *P. coccineus* mantarının sebep olduğu 2. grup odun PP kompozit örneklerinde olmuştur.

Ibach ve diğ. (2001) gerçekleştirdikleri çalışmada MAPP uyumlaştırıcı (coupling agent) maddesini kullanmış ve rutubet alımı, kalınlığına şişme ve mantar saldırısında etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Bu test çalışmasında ise kullanılan PP içeren kompozit malzeme üretiminde uyumlaştırıcı (coupling agents) katılmamıştır. Uyumlaştırıcılar bilindiği üzere odun ile plastik arasındaki yapışmayı iyileştirmektedir. Ayrıca uyumlaştırıcı maddeler lignoselülozik lifler üzerindeki OH- gruplarını da kovalent olarak bağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı uyumlaştırıcı içeren kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerin yanı sıra dayanıklılık özellikleri de artmaktadır. Bu tez çalışmasında gerek uyumlaştırıcı içermeyen PP ve gerekse uyumlaştırıcı içeren PE kompozit örnekler karşılaştırıldığında yaşlandırma prosedürleri sonrası rutubet miktarlarının ve mantar degradasyonu sonucu ağırlık kayıplarının uyumlaştırıcı içermeyen PP kompozit örneklerinde birçok durumda daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu da uyumlaştırıcıların kompozit levhaların su alımında ve biyolojik degradasyonunda önemli rol oynadığı sonucunu ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmasında 50 gün suda bekletilerek yaşlandırılan kompozit örnekler ardından Petri kabı içerisinde *T. palustris* ve *P. coccineus* mantarına maruz bırakılmışlardır. Bu çalışmada esmer çürüklük mantarı *T. palustris* odun plastik kompozit örneklerinde en fazla ağırlık kaybına sebep olmuştur. *T. palustris* mantarına maruz bırakılan örneklerde odun katılım oranının etkisi diğer mantarlara maruz bırakılanlardan oldukça belirgin olmuştur ancak partikül boyutunun etkisi o kadar önemli ölçüde olmamıştır. % 50 odun içeren kompozit örnek gruplarında *T. palustris* mantarının sebep olduğu ağırlık kayıpları bazı istisnalar dışında partikül boyutu arttıkça artmıştır ancak benzer etki *P. coccineus* mantarında görülmemiştir. Bu mantar türünde partikül boyutları küçüldükçe ağırlık kayıpları artmıştır. Benzer durum yine *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan % 70 oranında odun içeriğine sahip örneklerde de görülmüştür. Partikül büyüklüğü bakımından ağırlık kayıpları bazı istisnalar dışında en çok 60 mesh partikül boyutlarına sahip olan örnek gruplarında görülmüştür.

Test öncesinde yapılan yaşlandırma ile yaşlandırılmış örnek gruplarındaki ağırlık kayıpları yaşlandırılmamış olan örnek gruplarındakinden belirgin şekilde fazla olmuştur. Yaşlandırma sonucu en fazla ağırlık kaybı % 70 oranında odun içeren, 60 mesh partikül boyutuna sahip *T. palustris* mantarına maruz bırakılmış örnek gruplarında olmuştur.

Yaşlandırmanın en az etkili olduğu grup ise *P. coccineus* mantarına maruz bırakılan % 50 oranında odun içeren 30 mesh partikül boyutuna sahip örnek gruplar olmuştur. İstatistiksel olarak da test sonrası oluşan ağırlık kayıpları yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış örnek grupları arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür. % 70 oranında odun içeren örnek gruplarının en fazla rutubet absorpsiyonuna sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Wang ve Morrell (2004) 2 farklı odun plastik kompozit örneklerini çeşitli aralıklarla hem yüzey hem de alt kısımlarından kesmişler, ardından 215 gün su içerisinde bekletmişler ve araştırma sonucunda rutubet miktarının dış yüzeylerden iç yüzeylere doğru ilerledikçe azaldığını görmüşlerdir. Rutubet artışının % 60 oranında odun içeren kompozit örneklerinde daha yavaş olduğunu ancak dış kısımdaki 5 mm'lik tabakanın rutubet miktarının mantar gelişimi için uygun olduğunu belirtmişlerdir. Rutubet sorpsiyonu ve ardından çürüklük oranının partikül boyutu ve geometrisi, odun/polimer oranı ve suyu engelleyecek diğer bileşiklerinin varlığı ya da yokluğuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Bu tez çalışmasında test öncesinde hızlı yaşlandırma işlemine (6 aşamalı yaşlandırma: kaynatma, buharlama, kurutma, dondurma, buharlama, kurutma) tabi tutulmuş çinko borat içermeyen örneklerdeki ağırlık kayıpları, çinko borat içeren örneklerdekenden nispeten daha fazla olmuştur.

Yaşlandırılmış örneklerdeki ağırlık kayıpları yaşlandırılmamış örneklerdekine oranla daha fazla olduğu oldukça belirgin olmuştur. *T. palustris* mantarına maruz bırakılan yaşlandırılmış çinko borat içeren örneklerde ilk haftalarda ağırlık kayıplarının başladığı gözlemlenmiştir. Test sonrasındaki rutubet değerleri ise yaşlandırılmış örneklerde yaşlandırılmamış olanlara nispeten daha fazla olmuştur.

Gerek bu tez çalışmasının sonuçları ve gerekse literatürde bu konuda yapılan benzer çalışmalar irdelendiğinde odun plastik kompozit malzemelerin biyolojik performanslarının belirlenmesinde örneklerdeki rutubet miktarının önemli bir konu olduğu anlaşılmaktadır. Odun plastik kompozit malzeme üretiminde odun veya odunsu hammaddenin üretim öncesi çok düşük rutubet değerlerine kadar kurutma zorunluluğu, matrikste plastik malzemenin odun liflerini kaplaması (encapsulation), plastik malzemenin gerek rutubet almaması gerekse biyolojik degradasyona karşı dirençli oluşu

gibi nedenlerle odun plastik malzeme örneklerinde laboratuvarda biyolojik performans testlerinde mantarlar tarafından değerlendirme yapabilecek düzeyde ağırlık kayıpları yaratılamamaktadır. Bu nedenlerle benzer malzemelerin testlerinde masif ahşap için uygulanan performans testlerinden daha şiddetli testler, daha şiddetli yaşlandırma prosedürleri, daha uygun test mantarları ve daha uzun test süreleri önerilebilmektedir.

Uygun ön kondisyonlama işlemleri günümüzde en fazla üzerinde durulan husus olmuştur. AWWA tarafından standardize edilen bir yaşlandırma testi de çeşitli araştırmacılar tarafından ve bu tez çalışmasında da uygulanmıştır. Ancak araştırmaların sonuçları odun plastik kompozit malzeme örneklerinde tatmin edici düzeyde rutubet miktarlarına ulaşamadığını göstermiştir. Ancak burada unutulmaması gerek bir husus da malzeme üretimindeki parametrelerdir. Kompozit malzeme üretimindeki ağaç türü, plastik tipi, üretim metodu, malzeme kalınlığı, uyumlaştırıcı tipi, koruyucu madde içerip içermediği, partikül büyüklüğü, odun-plastik oranı, mantar türü, test tipi, test süresi vb. birçok parametre değişik test sonuçlarının doğmasına neden olabilmekte ve araştırma sonuçlarının doğrudan karşılaştırmasını zorlaştırmaktadır.

Sonuç olarak, odun plastik kompozit malzemelerin biyolojik performans testleri öncesi uygulanan yaşlandırma proseslerinde kompozit örneklerinin en az %20-25 rutubet aralığına kadar su alıp almadıkları sürekli tartımlarla incelenmesi gerekmektedir. Bu süre çeşitli nedenlerle uzayabilir ve malzeme yüzeylerinde fiziksel bozunmalara neden olabilir. Ancak ardından yapılacak mantar dayanıklılık testlerinde arzu edilen yüksek ağırlık kayıplarına ulaşmada bu tür yaşlandırmalar önemli olmaktadır.

Diğer bir öneri ise uygun test mantarlarının seçimidir. Masif ahşap için geliştirilen testlerde kullanılan standart test mantarlarının yanında pratikte odun plastik malzemeler üzerinde gelişebilen ve çok kuru ortamlarda düşük rutubet derecelerinde çürüklük yapan mantar izolasyonları denenebilir. Ayrıca PP, PE gibi plastik malzemeleri degrade edebilen mantar kültürlerinin bulunması ve testlerde denenmesi de önerilebilir.

Ayrıca testlerde kullanılacak örneklerin üzerine yüzey alanlarını genişletme ve rutubet alımını kolaylaştırmak amacıyla delikler, yivler ve kanallar açılabilir. UV ya da Xenon arc lambası ile test öncesinde suni yaşlandırma yapılabilir ya da laboratuvar ve arazi

testleri ardı ardına tekrarlanabilir. Böylece kullanım yerinde kompozit malzemelerin maruz kalacağı dış hava şartları sağlanarak malzemenin deformasyonu sağlanabilir.

Gerek testler öncesi örneklerde rutubet alımının artırılması ve gerekse biyolojik performans testlerinde yeterli ağırlık kayıplarının eldesinde örnek kalınlığı (büyüklüğü) de göz önünde bulundurulmalıdır. Açıktır ki kalın veya büyük örneklerin yaşlandırma süreçleri daha uzun sürebilmektedir. Yeterli kalınlıktaki örneklerde rutubet tüm örnek boyunca daha kolay alınabilecek ve yeknesak mantar çürüklüğü elde edilebilecektir.

## KAYNAKLAR

- Acker, J.V., 2006, Testing biological durability of wood-plastic composites, *The International Research Group on Wood Protection Annual Meeting*, Norway. IRG/WP 06-20347. 18-22.
- Adejoye, O. D., Adebayo-Tayo, B. C., Ogunjobi, A. A. and Afolabi, O. O., 2007, Physicochemical studies on *Schizophyllum commune* (Fries), a Nigerian edible fungus, *World Applied Science Journal*, 2, 73-76.
- Akbulut, T., 2009, *Ahşap Polimer Kompozitleri*, Yayınlanmamış Doktora Ders Notları.
- American Wood Protection Association (AWPA) 2012, *Annual Book of AWPA Standards*, AWPA, Birmingham, Alabama, USA.
- Taşcıoğlu, C., Yoshimura, T., and Tsunoda, K., 2013, Biological decay and termite resistance of post-treated wood-based composites under protected above-ground condition: A preliminary study after 36 months of exposure, *BioResources*, 8(1), 833-843.
- Anonim, 2010, *Genome sequence of the model mushroom Schizophyllum commune*, Nature Biotech. 2010 Sep;28(9):957-63, <http://genome.jgi-psf.org/Schco1/Schco1.home.html>, [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2014].
- Anonim, 2012, *Coriolus Versicolor, champignon à proposer pour traiter l'hémangiosarcome du chien*, <http://conseilsveterinaire.com/corolius-versicolor-champignon-a-proposer-pour-traiter-lhemangiosarcome-du-chien/>, [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2011].
- Anonim, 2014a, *Hemicellulose, Cellulose, Lignin*, <http://pixgood.com/hemicellulose-cellulose-lignin.html>, [Ziyaret Tarihi: 10/03/2014].
- Anonim, 2014b, *Components of Hemicellulose*, <http://images.frompo.com/8a11e89010edf010a48be54431c9e7b3>, [Ziyaret tarihi: 10/03/2014].
- Anonim, 2014c, *Endüstri Polimerleri*, <http://www.guncanplastik.com.tr/files/End%C3%BCstriPolimerleri.pdf>, [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2014].
- Anonim, 2014d, *Termoplastikler, Genel Ticari Plastikler, Polipropilen, Polistiren, Polivinilklorür*, [http://www.bayar.edu.tr/besergil/6\\_PP\\_PS\\_PVC.pdf](http://www.bayar.edu.tr/besergil/6_PP_PS_PVC.pdf) [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2014].
- Anonim, 2014e, *Resim*, <http://www.wpcextrusion.com/img/wpc%20profile3.jpg>, [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2014].
- Anonim, 2014f, *Resim*, [http://image2.cccme.org.cn/i\\_supply/2010/4/3/2011010323110318173\\_123604533.jpg](http://image2.cccme.org.cn/i_supply/2010/4/3/2011010323110318173_123604533.jpg), [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2014].

- Anonim, 2014g, *Pycnopus coccineus*, <http://genome.jgi-psf.org/Pycco1/Pycco1.home.html>, [Ziyaret tarihi: 22 Kasım 2014].
- Anonim, 2014h, *Resim*, [http://www.bombayharbor.com/productImage/0000365001251782034/Wpc\\_Flooring.JPG](http://www.bombayharbor.com/productImage/0000365001251782034/Wpc_Flooring.JPG), [http://www.bodenoutlet.at/tl\\_files/bilder/WEBSITE%20NEU/Referenzbilder/12%20Terrasse%20WPC.jpg](http://www.bodenoutlet.at/tl_files/bilder/WEBSITE%20NEU/Referenzbilder/12%20Terrasse%20WPC.jpg), [Ziyaret tarihi: 22 Kasım 2014].
- Ashori, A.R., 2008, Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries, *Science Direct*, 99, 4661-4667.
- ASTM D1037-06a Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, American Society for Testing Materials (ASTM), 2010, *Annual Book of ASTM Standards*, 04, 10, ASTM, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Aysal, S., Kartal, S.N. and Terzi, E., 2013, Evaluation of relationship between moisture content and biological performance of wood plastic composites, *International caucasian forestry symposium*, 24-26 October, 2013, Artvin, Turkey, 888-893.
- Benthien, J.T., Ahlmeyer, M., 2013, Thickness swelling and water absorption of WPC after immersion in cold and boiling water, *Wood Products*, 71, 437-442.
- Berkeley, M.J.; Curtis, M.A. 1849. Decades of fungi. Decades XXI-XXII. North and South Carolina Fungi, *Hooker's Journal of Botany and Kew Garden Miscellany*, 1:97-104
- Bozkurt, A.Y., Erdin, N., Ünlügil, H., 1995, *Odun Patolojisi*, İ. Ü. Basım evi ve Film Merkezi, İstanbul, ISBN: 975-404-403-1.
- Brebu, M. ve Vasile, C., 2009, Thermal Degredation of Lignin – A review, *Cellulose Chemistry and Technology*, 353-363.
- Chow, P., Nakayama, F. S., Youngquist, J. A., Muehl, J.H. and Krzysik, A.M., 2002, Durability of wood/plastic composites made from Parthenium species. 33rd IRG Conference, IRG/WP 02-40225, Stockholm, Sweden.
- Clemons, C.M. and Ibach, R.E., 2002. Laboratory tests on fungal resistance of wood filled polyethylene composites. In: *ANTEC, Society of Plastic Engineers*, San Francisco, CA.
- Clemons, C.M. and 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.

- Cody, B. R., 2011, *Pycnopus coccineus* (Fr.) Bondartsev & Singer, <http://ncslg.cals.ncsu.edu/files/2014/05/Pycnopus-cinnabarinus.pdf> [Ziyaret tarihi: 12 Ekim 2014].
- Dalvag, H., Klason, C., Stromvall, H.E., 1985, The efficiency of cellulosic fillers in common thermoplastics, Part II, Filling with processing aids and coupling agents, *International Journal of Polymeric Materials*, 11, 9.
- Defoirdt, N., Gardin, S., and Van Acker, J., 2009, Moisture behaviour and biological durability of wood-polymer composites. Wood Fibre Polymer Composites International Symposium, 4th, Proceedings. Presented at the *4th Wood Fibre Polymer Composites International Symposium*, FCBA Institut Technologique.
- 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: Applied Science and Manufacturing*, 42 (5), 501-510.
- Falk, R.H., Lundin, T., Felton, C., 2002, Accelerated weathering of natural fiber-thermoplastic composites: Effect of ultraviolet exposure on bending strength and stiffness, Proceedings, *Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*, Forest Products Society, Madison, WI, USA, 87 – 93
- Felix, J.M., Gatenholm, P., Schreiber, H.P., 1993, Controlled interactions in cellulose-polymer composites – I. Effect on mechanical properties, *Polymer Composites*, (14), 449.
- Gou, G., Rizvi, G.M., Park, C.B., Lin, W.S., 2004, Critical processing temperature in the manufacture of fine-celled plastic/wood-fiber composite foams, *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 621 – 629.
- Hon, N., S., D. And Shiraishi, N., 2001, *Wood and Cellulosic Chemistry*, Marcel Dekker Inc., ISBN: 0-8247-0024-4.
- Ibach, R.E., Clemons, C.M., and Stark, N.M., 2003, Combined Ultraviolet and Water Exposure as a Preconditioning Method in Laboratory Fungal Durability Testing. *Seventh International Conference on Wood Fiber Composites*, 61-67.
- Ibach, R.E., and Clemons, C.M., 2007, Effect of acetylated wood flour or coupling agent on moisture, UV, and biological resistance of extruded woodfiber-plastic composites. Wood Protection, H. M. Barnes (ed.), *Forest Products Society*, Madison, WI, 139-147.
- Ibach, R.E., and Clemons. C.M, 2002, Biological resistance of polyethylene composites made with chemically modified fiber or flour. In: Proceedings of *Sixth Pacific-Rim Bio-Based Composites Symposium*, Portland, Oregon, Oregon State University. 574-583.

- Kartal, S. N., Aysal, S., Terzi, E., Yoshimura, T., Tsunoda, K., 2012, Biological performance of wood- and bamboo-polypropylene composites: Effects of particle content, particle size and Zn borate, *43rd Annual Meeting of IRG*, May 6-10, 2012, Kuala Lumpur, Malaysia, IRG/WP 12-40577.
- Kartal, S. N., Aysal, S., Terzi, E., Yilgör, N., Yoshimura, T., and Tsunoda, K., 2013, Wood and bamboo-PP composites: Fungal and termite resistance, water absorption, and FT-IR analyses, *BioResources*, 8(1), 1222-1244.
- Klyosov, A.A., 2007, *Wood-Plastic Composites*, Wiley-Interscience A John Wiley and Sons, Inc., Publication, 13: 416
- Kociszewski, M., Gozdecki, C., Wilczynski, A., Zajchowski, S., Mirowski, J., 2012, Effect of industrial wood particle size on mechanical properties of wood-polyvinyl chloride composites, *European Journal of Wood Products*, 70, 113-118.
- Kokta, B.V., Raj, R.G., Daneault, C., 1989, Use of wood flour as filler in polypropylene; studies on mechanical properties, *Polymer Plastic Tecnology Engineering Journal.*, 28, 247.
- Kuo, M., 2003, *Schizophyllum commune*. Retrieved from the MushroomExpert.Com, [http://www.mushroomexpert.com/schizophyllum\\_communne.html](http://www.mushroomexpert.com/schizophyllum_communne.html), [Ziyaret tarihi: 20 Kasım 2014].
- Lepp, H., 2013, *Aboriginal use of fungi*, <https://www.anbg.gov.au/fungi/aboriginal.html>, [Ziyaret tarihi: 22 Kasım 2014]
- Lundin, T., 2001, *Effect of accelerated weathering on the physical and mechanical properties of natural-fiber thermoplastic compoites*, MSc Thesis, University of Wisconsin, Madison, USA.
- Malvar, L.J., Pendlton, D.E., Tichy, R., 2001, Fire issueS in engineered wood composites for naval waterfront facilities, *Sampe Journal*, 37(4): 70 – 75.
- Mankowski, M. E., Ascherl, F. M., Manning, M. J., 2005, Durability of wood plastic composites relative to natural weathering and preservative treatment with zinc borate, *36th IRG Conference*, Bangalore, India, IRG/WP 05-40316.
- Mankowski, M., and Morrell, J.J., 2000, Patterns of fungal attack 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*, Tromsø, Norway 18-22 June, 2006.
- McDonald, A.G., Fabiyi, J.S., Morrell, J.J. and 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. 84–89.

- Moore, R., Clark, D., Vodopich, D., 1998, *Botany Visual Resources Library*, The McGraw-Hill Companies, [http://www.bio.miami.edu/dana/226/226F08\\_2print.html](http://www.bio.miami.edu/dana/226/226F08_2print.html), [Ziyaret tarihi: 11 Kasım 2014].
- 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., 2002, Wood based building components: what have we learned?, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 49(4), 253-258.
- Morrell, J.J., Stark, N.M., Pendleton, D.E. and McDonald, A.G., 2010, Durability of wood-plastic composites, *Tenth International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites and Cellulose Nanocomposites Symposium*, Madison, Wisconsin, ISBN 978-1- 892529-55-8. Forest Products Society.
- Morris, P.I., and Cooper, P., 1998, Recycled plastic/wood composite lumber attacked by fungi, *Forest Products Journal*, 48 (1), 86-88.
- Naghipour, B., 1996, *Effects of extreme environmental conditions and fungus exposure on the properties of wood-plastic composites*, M.Sc. Thesis. University of Toronto, Toronto, Canada.
- Nobles, M.K.; Frew, B.P. 1962. Studies in wood-inhabiting Hymenomycetes V. The genus *Pycnoporus* Karst., *Canadian Journal of Botany*, 40(7):987-1016
- Palmer, J. M., and Evans, C. S., 1983, Extracellular Enzymes Produced by *Coriolus versicolor* in Relationship to the Degradation of Lignin, in *International Symposium on Wood and Pulping Chemistry*, 3, 19–24, Japan.
- Pendleton, D.E., Hoffard, T.A., Adcock, T., Woodward, B. and Wolcott, M.P., 2002, Durability of an Extruded HDPE/Wood Composite, *Forest Products Journal*, 52 (6), 21-27.
- Pettersen, R., 1984, *Chemical Composition of Wood*, American Chemical Society, Washington D. C., ISBN: 9780841207967.
- Råberg, U. and Hafrén, J., 2008, Biodegradation and appearance of plastic treated solid wood, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62, 210–213.
- Ramirez, M. G., Ochoa-Ruiz, H. G., Fuentes-Talavera, F. J., Garcia-Enriquez, S., 2009, Evaluation of accelerated decay of wood plastic composites by Xylophagus fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 63, 1030-1035.
- 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., Lange, S.E., Jacobson, R.E., 2000, Weathering performance of plant-fiber thermoplastic composites, *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 353: 85 – 94.

- Rowell, R.M., Lange, S.E., Jacobson, R.E., 2002, Effects of moisture on Aspen-fiber/polypropylene composites. In: *Progress in Woodfiber-Plastic composites Conference*, Toronto, Canada.
- Rowell, R.M., Young, R.A. and Rowell, J.K., 1997, *Paper and Composites from Agro – Based Resources*, CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida, USA, ISBN 1-56670-235-6.
- Saçak, M., 2005, *Polimer Teknolojisi*, Gazi Kitapevi, ISBN: 9758895826, 9789758895823.
- Sanadi, A.R., Rowell, R.M., Young, R.A., 1993, Interphase modification in lignocellulosic fiber-thermoplastic composites, *Engineering for Sustainable Development: AICHE Summer National Meeting*, 24.
- Savage Group, 2014, *Resim*, Michigan University, <http://cheresearch.engin.umich.edu/savage/energy.html>
- Schirp, A. and 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.
- Schirp, A., Ibach, E.R., Pendleton, D.E. and Wolcott, M. P., 2008, Biological degradation of wood-plastic composites (WPC) and strategies for improving the resistance of WPC against biological decay, *American chemical society*, 480-507.
- Schmidt, E.L., 1993, Decay testing and moisture changes for a plastic-wood composite. In: *Proceedings AWWA* 89, 108-109.
- Senco Holzfachhandel, 2014, *Resim*, [http://www.senco-holzfachhandel.de/tl\\_files/standard/bilder/holz/zaun-wpc/clercx/600/Clercx\\_WPC\\_Zaun\\_10.jpg](http://www.senco-holzfachhandel.de/tl_files/standard/bilder/holz/zaun-wpc/clercx/600/Clercx_WPC_Zaun_10.jpg), [Ziyaret tarihi: 12 Kasım 2014].
- 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., Freitag, C., Morrell, J.J. and Gartner, B.L., 2002, Effect of fungal attack on creep behavior and strength of wood plastic composites. The Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, *Proceedings, The Forest Products Society*, Madison, Wisconsin, 69-72.
- 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., Morrell, J. J., 2002, The effect of wood-plastic ratio on the performance of borate biocides against brown-rot fungi. The Sixth International Conference on Woodfiber-plastic Composites, *The Forest Products Society*, Madison, Wisconsin, 69-72.

- Smith, P.M. and Wolcott, M.P., 2006, Opportunities for wood/natural fiber-plastic composites in residential and industrial applications, *Forest Products Journal*, 56(3),4–11.
- Stark, N.M., White, R.H., Clemons, C.M., 1997, Heat release rate of wood-plastic composites, *Sampe Journal*, 33(5), 26 – 31
- Takatani, M., Ito, H., Ohsugi, S., Kitayama, T., Saegusa, M., Kawai, S. and Okamoto, T., 2000, Effect of Lignocellulosic Materials on the Properties of Thermoplastic Polymer/Wood Composites, *Holzforschung*, 54(2), 197-200.
- Tangram, 2002, Wood-Plastic Composites; A technical review of materials, processes and applications, *Tangram Technology*, Hitchin, UK.
- Tangram, 2004, Wood-Plastic Composites; A new opportunity, *Tangram Technology*, Hitchin, UK.
- Tufan, M. ve Mengeloğlu, F., 2010, Odun plastik kompozitleri ve ülkemizde odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilecek hammaddeler üzerine genel bir değerlendirme. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, IV, 1658-1664
- USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2007, *Wood-Plastic Composites*, <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/techline/wood-plastic-composites.pdf> , (Ziyaret Tarihi: 12 /12 /2007).
- Vargas, M. H., 1999, *InerSTAT-a v1.3*. Instituto Nacacional de Respiratorias (Mexico).
- Verhey, S. A. and 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, 79-86.
- Verhey, S., Laks, P., Richter, D., 2001, Laboratory decay resistance of woodfiber/thermoplastic composites, *Forest Products Journal*, 51 (9), 44-49.
- Wang, W.H., and Morrell J.J., 2004, Water sorption characteristics of two wood plastic composites, *Forest Products Journal*, 54(12), 209-212.
- Winandy, J.E., Stark, N.M., Clemons, C.M., 2004, Considerations in recycling of wood-plastic composites, *5th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium*, April 27 – 28, 2004, Kassel, Germany.
- Wolcot, M., 1996, The role of thermoplastics in conventional wood composites, *Procedings 30th International Particleboard/Composite Materials Symposium*, Washington State University, 37-44.

- Wolcott, P. ve Englund, K. 1999, A technology review of wood-plastic composites, *33th International Particle Board Composites Material Symposium*, 103-111.
- Youngquist, J. A., English, B.E., Spelter, H., Chow, P., 1993, Agricultural fibers in composition panels. In proceedings of the *27th International particleboards/composite materials symposium*, W. S. U. Pulman, Washington: 133-152.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler



|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Adı Soyadı         | Sema AYSAL               |
| Uyruğu             | Türkiye Cumhuriyeti      |
| Doğum tarihi, Yeri | 01/01/1986, Çanakkale    |
| Telefon            | 5383642800               |
| E-mail             | semaaysal@karabuk.edu.tr |

### Eğitim

| Derece        | Kurum/Anabilim Dalı/Programı          | Yılı |
|---------------|---------------------------------------|------|
| Yüksek Lisans | İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü/ /       | 2014 |
| Lisans        | İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi | 2011 |
| Lise          | Eyüp Anadolu Lisesi                   | 2004 |

### Makaleler / Bildiriler

1. Yuca, B., Kurt, Ş., Korkmaz, M., Aysal, S., (2014). "Borik Asit İlave Edilen Bazı Tutkalların Kayın Odununun Yanma Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi." Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 14(2), 182-190.
2. Kartal, S. N., Aysal, S., Terzi, E., Yilgör, N., Yoshimura, T., and Tsunoda, K. (2013). "Wood and bamboo-PP composites: Fungal and termite resistance, water absorption, and FT-IR analyses," BioResources. 8(1), 1222-1244.

3. Aysal, S., Terzi, E., Kartal, S. N. (2013). "Evaluation of Relationship Between Moisture Content and Biological Degredation of Wood Plastic Composites", International Caucasian Forestry Symposium, October 24-26, 2013, Oral Presentation.
4. Özbay, G., Özçifçi, A., Aysal, S. (2013). "Pyrolysis of Beech Wood Catalysed by FeCl<sub>3</sub>: Production and Characterisation of Bio-Oil", International Conference "Wood Science and Engineering in the Third Millennium"-ICWSE 2013- ProLigno 9(4), p. 75-81.
5. Kartal, S. N., Aysal, S., Terzi, E., Yoshimura, T., Tsunoda, K., 2012, "Biological performance of wood- and bamboo-polypropylene composites: Effects of particle content, particle size and Zn borate". 43rd Annual Meeting of IRG, May 6-10, 2012, Kuala Lumpur, Malaysia, IRG/WP 12-40577