KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI BEYAZLIK ÇÜRÜKLÜK MANTARLARI İLE İNKÜBE EDİLMİŞ LİGNOSELÜLOZİK MATERYALLERDEN BİYOBOZUNUR MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Orm. End. Müh. Süleyman KUŞTAŞ

KASIM 2022
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FARKLI BEYAZLIK ÇÜRÜKLÜK MANTARLARI İLE İNKÜBE EDİLMİŞ LİGNOSELÜLOZİK MATERYALLERDEN BİYOBOZUNUR MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Süleyman KUŞTAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"DOKTOR (ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03/11/2022
Tezin Savunma Tarihi : 21/11/2022

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Engin Derya GEZER

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

Ülkemizde iki farklı beyaz çürüklük mantarlarıyla farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılarak lignoselülozik malzemelerden biyobozunabilir, çevre dostu biyo-bozunur malzemelerin üretilmesi üzerine olan bu çalışma ilk olma özelliğini taşımaktadır. Bu çalışmada, misel esaslı yalıtım malzemesi, odun doğal plastik kompozitleri ve misel esaslı ambalaj malzemesi üretilmiş olup, bunlardan odun doğal plastik kompozitleri ilk defa literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmanın esas çıkış noktası ise; üretilen ürünlerin çevre dostu, yenilenebilir ve sürdürülebilir hammadde kaynaklardan üretilmesi, geri dönüşümlü olmasıdır. Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 118O145 koduyla desteklenmiş olup, sağladıkları maddi destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Doktora danışmanlığımı üstlenerek her türlü çalışmaların yürütülmesi sırasında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen değerli tavsiyelerinden ve bilgilerinden yararlandığım tez danışmanım Sayın Hocam Doç. Dr. Engin Derya GEZER'e bilgi ve tavsiyelerinden istifade ettiğim Sayın Hocalarım Prof. Dr. Ümit Cafer YILDIZ, Prof. Dr. Hüseyin KIRCI, Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU ve Prof. Dr. İlker USTA'ya sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışması esnasında laboratuvarlarının kapılarını açan, KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Esat GÜMÜŞKAYA'ya, Kahramanmaraş Sütcü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Dr. İlkay ATAR'a, KTÜ Fen Fakültesi Kimya Bölümü Uzman Muammer ERDÖL'e, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Emrah PEŞMAN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Hüsnü YEL'e teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam süresince yardımlarından dolayı Doç. Dr. Özlem ÖZGENÇ KELEŞ'e, Dr. Öğr. Üyesi Emir ERİŞİR'e, Dr. Öğr. Üyesi Sefa DURMAZ'a, Öğr. Gör. Dr. Uğur ARAS'a, Arş. Gör. Uğur BİLGİN'e, Arş. Gör. Abdullah Uğur BİRİNCİ'ye, Lisansüstü öğrencimiz Ezel UÇAR PETEN'e ve diğer tüm mesai arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim. Bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve doktora tez çalışmalarıma her zaman destekçim olan eşim Tuğba'ya ve kızım Zeynep'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Süleyman KUŞTAŞ
Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora tezi olarak sunduğum "Farklı Beyazlık Çürüklük Mantarları ile İnkübe Edilmiş Lignoselülozik Materyallerden Biyobozunur Malzemelerin Üretilmesi ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Engin Derya GEZER'in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/11/2022

Süleyman KUŞTAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ IV
İÇİNDEKİLER V
ÖZET XIII
SUMMARY XIV
ŞEKİLLER DİZİNİ XV
TABLOLAR DİZİNİ XX
SEMBOLLER DİZİNİ XXVI
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Lignoselülozik Malzemelerin Kimyasal Yapısı 3
1.2.1. Selüloz 4
1.2.2. Hemiselülozlar 5
1.2.3. Lignin 7
1.3. Yalıtım Malzemesi 8
1.3.1. Ses Yutumu ve Ses Yalıtımı 9
1.3.2. Yalıtım Malzemelerinin Akustik Performansını Etkileyen Faktörler 10
1.3.3. Yalıtım Malzemesi Üretiminde Kullanılan Materyaller 10
1.3.3.1.1. Taş Yünü 11
1.3.3.1.2. Cam Yünü 11
1.3.3.1.3. Ahşap Yünü 11
1.3.3.1.4. Tavuk Tüyü 12
1.3.3.1.5. Kenaf Lifi 12
1.3.3.1.6. Kenevir Lifi 12
1.3.3.1.7. Hindistan Ceviz Lifi 12
1.3.3.1.8. Koyun Yünü 13
1.4. Odun Plastik Kompozitleri 13
1.4.1. OPK Üretiminde Kullanılan Materyaller 14
1.4.1.1. Lignoselülozik Materyal 14
1.4.1.2. Sentetik Polimerler 15
1.5. Ambalaj Malzemesi 16
1.5.1. Ambalaj Çeşitleri 16
1.5.1.1. Yerine Getirdiği İşlevlere Göre Ambalajlar 16

1.5.1.1.1. Satış Ambalajları (Birincil Ambalaj) 16
1.5.1.1.2. Dış Ambalajlar (İkincil Ambalaj) 16
1.5.1.1.3. Nakliye Ambalajları (Üçüncül Ambalaj) 16
1.5.1.2. Perakende Satışta Sunum Şekline Göre Ambalajlar 17
1.5.1.2.1. Multiünite Ambalajlar 17
1.5.1.2.2. Varyete Ambalajlar 17
1.5.1.2.3. Kombinasyon Ambalajlar 17
1.5.1.3. Üretildiği Malzeme Türlerine Göre Ambalajlar 17
1.6. Mantarlar 18
1.6.1. Odun Çürüklük Mantarlarının Sınıflandırılması 20
1.6.1.1. Yumuşak Çürüklük Mantarları 21
1.6.1.2. Esmer Çürüklük Mantarları 23
1.6.1.3. Beyaz Çürüklük Mantarları 24
1.6.1.3.1. Beyaz Çürüklük Mantarlarında Çürüklük Mekanizması 25
1.6.1.3.2. Beyaz Çürüklük Mantarlarının İnkübasyonu/Ön İşlemi 27
1.6.1.3.3. Lignoselülozik Materyalin Lignoselülozik Materyale Mantar İnkübasyonun/Ön İşlemin Etkisi 28
1.6.1.3.3.1. Lignoselülozik Materyalin Yüzey Geometrisi, Pürüzlülük ve Morfoloji 28
1.6.1.3.3.2. Yüzey Islanabilirliği 28
1.6.1.3.3.3. Yüzey Ligninin Oksidasyonu 29
1.6.1.3.3.4. Hemiselülozların Hidrolizi 30
1.6.1.3.3.5. Misel Gövdesinin Etkisi 31
1.7. Misel Esaslı Kompozitlerin Literatür Taraması 31
1.7.1. Kompozit Üretimi İçin Mantar Biyopolimerleri ve Mantar Biyorafinerisi 33
1.7.2. Misel Esaslı Kompozit Malzeme Özelliklerinin Mühendisliği 39
1.7.2.1. Misel Bağlayıcının Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi 39
1.7.2.2. Substrat Dolgu Maddelerinin Misel Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi 41
1.7.2.3. Misel Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerini İyileştirmek İçin Sıcak ve Soğuk Pres Uygulaması 45
1.7.2.4. Termoset Takviyeli ve Sandviç Formasyonundaki Misel Esaslı Kompozitler 46
1.7.2.5. Mekanik Performansı İyileştirmek İçin Misel Esaslı Kompozitlerin Hibridizasyonu 48

1.7.2.6. Yalıtım Uygulamaları İçin Misel Esaslı Kompozitlerinin Isıl İletkenlik Özellikleri 49
1.7.2.7. Misel Esaslı Kompozitlerin Akustik Özellikleri 51
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 54
2.1. Materyal 54
2.1.1. Parafin 54
2.2. Yöntem 54
2.2.1. Yongaların Hazırlanması 54
2.2.2. İnokulum Hazırlama, İnokülasyon ve İnkübasyon 55
2.2.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Üretilmesi 56
2.2.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Üretilmesi 58
2.2.5. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Üretilmesi 63
2.2.6. Kimyasal Analizler 65
2.2.7. FTIR-ATR Analizi 67
2.2.8. Işık Mikroskopu 69
2.2.9 Teknolojik Özellikler 70
2.2.9.1. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi 71
2.2.9.1.1. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Yoğunluk Değerinin Belirlenmesi 71
2.2.9.1.2. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Su Alma Oranı Belirlenmesi 72
2.2.9.1.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Kalınlık Artış Oranın Belirlenmesi 72
2.2.9.1.4. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi 73
2.2.9.1.5. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi 74
2.2.9.1.6. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Basınç Direncinin Belirlenmesi 75
2.2.9.1.7. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Isıl İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi 76
2.2.9.1.8. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Akustik Özelliklerinin Belirlenmesi 77
2.2.9.1.8.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Ses Yutum Katsayısının Belirlenmesi 77
2.2.9.1.8.2. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Ses Geçiş Kaybının Belirlenmesi 78
2.2.10. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi 79
2.2.10.1. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi 79
2.2.10.2. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Su Alma Oranın Belirlenmesi 80

2.2.10.3. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Kalınlık Artış Oranın Belirlenmesi 80
2.2.10.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi 81
2.2.10.5. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Darbe Direncinin Belirlenmesi 83
2.2.11. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi 84
2.2.11.1. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi 84
2.2.11.2. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Su Alma Oranın Belirlenmesi 84
2.2.11.3. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Kalınlık Artış Oranı Belirlenmesi 85
2.2.11.4. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi 86
2.2.11.5. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Basınç Direncinin Belirlenmesi 87
2.2.12. Termal ve Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi 88
2.2.12.1. Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testi 88
2.2.12.2. Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) Analizi 89
2.2.13. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri 89
2.2.14. Biyolojik Özellikler 90
2.2.14.1. Mantar Çürüklük Testi 90
2.2.15. İstatistiksel Analiz 91
3. BULGULAR 92
3.1. Lignoselülozik Materyal Ana Bileşenlerinin Kimyasal Analizlerine Ait Bulgular 92
3.1.1. Buğday Sapının Ana Bileşenlerinin Kimyasal Analizlerine Ait Bulgular 92
3.1.2. Sarıçam Odununun Ana Bileşenlerinin Kimyasal Analizlerine Ait Bulgular 96
3.1.3. Kavak Odunun Ana Bileşenlerinin Kimyasal Analizlerine Ait Bulgular 100
3.2. FTIR Analizlerine Ait Bulgular 105
3.2.1. Buğday Sapının FTIR Analizlerine Ait Bulgular 105
3.2.2. Sarıçam Yongalarının FTIR Analizlerine Ait Bulgular 107
3.2.3. Kavak Yongalarının FTIR Analizlerine Ait Bulgular 109
3.3. Işık Mikroskobu Analizine Ait Bulgular 110
3.3.1 Mantar Misel Yoğunluğunun Işık Mikroskobuyla Belirlenmesine İlişkin Bulgular 110

3.4. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerine İlişkin Bulgular 113
3.4.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Yoğunluk Değerlerine Ait Bulgular ... 113
3.4.2. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Su Alma ve Kalınlık Artışına Ait Bulgular..... 114
3.4.3. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular ... 122
3.4.3.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular 122
3.4.3.2. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Yüzeye Dik Çekme Direncine Ait Bulgular..... 123
3.4.3.3. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Basınç Direncine Ait Bulgular 124
3.4.3.4. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Mekanik Özelliklerine Mantar Türü ve İnkübasyon Süresinin Etkisine Ait Bulgular..... 124
3.4.4. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Termal İletkenlik Katsayı Değerlerine Ait Bulgular..... 129
3.4.5. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Termal ve Yanma Özelliklerine Ait Bulgular..... 130
3.4.5.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulgular..... 130
3.4.5.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) Analizlerine Ait Bulgular 131
3.4.6. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Ses Geçiş Kaybı ve Ses Yutma Katsayısı Değerlerine Ait Bulgular..... 132
3.5. Odun Doğal Plastik Kompozitlerine Ait Bulgular..... 135
3.5.1. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Yoğunluk Değerlerine Ait Bulgular 135
3.5.2. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Su Alma Oranlarına Ait Bulgular 136
3.5.3. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Kalınlık Artış Oranlarına Ait Bulgular..... 142
3.5.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular 149
3.5.4.1. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Çekme Direncine Ait Bulgular 150
3.5.4.2. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Çekmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular..... 150
3.5.4.3. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Eğilme Direncine Ait Bulgular 150
3.5.4.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular..... 151
3.5.4.5. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Darbe Direncine Ait Bulgular..... 153

3.5.4.6. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Ağaç Türü, Mantar Türü, İnkübasyon Süresi ve Karşım Oranlarının Etkilerine Ait Bulgular 153
3.5.5. ODPK Termal ve Yanma Özelliklerine Ait Bulgular 164
3.5.5.1. ODPK Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulgular 164
3.5.5.2. ODPK'lerin Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) Analizlerine Ait Bulgular 166
3.5.6. ODPK'lerin Çürüklük Testine Ait Bulgular 168
3.6. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerine Ait Bulgular 170
3.6.1. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Yoğunluk Değerlerine Ait Bulgular 170
3.6.2. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Su Alma Oranlarına Ait Bulgular 171
3.6.3. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Kalınlık Artış Oranlarına Ait Bulgular 174
3.6.4. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular 178
4. İRDELEME 180
4.1. Lignoselülozik Materyal Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 180
4.1.1. Buğday Sapının Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 180
4.1.2. Sarıçam Odunun Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 185
4.1.3. Kavak Odunun Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 191
4.2. Mantar İnkübasyonuna Maruz Kalan Lignoselülozik Örneklerin FTIR Spektrumlarının İrdelenmesi 196
4.2.1. Buğday Sapının FTIR Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 197
4.2.2. Sarıçam Odunun FTIR Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 200
4.2.3. Kavak Odunun FTIR Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 204
4.3. Işık Mikroskobu Analizi Ait Bulguların İrdelenmesi 206
4.3.1. Mantar Misel Yoğunluğunun Işık Mikroskobuna Ait Bulguların İrdelenmesi 206
4.4. Mantar İnkübasyonun Lignoselülozik Materyal Üzerine Etkisinin İrdelenmesi 207
4.5. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerinin İrdelenmesi 211

4.5.1. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi 211
4.5.2. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Su Alma ve Kalınlık Artışının İrdelenmesi 212
4.5.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İrdelenmesi 215
4.5.3.1. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülünün İrdelenmesi 215
4.5.3.2. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Yüzeye Dik Çekme Direncinin İrdelenmesi 217
4.5.3.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Basınç Direncinin İrdelenmesi 218
4.5.4. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Termal ve Yanma Özelliklerine Ait Bulguların İrdelenmesi 219
4.5.4.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulguların İrdelenmesi 219
4.5.4.2. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 220
4.5.5. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Isıl İletkenlik Katsayısının İrdelenmesi 223
4.5.6. Ses Geçiş Kaybı ve Ses Yutma Katsayısı Değerlerinin İrdelenmesi 225
4.6. Odun Doğal Plastik Kompozitlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 230
4.6.1. ODPK'ların Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi 230
4.6.2. ODPK'ların Su Alma Oranlarına Ait Bulguların İrdelenmesi 231
4.6.3. ODPK'ların Kalınlık Artış Oranlarının İrdelenmesi 234
4.6.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İrdelenmesi 236
4.6.4.1. ODPK'ların Çekme Direncinin İrdelenmesi 236
4.6.4.2. ODPK'ların Çekmede Elastikiyet Modülünün İrdelenmesi 241
4.6.4.3. ODPK'ların Eğilme Direncinin İrdelenmesi 246
4.6.4.4. ODPK'ların Eğilmede Elastikiyet Modülünün İrdelenmesi 251
4.6.4.5. ODPK'ların Darbe Direncinin İrdelenmesi 256
4.6.5. ODPK Termal ve Yanma Özelliklerine Ait Bulguların İrdelenmesi 261
4.6.5.1. ODPK Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulguların İrdelenmesi 261
4.6.5.2. ODPK'lerin Termogravimetrik (TGA) Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi 262
4.6.6. ODPK'ların Çürüklük Testinden Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi 268

4.7. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerinin İrdelenmesi 271
4.7.1. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi 271
4.7.2. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Su Alma Oranı ve Kalınlık Artışının İrdelenmesi 272
4.7.3. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İrdelenmesi 274
4.7.3.1. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülünün İrdelenmesi 274
4.7.3.2. Basınç Direncinin İrdelenmesi 276
4.8. Morfolojik Özelliklere (SEM) Ait Bulguların İrdelenmesi 277
4.8.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının SEM Görüntülerine Ait Bulguların İrdelenmesi 277
4.8.2. ODPK'lerin SEM Görüntülerine Ait Bulguların İrdelenmesi 278
4.8.3. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerin SEM Görüntülerine Ait Bulguların İrdelenmesi 282
5. SONUÇLAR 284
5.1. Lignoselülozik Materyal Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Sonuçlar 284
5.2. Mantar İnkübasyonuna Maruz Kalan Lignoselülozik Örneklerin FTIR Spektrumlarına Ait Sonuçlar 287
5.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerine Ait Sonuçlar 288
5.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerine Ait Sonuçlar 290
5.5. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Mekanik Özelliklerine Ait Sonuçlar 293
5.6. Morfolojik Testlere Ait Sonuçlar 294
6. ÖNERİLER 295
7. KAYNAKLAR 297
ÖZGEÇMİŞ

Doktora Tezi

ÖZET

FARKLI BEYAZLIK ÇÜRÜKLÜK MANTARLARI İLE İNKÜBE EDİLMİŞ LİGNOSELÜLOZİK MATERYALLERDEN BİYOBOZUNUR MALZEMELERİN ÜRETİLMESİ VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Süleyman KUŞTAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Engin Derya GEZER
2022, 320 Sayfa

Bu çalışmada, farklı beyaz çürüklük mantarları ile inkübe edilmiş lignoselülozik materyaller kullanılarak çevre dostu ve biyobozunabilir malzemelerin (yalıtım malzemesi, ambalaj malzemesi ve odun doğal plastik kompozitleri) teknolojik özellikleri belirlenmiştir. *Ganoderma lucidum* (GL) ve *Pleurotus ostreatus* (PO) mantarları ile buğday sapı, sarıçam yongaları, kavak yongaları 10, 20 ve 30 gün mantar inkübasyonuna maruz bırakılarak lignoselülozik materyallerin kimyasında meydana gelen değişimler belirlenmiştir. Mantar muamelesine maruz bırakılmış lignoselülozik materyal örneklerinin kimyasal analizleri (ekstraktif madde miktarı, holoselüloz oranı, lignin oranı, α-selüloz oranı ve %1'lik NaOH çözünürlüğü), analitik (FTIR) morfolojik (ışık mikroskobu) özellikleri incelenmiştir. Bu tez kapsamında ülkemizde ve dünyada ilk kez odun doğal plastik kompozitleri üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının, odun doğal plastik kompozitlerinin ve misel esaslı ambalaj malzemelerinin fiziksel, mekanik ve bazı teknolojik özellikleri belirlenmiştir. Misel esaslı yalıtım ve ambalaj malzemelerinin su alma oranlarının yüksek olmasına karşın kalınlık artış oranları düşük olduğu belirlenmiştir. PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının ses yutum katsayısı oranlarının GL mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Proje kapsamında PO mantarı kullanılarak üretilen yalıtım levhalarının 1.000 Hz'de akustik absorpsiyon oranları inkübasyon sürelerine bağlı olarak %87 ila %99 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Misel esaslı yalıtım levhalarının en düşük termal iletkenlik katsayı değeri, PO mantarıyla 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen yalıtım levhasında tespit edilmiştir. Odun doğal plastik kompozit malzemelerin direnç özellikleri mevcut odun plastik kompozitlerine oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Odun kompozitleri, Misel esaslı kompozit malzemeler, Ambalaj malzemeleri, Yalıtım malzemesi, Odun çürütücü mantarlar, Biyomühendislik malzemeler, Biyobozunur malzemeler, Teknolojik özellikler

PhD. Thesis

SUMMARY

PRODUCTION OF BIODEGRADABLE MATERIALS FROM LIGNOCELLULOSIC MATERIALS INCULATED WITH DIFFERENT WHITE ROOT FUNGUS AND DETERMINATION OF THEIR TECHNOLOGICAL PROPERTIES

Süleyman KUŞTAŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industry Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Engin Derya GEZER
2022, 320 Pages

In this study, the technological properties of environmentally friendly and biodegradable materials (insulation material, packaging material and wood natural plastic composites) were determined by using lignocellulosic materials incubated with different white rot fungi. *Ganoderma lucidum* (GL) and *Pleurotus ostreatus* (PO) fungi were used. Wheat straw, scotch pine chips, poplar chips were inoculated with fungi and exposed to 10, 20 and 30 days of incubation, and the changes in the chemistry of lignocellulosic materials were determined. Chemical analyzes (amount of extractive substance, holocellulose ratio, lignin ratio, α-cellulose ratio and 1% NaOH solubility), analytical (FTIR) morphological (light microscopy) properties of lignocellulosic material samples exposed to fungal treatment were investigated. Within the scope of this thesis, mycelium-based wood natural plastic composites were produced for the first time in our country and in the world. The physical, mechanical and some technological properties of the produced mycelium-based insulation boards, wood natural plastic composites, mycelium-based packaging materials and mycelium-based fiberboards were determined. Mycelium-based insulation and packaging materials had high water absorption rates, but low thickness increase rates. It was determined that the sound absorption coefficient ratios of mycelium-based insulation boards produced using PO fungus were higher than those produced with GL fungus. It was determined that the acoustic absorption rates of the insulation boards produced using PO fungus varied between 87% and 99% at 1000 Hz depending on the incubation periods. The lowest thermal conductivity coefficient of the mycelium-based insulation boards was determined in the insulation board produced at the end of the 20-day incubation period with the PO fungus. It was determined that the mechanical properties of wood natural plastic composites produced in this project were lower than wood plastic composites.

Keywords: Wood composites, Mycelium based composites, Packaging materials, Insulation materials, Wood decay fungi, Bioengineered materials, Bio-degradable materials, Technological properties

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Bitkilerden elde edilen selülozun hiyerarşik yapısı 4
Şekil 2. Selülozun moleküler yapısı 5
Şekil 3. İğne yapraklı ağaçlardaki hemiselülozların yapısı 6
Şekil 4. Lignini oluşturan monomerler 7
Şekil 5. Misel fizyolojisinin farklı ölçeklerde şematik gösterimi 19
Şekil 6. A) Odundaki hücre çeperi katmanlarının diyagramı 22
Şekil 7. A) Esmer çürüklüğe uğramış odun, B) Esmer çürüklüğe uğramış odunun SEM görüntüsü 23
Şekil 8. A) Beyaz çürüklüğe uğramış odun, B) Beyaz çürüklüğe uğramış odunun SEM görüntüsü 25
Şekil 9. Lignoselülozik Materyal ve mantar hüf hücre çeperinin şematik yapısı, Mantar ön işlem aşamasında meydana gelen değişiklikler 26
Şekil 10. a) Kitin, b) Kitosan ve c) Selülozun moleküler yapıları 34
Şekil 11. Sterilizasyondan sonra mantar aşılama ve inkübasyon periyodu 35
Şekil 12. Ticari misel kompozit yapı malzemeleri 38
Şekil 13. Farklı lignoselülozik malzemelerden üretilmiş misel esaslı kompozit malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri 50
Şekil 14. Misel esaslı kompozit malzemelerin algıladığı yol gürültüsü 53
Şekil 15. A) PO ve GL mantar miselleri. B) Buğday tanesi besi ortamındaki PO ve GL katı inokulum 55
Şekil 16. Misel esaslı yalıtım malzemelerini üretimi 57
Şekil 17. Misel esaslı yalıtım malzemesi üretim şeması 58
Şekil 18. P.O mantarı ile 20 gün muamele edilmiş sarıçam odun yongaları 59
Şekil 19. Odun doğal plastik kompozitlerinin üretimi 60
Şekil 20. Odun doğal plastik kompozitlerinin üretim şeması 63
Şekil 21. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin üretimi 64
Şekil 22. Misel esaslı ambalaj malzemesi üretim şeması 65
Şekil 23. 1) Alkol/Benzen çözünürlüğü, 2-3) Holoselüloz, 4-5-6) Lignin tayini, 7-8) α-selüloz ve 9-10) %1'lik NaOH çözünürlüğü deneyleri 67
Şekil 24. FTIR-ATR spektroskopi cihazı 68
Şekil 25. Işık Mikroskobu 70
Şekil 26. Zwick Roell Z050 test cihazı 73

Şekil 27. Zwick Roell Z050 test cihazı 75
Şekil 28. Zwick Roell Z050 test cihazı 76
Şekil 29. Laser Comp Fox-314 ısıl iletkenlik cihazı 77
Şekil 30. Empedans tüpü test cihazıyla ses yutum katsayılarının belirlenmesi 78
Şekil 31. Empedans tüpü test cihazıyla ses geçiş kaybının belirlenmesi 79
Şekil 32. Zwick Roell Z010 test cihazı 82
Şekil 33. Zwick Roell Z010 test cihazı 83
Şekil 34. MTS test cihazı..... 86
Şekil 35. Sınırlayıcı oksijen indeks test cihazı 89
Şekil 36. Mantar Çürüklük testi..... 91
Şekil 37. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve GL mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan buğday sapı örneklerine ait FTIR spektrumları..... 106
Şekil 38. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan buğday sapı örneklerine ait FTIR spektrumları..... 107
Şekil 39. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve GL mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan sarıçam yongalarına ait FTIR spektrumları..... 108
Şekil 40. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan sarıçam yongalarına ait FTIR spektrumları..... 108
Şekil 41. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve GL mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak yongalarına ait FTIR spektrumları..... 109
Şekil 42. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak yongalarına ait FTIR spektrumları..... 110
Şekil 43. GL ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının ışık mikroskobuna ait görüntüleri 111
Şekil 44. GL ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odun yongalarının ışık mikroskobuna ait görüntüleri..... 112
Şekil 45. GL ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün inkübasyona maruz bırakılmış kavak odun yongalarının ışık mikroskobuna ait görüntüleri..... 113
Şekil 46. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının alkol/benzen çözünürlük oranları 180
Şekil 47. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının holoselüloz oranları 181
Şekil 48. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının lignin oranları..... 182

Şekil 49. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının %1'lik NaOH çözünürlük oranları 183
Şekil 50. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının α-selüloz oranları 184
Şekil 51. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun alkol/benzen çözünürlük oranları 185
Şekil 52. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun holoselüloz oranları 186
Şekil 53. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun lignin oranları 187
Şekil 54. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun %1'lik NaOH çözünürlük oranları 188
Şekil 55. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun α-selüloz oranları 190
Şekil 56. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun alkol/benzen çözünürlük oranları 191
Şekil 57. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun holoselüloz oranları 192
Şekil 58. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun lignin oranları 193
Şekil 59. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun %1'lik NaOH çözünürlük oranları 194
Şekil 60. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun α-selüloz oranları 195
Şekil 61. Ön işlem görmemiş (kontrol), GL ve PO mantarıyla aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılan buğday sapına ait 10., 20. ve 30. günlerindeki FTIR spektrumları 197
Şekil 62. GL ve PO mantarı ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının bazı pik yüksekliğindeki değişim oranları. I_{1510} lignin aromatik iskelet titreşimi, I_{1370} C-H deformasyonu ve kitinin artışını, I_{1143} selüloz ve hemiselülozda C-O-C titreşimini, I_{986} selülozda karbonhidratların C-H deformasyonunu ifade eder 199
Şekil 63. Ön işlem görmemiş (kontrol), GL ve PO mantarı ile inkübasyona maruz bırakılan sarıçam odunu yongalarına ait 10., 20. ve 30. günlerindeki FTIR spektrumları 201
Şekil 64. GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun bazı pik yüksekliğindeki değişim oranları 203
Şekil 65. Ön işlem görmemiş (kontrol), GL ve PO ile inkübasyona maruz bırakılan kavak odunu yongalarına ait 10., 20. ve 30. günlerindeki FTIR spektrumları 204
Şekil 66. GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun bazı pik yüksekliğindeki değişim oranları.

I_{1510} lignin aromatik iskelet titreşimi, I_{1370} C-H deformasyonu ve kitinin artışını, I_{1143} selüloz ve hemiselülozda C-O-C titreşimini, I_{986} selülozda karbonhidratların C-H deformasyonuna ifade eder. 205
Şekil 67. Sarıçam odun yongasının GL mantar ile farklı inkübasyon sürelerinde hüflerin büyümesi ve misel ağ yapısının oluşumu 208
Şekil 68. Buğday sapı ile GL ve PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhaları 209
Şekil 69. Misel esaslı yalıtım levhalarının yoğunluk değerleri 211
Şekil 70. Misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranları 212
Şekil 71. Misel esaslı yalıtım levhalarının kalınlık artış oranları 213
Şekil 72. Misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme dirençleri 216
Şekil 73. Misel esaslı yalıtım malzemelerin elastikiyet modülü 217
Şekil 74. Misel esaslı yalıtım levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri 218
Şekil 75. Misel esaslı yalıtım levhaların basınç direnci değerleri 219
Şekil 76. Misel esaslı yalıtım levhalarının LOI değerleri 219
Şekil 77. Misel esaslı yalıtım levhalarında TGA eğrileri 221
Şekil 78. Misel esaslı yalıtım levhalarında DTG eğrileri 223
Şekil 79. Misel esaslı yalıtım levhalarının termal iletkenlik katsayı değerleri 225
Şekil 80. Misel esaslı yalıtım levhalarının ses geçiş kaybı değerleri (dBa) 227
Şekil 81. Misel esaslı yalıtım levhalarının ses yutma katsayısı değerleri 228
Şekil 82. ODPK'lerin yoğunluk değerleri 231
Şekil 83. ODPK'ların su alma oranları 233
Şekil 84. ODPK'ların kalınlık artış oranları 235
Şekil 85. ODPK'ların çekme direnci değerleri 236
Şekil 86. ODPK'ların çekme direncine inkübasyon süresinin ve karışım oranlarının etkisi (a), inkübasyon süresinin ve mantar türünün etkisi (b) 239
Şekil 87. ODPK'ların çekme direncine inkübasyon süresinin ve ağaç türünün etkisi 240
Şekil 88. ODPK'ların çekmede elastikiyet modülü değerleri 242
Şekil 89. ODPK'ların çekmede elastikiyet modülüne inkübasyon süresinin etkisi (a), karışım oranlarının etkisi (b) 243
Şekil 90. ODPK'ların çekmede elastikiyet modülüne ağaç türünün etkisi (a), mantar türünün etkisi (b) 245
Şekil 91. ODPK'ların eğilme direnci değerleri 246
Şekil 92. ODPK'ların eğilme direncine inkübasyon süresinin etkisi (a), karışım oranlarının etkisi (b) 248

Şekil 93. ODPK'lerin eğilme direncine mantar türünün etkisi (a), ağaç türünün etkisi (b) 250
Şekil 94. ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülü değerleri 251
Şekil 95. ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülüne inkübasyon süresinin etkisi (a), karışım oranın etkisi (b) 253
Şekil 96. ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülüne mantar türünün etkisi (a), ağaç türünün etkisi (b) 255
Şekil 97. ODPK'ların darbe direnci değerleri 256
Şekil 98. ODPK'ların darbe direncine inkübasyon süresinin etkisi (a), karışım oranının etkisi (b) 258
Şekil 99. ODPK'ların darbe direncine mantar türünün etkisi(a), ağaç türünün etkisi(b) 260
Şekil 100. ODPK, kavak ve sarıçam odun örneklerinin LOI değerleri 261
Şekil 101. Kavak odun yongalarının PO mantarı ile 20 ve 30 gün inkübasyonu sonucunda üretilen ODPK'lerin TGA grafiği 263
Şekil 102. Kavak odun yongalarının GL mantarı ile 20 ve 30 gün inkübasyonu sonucunda üretilen ODPK'lerin TGA grafiği 264
Şekil 103. Sarıçam odun yongalarının PO mantarı ile 20 ve 30 gün inkübasyonu sonucunda üretilen ODPK'lerin TGA grafiği 265
Şekil 104. Sarıçam odun yongalarının GL mantarı ile 20 ve 30 gün inkübasyonu sonucunda üretilen ODPK'lerin TGA grafiği 266
Şekil 105. ODPK'larda meydana gelen ağırlık kayıpları 269
Şekil 106. Misel esaslı ambalaj malzemesinin yoğunluk değerleri 271
Şekil 107. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin su alma oranları 272
Şekil 108. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranları 273
Şekil 109. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin eğilme dirençleri 275
Şekil 110. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin elastikiyet modülü 276
Şekil 111. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin basınç direnci 277
Şekil 112. Misel esaslı yalıtım levhalarına ait SEM görüntüleri 278
Şekil 113. Kavak odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK'lerine ait SEM görüntüsü 280
Şekil 114. Sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK'lerine ait SEM görüntüsü 281
Şekil 115. Misel esaslı ambalaj malzemelerine ait SEM görüntüleri 282

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Farklı lignoselülozik materyallerden üretilen misel esaslı kompozitlerin yoğunluk, çekme, basınç ve eğilme direnci özellikleri 42

Tablo 2. Misel esaslı yalıtım malzemesi üretimindeki değişkenler 58

Tablo 3. Odun doğal plastik malzemesinin üretim değişkenleri 62

Tablo 4. Misel esaslı ambalaj malzemesinin üretim değişkenleri 65

Tablo 5. Kimyasal analizlerde kullanılan yöntemler 66

Tablo 6. Besin ortamında yetişen mantar misellerinin IR spektrumundaki (600-3800 cm^{-1}) gözlenen dalga boyları 68

Tablo 7. Biyo-bozunur malzemelerin belirlenen teknolojik özellik testleri 70

Tablo 8. GL ve PO mantarı ile farklı inkübasyon sürelerine maruz bırakılmış buğday sapı materyalinin kimyasal yapısındaki değişimler 92

Tablo 9. Buğday sapının ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini ilişkin basit Varyans analizi 93

Tablo 10. Buğday sapının alkol/benzen çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 93

Tablo 11. Buğday sapının holoselüloz oranına etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 94

Tablo 12. Buğday sapının lignin oranına etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 94

Tablo 13. Buğday sapının %1'lik NaOH çözünürlüğüne etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 95

Tablo 14. Buğday sapının α-selüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 95

Tablo 15. GL ve PO mantarlarına farklı inkübasyon sürelerinde maruz bırakılmış sarıçam odununun kimyasal yapısındaki değişimler 96

Tablo 16. Sarıçam odunun ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini ilişkin basit varyans analizi 97

Tablo 17. Sarıçam odunun alkol/benzen çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 97

Tablo 18. Sarıçam odunun holoselüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 98

Tablo 19. Sarıçam odunun lignin oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 99

Tablo 20. Sarıçam odunun %1'lik NaOH çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 99

Tablo 21. Sarıçam odunun α-selüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 100
Tablo 22. GL ve PO mantarı ile farklı inkübasyon sürelerine maruz bırakılmış kavak odun yongalarının kimyasal yapısındaki değişimler 101
Tablo 23. Kavak odunun ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini ilişkin basit varyans analizi..... 101
Tablo 24. Kavak odunun alkol/benzen çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 102
Tablo 25. Kavak odunun holoselüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 103
Tablo 26. Kavak odunun lignin oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 103
Tablo 27. Kavak odunun %1'lik NaOH çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)..... 104
Tablo 28. Kavak odunun α-selüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 104
Tablo 29. Misel esaslı yalıtım levhalarının yoğunluk değerleri 114
Tablo 30. GL ve PO mantarlarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranları..... 116
Tablo 31. GL ve PO mantarlarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının kalınlık artış oranları 117
Tablo 32. GL mantarı kullanılarak üretilen yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi 118
Tablo 33. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)..... 118
Tablo 34. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi 119
Tablo 35. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)..... 119
Tablo 36. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda kalınlık artışı oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 119
Tablo 37. PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi 120

Tablo 38. PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 120
Tablo 39. PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit Varyans analizi 121
Tablo 40. PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 121
Tablo 41. Misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri 122
Tablo 42. Misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direnç değerleri 123
Tablo 43. Misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direnç değerleri 124
Tablo 44. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi 125
Tablo 45. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direncine inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 125
Tablo 46. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direncine inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 125
Tablo 47. PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi 126
Tablo 48. PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direncine inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 126
Tablo 49. 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine mantar türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi 127
Tablo 50. 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine mantar türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi 127
Tablo 51. 30 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine mantar türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi 128
Tablo 52. Misel esaslı yalıtım levhalarının termal iletkenlik katsayı değerleri (W/m °K) 129
Tablo 53. Misel esaslı misel esaslı yalıtım levhalarının LOI değerleri 130
Tablo 54. Misel esaslı yalıtım levhaların ve buğday sapının TGA-DTG analizlerine ait bulgular 131

Tablo 55. Misel esaslı yalıtım levhalarının Ses geçiş kaybı değerleri 134
Tablo 56. Misel esaslı yalıtım levhalarının Ses absorpsiyon (yutma) katsayısı değerleri 134
Tablo 57. ODPK levhalarının yoğunluk değerleri 135
Tablo 58. ODPK'lerin su alma oranları 137
Tablo 59. Farklı varyasyonlarla üretilen ODPK'lerin su alma oranlarına ilişkin basit varyans analizi 138
Tablo 60. ODPK'lerin 1 saat sonunda su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 139
Tablo 61. ODPK'lerin 2 saat sonunda su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 140
Tablo 62. ODPK'lerin 8 saat sonunda su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 141
Tablo 63. ODPK'lerin 24 saat sonunda su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 142
Tablo 64. ODPK'lerin kalınlık artış oranları 144
Tablo 65. Farklı varyasyonlarla üretilen ODPK'lerin kalınlık artış oranlarına ilişkin basit varyans analizi 145
Tablo 66. ODPK'lerin 1 saat sonunda kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 146
Tablo 67. ODPK'lerin 2 saat sonunda kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 147
Tablo 68. ODPK'lerin 8 saat sonunda kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 148
Tablo 69. ODPK'lerin 24 saat sonunda kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 149
Tablo 70. Odun doğal plastik kompozitlerin mekanik özellikleri 152
Tablo 71. Varyasyonların odun doğal plastik kompozitlerin direnç değerlerine ilişkin basit varyans analizi 153
Tablo 72. Odun doğal plastik kompozitlerinin çekme direncine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 154

Tablo 73. Odun doğal plastik kompozitlerinin çekmede elastikiyet modülüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 155
Tablo 74. Odun doğal plastik kompozitlerinin eğilme direncine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 156
Tablo 75. Odun doğal plastik kompozitlerinin eğilmede elastikiyet modülüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 157
Tablo 76. Odun doğal plastik kompozitlerinin darbe direncine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 158
Tablo 77. Ağaç türü, mantar türü, inkübasyon süresi ve karışım oranlarının ODPK'ların mekanik özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi 160
Tablo 78. Karışım oranlarının çekme direncine etkisi 163
Tablo 79. Karışım oranlarının çekmede elastikiyet modülüne etkisi 163
Tablo 80. Karışım oranlarının eğilme direncine etkisi 163
Tablo 81. Karışım oranlarının eğilmede elastikiyet modülüne etkisi 164
Tablo 82. ODPK, kavak ve sarıçam odun örneklerinin (kontrol) LOI değerleri 164
Tablo 83. ODPK, kavak odunun kontrol ve sarıçam odunun kontrol örneklerinin TGA analizlerine ait bulgular 167
Tablo 84. Çürüklük mantarlarının ODPK'lerinde meydana getirmiş olduğu ağırlık kayıpları 169
Tablo 85. Misel esaslı ambalaj malzemelerin yoğunluk değerleri 171
Tablo 86. Ambalaj malzemelerinin su alma oranları (%) 171
Tablo 87. Mantar türünün ve inkübasyon süresinin ambalaj malzemelerin su alma oranlarına ilişkin basit Varyans analizi 172
Tablo 88. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 2 saat sonunda su alma oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 172
Tablo 89. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 24 saat sonunda su alma oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05) 173
Tablo 90. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 48 saat sonunda su alma oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05) 174
Tablo 91. Ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranları (%) 175

Tablo 92. Mantar türünün ve inkübasyon süresinin üretilmiş ambalaj malzemelerinin kalınlık artışı oranlarına ilişkin basit varyans analizi 175
Tablo 93. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 2 saat sonunda kalınlık artış oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 176
Tablo 94. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 24 saat sonunda kalınlık artış oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 176
Tablo 95. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 48 saat sonunda kalınlık artış oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$) 177
Tablo 96. Ambalaj malzemelerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci değerleri..... 178
Tablo 97. Mantar türünün ve inkübasyon süresinin üretilmiş misel esaslı ambalaj malzemelerinin direnç değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi 179
Tablo 98. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin basınç direncine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)..... 179
Tablo 99. EN 113 standardına göre odun çürütücü mantar saldırısının (basidiomycet mantarları) dayanıklılık sınıflarının (DC) atanması 269
Tablo 100. ODPK'ların *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarlarına karşı EN 113 standardına göre çürüklük dayanım sınıfları..... 270

SEMBOLLER DİZİNİ

AK	:	Ağırlık Kaybı
AWPA	:	Amerika Odun Korumacılar Birliği
EN	:	Avrupa Standartları
FTIR	:	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi
HG	:	Homojenlik Grupları
ISO	:	Uluslararası Standart Organizasyonu
NaOH	:	Sodyum Hidroksit
SAO	:	Su Alma Oranı
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
TS	:	Türk Standartları
IARC	:	Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
UV	:	Ultraviyole
OPK	:	Odun Plastik Kompozitleri
ODKP	:	Odun Doğal Plastik Kompozitleri
MEB	:	Milli Eğitim Bakanlığı
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
MPa	:	Megapaskal
GL	:	*Ganoderma lucidum*
PO	:	*Pleurotus ostreatus*
TAPPI	:	The Technical Association of the Pulp and Paper Industry
ºC	:	Santigrat derece
mm	:	Milimetre
cm	:	Santimetre
gr	:	Gram
kg	:	Kilogram
N	:	Newton
LOI	:	Sınırlayıcı Oksijen İndeks
TV	:	*Tramates-versicolor*
CP	:	*Coniophora puteana*
kPa	:	Kilopaskal

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu ilk çağlardan itibaren ihtiyaçlarının birçoğunu karşılamak üzere, örneğin; ısınma, barınak, çeşitli kaplar, aletler, araçlar ve gemilerin yapılmasında ağaç malzemeleri kullanmıştır. Ahşap; yenilenebilir, geri dönüştürülebilir ve doğada biyolojik olarak bozundurulabilir organik esaslı bir malzemedir. Lignoselülozik malzemeler sahip oldukları özelliklerinden dolayı kimya, enerji ve orman endüstrisi olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte ağaç malzemeye olan talep de artmıştır. Bundan dolayı, ağaç malzemelerin daha verimli kullanılmasının yolları yoğun bir şekilde araştırılmıştır. Örneğin, 1936 yılında F. Pfohl tarafından odun kompozit malzemesi üretilmiştir (Deppe ve Ernst, 1964). Daha sonraki yıllarda ise farklı yöntemlerle çeşitli odun kompozitleri üretilmeye başlanmıştır. Odun kompozitleri lignoselülozik materyalin lignoselülozik malzeme ya da başka bir malzeme ile tutkallar kullanılarak üretilmektedir. Odun kompozit malzemelerin üretiminde ucuz ve yapışma dirençlerinin yüksek olması nedeniyle sentetik yapıştırıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır (Kalaycıoğlu, 2012). Günümüzde odun kompozitlerinin üretiminde en yaygın kullanılan sentetik yapıştırıcı ise üre formaldehit tutkalıdır. Üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen malzemelerin içeriğindeki formaldehitten dolayı insan sağlığına ve çevreye zararlı olduğu tespit edilmiştir. Formaldehit emisyonu, maruz kalınan yoğunluğuna bağlı olarak deri, göz ve solunum yollarında alerjik tepkimelerden, kansere hastalıklarına kadar varabileninsan sağlığının bozulmasına sebep olabilmektedir (IARC, 2004). Formaldehit emisyonunun azaltılması ve yeni tutkalların geliştirilmesine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve halen de gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda gerek sentetik gerekse doğal esaslı geliştirilen tutkalların ekonomik olmaması, yapışma direncinin düşük olması, toksik etki göstermesi, biyolojik olarak bozunabilir olmaması ve kullanım yerlerinde biyolojik uyumluluk göstermemesi gibi nedenlerden dolayı kullanımları başarıya tam anlamıyla ulaşamamıştır (Wescott ve Fihart, 2004).

Yine son yıllarda geliştirilen ve günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan odun plastik kompozitlerinin birçok avantajlı yönlerinin yanında, sıcaklıktan etkilenmesi, UV degradasyonuna uğraması sonucu renginin solması/değişmesi, biyolojik olarak

bozunmaması ve geri dönüşümünün sınırlı olması gibi dezavantajlı yönleri bulunmaktadır (Kobbe 2005; Wang ve ark., 2010; Tufan ve Mengeloğlu, 2010). Her ne kadar son yıllarda odun plastik kompozitlerinin üretiminde biyolojik olarak bozunabilen plastikler kullanılmasına yönelik yoğun çalışmalar yapılsa da söz konusu biyo-bozunur plastiklerin çok pahalı olması, biyolojik olarak bozunma şartları ve sürelerindeki tartışmalar nedeniyle bu konudaki problemler tam olarak çözüme kavuşturulamamıştır. Yine renk solması ve UV-degradasyonunun önlemesine yönelik UV-absorplayıcı kimyasalların kullanılması yönünde birçok çalışma mevcuttur (Yáñez-Pacios ve Martín-Martínez, 2018; Vedrtnam vd., 2019).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan gerek ambalaj gerekse yalıtım malzemeleri (strafor, köpük vb) genellikle petrol esaslı maddelerden üretilmektedir. Söz konusu malzemeler; biyolojik olarak bozunur olmaması, toksik maddeler içermesi, yanıcı olması gibi birçok dezavantajlara sahiptirler.

Hüf; mantar hücrelerinin uç uca eklenmesiyle meydana gelen mikroskobik iplikçikler halindeki yapıdır. Hüflerin toplamına, yani, kitle halinde bir araya gelmiş şekline ise misel denmektedir. Hüfler normal ortam koşulları altında herhangi bir enerji girdisi olmaksızın organik materyalleri bozundurur ve yüzenine tutunur/yapışır. Bunun sonunca doğal kendi kendine yapışma özelliği gösteren bir tutkal gibi hareket eder. Misellerin yapısındaki hüflerin büyümesi ve ağ yapısının genişlemesiyle yapısal olarak bağlama özelliği kazandırır. Mantar hücre çeperinde bulunan kitin ve oligosakkarit esaslı beta-glukanların yapışmayı/bağlamayı arttıran diğer bir etken olduğu düşünülmektedir (Wesenberg vd., 2003; Narayanaswamy vd., 2013; Sauerwein vd., 2017; Abhijith vd., 2018; de Paula vd., 2019). Miseller sentetik liflerle kıyaslandığında düşük yoğunluğa sahip olmaları, ekonomik olmaları, üretim safhalarında daha az enerji gereksinimleri ve muhtemelen en önemlisi biyobozunabilir olmaları gibi bazı temel avantajlara sahiptirler (Arifin ve Yusuf, 2013; Haneef vd., 2017; Abhijith, 2018).

Odun çürütücü mantarların lignoselülozik materyalleri kontrollü bozundurmasıyla hem mantar misellerinin ağ yapısı sayesinde hem de mantar hücre çeperinin bağlanma/yapışma özelliğinden yararlanarak çevre dostu ve biyobozunabilir malzemelerin (doğal odun plastik kompozitleri ve yalıtım malzemeleri) üretilmesi ileriki bölümlerde bahsedildiği üzere mümkün olabilecektir. Mevcut yaygın olarak kullanılan ürünlerdeki dezavantajlı durumlar (formaldehit emisyonu ve/veya bozunmaması ve/veya toksik olması ve/veya yok edilememesi ve/veya yanıcı olması ve/veya çevre dostu olmaması, vb.) ortadan

kaldırılacak veya en azından yukarıda bahsedilen olumsuz yönlerin minimum seviyeye indirilmesi mümkün olabilecektir.

Yukarda bahsedilen problemlerin çözümüne katkıda bulunabilmek amacıyla bu tez çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amaçları;

• Lignoselülozik materyallerin (sarıçam odun yongaları, kavak odun yongaları ve buğday sapı) iki farklı (*Pleurotus ostreatus* (PO) ve *Ganoderma lucidum* (GL)) beyaz çürüklük mantarlarıyla ön işlemi sırasında (inkübasyon periyodu) lignoselülozik materyallerin kimyasında meydana gelen değişimler ve mantar misellerinin lignoselülozik materyale bağlanma/yapışma mekanizmasının aydınlatılması,

• İnkübasyon süresinin, mantar türünün, üretilecek biyo-bozunur malzemelerin teknolojik özelliklerine etkilerinin belirlenmesi ve elde edilen bulgular ışığında her bir malzeme için en uygun hammadde, mantar türü ve inkübasyon süresinin tespit edilmesi,

• Tamamen biyo-bozunur odun doğal plastik kompozitlerinin üretilmesi ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi,

• Misel esaslı yalıtım malzemesi üretilmesi ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi,

• Misel esaslı ambalaj malzemesi üretilmesi ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesidir.

1.2. Lignoselülozik Malzemelerin Kimyasal Yapısı

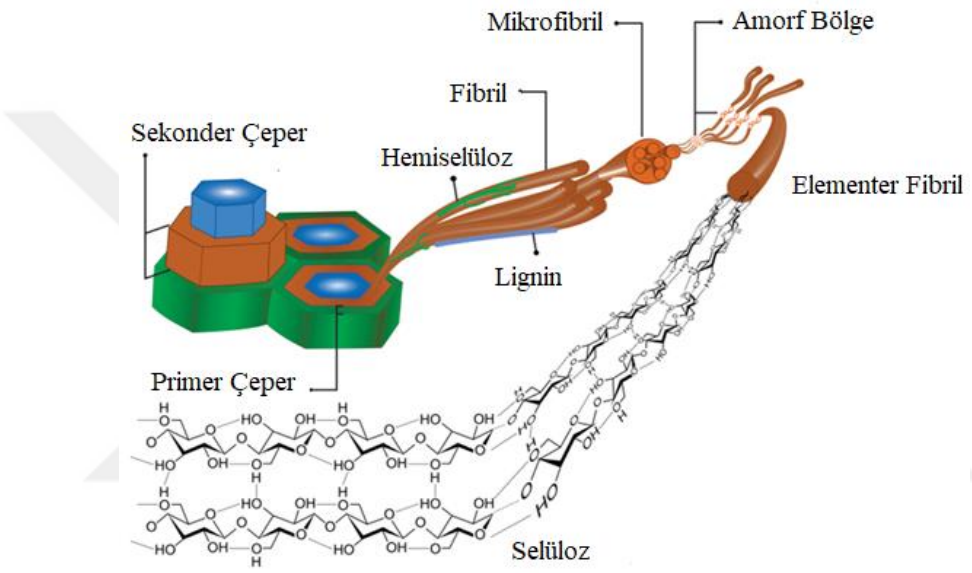
Lignoselülozik materyal organik bir malzemedir, yani karbon içerir. Farklı lignoselülozik malzeme türleri arasında çok az değişiklik olsa da karbon, oksijen ve hidrojen olmak üzere üç ana elementten oluşur (Holik, 2006).

Bu elementler selüloz, hemiselüloz ve ligninin ana hücre çeperi bileşiklerini temsil eden makromolekülleri (yani polimeri) oluştururlar. Bunlar tüm lignoselülozik materyalin ana bileşenleridir. Daha az miktarda ise, düşük molekül ağırlıklı maddeler de (örneğin ekstraktifler ve kül) bulunabilir ve bunlar bireysel bitki taksonlarını temsil eder (Holik, 2006).

Lignin ve hemiselülozların oranları ve kimyasal bileşimi, iğne yapraklı ve geniş yapraklı ağaçlarda farklılık gösterirken, selüloz, tüm ağaçlarda nispeten tekdüze bir bileşendir. Ilıman iklim kuşaklarında, odunsu malzemenin hücre çeperini oluşturan yüksek polimerik bileşikleri %97-99'unu oluştururken, tropikal iklim kuşağındaki ağaçlar için bu

değer %65-75'i oluşturmakta olup, ortalama hücre çeperi polimerik bileşikleri %90'na kadar düşebilmektedir (Holik, 2006).

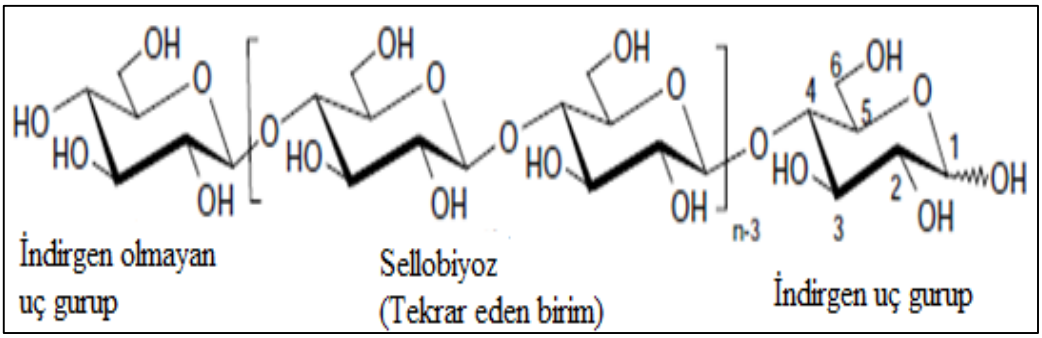
Temel olarak selüloz, hemiselüloz, lignin, üronik asitler ve asetil grupları bitkilerdeki lignoselülozik maddeleri oluşmaktadırlar (Şekil 1). Hemiselülozik ve selülozik kısımlar monosakkaritlerden oluşur. Monosakkaritler ise glukoz, mannoz, galaktoz, ksiloz ve arabinozu bulundurur ve bileşimleri bütünüyle hammaddenin doğasıyla ile ilgilidir (Beyatlı, 1996).



Şekil 1. Bitkilerden elde edilen selülozun hiyerarşik yapısı (Rojas vd., 2015).

1.2.1. Selüloz

Miktar açısından, selüloz dünya çapında en bol bulunan yenilenebilir polimer kaynağıdır (Holik, 2006). Selüloz, β-1,4-glikozidik bağlantılı D-glukopiranoz birimlerinden (anhidroglikoz birimleri) oluşan katı bir doğrusal homopolimerdir (Şekil 2). Temel birim olarak sellobiyoz ile selüloz, sellobiyozun eşyanlı çoğuzları olarak düşünülebilir. Her anhidroglukoz birimi, birincil ve ikincil alkollerin tüm tipik reaksiyonlarına girebilen C2, C3 ve C6 konumlarında hidroksi gruplarını taşır. C4'teki uç hidroksil grubu aynı zamanda tipik bir alifatik hidroksil gibi davranırken, C1'deki indirgen uç OH tamamen farklı bir davranış gösterir. Bir semiasetal formunda bulunan C1 ucu, indirgeyici bir karaktere sahiptir ve C4 hidroksi grubu indirgen uç değildir (Holik, 2006).



Şekil 2. Selülozun moleküler yapısı (Holik, 2006)

Her bir glukoz ünitesi 180˚ dönerek oksijen köprüsüyle birbirlerine bağlanmasıyla selüloz moleküllünü meydana getirirler (Şekil 2). Bundan dolayı selüloz molekülü gerilimsiz ve kimyasal ataklara karşı oldukça dirençlidir (Kırcı, 2014).

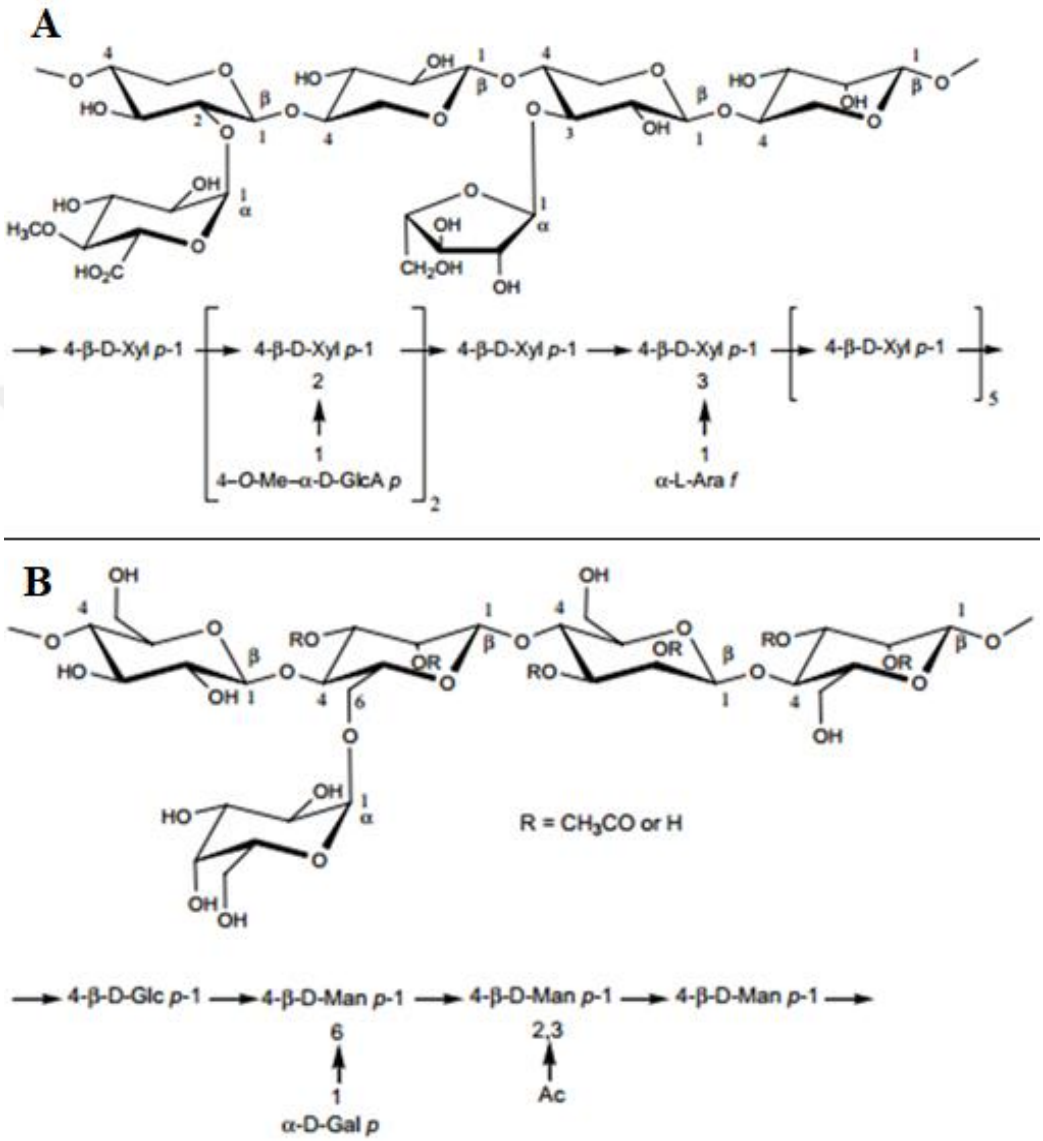
Selüloz molekülündeki D-glukoz ünitelerinin sayısına polimerleşme derecesi (DP) (<10000) denilmektedir (Fengel ve Wegener 1989).

Elementer fibril, ortalama 3.5 nanometre (nm) çapta ve 25-100 selüloz moleküllerinden oluşmaktadır (Frey-Wyssling ve Mühlethaler, 1963). Mikrofibriller, hemiselülozlar ile çevrilmiş birçok elementer fibrillerinden oluşmaktadır (Fengel, 1970). Mikrofibriller, yaklaşık 4-5 nm çapta olup hemiselülozlar ve lignin ile çevrili sadece bir elementer fibrilden oluşmaktadır. Fibriller ise yaklaşık 10-30 nm çapta olup hemiselülozlar ve lignin ile çevrili mikrofibrillerden oluşturmaktadır. (Duchesne ve Daniel, 2000; Duchesne vd., 2001). Şekil 1'deki selüloz ve hemiselüloz-lignin teorik modelleri olup bu matrisler arasındaki bağlantı doğrulanmamıştır.

1.2.2. Hemiselülozlar

Hemiselülozlar heteropolisakkaritlerdir. Selülozdan birkaç şeker parçasından oluşmaları, çoğunlukla dallanmaları ve 50 ila 200 DP'si ile daha düşük moleküler kütlelere sahip olmaları ile ayrılırlar. Hemiselülozlar pentozlar (ksiloz ve arabinoz birimleri), heksozlar (glikoz ve mannoz birimleri), üronik asitler (glukuronik asitler) ve deoks-heksozlar (ramnoz birimleri)'dan meydana gelen polisakkaritlerdir. Hemiselülozların ana zinciri yalnızca bir birimden (homoplimer; örneğin ksilanlar) veya iki veya daha fazla birimden (heteropolimer; örneğin glukomannanlar) oluşabilir (Şekil 3). Birimlerden bazıları

her zaman (veya bazen) bir ana zincirin yan gruplarıdır, örneğin 4-0-metilglukuronik asit galaktoz (Holik, 2006).



Şekil 3. İğne yapraklı ağaçlardaki hemiselülozların yapısı. Glukomannan (A) ve Ksilan (B) (Sjöström, 1993).

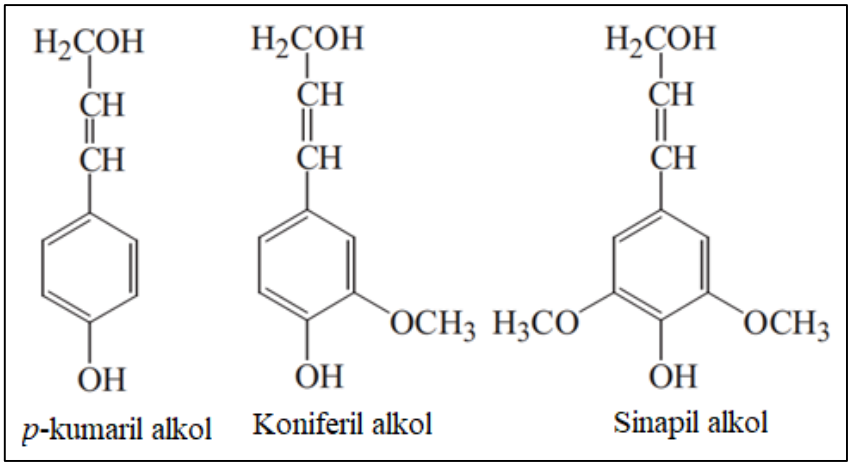
Odunun hücre çeperlerindeki hemiselülozların türü ve içeriği ile ilgili olarak iğne yapraklı ağaç ve geniş yapraklı ağaç arasında da önemli farklılıklar vardır. Odunda bulunan glukozik şeker içermeyen birimleri ile ilgili olarak, iğne yapraklı ağaçların yüksek oranda mannoz birimlerine ve geniş yapraklı ağaçlara göre daha fazla galaktoz birimlerine sahip

olduğu, geniş yapraklı ağaçların ise iğne yapraklı ağaçlardan daha yüksek oranda ksiloz birimlerine ve daha fazla asetil grubuna sahip olduğu bilinmektedir (Holik, 2006).

1.2.3. Lignin

Üçüncü ana hücre çeperi polimeri lignindir. Lignin bitkilerde en bol bulunan ve en önemli polimerik organik maddedir. Bu, açık tohumlular ve angiospermler gibi yüksek bitkilerin dokusunun karakteristik bir kimyasal ve morfolojik bileşeni olup vasküler dokuda meydana gelir, sıvı taşıma ve mekanik destek görevi görür. Farklı bitkilerde bulunan lignin miktarları oldukça değişkendir. Odun türlerinde lignin içeriği %20 ila %40 arasında değişirken, suda yaşayan ve otsu angiospermlerin yanı sıra birçok monokotiledon daha az odunlaşmıştır. Ağacın farklı kısımlarının hücre çeperindeki lignin miktar uniform değildir. Örneğin, büyük miktarlarda lignin, iğne yapraklı ağaç dalları ve basınç odunu için karakteristiktir (Holik, 2006).

Lignin, esas olarak ağaç odunlarında monolignollerin radikal eşleşme reaksiyonları ile oluşturulan çapraz bağlı bir fenolik polimerdir. Bunlar; fenilpropanoid yolu yoluyla sentezlenen p-kumaril alkol, koniferil alkol ve sinapil alkollerdir (Şekil 4) (Holik, 2006).



Şekil 4. Lignini oluşturan monomerler (Ek, 2009)

Üç monolignol yapı biriminin (guasil, sringil ve p-hidroksifenil birimleri) oranlarına bağlı olarak ligninin kimyasal reaktivitesindeki varyasyonları, farklı ağaç türlerinde olduğu

kadar farklı dokularda ve hatta hücre çeperi katmanlarında da farklılık göstermektedir (Holik, 2006).

Yapraklı ağaç odun ligninleri sringil-guasil lignini olarak isimlendirilir. İğne yapraklı ağaç odun ligninleri ise koniferil alkolün polimerizasyon ürünü olup guasil lignini olarak adlandırılır. Lignin en fazla orta lamelde olmasına rağmen sekonder çeperde yayılmıştır. Lignin C-O-C ve C-C bağlarından oluşmuş 3 boyutlu yapıya sahip, amorf ve aromatik bir polimerdir (Holik, 2006).

1.3. Yalıtım Malzemesi

İstenmeyen ve rahatsız edici sesleri gürültü olarak ifade etmek mümkündür. Teknolojik gelişmeler, dikey yönde mimarinin artması, iş yerlerinin yaşam alanlarımız ile bütünleşmiş olması, günlük yaşantımızda kullandığımız elektronik makine ve cihazlar gibi pek çok faktör sebebiyle gürültü ve onun zararlı etkilerine maruz kalmaktayız. Günümüz insanı yaşamının büyük kısmını ev, iş ve seyahat gibi kapalı mekânlarda geçirmektedir. Teknolojik seviyesi yüksek pek çok makine- teçhizat yaşamımızın vazgeçilmezleridir. Tüm bu elektrikli, motorlu ve yüksek performans ile çalışan makine- teçhizatlar niteliğine bağlı olarak az ya da çok ses yaymaktadır. İnsan sağlığı ve iş verimi üzerinde ciddi anlamda olumsuz etkisi bulunan gürültü kapalı ortamlarda mutlaka izole edilmelidir. Yapılan çalışmalara göre; yalıtımlı ortamlarda çalışanların verimliliklerinin ve iş tatminlerinin yüksek olduğu buna bağlı olarak meslek hastalıkları ve iş kaza oranlarının da önemli derecede düştüğünü belirtmiştir (Erol ve Aydemir, 2021).

Ulusal ve uluslararası pek çok yönetmelik ve standartta gürültü ile mücadele mevzuatları çıkartılmıştır. Gürültü ile mücadelede öncelikli konu gürültüye sebep olan faktörlerin tespit edilmesidir. Daha sonra gürültünün zararlı etkilerini tolerans aralıklarına getirmek, yalıtım özelliklerini geliştirmek, maruziyet süresini azaltmak veya daha hoş bir ses ile maskelemek gibi yöntemler uygulanarak izolasyon yapılabilir.

Gürültüyü, gürültüye sebep olan kaynakta, yayıldığı mekân ve mekân sınırında olmak üzere 3 şekilde kontrol altına almak mümkündür (Erol, 2019). Sesi kaynağında izole etmek için ses yalıtıcı malzemeler ile kaplamak, ses bariyerleri ile çevrelemek suretiyle yansıma sürelerini azaltmak, kaynağın yapısı üzerinde değişiklikler yapmak, oturduğu yüzey ve montaj yöntemini kontrol etmek gibi uygulamalar yapılabilmektedir (Cowan, 2007). Genellikle gürültü hava ve yapı elemanları aracılığı ile iletilmektedir. Hava ile iletimin

olduğu ortamlarda ideal yöntem ses yalıtımı ve akustik uygulamadır. Yapı elemanları ile aktarılan gürültü için ise sönümleme ve titreşimi azaltıcı izolasyon önlemleri alınması gerekmektedir (Turan, 2005).

Akustik düzenlemeden kastedilen sesin rahatsızlık vermeyecek bir seviyeye çekilmesidir. Rahatsız edici ses, bulunduğu ortamdaki mobilya ve demirbaşın yalıtım kabiliyetine, iç mekânda kullanılan tasarım ve kaplama malzemelerinin niteliğine ve mekânın hacmine bağlıdır (OWAcoustic, 2019). Gürültü yalıtımında tekstil esaslı yüzeylerin kullanımı yaygın olmakla birlikte yalıtım amaçlı yeni ve yalıtım kapasitesi yüksek bir çok materyal de mevcuttur. Bir kısmı seri üretime geçmemiş olsa da özellikle geri dönüşümlü malzemeler araştırmacıların ilgilisini çekmektedir.

1.3.1. Ses Yutumu ve Ses Yalıtımı

Genellikle karıştırılan ses yutumu ve ses yalıtımı kavramları önemli iki kavramdır. Logaritmik bir kavram olan ses yalıtımı ses geçiş kaybıyla ilgili olup gürültünün olduğu bir ortamdan başka bir ortama sesin geçişinin azaltılmasıdır. Ses yutumu ise lineer bir kavram olup çınlama süresi ve yankı ile ilgilidir (Bonus Wooler, 2014). Kapalı ve boş bir mekânın yankı-çınlama süresinin eşyalarla dolu bir mekâna göre farkıdır. Bu fark ses yutma yeteneği olan gözenekli materyallerden üretilmiş eşyaların bulunması ile ilgilidir.

Ses yutumu için gözenekli malzemeler, ses yalıtımı için ise yansıtıcı ve özellikle masif malzemeler kullanıldığında etkili sonuçlar elde edilebilir (Kocatepe vd., 2018). Genellikle havayı geçiren bir malzeme sesi de geçirebilmektedir. Ancak ses yutum performansı iyi olan bir malzemenin sesi yalıtım performansının da iyi olması mümkün değildir. Bundan dolayı, ses yutumu yüksek olan bir malzeme düşük yoğunluklu olup yüksek hava geçirime özelliktedir (Erol vd., 2018). Sandviç yapıda bir materyalin merkez katmanına yutum özelliği yüksek bir malzeme kullanılması durumunda yalıtım özelliği önemli oranda yükselecektir. Genellikle gözenekli ve kalın bir malzemenin ses yutumu performansı yüksek olup hava geçirimli olduğundan ses geçiş kaybı düşüktür (Paşayev ve Erol, 2018).

1.3.2. Yalıtım Malzemelerinin Akustik Performansını Etkileyen Faktörler

Yalıtım malzemelerinin akustik performansını etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlar, malzemenin kalınlığı, içindeki hava boşluk miktarı, hacimsel yoğunluğu, gözenekliliği, hava akış direnci, lif yapısı, lif içeriği, lif yönlenmesi ve bağlayıcı materyal gibi faktördir (Erol ve Aydemir, 2021).

Yalıtım malzemesinin kalınlığı ve yoğunluğu artıkça akustik özellikleri da artmaktadır (Koizumi vd., 2002; Küçük ve Korkmaz, 2012).

Ses yutumu için yalıtım malzemesinin yüzeyinde ki gözenek tipi, büyüklüğü ve sayısına bağlıdır. Gözenekli yalıtım malzemelerin yapısında %90 oranında hava boşluğu vardır. Ses enerjisi bu hava boşluğundaki hava içerisine girer ve orada izole edilir. Ancak düşük frekanslardaki ses dalgaları yalıtım malzemesi içine giremez ve yüzeydeki gözeneklerin sert duvarlarında yansımaya uğrayabilirler. Hava akış direnci ve gözeneklilik akustik performansını etkileyen önemli bir faktördür (Zent ve Long, 2007; Seddeq, 2009).

Lifin inceliği, geometrisi, enine kesiti ve içeriği akustik özelliği etkilemektedir. İnce ve farklı enine kesitte ki liflerden üretilen yalıtım malzemelerinin birim ağırlığında daha fazla lif olduğundan ve yüzey alanı arttığından akustik özelliği yükselmektedir (Tascan ve Vaughn, 2008). İnce liflerin kullanıldığı yapılarda yoğunluğun arttırılması ile paralel olarak lifler birbirine dolanacağından ses geçişi kaybı sağlanacaktır (Ballagh, 1996; Lee ve Joo, 2004; Tascan vd., 2011; Shahani, vd., 2013).

Ses yalıtım özelliğini etkileyen diğer bir önemli faktör ise bağlayıcı maddedir. Bağlayıcı maddenin belli bir sınır değere kadar artışının ses yutumunu artırdığı ancak sınır değeri aştığında ise yalıtım malzemesinin sert ve kırılgan hale gelir veses yutumu özelliği azalacak yansıtma artacaktır (Demiryürek ve Aydemir, 2017). Ayrıca kullanılan bağlayıcı maddenin çözücü türü akustik özelliklerini etkilemekte olup suda çözünen bağlayıcıların kullanılması ile ses yutumu artmaktadır (Stanciu vd., 2012).

1.3.3. Yalıtım Malzemesi Üretiminde Kullanılan Materyaller

Ses yalıtım malzemesi üretimi için sentetik, mineral ve metalik olmak üzere birçok malzeme kullanılmaktadır. Fakat hafifliği, kolay üretilebilmesi, gözenekli yapısı ve düşük maliyetli olması sebebiyle lifli malzemeler daha fazla tercih edilmektedir. Dokuma ve örme kumaşlar, halılar ile dokusuz yüzeyler de ses yalıtım malzemesi üretiminde yaygın olarak

talep edilmektedir. Duvar kaplamalarında kullanılan püsküllü halılar (Shoshani ve Wilding, 1991) ve döşemelik kumaşlar (Zafirova ve Uzunovich, 1998) ile otomotiv tavan, bagaj, kapı panelleri ile koltuk yüzeylerinde kullanılan örme kumaşların kapalı alandaki sesi önemli derecede yuttuğu belirtilmiştir (Dias vd., 2007). Bu kumaşların kalınlığına, sıklığına, lif içeriğine ve kumaş konstrüksiyonuna bağlı olarak yalıtım özellikleri farklılık gösterebilmektedir (Soltani ve Zerrebini, 2012).

1.3.3.1.1. Taş Yünü

Taş yünü mineral kökenli olup, %97 doğal elyafa sahip, yangına karşı dayanıklı (760°C'ye kadar olan sıcaklıklarda), su itici özelliğe sahip yalıtım malzemesidir. Zamanla küflenmeyen, paslanmaya sebep olmayan ve yüksek frekanslardaki gürültü karşı yüksek ses yutum performansı gösteren bir malzemedir (Aterstore, 1996).

1.3.3.1.2. Cam Yünü

Cam yünü inorganik silis kumunun çeşitli işlemler sonucunda üretilen lifli dokusuz yüzeyli bir malzemedir. Kullanıma bağlı olarak şilte, levha ve boru şeklinde üretilebilen ısı yalıtımı ve akustik tasarımlarda kullanılmaktadır (İzocam, 1965). Endüstri boruları, ısıtma tesisatı boruları, güneş enerjisi tesisatı borularının donmaya ve terlemeye karşı muhafazasında tercih edilmektedir.

1.3.3.1.3. Ahşap Yünü

Ahşap yünü, ahşap lifi ile magnezit bağlayıcının çeşitli işlemlerden geçirilmesi ile elde edilen dokusuz yüzey malzemedir. Ses yalıtımı ve ısı yalıtımı istenen yapıların mantolamasında tercih edilmektedir. Kapalı toplu yaşam alanların (sinema ve tiyatro salonları gibi yapıların) duvar ve tavan kaplaması ya da bölme duvar maksadıyla tercih edilmektedir (URL, 20).

1.3.3.1.4. Tavuk Tüyü

Tavuk tüyü, sakal denilen liflerin merkezinde bulunan sap (rachis) bölümünden ayıklanması ile tavuk tüyü lifi üretilebilmektedir. Gözenekli iç yapısından dolayı ses yutumu performansı yüksektir. Ülkemizde yıllık 100000 tonun üzerinde tavuk tüyünün açığa çıktığını belirtilmiştir. Bu tavuk tüyünün %8-10 civarı verimli kullanılırken geri kalan kısmı atık olarak bertaraf edilmektedir (Erol, 2019).

1.3.3.1.5. Kenaf Lifi

En çok yayılımını Güney Afrika, Asya ve Hindistan gibi çok sıcak iklim bitkisinin kökünden elde edilen kenaf lifidir (*Hibiscus Cannabinus*) (Dempsey, 1975). Kenaf lifi lifli yapısından dolayı hem tek başına hem de kompozit malzemelerin üretiminde yaygın kullanılmaktadır. Selüloz sektöründe, inşaat malzemelerinde, hayvan besini olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir.

1.3.3.1.6. Kenevir Lifi

Kenevir, odunsu ve bir yıllık bitki olup Cannabinaceae familyasındandır. Tüm dünyaya yayılımı olan kenevir anavatanı Asya'dır. Günümüzde 2 alt türü olan *Cannabis sativa* ve *Cannabis indica*'dır. *Cannabis sativa* lif üretiminde kullanıldığı için endüstriyel uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Dünyada endüstriyel kenevir lifleri, mukavemet, dayanıklılık, ısıl iletkenlik özellikleri, ses yalıtım özellikleri ve UV ışınlara karşı direnç gibi farklı özelliklerinden dolayı dünyada endüstriyel bir malzeme olarak kullanılmaktadır (Awwad vd., 2012).

1.3.3.1.7. Hindistan Ceviz Lifi

Hindistan ceviz lifi, tropikal iklim bölgesinde yetişen Hindistan ceviz ağaç meyvesinin kabuğunda olan ve oldukça sert yapısından dolayı tarımsal artık olarak değerlendirilir. Olgunlaşmış Hindistan cevizinden ekstraksiyon işlemleriyle lifler elde edilir. Elde edilen lifler hem kurutulup elyaf halinde hem de preslenerek balyalar halinde üretilir (Berardi and

Lannace, 2015). Hem düşük hem de yüksek frekanstaki seslere karşı iyi akustik özelliklere sahip olduğu için petrol bazlı ticari ürünlere bir alternatif malzeme olarak kullanılabilir (Rozli ve Zulkarnain, 2010).

1.3.3.1.8. Koyun Yünü

Koyun yünü eski zamanlardan beri ısı yalıtım özelliği sayesinde kıyafet olarak kullanılmaktadır. Bunula birlikte, yapılan çalışmalar yün malzemesinin ses yalıtımında da kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Ballagh, 1996). Yün liflerinin insan sağlığına tespit edilmiş bir zararı bulunmamaktadır. Koyun yünü liflerinin kalınlık ve yoğunluğu artıkça ses yutum performansının da artığı tespit edilmiştir (Berardi and Lannace, 2015).

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemeleri (strafor, köpük vb) genellikle petrol esaslı maddelerden üretilmektedir. Söz konusu malzemeler; biyolojik olarak bozunur olmaması, toksik maddeler içermesi, yanıcı olması gibi birçok dezavantajlara sahiptirler. Bu nedenle bu proje kapsamında odun çürütücü mantarların buğday sapı (saman) kontrollü bozundurulması sağlanarak hem mantar misellerinin ağ yapısı sayesinde hem de mantar hücre çeperinin bağlanma/yapışma özelliğinden yararlanarak çevre dostu ve biyobozunabilir misel esaslı yalıtım malzemesi üretilmesi amaçlanmıştır.

1.4. Odun Plastik Kompozitleri

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesiyle, kullanılan malzemelerin özelliklerinden farklı faydalı özelliklerin yeni materyale kazandırılmasıdır (Mengeloğlu vd., 2002). Kompozit malzemeyi bir araya getiren malzemeler kimyasal yapılarını koruyarak beraber çalışırlar. Kompozit malzemenin teknolojik özellikleri bileşen materyallerin özelliklerinden daha iyidir (Kim ve Pal, 2010).

Lignoselülozik malzeme ile termoset veya termoplastik polimerlerin birleştirilmesiyle elde edilen odun plastik kompozitleridir (Rowell, 2005). Lignoselülozik malzemeyle fenolik, epoksi, alkid, polyester, amin, alil reçineleri, poliüretan köpükler gibi termoset reçineler pres altında belirli bir sıcaklıkta birleşerek odu plastik kompozitleri elde edilir. Lignoselülozik malzeme ile polietilen, polipropilen, polivinilklorür, polistiren, poliamid,

polietilentereftalat gibi termoplastiklerde ise plastik, ekstrüder, enjeksiyon kalıplama gibi yöntemler kullanılarak üretilir. (Güller, 2001; Özmen vd., 2014).

Odun plastik kompozitler (OPK) kullanımı 1900'lerin başlarına kadar uzanmaktadır. 1907 yılında Leo Beakeland yaptığı çalışmada fenol-formaldehit ve odun unun birleştirilmesiyle üretilen ilk odun plastik kompozit bakalit'tir. İlk ticari kullanımını ise 1916'da Rolls Royce için vites topuzu olarak üretilmiştir (Gordon, 1988).

OPK yalnız ahşap malzemeye ve/veya plastiğe malzemeye göre bazı avantajları vardır:

- Rutubete karşı yüksek dirençlidir,
- Çalışması çok az olup yüksek boyutsal stabiliteye sahiptir,
- Üretiminde kullanılan atık malzemelerden dolayı doğa dostudur,
- İsteğe göre boyutlandırılabilir,
- Bakımı kolaydır,
- Mantar ve böceklere karşı dayanıklıdır.

OPK'nin başlıca dezavantajları ise;

- Üretim kapasitelerinin düşük oluşu,
- Enerji giderlerinin yüksek oluşu,
- Odunsu materyale göre yoğunluklarının yüksek oluşu (Principia 2002, Karakuş, 2008, Mengeloğlu ve Karakuş 2008).
- Sıcaklıktan etkilenmesi,
- UV degradasyonuna uğraması sonucu renginin solması/değişmesi,
- Biyolojik olarak bozunmaması ve geri dönüşümünün sınırlı olması (Kobbe 2005; Wang ve ark., 2010; Tufan ve Mengeloğlu, 2010)

1.4.1. OPK Üretiminde Kullanılan Materyaller

Lignoselülozik malzeme ile polimerin bir araya gelmesiyle elde edilen ürün OPK olarak isimlendirilmektedir (Avcı, 2012).

1.4.1.1. Lignoselülozik Materyal

Lignoselülozik materyaller genellikle 10-80 mesh boyutlarına sahip un haline getirildiğinde OPK üretimi için uygundur (Rowel, 2012). Lignoselülozik materyallerin

düşük maliyeti, yüksek hacimsel yoğunluğu ve yenilenebilir olmaları gibi özelliklerinden dolayı OPK üretiminde lignoselülozik materyalleri önemli bir hale getirmektedir.

1.4.1.2. Sentetik Polimerler

OPK üretiminde termoplastikler, plastikler, termosetler ve elastomerler gibi sentetik polimer çeşitleri kullanılmaktadır. 1868'de J. Hyatt ilk polimer malzemesi olan selüloitti keşfetmiştir. Sentetik polimerlerin çoğu renksizdir (Akkurt, 2007). Plastiklerin yoğunluğu 0.9-2.5g/cm^3 arasında değişmekte olup ağaç malzeme hariç tüm malzemelere göre oldukça düşük ağırlığa sahiptir (Crawford, 2001). Sentetik polimerlerin ısıl iletkenliği oldukça düşüktür. Bunun sebebi zincirlerindeki atom hareketleriyle fazla miktarda ısı emilimi yaptıkları için ısıyı iyi iletemezler. Sentetik polimerlerin ısıl iletkenlikleri seramikler ve metaller arasında yer almaktadır (Akkurt, 2007). Metal malzemelere göre kimyasal bozunduruculara karşı daha dayanıklıdırlar. Sentetik polimerler doğrudan aleve karşı çok duyarlıdırlar (Lampman, 2003). Sentetik polimerler zamanla termik, mekanik, fotokimyasal, radyasyon, biyolojik ve kimyasal faktörler ile yıpranmasına kimyasal bozunması sebep olmaktadır. Sentetik polimerler elektrik iletkenlikleri zayıftır (Lampman, 2003). Sentetik polimerlerin mekanik özelliği yumuşak (sünek), düşük sıcaklıkta plastik davranış, yüksek sıcaklıkta yüksek viskoziteye sahip materyallerdir. Plastikler, viskoelastik olup hem elastik hem viskoz özelliğe sahip materyallerdir (Akkurt, 2007).

Termoplastikler diğer sentetik polimer türlerine göre OPK üretiminde en çok tercih edilmektedir. Bunun sebebi, lignoselülozik materyal içerisinde 140 °C'den sonra termal bozunmalar başlamakta olup, 200 °C'den sonra ise bozunmanın derecesi artmaktadır (Tabarsa vd., 2011). Termoplastiklerin türleri ise polietilen, polipropilen, polivinil klorür, akrilonitril-bitadiyen-stiren kopolimer (ABS), naylon-6 ve diğer poliamidlerdir.

Günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan odun plastik kompozitlerinin birçok avantajlı yönlerinin yanında, sıcaklıktan etkilenmesi, renginin solması/değişmesi, biyolojik olarak bozunmaması ve geri dönüşümünün sınırlı olması gibi dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında odun çürütücü mantarları ile sarıçam ve kavak odun yongaları kontrollü bozundurularak hem mantar misellerinin ağ yapısı sayesinde hem de mantar hücre çeperinin bağlanma/yapışma özelliğinden yararlanarak çevre dostu ve biyobozunabilir odun doğal plastik kompozit (ODPK) malzemesi üretilmesi amaçlanmıştır.

1.5. Ambalaj Malzemesi

Metal, kâğıt, karton, cam, plastik vb. malzemelerden üretilmiş ambalajlar, ürünleri dış etkilerden muhafaza eden, ürünleri bir arada tutan, taşımasını kolaylaştıran, depolama, dağıtım, tanıtım ve pazarlama işlemlerini kolaylaştıran bir araçtır (MEB, 2011).

İyi bir ambalaj malzemesinin asgari taşıması gereken temel özellikleri; içindeki ürünün niteliklerini bozmadan korumalı, üretiminde kullanılan hammadde insan sağlığına uygun ve çevreye güvenli olmalı, içindeki ürünü doğru ve tam olarak tanıtmalıdır.

1.5.1. Ambalaj Çeşitleri

Ambalajların yerine getirdiği işlevlere ve üretildiği malzemeye göre sınıflandırılabilir (MEB, 2011).

1.5.1.1. Yerine Getirdiği İşlevlere Göre Ambalajlar

Yerine getirdiği işlevler bakımından ambalajlar üç grupta ayrılır.

1.5.1.1.1. Satış Ambalajları (Birincil Ambalaj)

Tüketiciye veya nihai kullanıcıya ulaşmasını sağlamak maksadıyla satış noktasında arz edilen ürün veya ürünlerle birlikte satın alınan ambalajlardır.

1.5.1.1.2. Dış Ambalajlar (İkincil Ambalaj)

Birden çok sayıdaki satış ambalajlarındaki ürünleri hem bir arada tutacak şekilde hem de muhafazasını sağlamak için tasarlanmış ambalajlardır.

1.5.1.1.3. Nakliye Ambalajları (Üçüncül Ambalaj)

Ürünün üreticiden satıcıya veya tüketiciye nakliyesi sırasında zarar görmesini önlemek, depolama işlemlerini kolaylaştırmak ve taşımayı kolaylaştırmak için kullanılan ambalajlardır.

1.5.1.2. Perakende Satışta Sunum Şekline Göre Ambalajlar

1.5.1.2.1. Multiünite Ambalajlar

Multiünite ambalaj, eşit ağırlıkta ve aynı cins iki veya daha fazla ambalajlı, etiketli ürünün perakende satışa sunulmak üzere yeniden ambalajlanması ve etiketlenmesi işlemleridir.

1.5.1.2.2. Varyete Ambalajlar

Birden çok ve birbirlerine benzer ama birbirleri ile aynı olmayan ambalajlı ürün bulunduran ve perakende alım satımda kullanılan ambalajlardır. Ürünler içerik olarak aynı olup ağırlık, hacim, kalite veya görünüş bakımından birbirinden farklıdır. Varyete ambalajlama da etikette miktar ifade edilirken:

• Aynı olan ürünlerin adeti ve tam ağırlığı alt alta yazılır.

• İlaveten toplam adeti ve tam ağırlığı yazılır.

Ancak bu ürünler her biri tek tek satışa sunulacak ise her birinin tek tek etiketlenmesi gerekir.

1.5.1.2.3. Kombinasyon Ambalajlar

Birbirine benzemeyen ürünleri kapsayan bir ambalajlama yöntemidir. Her mal için ayrı ayrı net miktarı yazılır. Birbirine benzemeyen ürünlerin tek tek satışa arz edilecek ise her biri için aynı şekilde etiketlenir.

1.5.1.3. Üretildiği Malzeme Türlerine Göre Ambalajlar

- Ahşap kökenli ambalaj malzemeleri (paletler, sandıklar, papel)
- Kâğıt kökenli ambalaj malzemeleri (sargılama kağıtları, kağıt torbalar, karton kutular, kâğıt esaslı viol ve tepsiler, kompozit kutular, oluklu mukavva kutuları, kağıt esaslı variller, kartlı ambalajlar, skin (zar) ambalaj, blister ambalaj)
- Cam kökenli ambalaj malzemeleri

- Plastik kökenli ambalaj malzemeleri (Polietilen (PE), polivinilklorür (PVC), polipropilen (PP), polistiren (PS), polietilen tetraftalat (PET), polikarbonat (PC), akrilik-pleksi ambalajlar
- Metal kökenli ambalaj malzemeler (kalay kaplamalı çelik kaplar (teneke kaplar), lakla kaplı çelik kaplar, krom kaplamalı çelik kaplar, alüminyum kaplar)

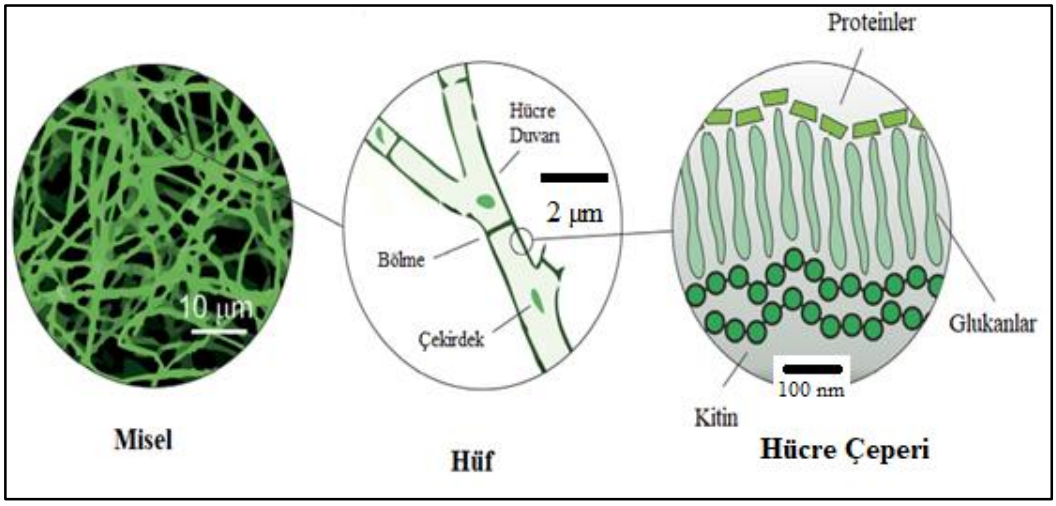
Günümüzde yaygın olarak kullanılan ambalaj malzemeleri (strafor, köpük vb) genellikle petrol esaslı maddelerden üretilmektedir. Söz konusu malzemeler; biyolojik olarak bozunur olmaması, toksik maddeler içermesi, yanıcı olması gibi birçok dezavantajlara sahiptirler. Bu nedenle bu proje kapsamında odun çürütücü mantarlar sayesinde kavak odun yongaları kontrollü bozundurularak hem mantar misellerinin ağ yapısı hem de mantar hücre çeperinin bağlanma/yapışma özelliğinden yararlanarak çevre dostu ve biyobozunabilir misel esaslı ambalaj malzemesinin üretilmesi amaçlanmıştır.

1.6. Mantarlar

Doğa bilimciler tarafından yüzyıllardır mantarlar üzerinde birçok çalışmalar yapılmıştır. 17. yy da mikroskobun keşfinden sonra ise sistematik olarak araştırılmıştır.

Mantarlar, organik madde ile beslenen çeşitli tek hücreli veya çok hücreli, diğer organizmalara bağımlı yaşayan ve spor üreten organizmalar grubudur (Stevenson, 2010).

Misel filamentleri uzun hüf hücrelerden oluşur. Bu hüf hücreleri, septum adı verilen iç gözenekli çapraz çeperlerle birbirlerinden ayrılır ve hepsi boru şeklinde bir hücre çeperi içindedir. Hücre çeperi, mantar morfogenezinde hüfleri korur ve tüm miselyuma mekanik güç sağlayarak çeşitli fizyolojik roller oynar. Kitin, glukanlar ve bir dış protein (mannoproteinler ve hidrofobinler gibi) tabakalarından oluşur. Hüflerin büyümesi, hüfün ucundaki hücre zarının ve hücre çeperinin uzatılması gerçekleşir (Papagianni, 2004; Vega ve Kalkum, 2012) (Şekil 5).



Şekil 5. Misel fizyolojisinin farklı ölçeklerde şematik gösterimi (Haneef vd., 2017)

Odun üzerinde büyüyen mantarlara "Odun Çürüklük Mantarları" denir. Odun çürüklük mantarı olmak taksonomik bir kategori tanımlamaz. Odun çürüklük mantarları, Ascomycet'ler ve Basidiomycet'ler gruplarının her biri içinde çok sayıda sınıfları ve takımları içerir. Bu taksonların çoğu hem odunsu hem de karasal türleri içerir. Taksonomiden ziyade, odunun ana bileşenleri olan selüloz ve lignini parçalama yetenekleri biyolojik aktiviteye odaklanır (Srivastava vd., 2013).

Her yıl muazzam miktarda ahşap ve ahşap ürün çürüme ve bozulma nedeniyle yok olmaktadır. Ayrışma, ölü organizmaların dokularının daha basit madde biçimlerine ayrıldığı süreci ifade eder. Böyle bir bozulma, yeni büyüme ve gelişme için çok önemlidir, çünkü sınırlı kimyasal bileşiklerin geri dönüştürülmesinin yanı sıra çevredeki sınırlı fiziksel alanı boşaltmanın temelidir. Mantarlar, odun çürümesinden sorumlu ana organizmalardır. Metabolizmaları için gerekli çeşitli bileşenleri kullanan ahşapta çok çeşitli mantarlar gelişebilmektedir (Srivastava vd., 2013).

Çürüklük mantarların büyümesi için oksijene, suya ve bir besin kaynağına ihtiyaç duyarlar. Bir besin kaynağı olarak odun bileşenlerini kullanabilen ve işlem sırasında odunu parçalayabilen mantarlar sınırlıdır. %18 odun rutubeti altında rutubet oranına sahip odun mantarlar tarafından tahrip edilemezler. Odun rutubet aldığı takdirde, hücre çeperleri yaklaşık %28 rutubete kadar suyu emer. Bunun üzerinde odun lif doyma noktasına ulaşır ve serbest su kullanılabilir hale gelir. Çürüklük mantarları için serbest su gerekir. Mantarların, büyüdükleri lignoselülozik materyale sindirim enzimleri ve diğer kimyasalları salgılayarak yiyeceklerini parçalamak için harici bir yöntemi vardır. Bu, mantarların önceden sindirilmiş

gıda ürünlerini emmesini sağlar. Bu harici sindirim süreci, enzimlerin salgılanabilmesi ve daha sonra kullanılabilir gıda ürünlerinin mantara geri yayılabilmesi için odun rutubetinin mevcut olmasını gerektirir. Bu rutubet olmadan mantar aktif olamaz veya büyüyemez. Su olmadan ya etkin olmayabilir ya da ölebilir (Srivastava vd., 2013).

Mantarların odunu bozundurma süreci, başta selüloz ve/veya lignin olmak üzere karmaşık kimyasal bileşiklerin parçalanmasını içerir. Selüloz, glikoz moleküllerinin doğrusal zincirlerinden oluşan bir polisakkarittir. Selüloz, dünyadaki en yaygın organik bileşiktir ve odunun kabaca %50'sini oluşturur. Lignin, fenolik birimlerden oluşan karmaşık bir polimerdir ve bozunmaya nispeten dirençlidir. Doğada en bol bulunan aromatik bileşik olarak karbon döngüsünde anahtar rol oynar ve bitki hücre çeperlerinde koruyucu bir matris sağlar. Bu amorf ve çözünmeyen polimer, selülozun aksine hidrolitik saldırıya duyarlı değildir. Lignin zorlu bir substrat olmasına rağmen, bazı mantarlar tarafından bozunması yaklaşık 134 yıl önce ortaya koyulmuştur. Basidiomycet'ler, ligninin verimli depolimerizasyonu ve mineralizasyonuna sahip tek organizmalardır (Srivastava vd., 2013).

1.6.1. Odun Çürüklük Mantarlarının Sınıflandırılması

Mantarlar tarafından odunun çürütülmesi üç tipte sınıflandırılır: yumuşak çürüklük, esmer çürüklük ve beyaz çürüklük. Esmer çürüklük mantarları tarafından çürütülen odun tipik olarak rengi kahverengi ve ufalanır hem enzimatik olmayan hem de enzimatik sistemler yoluyla bozunur. Esmer çürüklük mantarları tarafından bozunma işleminde bir dizi selülolitik (selülozu hidrolize eden) enzim kullanılır, ancak hiçbir lignin bozundurucu enzim dahil edilmez. Beyaz çürüklük mantarları tipik olarak yapraklı ağaçların çürütülmesi ile ilişkilidir. Beyaz çürüklük, odunu ağartılmış, süngerimsi/lifli görünüme sahip bir kütle bırakarak tek tip olarak meydana gelebilir veya seçici bir çürüme olarak görünebilir. Beyaz çürüklük mantarları hem selülolitik hem de lignin parçalayıcı enzimlere sahiptir ve bu nedenle bu mantarlar, doğru çevresel koşullar altında odun yapısının tamamını bozma potansiyeline sahiptir. Yumuşak çürüklük mantarları tipik olarak daha yüksek rutubete ve daha düşük lignin içerikli oduna saldırır ve odun hücre çeperlerinde benzersiz boşluklar oluşturabilir. Yumuşak çürüklük parçalayıcı enzim sistemleri hakkında daha az şey bilinmektedir, ancak bunların parçalayıcı mekanizmaları, esmer çürüklük ve beyaz çürüklük mantarlarında var olduğu bilinen parçalayıcı enzimatik ve enzimatik olmayan sistemler ile birlikte gözden geçirilmiştir. Hem esmer çürüklük hem de beyaz çürüklük parçalayıcı

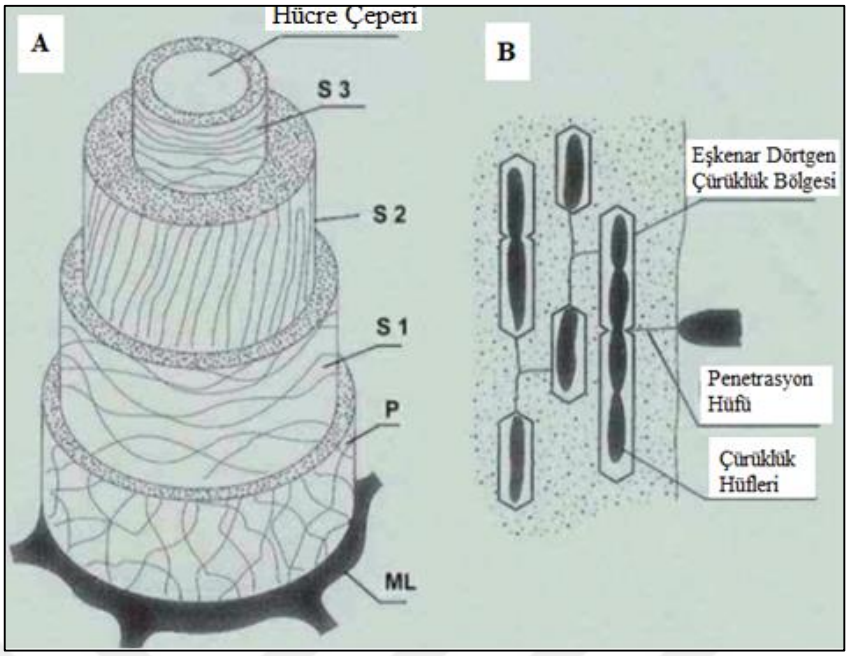
sistemlerde yer alan enzimatik olmayan sistemler hakkında daha fazla şey öğrendikçe, bozunma sürecinde enzimlerin rolüne ilişkin görüşleri değiştirmektedir. Bu da biyo-endüstriyel süreçlerde mantar çürüklük mekanizmalarını nasıl uygulayabileceğimizin yanı sıra, odun koruma ve odun koruma şemalarındaki çürümeyi kontrol etme biçimini de belirlemektedir (Srivastava vd., 2013).

Hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri açısından odun, bozunması son derece zor bir substrattır. Başlıca sebeplerinden biri, odunun hücre çeperinin kimyasal yapısı selüloz (%40-50), hemiselülozlar (%20-35) ve lignin (%15-30)'den oluşur. Lignini oluşturan karbonca zengin, amorf ve aromatik yapıdaki fenil propan birimlerinden oluştuğundan odunun çürümesine karşı bir engel teşkil eder. Çünkü lignin, hücre çeperlerini kaplar ve enzimlerce daha kolay parçalanabilen selüloz ve hemiselülozlara erişimini engellemektedir (Srivastava vd., 2013).

Bu zorlu engellere rağmen, odunsu dokular mantarlar tarafından bozundurulabilmektedir ve bu odunsu çürüklük mantarları, odunsu hücre çeperlerine saldırma biçimlerine göre yumuşak çürüklük mantarları, esmer çürüklük mantarları ve beyaz çürüklük mantarları olmak üzere üç türe ayrılır (Srivastava vd., 2013).

1.6.1.1. Yumuşak Çürüklük Mantarları

Yumuşak çürüklük mantarları, nemli ortamlarda ahşap üzerinde büyür. Şekil 6'de gösterildiği gibi, ahşaba nispeten basit bir saldırı moduna sahiptirler. Hüfleri, genellikle çeperdeki bir çukurdan (çöküntü) girdikten sonra, tek tek odunsu hücrelerin lümeninde büyür. Daha sonra, kalın, selüloz bakımından zengin S2 tabakasına erişmek için çeperin ince, lignin kaplı S3 tabakası boyunca büyüyen ince penetrasyon hüfleri üretirler. Penetrasyon hifleri, S2 tabakasında uzunlamasına bir zayıflık düzlemi bulduğunda, zayıflık düzlemi boyunca büyüyen ve selülaz enzimleri salgılayan daha geniş T-şekilli hifler üretirler. Bu enzimlerin difüzyonu, hücre çeperi içinde eşkenar dörtgen boşluklar olarak görülen karakteristik bir bozunma modeli yaratır. Yumuşak çürüklük mantarlarının, bozulmadan kalan lignin üzerinde çok az etkisi vardır veya hiç etkisi yoktur. Tüm yumuşak çürüklük mantarları, odunun çürümesi için nispeten yüksek nitrojen seviyelerine ihtiyaç duyarlar (Srivastava vd., 2013).



Şekil 6. A) Odundaki hücre çeperi katmanlarının diyagramı. ML = Orta Lamel; P = Hücre Çeperi; S1, S2 ve S3 Tabakası. B) S2 tabakasında bir yumuşak çürüklük mantarının karakteristik bozunma modeli (Srivastava vd., 2013)

Yumuşak çürüklük Ascomycetes sınıfına dahil mantarların tipik bir özelliğidir ve iki tipe ayrılabilir: mantarın sekonder çeper içinde uzunlamasına boşluklar oluşturduğu Tip I ve tüm sekonder çeperi aşındırdığı Tip II'dir. Yumuşak çürüklük, adını mantarlar tarafından bozunduktan sonra yumuşak, çürümüş bir ahşap yüzeyinin görünümünden almıştır. Daha önce yumuşak çürüme için yüksek nemin zorunlu olduğu iddia edilmişti, ancak artık kuru ortamlarda da oluşabileceği ortaya konulmuştur. Tip II'de, makroskobik görünümü esmer çürüklüğün görünümünden ayırt edilememektedir (Kubicek, 2012).

Yumuşak çürüklüğün, beyaz çürüklüğe göre en büyük farkı, orta lamellere saldırmaması ve ligninazları içermemesidir (Kubicek, 2012).

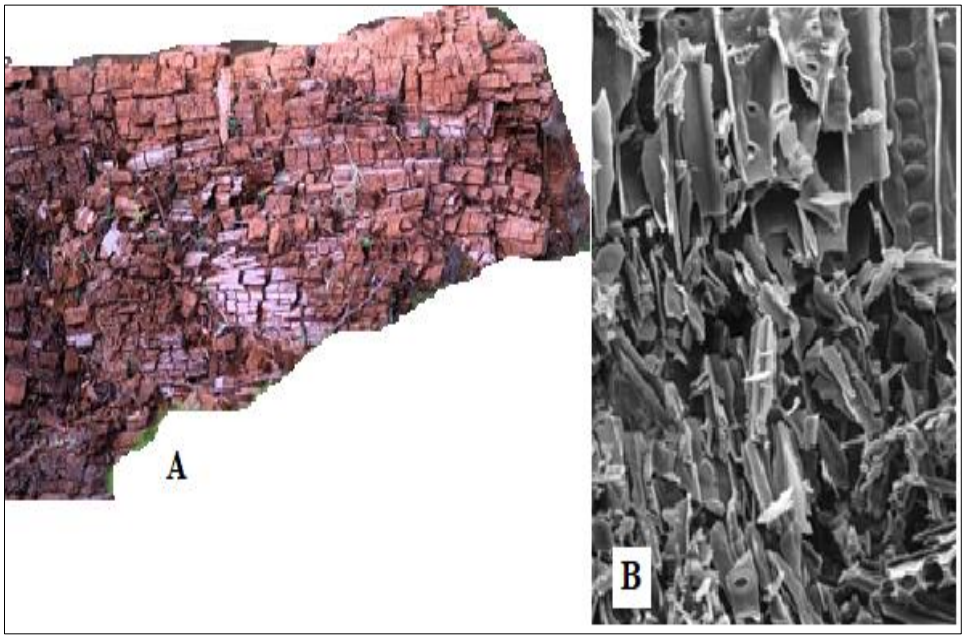
Yumuşak çürüklükte kullanılan enzimler selülazlar ve hemiselülazlar olduğu için karbonhidrat polimerlerinde büyük bir kayıplar meydana gelir ve sonuç olarak çürümüş ahşabın mukavemetinde önemli bir azalmaya sebep olur. Yumuşak çürüklük mantarlarının ahşabı çürütme hızı, ligninin içeriğine ve uzamsal dağılımına büyük oranda bağlı olup iğne yapraklı ağaç lignininin guasil bileşenleri görünüşte en büyük engeldir (Eriksson vd., 1990).

Yumuşak çürüklere neden olan mantarlar, karasal alanlarda *Chaetomium* ve *Ceratocystis* gibi çeşitli Ascomycota ve mitosporik türlerine, deniz ve nehir ağzı gibi

ortamlarda ise *Lulworthia, Halosphaeria* ve *Pleosporain* türlerine rastlanılmaktadır (Srivastava vd., 2013).

1.6.1.2. Esmer Çürüklük Mantarları

Esmer çürüklük mantarları esas olarak iğne yapraklı ağaçlar üzerinde etkilidir ve sadece selüloz ve hemiselülozu bozundurabilmektedir, ancak lignini depolimerize edemez. Ancak mantarlar lignini dimetilasyon yoluyla değiştirebilirler (Eriksson vd., 1990). Bu genellikle selüloz zincirinde bir ilk kırılmayı, ardından önce yan zincirin ve sonra ana zincir hemiselülozların (sırasıyla arabinan ve galaktan, ksilan ve mannan) parçalanmasını içermektedir. Son olarak, selüloz tamamen hidrolize edilir ve lignin dimetillenir (Eastwood vd., 2011). Selüloza birinci saldırısı sonucunda, ahşabın mekanik mukavemetinde bir kayba neden olmakta ve bunu selüloz ve hemiselülozun tamamen bozunması izlemektedir. Bu işlemin bir sonucu olarak, esmer çürüklük odunu neredeyse tamamen kırmızımsı-kahverengi olan ve sonunda bu mekanizmaya adını veren tuğla benzeri parçalara ayrılan ligninden (modifiye edilmiş) oluşur (Şekil 7). Esmer çürüklük mantarının odunda en etkilileri Basidiomycet'ler *Postia placenta, Fomes fomentarius, Serpula lacrymans ve Gloeophyllum trabeum*'dur (Kubicek, 2012).



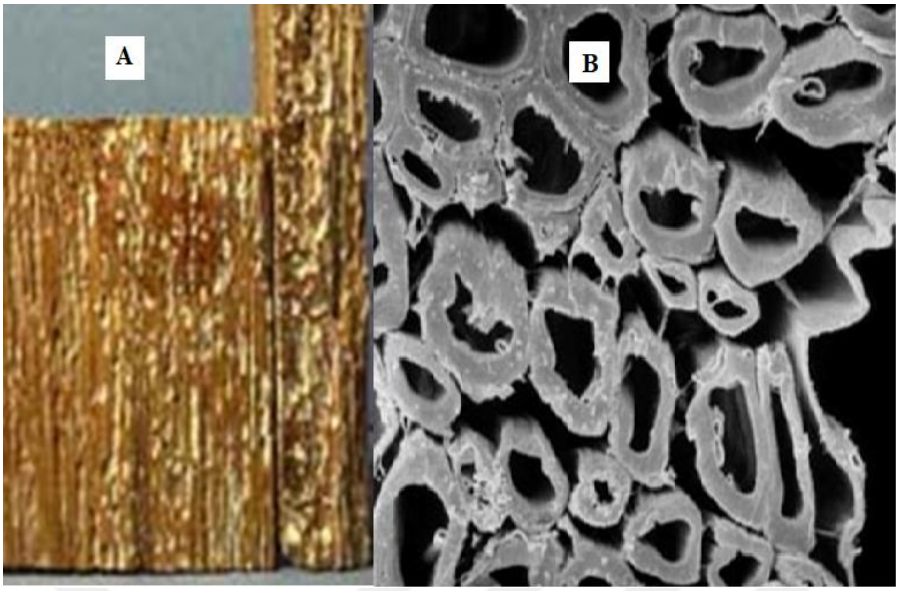
Şekil 7. A) Esmer çürüklüğe uğramış odun, B) Esmer çürüklüğe uğramış odunun SEM görüntüsü (Yıldız, 2022)

Esmer çürüklük mantarlarının hüfleri, genellikle odunsu hücrelerin lümeniyle sınırlı olarak, S2 çeper tabakasının neredeyse tamamen bozundurulduğu genel bir çürümeye neden olurlar. Esmer çürüklük mantar selülazlarının, yumuşak çürüklük mantar selülazlarının aksine, selüloz üzerinde çok az etkisi vardır. Bunun yerine, esmer çürüklük mantarları, hemiselülozların parçalanması sırasında hidrojen peroksit üretimini içeren oksidatif bir süreçle selülozu bozar. Küçük bir molekül olan H_2O_2, genel bir bozunmaya neden olmak için odunsu hücre çeperlerinden geçebilir. Esmer çürüklük mantarlarının karakteristik oksidatif bozunmasında, odunun hemiselülozları mevcutsa selülozu bozundurduğu gösterilmiştir. H_2O_2 üretmek için büyük miktarlarda hücre dışı enzimlerin salınmasını gerektirmediğinden, odundaki kıt azot kaynaklarını kullanmanın etkili bir yoludur (Srivastava vd., 2013).

Esas olarak odunsu hücrelerin hücre lümeninde büyürler. Esmer çürüklük mantarları, diğer mikroorganizmalar tarafından kullanılabilen humus oluşumuna önemli ölçüde katkıda bulundukları için iğne yapraklı ekosistemlerde önemli bir role sahiptir (Lundell vd., 2010).

1.6.1.3. Beyaz Çürüklük Mantarları

Beyaz çürüklük mantarları küresel karbon döngüsünün düzenlenmesinde önemli rol almaktadır. Doğadaki lignini degrade edici beyaz çürüklük mantarlarıdır. Büyük çoğunluğu Basidiomycetes, birkaçı ise Ascomycetes sınıfında olmak üzere binlerce beyaz çürüklük mantar türü vardır. Yapraklı ağaç odunlarını sadece Ascomycetes alt sınıfına ait beyaz çürüklük mantarları bozundururken hem yapraklı ağaç odunlarını hem de iğne yapraklı ağaç odunlarını ise Basidiomycetes alt sınıfına ait beyaz çürüklük mantarları bozundurur (Şekil 8). Beyaz çürüklük mantarının odundaki degradasyonu seçici ve seçici olmayan delignifikasyon olarak ikiye ayrılır. Seçici delignifikasyonda hemiselülozlar ve selüloz saldırıya uğramadan önce lignin uzaklaştırılır. Seçici olmayan delignifikasyonda ise, hücre çeperi bileşenlerinin tamamını bozundurur (Eriksson vd., 1990). Örneğin; *Ceriporiopsis subvermispora*, *Phanerochaete chrysosporium* ve *Phlebia radiata* seçici delignifikasyon, *Trametes versicolor* ise seçici olmayan delignifikasyon yapan beyaz çürüklük mantar türlerindendir (Hatakka, 1994).



Şekil 8. A) Beyaz çürüklüğe uğramış odun, B) Beyaz çürüklüğe uğramış odunun SEM görüntüsü (Yıldız, 2022)

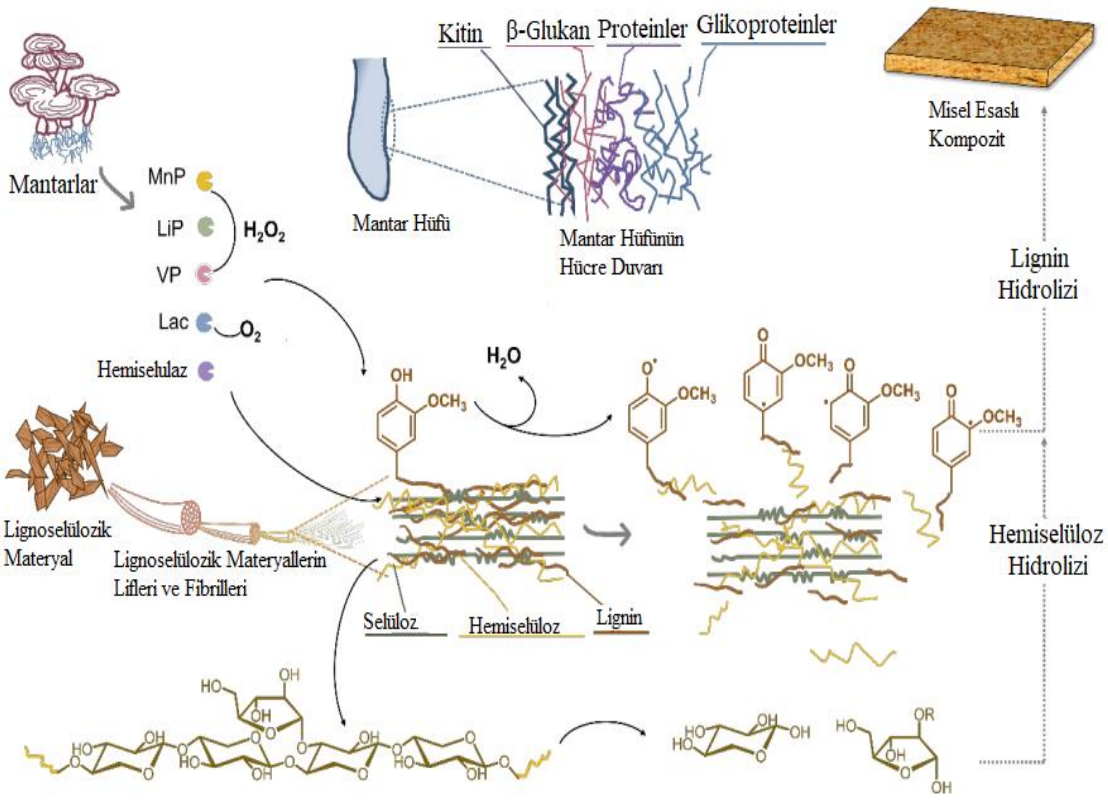
Eğer lignin geleneksel yollarla bozundurulacak olsaydı, çok sayıda enzime ihtiyaç duyulacaktır. Bunun yerine beyaz çürüklük mantarıyla lignin degradasyonu oksidatif bir süreçle bozundurulur ve bu süreçte enzimler anahtar olmaktadırlar (Kirk ve Farrell, 1987). Beyaz çürüklük mantarları lignin peroksidaz (LiP), manganez peroksidaz (MnP), lakkaz (Lac) ve çok yönlü peroksidaz (VP) enzimlerini üretir (Asina vd., 2017; Janusz vd., 2017).

Bu çalışmada Basidiomycetes sınıfından saprofit bir yaşam tarzına sahip *Pleurotus ostreatus* ve *Ganoderma lucidum* türü mantarlar kullanılmıştır. Bu türler ligmoselülozik materyali seçici (Tip I mantar çürüklük) ayrıştırıcılar olarak sınıflandırılır. Lignoselülozik materyal, talaş ve saman gibi düşük kaliteli organik atıklarda bile büyüyebilir. Bu nedenle miselyum malzemeleri yetiştirmek için ideal adaylardır (Grimm ve Wösten, 2018). Bir başka dikkat çekici özellikleri ise yalnızca büyüme besin maddesi mevcudiyeti ile sınırlı olan, sonsuz büyüklükte hif ağları oluşturma yeteneklerine sahiptir.

1.6.1.3.1. Beyaz Çürüklük Mantarlarında Çürüklük Mekanizması

Farklı lignoselülozik materyalleri bozundurucu mikroorganizmalar arasında, beyaz çürüklük mantarları, üç üstün özelliğinden dolayı biyo-kompozit üretimi için sıklıkla tercih edilmektedir. Birincisi, geleneksel lif levha ve yonga levha üretimi için, beyaz çürüklük mantar ile inkübasyonun ilk aşamasında salgılanan lignin oksidatif enzimlerinin, lignin

radikalleri oluşturarak yüzeyi aktive edebildiğine ve sıcak presleme aşamasında bağlanmaya fayda sağladığı düşünülmektedir (Şekil 9) (Wesenberg vd., 2003; Narayanaswamy vd., 2013; de Paula vd., 2019). İkincisi, beyaz çürüklük mantarları, büyüyerek uzun ağ yapabilen misel sistemleri lignoselülozik materyali lignoselülozik materyale doğal olarak bağlayan ve özellikle düşük yoğunluklu misel esaslı biyo-kompozitlerin üretimi için tercih edilmektedir (Sauerwein vd., 2017; Abhijith vd., 2018). Üçüncüsü, Esmer çürüklüğün aksine, beyaz çürüklük mantarları çürüklüğün erken aşamasında ahşap malzemenin mekanik direncine çok az zarar vermektedir (Zabel ve Morrell, 2020a).



Şekil 9. Lignoselülozik Materyal ve mantar hüf hücre çeperinin şematik yapısı, Mantar ön işlem aşamasında meydana gelen değişiklikler. MnP: manganez peroksidaz; LiP lignin peroksidaz; VP: çok yönlü peroksidaz; Lac: lakkaz (Sun, 2021)

Beyaz çürüklük mantarları tarafından üretilen dört ana lignin oksidatif enzimi vardır: lakkaz (Lac), manganez peroksidaz (MnP), lignin peroksidaz (LiP) ve çok yönlü peroksidaz (VP) (Şekil 9) (Asina vd., 2017; Janusz vd., 2017). Bunlar arasında lakkaz, reaksiyon sürecinde doğrudan O_2 kullandığı için en uzun kullanım geçmişine ve uygulamasına sahiptir (Komal vd., 2018; Slagman vd., 2018). Mantar büyümesi ve metabolizması için karbon

kaynaklarını sindiren selülazlar ve hemiselülazlar dahil olmak üzere beyaz çürüklük aşamasında hidrolitik enzimler de vardır (Julia vd., 2016; Schimpf ve Schulz, 2016). Selülazlar, nihai ürünün mekanik özelliklerini etkileyen selüloz kaybına neden olacağından (Sisti vd., 2018), yapılan araştırmalarda yalnızca ksilanazlar gibi hemiselülazlar dikkat çekmiştirler (Song vd., 2018).

En uygun mantar türünü seçerken, birçok özelliğinin göz önüne alınması gerekmektedir. Lignoselülozik materyalin mekanik özelliklerini korurken lignin ve hemiselülozu aktive etmek için, tüm odun kimyasal ana bileşenlerini eşit oranlarda bozunduran seçici olmayan beyaz çürüklük mantarlarının (Tip II) aksine, lignini ve hemiselülozu bozunduracağı ve selülozu büyük ölçüde değişmeden bırakacağı için seçici bir beyaz çürüklük mantarı (Tip I) tercih edilmektedir (Fackler vd., 2007; Watanabe vd., 2007). Bununla birlikte, "seçici mantarlar" tanımı literatürde belirsiz ve bazen çelişkilidir. Örneğin *Trametes (Coriolus) versicolor*, farklı literatürlerde hem seçici hem de seçici olmayan mantar olarak tanımlanmıştır (Fackler ve diğerleri, 2011; (Bhatt vd., 2016; Nadir vd., 2019). Farklı mantarların seçiciliğinin, farklı lignoselülozik biyokütle ve ön işlem süresi ile değiştiği görülmektedir (Zhang vd., 2007; Wan ve Li, 2012). Diğer bir deyişle, "seçici olmayan mantarlar", geleneksel odunun mantar tarafından çürütülme/tahrip edilme süreci genellikle uzun bir süre (haftalar ila aylar) gerektirmektedir. Bununla birlikte, kolonizasyonun en başında sadece hemiselüloz ve lignini parçalayan "seçici" bir aşamaya da sahiptirler. Bu nedenle "seçici olmayan" mantarlar tamamen dışlanmamalıdır. Seçicilik yeteneği, mantar türlerinde ve farklı besin ortamlarında uygulandığında farklılıklar gösterebilmektedir (Wu vd., 2016; Jones vd., 2019). Beyaz çürüklük mantarlarına ilgi gösterilmesine sebep olan diğer karakteristik farklılık ise, hüf uzantısı ve büyüme yoğunluğudur. Jones vd. (2018), çeşitli mantar türlerinin misel büyüme performansını araştırmışlar ve iskelet hüfleri içeren trimitik (üç tip hüf içeren) ve dimitik (iki tip hüf içeren) türlerin daha yüksek hüf uzantı oranları diğer türlere göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. *Trametes (Coriolus) versicolor* ve *Polyporus brumalis* mantarları genel performanslara göre bakıldığında en yüksek performanslı türler olarak belirtilmiştir.

1.6.1.3.2. Beyaz Çürüklük Mantarlarının İnkübasyonu/Ön İşlemi

Mantar inkübasyonu genellikle uzun (günler veya haftalar) sürmektedir. Lignoselülozik materyalin inkübasyon süresince kontaminasyonunu önlemek için

sterilizasyon işlemi gerekmektedir (Elsacker vd., 2020). Sterilize edilmiş lignoselülozik materyaller ile tanecikli besi maddelerine sardırılmış misellerle karıştırılır ve karışım kaplar veya kalıplar içinde paketlenir ve kontrollü bir ortamda (20 – 30 °C sıcaklık, karanlık ortam, nemli ortam, yeterli havalandırma) inkübe edilir. Mantarların kolonizasyonunu hızlandırmak için karışıma katkı maddeleri de eklenebilir.

1.6.1.3.3. Lignoselülozik Materyalin Lignoselülozik Materyale Mantar İnkübasyonun/Ön İşlemin Etkisi

1.6.1.3.3.1. Lignoselülozik Materyalin Yüzey Geometrisi, Pürüzlülük ve Morfoloji

Mekanik kilitlenme ve polimer interdifüzyon teorileri, lignoselülozik materyali yapıştırmada kullanılan üre-formaldehit ve fenol formaldehit reçineleri gibi düşük viskoziteli yapıştırıcılar için iki ana yapışma teorilerindendir (Gardner vd., 2014). Lignoselülozik materyal, bireysel lif veya lifler arasında hava boşlukları olan gözenekli ve düzensiz bir yapıdadır. Daha pürüzlü yüzey, mekanik bağlanma için daha fazla yüzey alanı sağlamaktadır. Aynı zamanda, daha pürüzlü bir yüzey alanı, yapıştırıcıların difüzyonu için yüzeyde daha gözenekli bir yapı ortaya çıkarabilir.

Lignoselülozik materyallerin hücre çeperi, lignin ve hemiselüloz matrisi ile çevrili bir mikrofibriller topluluğu olduğundan (Şekil 1), matrisin kırılması veya çıkarılması daha fazla mikrofibrilin açığa çıkmasına ve daha pürüzlü bir yüzeye neden olmaktadır. Aynı zamanda, lignoselülozik materyalin yüzeydeki hüflerinin büyümesi ve mikro ölçekli bir ağ oluşturarak pürüzlülüğün değişmesine de katkıda bulunur (Wu vd., 2016). Yapılan çalışmalarda mantar inkübasyon süresi uzun olduğunda, yüzey tabakasının kaybına bağlı olarak yüzeyin önemli ölçüde pürüzlü hale geldiğini tespit etmişlerdir (Kumar vd., 2009; Nasır vd., 2014; Nasır vd., 2015; Rajak ve Banerjee 2016; Zhu vd.,2017).

1.6.1.3.3.2. Yüzey Islanabilirliği

Islanabilirlik yüzey yapıştırma maddesinin yayılmasını ve homojenliğini tanımlamaktadır. Lignoselülozik materyaller genellikle kimyasal bileşimlerinden dolayı yüksek yüzey enerjisine sahiptir. Bu nedenle daha iyi moleküler etkileşim için polar

moleküllü yapıştırıcılara ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte, yapıştırıcılar daha iyi yayılma için daha düşük viskozite ile daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir (Gardner vd., 2014; Hunt vd., 2018). Biyo-kompozit malzemelerde, yapışma ajanları ısıyla plastikleştirilmiş lignin ve hemiselüloz olarak kabul edilir (Hubbe vd., 2017). Bu malzemeler zaten her bir parçacığın veya liflerinin yüzeyinde iyi bir şekilde dağıldığından, temas ve dağıtım sorunları olmamaktadır. Sıcak pres işlemi ayrıca yüzey bileşenlerini plastikleştirerek ve sıkıştırarak yapışmayı da desteklemektedir.

Yüzeydeki miselleri, hüflerin sulu ortamdan havaya çıkışına aracılık eden yüzeydeki yüzey hüflerini hidrofobik yapan amfifilik hidrofobin proteinleri içermektedir (Sammer vd., 2016; Appels vd., 2018) ve 120°'den yüksek su temas açılarına sahiptir (Haneef vd., 2017; Antinori vd., 2020).

Lakkaz enzim inkübasyonuna maruz bırakılmış lignoselülozik materyallerde, yüzey enerjisinin azaldığı bildirilmiştir. Zhu vd. (2017), kavak liflerini lakkaz enzimi ile 5 ve 11 günlük inkübasyona maruz bırakmış ve inkübasyon sonunda su temas açısının sırasıyla 114°'den 136°'ye yükseldiğini tespit etmiştir.

1.6.1.3.3.3. Yüzey Ligninin Oksidasyonu

Beyaz çürüklük mantarı tarafından salgılanan enzim sistemleri tarafından ligninin bir elektronlu (radikal) oksidasyonu ve lignin radikallerinin sıcak pres sırasında oluşturduğu kovalent bağlar, misel esaslı kompozitlerde en çok kabul edilen ve iyi incelenmiş yapışma mekanizmalarıdır. Bu enzimler, lignoselülozik materyal hücre çeperinin yapısına mantar inkübasyonu sırasında yoğun şekilde salgılanmaktadır. Bu seçici aşama, mantar inkübasyonun kritik dönemidir. Amaç, selülozu bozmadan lignin oksidasyonundan tam olarak yararlanmaktır.

Beklendiği gibi, mantar türü, besi türü, besin mevcudiyeti, kültür koşulları, rutubet vb. faktörlerden dolayı salgılanan enzimler farklılık göstermektedir. Lekounougou ve ark. (2008) kayın odununu *Trametes (Coriolus) versicolor* ile inkübasyona bıraktığı çalışmasında, ilk 10 günde hiç peroksidaz aktivitesi olmamasına rağmen lignin bozunmasının tek sebebinin lakkaz enziminin olduğunu öne sürmüşlerdir. Bununla birlikte, aynı mantar türünü kavak odunu üzerinde kullanırken Wu ve ark. (2020), lakkaz ve LiP aktivitelerinin ilk 28 günde tespit edilemeyecek kadar düşük olduğunu, MnP aktivitesinin ise ilk 14 günde arttığını, sonraki 14 günde azaldığını tespit etmiştir. Bu farklılık, üretilen

biyo-kompozitlerin mekanik özellikleri arasındaki korelasyonlarda da ortaya konulmuştur. Yapılan araştırmalarda, belirli bir enzimin (lakkaz) aktivitesi ile mekanik özellikler arasında doğrudan pozitif korelasyonlar olduğunu bazı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Wu vd., 2011; Zhu vd., 2017). Wu ve ark. (2020), ise MnP enzimi ile eğilme mukavemeti arasında ancak 7 günlük bir gecikmeyle pozitif korelasyonlar ortaya koymuşlardır.

Lignoselülozik materyalin lignin bozundurucu özel enzimlerle doğrudan ön işleme maruz bırakılması, mantar inkübasyon süresine bağlı olarak lignine karşı daha etkili ve karbonhidratlara olan potansiyel zararı önlenebilir. Yapışma mekanizmalarını test etmek de daha kolaydır. Liflerin enzimatik ön işleme tabi tutulmasından sonra daha fazla serbest radikal oluşumu, farklı test teknikleri ile tespit edilmiştir (Felby vd., 1997; Felby vd., 2002; Felby vd., 2004; Liu vd., 2020).

1.6.1.3.3.4. Hemiselülozların Hidrolizi

Kovalent bağ oluşumunun bir başka olası kaynağı, beyaz çürüklük mantarlarının etkisiyle üretilen bozunmuş hemiselülozlardır. Hemiselülozlar doğal olarak düşük termostabiliteye sahip olduklarından, biyo-kompozit üretiminin sıcak presleme prosesinde bozunduklarına ve kovalent bağlara katkıda bulundukları düşünülmektedir. Yapılan çalışmalarda, biyo-kompozit üretiminde hemiselülozların hidrolizi ve termal bozunmasına dair kanıtlar gösterilmiştir (Cristescu ve Karlsson, 2013; Brazdausks vd., 2015; Dolan vd., 2015). Hubbe ve ark. (2017), bozunmuş hemiselülozlarda ve lignin parçalarında yer alan olası bağlantı reaksiyonlarını rapor etmiştir.

Mantar inkübasyonun başlangıç aşamasında ligninden mantarlara karbon ve enerji sağlanmadığı (Lekounougou ve diğerleri, 2008), ancak hemiselülazların salgılamalarından sağlandığı olarak açıklanmaktadır. Yüzey hemiselülozları, sıcak presleme sırasında reaksiyon bölgeleri sağlayan daha kolay ayrışan daha küçük moleküllere hidrolize edilir (Mishra vd., 2017; Xie v.d., 2017).

Wu ve ark. (2016) yaptıkları çalışmalarda mısır sapını *Trametes hirsuta* ve *Trametes (Coriolus) versicolor* ile ön işleme maruz bırakarak suda çözünür hemiselülozun değişimini araştırmıştır. Suda çözünür polisakkarit içeriğinin, üretilen biyo-kompozitin mekanik özelliklerini önce arttığını, ardından azaldığını tespit etmiştir (Wu vd., 2011; Wu vd., 2016). Mantar inkübasyonu süresi boyunca değişen birçok şey (yüzey kimyası, morfoloji, biyokütle

ve mantarlardan gelen bileşenler vb.) vardır. Bu nedenle polisakkaritlerin değişimleri ile biyo-kompozitlerin özellikleri arasında doğrudan bir ilişki bulunması mümkündür.

1.6.1.3.3.5. Misel Gövdesinin Etkisi

Lignoselülozik materyal mantar inkübasyonuna maruz bırakıldığında, mantar kimyasal bileşenleri de bağlanmaya katkıda bulunabilmektedir ve dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 9'da tipik Basidiomycetes beyaz çürük mantar misel iki temel katmandan oluşur. İç katman, hücre için iskelet görevi gören kitin ve dallı β-(1,3), β-(1,6) glukandan oluşmaktadır. Dış tabaka ise protein tabakası, glikoprotein tabakası ve balçık tabakası içerir ve bu türler arasında değişiklik göstermektedir (Steudler ve Bley, 2015; Gow vd., 2017). Lignoselülozik materyallerden biyo-kompozit malzeme üretiminde yapıştırıcı olarak misel gövdesinin kullanıldığı doğrudan bir araştırma olmamasına rağmen, biyo esaslı proteinler, karbonhidratlar, glikoprotein ve protein/karbonhidrat karışımlarının kullanımına ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır (Cheng ve He, 2017). Lignoselülozik materyallerin mantar ön muamelesinde, mantar miselleri yüzeyi kaplar, hüflerin dış tabakasındaki protein ve karbonhidrat bileşenleri bağ oluşumuna katkıda bulunabilir. Liu ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada pamuk saplarının 14 günlük mantar inkübasyonu sonrasında 200 °C'de preslenerek misel esaslı kompozit üretmiştir. Kompozit malzemenin FTIR analizlerinde sırasıyla C-NH ve C-O gerilmesini karşılık gelen 2978 cm^{-1} ve 1086 cm^{-1} yeni pikler olduğunu tespit etmişler ve misel ve pamuk sapı parçacıkları arasındaki reaksiyonlardan meydana gelebileceğini önermişlerdir. Bununla birlikte, reaksiyonların sadece mantar gövdesi içinde meydana gelebileceğini ve pamuk sapları ile hiçbir bağlantısı olmayabileceğini de bildirmişlerdir. Bağlanma mekanizmasını doğrulamak için daha fazla araştırmalara ihtiyaç vardır.

1.7. Misel Esaslı Kompozitlerin Literatür Taraması

Çimento, tuğla, kereste, kaplama ve bölme malzemeleri gibi geleneksel inşaat malzemelerinin arz mücadelesi, sürekli artan küresel nüfusa ayak uydurmak için son on yılda inşaat sektörüne önemli bir baskı uygulamaktadır (Madurwar vd., 2013; Pheng ve Hou, 2019). Bu geleneksel yapı malzemelerinin üretimi enerji tüketilmesine, sınırlı doğal

kaynakların tüketilmesine, havanın, toprağın ve su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. (Pheng ve Hou, 2019). Tipik bir konutun ömür boyu enerji taleplerinin %36'sı kadarını, birincil malzemelerin üretilmesi veya çıkarılması, nakliyesi ve binanın inşası oluşturmaktadır (Sartori ve Hestnes, 2007). Düşük enerji ihtiyaçlı binalar, kullanım sırasında daha az enerji kullanılmasına rağmen, üretim için gereken enerji nedeniyle artan yalıtım seviyeleri, daha yüksek yoğunluklu malzemelerden ve kullandıkları ek teknolojilerden dolayı, çevresel olarak daha az sürdürülebilirdir (konutun yaşam boyu enerji taleplerinin %46'sına kadarı binanın inşaatına atfedilebilir) (Thormark, 2002; Monahan ve Powell, 2011).

Hızla artan küresel nüfus, gıda talebinin de artışıyla birlikte tarımsal üretimin artışına yol açarak şeker kamışı küspesi, pirinç kabuğu, pamuk sapları, saman ve odun talaşı/artıkları gibi tarımsal yan ürünlerin ve atıkların oluşmasına neden olmaktadır (Bhuvaneshwari vd., 2019). Sadece Hindistan ve Güneydoğu Asya'nın toplam biyokütle kalıntısı/atığı üretimi her yıl 1 milyar ton kadardır (Bhuvaneshwari vd., 2019; Tun vd., 2019). Düşük değerli tarımsal yan ürünler ve atıklar, birincil kullanımları gübre, hayvan yatakları ve inşaat malzemeleri ve yol inşaatı için dolgu maddeleri olarak sınırlı uygulamalara sahiptir, ancak büyük ölçüde atık olarak doğaya atılmakta veya yakılarak karbondioksit ve diğer sera gazlarının üretilmesine neden olmaktadır (Defonseka, 2019).

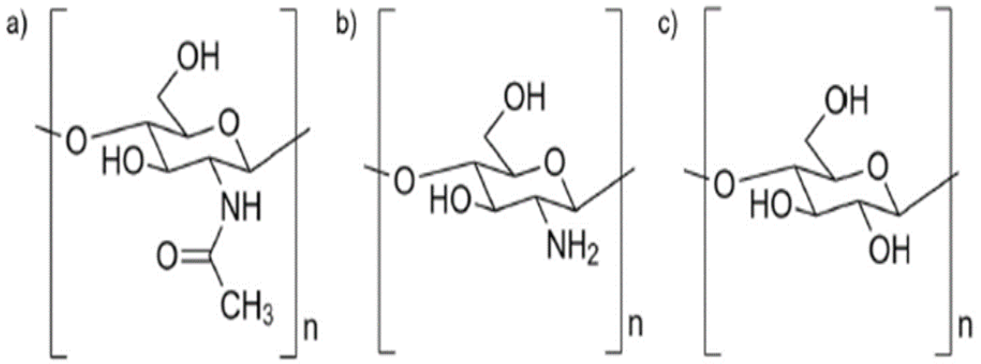
Filamentli mantarların (misel) vejetatif büyümesi, düşük enerjili biyo-fabrikasyon ve atık geri dönüşümünün yeni bir biçimi olarak son on yılda akademik ve ticari çevrelerin ilgisini çekmiştir (Jones vd., 2017; Nawawi vd., 2019). Miseller, hem ambalaj gibi düşük değerli malzemeler hem de ticari değeri çok az olan veya hiç olmayan sorunlu tarımsal ve endüstriyel atık malzemelerden daha yüksek değerli kompozit malzemeler (Pelletier vd., 2013; Jones vd., 2017; Islam vd., 2017; Haneef vd., 2017) üretmek için kullanılabilen doğal bir biyolojik işlem ile bir hüf mikrofilament ağı aracılığıyla organik maddeyi bağlamaktadır (Bhuvaneshwari vd.,2019). Bu misellerin bağlayıcı bileşenleri, dağılmış bir tarımsal atık fazı (substrat dolgusu) ile ara yüz oluşturur ve bir polimer kompozitin matris fazına benzer bir şekilde kompozit içindeki tipik olarak lifli tarımsal atık arasında bir yük transfer ortamı olarak işlev görmektedir (Pelletier vd., 2013 ve Thakur ve Siṅgha, 2013).

Misel esaslı malzemeler, biyolojik olarak bozunabilirliklerine, düşük çevresel etkilerine ve karbon ayak izine ek olarak düşük maliyetleri, yoğunlukları ve enerji tüketimleri dahil olmak üzere geleneksel sentetik malzemelere göre birçok önemli avantajlara sahiptir (Arifin ve Yusuf, 2013; Haneef vd., 2017; Abhijith, 2018). Kontrollü

işleme teknikleri (örneğin büyüme ortamı ve sıcak presleme) ile birleştirilmiş çok çeşitli kullanılabilir substratları, misel esaslı malzemelerin yangına dayanıklılık, termal ve akustik yalıtım dahil olmak üzere belirli yapısal ve işlevsel gereksinimleri karşılamasını sağlayabilmektedir (Pelletier vd., 2013; Jones vd., 2017; Haneef vd., 2017). Misel Esaslı malzemeler, yalnızca sentetik bazlı malzemelere (örn. plastik filmler ve levhalar) (Haneef vd., 2017) ve daha büyük boyutlu düşük yoğunluklu ürünlere (örn. sentetik köpükler ve plastikler) (Holt vd.,2012; Pelletier vd., 2013; Travaglini vd., 2013; López Nava vd., 2016) atık kaynaklı çevre dostu alternatifler olarak kullanılmasına izin vermekle kalmamakta, aynı zamanda yarı yapısal malzemeler (örneğin paneller, döşeme, mobilya, zemin kaplaması) olarak (Islam vd., 2017; Abrams, 2014; Jiang, 2017) çevresel açıdan sürdürülebilir ürünlerdir. Bu özelliklerinden dolayı inşaatta yenilenebilir ve çevre dostu ürünlerin kullanılmasının önünü açmaktadır. Bununla birlikte, misel esaslı kompozit malzemelerinin bu olumlu özelliklerinin yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar; yüksek su absorpsiyonu, alternatif ürünlere oranlara düşük mekanik özelliklere sahip olmaları ve malzeme özelliklerinin dokümantasyonundaki eksiklikler olarak sıralanabilir. Bu olumsuz yönleri, misel esaslı kompozitlerin uygulamalarını ve kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu sınırlamalar, yalıtım özellikleri, kapı göbekleri, paneller, döşeme, dolaplar ve diğer mobilyalar gibi belirli uygulamalarda hedeflenen kullanıma ek olarak bu malzemelerin daha fazla araştırılmasını ve geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

1.7.1. Kompozit Üretimi İçin Mantar Biyopolimerleri ve Mantar Biyorafinerisi

Mantarlar, bitki hücre çeperlerindeki ana yapısal polimer olan selülozun aksine, kitin ve kitosan gibi değerli yapısal polimerlerin doğal ve yenilenebilir bir kaynağıdır (Şekil 10). Kitin, N-asetilglukozamin birimlerinden oluşan lineer bir makromoleküldür ve aynı zamanda çoğu böcek ve diğer eklembacaklıların dış iskeletinin ana bileşenidir (Rinaudo, 2006). Kitin, yüksek dipol momentinden ve makromoleküllerin zincirleri arasındaki hidrojen bağından kaynaklanan yaklaşık 1.6–3.0 GPa (Bamba vd., 2017) nano fibril gerilme mukavemetinden dolayı oldukça güçlüdür (Webster ve Weber, 2007).

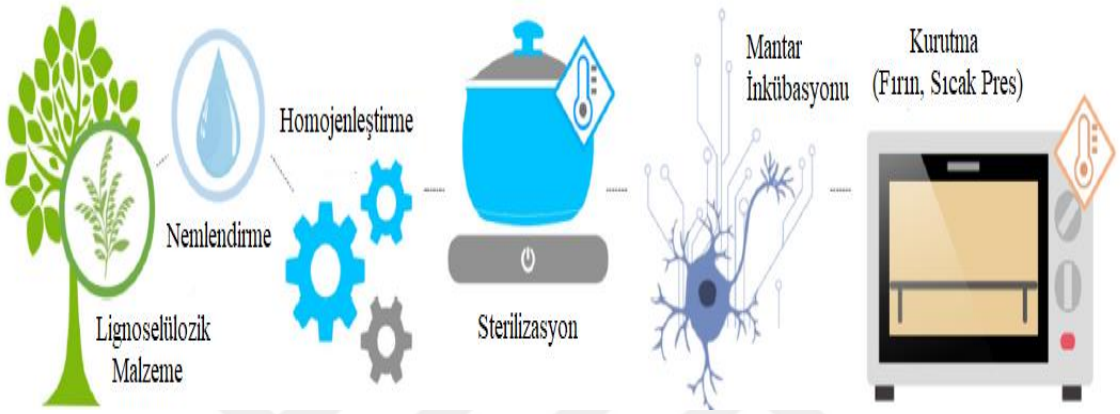


Şekil 10. a) Kitin, b) Kitosan ve c) Selülozun moleküler yapıları (Jones vd., 2020)

Hüf filamentleri bir araya gelerek miselleri oluşturur. Mantar hücre çeperleri kalın ve karmaşık lifli bir kitin ağı şeklindeki glukanlar, manno-proteinler, kitosan, poliglukuronik asit veya selüloz gibi diğer polisakkaritleri ve düşük miktarlarda proteinleri ve glikoproteinleri içermektedir. Bu bileşenler, mantar misellerinin odun gibi lignoselülozik malzemelerin tipik mekanik özelliklerini göstermesini sağlamaktadır (Appels, 2018). Bununla birlikte, tarımsal atıkların içerisindeki ve arasındaki boşluklar da misellerin ağ yapısını ve bağlayıcılığı ile ara yüz oluşumunda elde edilen misel esaslı kompozitleri, saf misellerden daha düşük yoğunluklara ve elastik modüllere sahiptir ve genellikle köpük olarak sınıflandırılır (Appels, 2019; Ashby vd., 2018). Bunun nedeni, genellikle gözenekli ve misel ağ yapısının gevşek bir şekilde sarması ve içerisinde bulunan hava miktarıdır (Holt vd., 2012).

Misel esaslı kompozitler, karbonu tutan ve bu malzemelerin en önemli avantajlarından biri olan düşük enerji kullanılması, doğal bir üretim süreci kullanılması gibi avantajlarla üretilir (Şekil 11). Hammadde, mantar gelişimi için öncü besin (karbonhidratlar) olarak gereklidir. Mantarlar gelişimini sürdürebilecek herhangi bir hammaddeyi kullanarak gerçekçi bir misel esaslı kompozit oluşturabilir (Jones vd., 2017; Kavanagh, 2017). Düşük maliyetli lignoselülozik tarım veya ormancılık yan ürünleri veya atıkları, misel esaslı kompozitlerin hem maliyetini düşük tutmakta hem de atıkların geri dönüşümünü ve döngüsel ekonomiyi kolaylaştırmaktadır. Yaygın olarak mantarlar için besin olarak saman gibi lifli veya talaş gibi partikül hammaddeler kullanılmaktadır (Pelletier vd., 2013; Jones vd., 2017; Camere ve Karana, 2018). Bununla birlikte, bu ucuz, düşük değerli malzemelerin mantar besin ortamı olarak kullanılması, maliyetleri düşük ve çevresel sürdürülebilirliği yüksek tutarken, mantar büyümesini/gelişmesini sınırlama gibi olumsuz bir yan etkiye sahiptir.

Dolayısıyla sağlıklı büyüyememiş/gelişememiş mantarlar kompozit malzeme özelliklerini tehlikeye atabilmektedir. Bu durum, köpük benzeri misel esaslı kompozitlerin üretimi için kabul edilebilir olsa da mekanik özellikler bir öncelik olduğunda bazen besleyici buğday taneleri ve talaşlar gibi daha yüksek kaliteli ve daha pahalı olan mantar besin ortamları kullanılması gerekmektedir (Travaglini vd., 2013; Xing vd., 2018; Elsacker vd., 2019).



Şekil 11. Sterilizasyondan sonra mantar aşılama ve inkübasyon periyodu (Jones vd., 2020)

Üretimde kullanılan hammadde (yıllık bitki atıkları, odun yongası veya talaşı) kalitesinden bağımsız olarak, rutubetlendirmek için önce suya batırılır. Rutubet, mantar gelişimi için çok önemlidir. Rutubetlendirme işleminin süresi ve yöntemi hazırlanan/kullanılan lignoselülozik materyalden materyale değişiklik gösterir (Elsacker vd., 2019). Örneğin pirinç kabukları gibi hammaddeler çok az su (rutubet) absorblar, ancak buğday taneleri ise rutubetlendirme süresinde önemli ölçüde şişen ve en az 48 saatlik sürede tamamen aşılama ortamı oluşmasını sağlar (Jones vd., 2018). Rutubetlendirilmiş hammadde daha sonra, düşük enerji gereksinimli mekanik işlemler kullanılarak tamamlanabilir. Mekanik işlemler ise bir mutfak blenderi veya gereksinimlere ve üretim ölçeğine bağlı olarak öğütme makinaları kullanılarak hammaddenin hem mantarların büyüme yüzey alanını arttırmak için hem de boyutsal olarak homojenleştirilir (Elsacker vd., 2019). Homojen boyutlara getirilen ham madde daha sonra, malzemede olan mevcut bakteri ve mantarların mikrobiyal rekabetini ortadan kaldırmak için sterilize edilir. Bu, bir fırında yüksek sıcaklık koşulları kullanılarak tamamlanabilir, ancak bu hammaddenin rutubetini düşürdüğü için çok fazla tercih edilmez. Bu nedenle, sterilizasyon işlemi için genellikle bir düdüklü tencere veya otoklav ile gerçekleştirilmektedir. Hidrojen peroksit (H_2O_2) gibi kimyasallar da

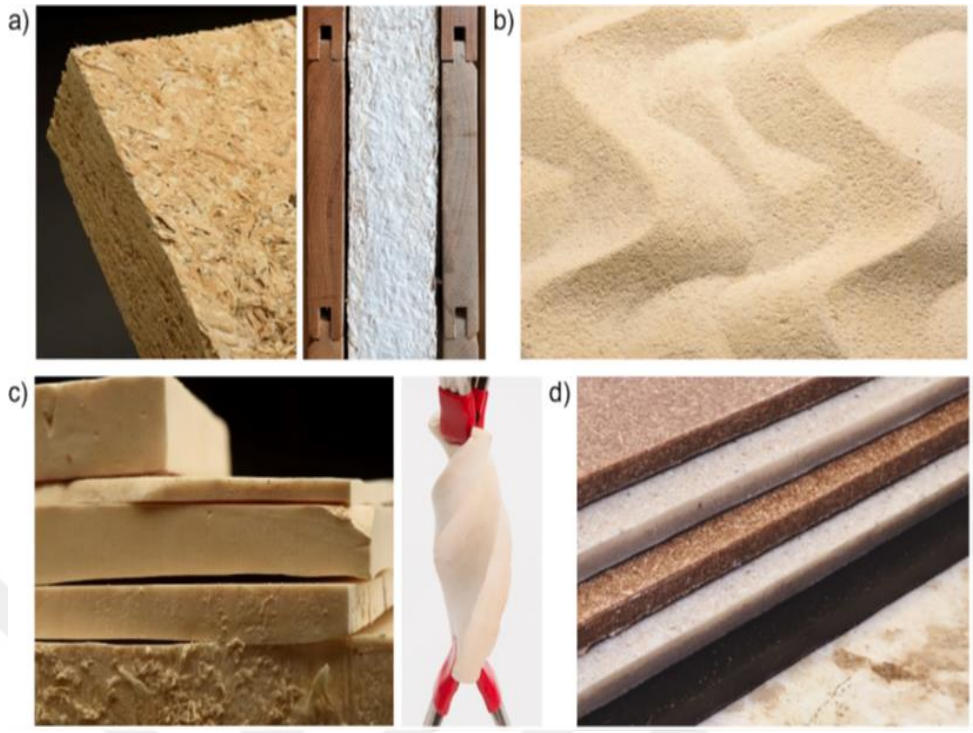
lignoselülozik materyali sterilize etmek için kullanılabilir, ancak diğer sterilizasyon yöntemlerinden daha az enerji yoğun olsa da daha az etkilidir ve daha yüksek kontaminasyon oranlarına neden olmaktadır (Lelivelt, 2015).

Misel esaslı kompozit malzemelerin tek parçada üretimi, lignoselülozik malzemenin paketlendiği kalıp şeklini yansıtan 3D geometrilerde birbirlerine bağlayan doğal bir mantar büyüme süreci kullanılarak tamamlanmaktadır (Holt vd., 2012; Jones vd., 2017). Lignoselülozik kompost, sıvı bir solüsyondaki sporlar veya buğday taneleri gibi besin açısından zengin bir besin ortamı (malt-agar extract, patates-agar vb.) üzerinde yetiştirilen hüf veya mantar biyokütlesinin herhangi bir parçasının ağırlıkça %10-32'sini lignoselülozik maddeye ilave edilerek ve eşit olarak dağıtarak aşılanmaktadır (McIntyre vd., 2012; Jones vd., 2017). Sıvı besin ortamıyla aşılama yapıldığında, sporlar, substrat boyunca çok kolay ve eşit bir şekilde dağılma avantajına sahiptir ve birçok başlangıç büyüme noktası sağlar, ancak başlangıçta düşük kaliteli lignoselülozik materyal üzerinde büyümek için mücadele eden besin açısından zengin bir besin ortamı gerektirir. Tahıl veya talaşa (buğday, mısır vb.) sardırılmış misellerle aşılama, ilk büyümeyi desteklemek için besin açısından zengin bir besi ortamı sağlayarak bu sorunu hafifletir, bu daha sonra daha düşük kaliteli lignoselülozik materyallere yayılabilir, ancak daha az başlangıç büyüme noktası sağlar ve eşit olarak dağılması daha zordur (Camere ve Karana, 2018).

İnokülasyonu takiben, kalıplardaki aşılanmış lignoselülozik materyaller oda koşulları altında veya sıcaklık kontrollü bir ortamda ~25–27 °C'de, kullanılan mantar türüne, besin maddesine ve istenen bağlanma derecesine bağlı olarak günler ila aylarca büyüme periyodu boyunca mantar inkübasyonu devam ettirilebilir (Griffin, 1996; Jones vd., 2017). Normal oda koşullarında mantar inkübasyonu daha ucuz ve enerji bakımında daha verimlidir, ancak yüksek sıcaklıktaki ortamlardakine oranla mantar büyümesi daha yavaş büyüme ile sonuçlanabilmektedir. Büyüme periyodunun ardından, kompozit malzemeler kalıplardan çıkartılmakta ve malzemeyi kurutmak ve mantarı etkisizleştirmek için sıcak preslenebilir, fırında veya sıcak preslemede kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler aynı zamanda kompozit malzemeyi sertleştirirken daha fazla miselin (mantarın) büyümemesini veya yayılmamasını sağlamaktadır (McIntyre vd., 2012). Sıcak presleme ve fırında kurutma, en hızlı kurutma süreçleri oldukları için endüstri tarafından tercih edilir, sıcak presleme ayrıca malzemeyi sağlamlaştırır ve yoğunlaştırır, böylece daha yüksek mekanik özellikler sağlanmaktadır. Tamamen işlenmiş misel esaslı kompozit malzemeler tamamen biyobozunabilir ve besin açısından zengin kompostlar için ağırlıkça yaklaşık %5 mantar

miseli kullanılarak bağlanan ağırlıkça yaklaşık %95 lignoselülozik malzeme içerir (her 1 g buğday için 50 mg biyokütleye karşılık gelen yaklaşık 870 ppm ergosterol konsantrasyonuna göre tahmin edilmiştir) (Jones vd., 2019b).

Köpük benzeri kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri, misel esaslı kompozitlerini yalıtım malzemeleri ve kapı göbekleri dahil olmak üzere yapısal olmayan inşaat uygulamaları için uygundur. Misel esaslı kompozitler şu anda ABD ve Endonezya'da bu uygulamalar için ticari olarak mevcuttur, ancak fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili belgeler henüz kamuya açık değildir (URL-5) (Şekil 12a). Misel esaslı kompozit akustik yalıtım köpükleri aynı zamanda AB ve ABD'de ticari olarak temin edilebilen ve diğer geleneksel ticari inşaat malzemeleriyle rekabet edebilecek akustik absorpsiyon özellikleri sergileyen yenilenebilir malzemeler olarak tanıtılan popüler bir üründür (URL-5; URL-6) (Şekil 12b). Tekstil uygulamaları da çok esnek misel bazlı polimer benzeri malzemelerin geliştirilmesinde kaydedilen önemli ilerlemelerle dikkat çekmektedir; bu malzemeler şu anda üçüncü taraf tasarımcılar tarafından hammadde yerine bitmiş ürün olarak satılmaktadır (URL-5) (Şekil 12c). Misel esaslı kompozitlerinin soya bazlı reçine ile emprenye edilmesi ve ardından kürleme, panelleme, döşeme, dolap ve diğer mobilyalar gibi yarı yapısal uygulamalara kullanımlarını daha da genişletebilir, ancak bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri de bilinmemektedir (URL-6; Jiang, 2019) (Şek. 13d).



Şekil 12. Ticari misel kompozit yapı malzemeleri a) yalıtım malzemeleri ve kapı göbekleri için alternatif levhalar b) Akustik yalıtım köpükleri, c) esnek yalıtım köpükleri ve d) reçine ile emprenye edilmiş döşemeler. Images courtesy of Ecovative Design LLC (Green Island, USA) and Mogu s.r.l (Inarzo, Italy) (Jones vd., 2017)

On yılı aşkın bir süredir ticari olarak mevcut olan bu malzemelerin büyük potansiyeline rağmen, benimsenmeleri yavaş olmuştur. Dell, iş sunucularının paketlenmesi için misel bazlı köpükler kullanmakta ve IKEA da misel bazlı paketlemenin benimsenmesiyle ilgilendiğini ifade etmiştir (URL-7; URL-8). Bununla birlikte, misel bazlı kompozit malzemeleri, çoğunlukla, sandalyeler ve abajurlar gibi mobilyalardan, Philip Ross'un "Mycotectural Alpha" çay evi gibi sanatsal yapılara kadar her şeyi üretmek için kullanılan seçkin bir grup sanatçı ve tasarımcı tarafından tercih edilen, ağırlıklı olarak yeterince kullanılmayan bir niş ürün olmaya devam etmektedir. 2014 yılında New York Modern Sanat Müzesi tarafından sergilenen, 10.000'den fazla tuğladan oluşan 12 m yüksekliğindeki "Hy-Fi" organik kule büyük ilgi çekmiştir (Jones vd., 2017; URL-9; URL-10; URL-11; URL-12). Bu yetersiz kullanım, miselyum malzemeleri üzerindeki patent tekeline, endüstriyel ticari olarak uygulanabilirlik eksikliğine, ambalaj dışındaki uygulamalar için bu yeni malzeme platformuna güven eksikliğine veya endüstri ve genel halk arasında bir farkındalık eksikliğine yol açmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Bununla birlikte, şu anda ABD, İtalya, Endonezya, Hollanda'da faaliyet gösteren şirketler ve ABD, İtalya, Belçika, Hollanda, Avustralya, Avusturya ve İsviçre'yi kapsayan araştırmalarla misel bazlı kompozit malzemelere ilgi artmaktadır (URL-5; URL-6; URL-13; URL-14; URL-15; URL-16; URL-17; URL-18).

Misel esaslı kompozit malzemeler alanındaki bu artışın çoğu misel esaslı kompozit üretimi (Jones vd., 2017; Karana vd., 2018; Wösten vd., 2018; Attias vd., 2019; Wösten, 2019) ve bu malzemelerin sürdürülebilirliği ve yaşam döngüsü (Camere ve Karana,2018; Geldermans vd., 2019; Jones vd., 2019) ile ilişkili biyolojik üretim süreçleriyle ilgilidir. Misel esaslı kompozitlerin mekanik performansını iyileştirmek için kullanılan kompozit mühendislik uygulamalarını araştırmaya odaklanmakta, bu kompozitlerin malzeme özelliklerini, bunları etkileyen faktörleri ve inşaat sektöründeki potansiyel uygulamaları tartışılmaya devam edilmektedir (Şekil 12).

1.7.2. Misel Esaslı Kompozit Malzeme Özelliklerinin Mühendisliği

1.7.2.1. Misel Bağlayıcının Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Misel esaslı kompozitlerin misel bileşeni genellikle düşük mekanik performansları ile eleştirilmektedir (Travaglini vd., 2013; Jiang, vd., 2019). Bununla birlikte, misellerden elde edilen kitin-glukan ekstrakt konuları üzerine yapılan son çalışmalar, aslında misel bağlayıcının oldukça güçlü olduğunu (çekme mukavemeti 25 MPa'ya kadar (Jones vd., 2019) ve mantarın sapı ve şapkası için ise 200 MPa'ya kadar (Fazli Wan Nawawi vd., 2019), olduğunu tespit etmişlerdir bu da miselin düşük mekanik (direnç) özelliğinden değil de, yetersiz mantar (misel) gelişiminin lignoselülozik materyaller arasında yetersiz bağlanmadan dolayı misel esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin düşük olduğunu düşündürmektedir. Misel esaslı kompozit üretiminde kullanılan mantar türleri misel esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinde direk rol oynamakta ve oldukça önem arz etmektedir. Bilindiği üzere, misel yoğunluğu ve ara yüzey bağlanma derecesi mantar türlerine göre büyük oranda değişiklik göstermektedir. Düşük misel yoğunluğuna ve lignoselülozik materyallerin iç kısımlarındaki düşük oranda bağlanmasını sağlayan mantar türlerinin kullanılması durumunda üretilecek kompozitin direnç özelliklerinin de düşük olmasına neden olmaktadır (Jones vd., 2018). Bir mantar türünün herhangi bir kompost (lignoselülozik materyal ve/veya besin ortamı) üzerinde ne kadar iyi büyüdüğü, doğal

evrimsel faktörlerden etkilenmektedir. Doğada, mantarların sıcaklık istekleri mantar türlerine göre değişiklik göstermektedir. Orta sıcaklıklarda veya ılımlı sıcaklıklarda optimum büyüme sağlayan mantarlar mezofilik, yüksek sıcaklıklarda optimum büyüme gösteren mantarlar ise termofilik mantarlar olarak adlandırılırlar. Mezofilik mantarlar ilk önce artan sıcaklıkla gelişirler, daha basit karbon kaynaklarını (şekerler, amino asitler ve organik asitler) tüketirler ve termofilik mantarlar için sadece biyokütlenin polisakkarit bileşenlerini (selüloz ve hemiselülozlar) bırakırlar. Doğada birçok buna benzer örnek mevcuttur, örneğin daha hızlı büyüyen birincil koloniciler mevcut basit şekerleri hızla tüketir ve yalnızca daha karmaşık şekerleri ikincil ve üçüncül kolonileştiricilere bırakır. Bu, bu gruplar içinde, farklı karbon kaynakları için (Stamets, 2005) doğal afinitelere yol açmakta ve bu, bir mantar türünün herhangi bir besin maddesi üzerinde ne kadar iyi büyüyeceğini önemli ölçüde etkilemektedir. Üretilen misel esaslı kompozitlerin çoğunda lignoselülozik materyaller ya da atıkların kullanılmasından dolayı, basit şekerleri (örn. fruktoz, glikoz ve sakaroz) kolayca kullanabilen hem selülozu hem de lignini tahrip edebilen Trametes, Ganoderma ve Pleurotus cinsleri Basidiomycota gibi beyaz çürüklük mantarları tipik olarak kullanılmaktadır (Holt vd., 2012; Haneef vd., 2017; Jones vd., 2018; Appels vd., 2019; Elsacker vd., 2019).

Misellerin bağlayıcı ağ yapısı, misel esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerini de etkilemektedir. Basidiomycetes sınıfı mantarlar tarafından sergilenen mono-, di ve tri-mitik hüf ağları iyi bir örnek olarak gösterilmektedir (Pegler, 1996). Basidiomycetes sınıfındaki mantarlar hüf ağları, hücre çeperi kalınlığı, içyapı ve dallanma özelliklerinde önemli farklılıklarla birlikte, üretici, bağlayıcı ve iskelet olmak üzere üç farklı hüf tipini içerebilmektedir (Corner, 1953; Jones vd., 2017). Bir türde bulunan farklı hüf türlerinin sayısı, mitik sistem kullanılarak tanımlanır. Monomitik türler sadece üretici hüflerden oluşur, dimitik türler iki hüf tipinden (genellikle üretici ve iskeletsel) oluşur ve trimitik türler üç temel hüf tipinden oluşur (Webster ve Weber, 2007). Üretken hüfler ince çeperli, içi boş ve dallıdır, iskelet hüfleri ise kalın çeperli, genellikle katı ve seyrek dallı veya dalsızdır. Bağlayıcı (ligatif) hüfler de kalın çeperli, genellikle katı ve çok dallıdır. Karmaşık hüf sistemlerinin (ör. trimitik) daha az karmaşık hüf sistemlerinden (ör. monomitik) daha gelişmiş formlar olduğu genel olarak kabul edilir (Ryvarden, 1991; Pegler, 1996; Ko ve Jung, 1999), hüf sisteminin çeper kalınlığı ve hücrelerinde bulunan su miktarı biyokütlenin belirli niteliklerinden sorumludur (Ames, 1913). Fermentasyonda kullanılan mantar hüflerinin gerilme özellikleri, 24 MPa'ya kadar tahmini hüf nihai gerilme mukavemetleri ve

140 MPa'ya kadar elastik modülleri ile çalışılmış olsa da odun çürüklüğü yapan mantar hüflerinin mekanik özellikleri iyi karakterize edilmemiştir (Stocks ve Thomas, 2001a; Stocks ve Thomas, 2001b; Li vd., 2002). İçi boş ve sitoplazma içeren tek başına üretici hüflerin (monomitik hüf sistemleri), sınırlı mekanik performans sağladığı ve malzeme gücünden sorumlu bağlayıcı hüfler (dimitik ve trimitik hüf sistemleri) olduğu öne sürülmektedir (Bayer ve McIntyre, 2012; Bayer ve McIntyre, 2016). Bunu doğrulayan bir literatür olmamasına rağmen, *T. versicolor* veya *multicolor* gibi trimitik türler kullanarak üretilen (kanola sapları üzerinde yetiştirildiğinde) misel esaslı kompozitlerin, P. *ostreatus* (0.01 MPa çekme mukavemeti, 0.06 MPa eğilme mukavemeti) gibi monomitik türlerden daha yüksek gerilme (0.04 MPa) ve eğilme mukavemeti (0.22 MPa) sergilediği tespit edilmiştir (Appels vd., 2019). *T. versicolor* kenevir üzerinde yetiştirildiğinde *P. ostreatus*'tan daha yüksek bir basınç dayanımına (0.19 MPa ile karşılaştırıldığında 0.26 MPa) sahip olduğu tespit edilmiştir (Lelivelt, 2015). Ancak kitin ve kitosan gibi yapısal polimerlerin varlığının polisakkaritler (örn. galaktoz, mannoz ve fukoz), fosfat, proteinler, lipidler ve mineral tuzları da içeren ince hüflerin hücre çeperi ile sınırlı olduğu gerçeği (Bartnicki-Garcia, 1968), mekanik performansı daha fazla etkilemesi muhtemel misel biyokütle (bağlayıcı) miktarı ile hüfsel yapının önemini sorgulanabilir hale getirmektedir.

1.7.2.2. Substrat Dolgu Maddelerinin Misel Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Misel esaslı kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri genellikle üretiminde kullanılan lignoselülozik materyallere bağlıdır. Misel esaslı kompozitler tipik olarak 60 ila 300 kg/m^3 arasında bir yoğunluğa sahiptirler. Tarımsal atıklar (saman, yıllık bitki sapı vb.) kullanılarak üretilen misel esaslı kompozit malzemelerin yoğunluğu genellikle 60–130 kg/m^3 arasında iken, talaş, yonga, odun tozu gibi orman endüstri sektöründeki atıkları kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitlerin yoğunluğu 87–300 kg/m^3 arasında değişmektedir. Tarımsal atıklardan üretilen misel esaslı kompozitlerin yoğunluğu orman endüstri sektöründeki atıklar kullanılarak üretilenlerden genellikle daha düşüktür (Tablo 1). Farklı lignoselülozik materyallerin misel esaslı kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi hakkında sadece sınırlı veri mevcuttur.

Tablo 1. Farklı lignoselülozik materyallerden üretilen misel esaslı kompozitlerin yoğunluk, çekme, basınç ve eğilme direnci özellikleri

Test	Hammadde Türü	Hammadde	Yoğunluk (kg/m^3)	Elastisite Modülü (E)	Nihai Gerilme (MPa)	Kaynak
Çekme Direnci	Lifsel	Kozla Samanı	115	3	0.025	Appels vd., 2019
	Partikül	Kayın Talaşı	170	13	0.05	
		Kırmızı Meşe Talaşı	300	1.30	0.18	Travaglini vd., 2013
Basınç Direnci	Lifsel	Keten Hurd	99	0.73		Elsacker vd., 2019
		Kendir Hurd	94	0.64		
		Buğday Samanı	192		0.17	Ghazvinian vd., 2019
	Partikül	Çam Talaşı	87	0.14		Elsacker vd., 2019
		Kırmızı Meşe Talaşı	300	1.0	0.49	Ghazvinian vd., 2019
		Ak Meşe Talaşı	552		1.1	
Eğilme Direnci	Lifsel	Pamuk Lifi	130	1.0	0.05	Appels vd., 2019
		Kozla Samanı	115	1.5	0.14	
	Partikül	Kayın Talaşı	170	9.0	0.29	

Çekme özellikleri, misel esaslı kompozitlerinin en iyi karakterize edilen malzeme özellikleri arasındadır. Literatürde bildirilen misel esaslı kompozitlerin çekme direnç değerleri, odun talaşı kullanılarak üretilen misel esaslı kompozit malzemelerde çalışmadan çalışmaya önemli ölçüde farklılık göstermektedir (0.05-0.18 MPa). Ancak talaş kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitlerin çekme direncinin, saman kullanılarak üretilenlerden (0.01-0.04 MPa) daha yüksek olmasının nedeni gerilme mukavemetleri ile ilişkili olduğu görülmektedir (Tablo 1). Bununla birlikte, üretiminde odun talaşı kullanılan misel esaslı kompozitlerinin çekme özellikleri, substratların (kompostun) mekanik özellikleri ile ilgili değildir. Kusursuz, düzgün lifli kayın odunu (5-7 MPa), kırmızı meşe odununa (5.5 MPa) benzer veya daha yüksek liflere dik çekme direncine sahip olmasına rağmen (Green vd., 1999; Buschow, 2001), kayın talaşı kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitin çekme direnci (0.05 MPa), kırmızı meşe talaşı kullanılarak üretileninkinden (0.18 MPa) çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu elde edilen bulgular, misel esaslı kompozitlerin çekme özelliklerinin misellerin gelişimi ve homojen olarak üretimde kullanılan lignoselülozik materyaller arasında ne kadar güçlü olduğundan daha fazla etkilendiği belirtilmiştir. Misel esaslı kompozitlerin çekme direncini yüksek değerlere arttırmak için kullanılan

hammaddenin sağlam, yüksek dirençli lignoselülozik materyaller ile ilgili olmayıp, besin açısından zengin hammadde kullanılması gerektiğini göstermektedir. Düşük maliyetleri nedeniyle çekici olan tarımsal yan ürünler ve atıklar gibi bazı düşük kaliteli lignoselülozik materyaller tipik olarak kolayca kullanılabilen basit şekerler (örneğin fruktoz, glikoz, sakaroz) dahil olmak üzere optimal mantar besinlerinden yoksundur ve bunun yerine daha karmaşık karbon kaynakları içerir (örneğin selüloz ve lignin) (Faruk vd., 2012). Beyaz çürüklük mantarları bu lignoselülozik materyaller için uygun olsa da pirinç kabukları gibi bazı tarımsal yan ürünlerde mantar büyümesini sınırlayan silika gibi yüksek miktarlarda mineraller bulunmaktadır (Jones vd., 2019). Bu da lignoselülozik materyallerde mantar gelişimin yetersiz/zayıf materyallerin her tarafına homojen olarak (aynı oranda) yayılamamasına/gelişememesine ve materyaller arasında zayıf bağlanmaya neden olmakta ve üretilen misel esaslı kompozitlerin çekme direncini olumsuz etkilemektedir (Travaglini vd., 2013; He vd., 2014; Jones vd., 2019).

Maalesef, misel esaslı kompozitlerinin basınç dirençlerine ilişkin tutarsız ve sınırlı veriler mevcuttur. Elsacker ve ark. (2019) kenevir lifi ve keten kabuğu kullanılarak üretilmiş kompozitlerin basınç modülünün çam odunu planyadan talaşı kullanılarak üretilen kompozitinkinden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır (0.14 MPa'ya kıyasla sırasıyla 0.64 ve 0.73 MPa), ancak çalışmaları sadece %70-80'e kadar yük uygulayarak test ettikleri için basınç dayanımı değerleri elde edilememiştir. Bu çalışmada elde edilen bulguların aksine, Ghazvinian ve ark. (2019) beyaz meşe odun talaşı ve buğday samanı kullanarak üretilen misel esaslı kompozitlerinin basınç direncini değerlendirmiş ve odun talaşından üretilenin samandan üretileninkinden çok daha yüksek bir basınç direncine sahip olduğunu bulmuşlardır (sırasıyla 0.17 MPa ile karşılaştırıldığında 1.1 MPa), ancak kompozitlerin sertlik değerleri belirlenmemiştir (Tablo 1). Sadece Travaglini ve ark. (2013) kırmızı meşe odun talaşı kullanarak üretilen misel esaslı kompozitlerinin hem basınç modülünü (1 MPa) hem de basınç direncini (0.49 MPa) belirlemişlerdir. Basınç yükleme koşulları altında misel esaslı kompozitlerin karakterizasyonundaki önemli bilgi/araştırma eksikliğine rağmen, talaş gibi partiküllü kompostların, kompozite saman gibi lifli kompostlardan daha yüksek basınç direnci özellikleri sağladığı düşüncesi ön plana çıkmaktadır. Gözenekli malzemelerin basınç özellikleri, geçirgenlik ve gözenek boyutu ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu ve geçirgenlik oranının artmasıyla, kompozitin mekanik özelliklerinin azalmasıyla doğrudan ilişkili olduğu belirtilmektedir (Xai vd., 2013; Ashby vd., 2018). Bu, misel esaslı kompozitlerin basınç direnci performansının, lignoselülozik materyallerin basınç direnci özelliklerine ve

geçirgenliğine, kompozitin kendisine ve mantarın lignoselülozik materyalleri parçalama/bozundurma oranına bağlı olacağını ve bu da inkübasyon süresine bağlı olarak materyalin geçirgenliğini artıracağını göstermektedir (Kavanagh, 2017). Bununla birlikte, misel esaslı kompozitlerin basınç direnci özelliklerinin, lignoselülozik materyallerin parçacık boyutundan büyük ölçüde bağımsız olduğu bulunmuştur (Islam vd., 2018).

Lignoselülozik materyallerin parçacık geometrisi de misel esaslı kompozitlerin eğilme direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir (Roylance, 2000). Lifli lignoselülozik materyallerin geometrileri, eğer lifler yükleme yönünde hizalanırsa kompozitin yüzeylerinde çekme direnci özelliklerini ve dolayısıyla genel olarak kompozitin eğilme direnci özelliklerini iyileştirmesine rağmen (Chand, 2020), havaya maruz kalan yüzeylerde önemli oranda mantar büyümesi muhtemelen enzimatik lif bozulmasına ve hasarına neden olmaktadır (Choudhury, 2017). Hava iletimi (misel yoğunluğu havaya maruz kalan yüzeylerde en yüksek ve kompostun iç kısmında (merkezinde) en düşük olduğundan) mantarın büyümesi için kritiktir, burada inkübasyon periyodunda kompost yapay olarak havalandırılmadığı sürece, lignoselülozik materyallerin gözenekliliğine/geçirgenliğine bağlı olarak büyüme sınırlı olabilmekte veya hatta hiç olmayabilmektedir (Webster ve Weber, 2007; Jones vd., 2018c). Lifli yüzeyler içeren misel esaslı kompozitlerin eğilme özelliklerinde iyileşme olmaması, pamuk lifi esaslı kompozitlerin (sırasıyla 1 MPa ve 0.05 MPa) zayıf eğilme özellikleriyle desteklenmiştir, ancak samandan üretilen kompozitler daha iyi eğilme sertliği (1 –3 MPa) ve eğilme direnci (0.06–0.22 MPa) özelliği sergilediği belirtilmektedir (Tablo 1). Bu bulguların tersine, kayın talaşı kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitin çok daha yüksek elastikiyet modülü (9 MPa) ve eğilme direnci (0.29 MPa) özelliklerine sahip olduğu belirtilmiş; bu, büyük olasılıkla, malzemenin havaya maruz kalan yüzeyinde yoğun, sürekli bir misel bağlayıcı oluşumunu teşvik eden besin bileşiminin sonuncundan kaynaklandığı bildirilmiştir. Substrat besin profilinin kompozitin eğilme özellikleri için önemi Tudryn ve arkadaşları tarafından yapılan araştırmada elde edilen sonuçlarla desteklenmiştir (Tudryn vd., 2018). Tudryn ve ark. (2018) yüksek besin içeriğine sahip lignoselülozik materyaller kullanıldığında, daha yoğun misel gelişimi ve daha sürekli bir misel bağlayıcının varlığından dolayı üretilen misel esaslı kompozitlerin spesifik eğilme stresini ve spesifik eğilme modülünü arttırdığını bulmuştur.

Genel olarak, herhangi bir lignoselülozik materyalin kompoziti güçlendirmedeki payı/önemi, kompostun besin içeriği ve profili tarafından daha fazla yönetiliyor gibi görünmekte, daha fazla besin değerlerine sahip kompostlar ile daha fazla mantar büyümesi

ve bağlanması gerçekleşmektedir. Çünkü başarısızlık her zaman kullanılan lignoselülozik materyalden ziyade misellerin gelişme derecesiyle, yoğunluğuyla, homojen yayılması ve misel ağ yapısının lignoselülozik materyalleri ne ölçüde birbirine bağladığıyla ilişkilidir. Buda ne yazık ki, mekanik performansı iyileştirmek için sıcak veya soğuk presleme, reçine infüzyonu veya hibridizasyon gibi daha ileri işleme teknikleri kullanılmadıkça, ucuz, düşük kaliteli (düşük besin içeriğine sahip) tarım ve orman endüstri atıklarını genellikle yalnızca köpük benzeri misel esaslı kompozitlerinin üretimi için uygun kılmaktadır (Jones vd., 2019a).

1.7.2.3. Misel Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerini İyileştirmek İçin Sıcak ve Soğuk Pres Uygulaması

Misel esaslı kompozitlerin mekanik özellikleri, soğuk veya sıcak presleme gibi fiziksel işlemler kullanılarak önemli ölçüde iyileştirilebilir. Presleme kompozit malzemeleri konsolide ettiği, malzemenin geçirgenliğini azalttığı ve genel olarak malzeme yoğunluğunu arttırdığı için misel esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileşmesi beklenmektedir (Dia vd., 2007). Presleme aynı zamanda liflerin panel düzleminde yatay olarak yeniden yönlendirilmesine yardımcı olur (Butterfield vd., 1992) ve presleme sırasında panel kalınlığının azalması, üst üste binme noktalarında liflerin çeperleri arasında önemli ve yakın lif teması ile sonuçlanmaktadır (Carvalho ve Costa, 1998). Kanola (kolza) samanı/sapında *P. ostreatus* kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitlerde, soğuk presleme, gerilme mukavemetinde (0.01 MPa ila 0.03 MPa) ve daha yüksek bir elastik modülde (2 MPa ila 9 MPa) önemli bir gelişme ile ilişkilendirilmektedir (Appels vd., 2019). Ayrıca, soğuk presleme sonrası elde edilen daha yüksek eğilme dirençleri (0.06 MPa ila 0.21 MPa) ve elastikiyet modülleri (1 MPa ila 15 MPa) olan kompozitlerin eğilme özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmiştir (Appels vd., 2019). Sıcak presleme ile mekanik performansta daha da büyük oranda iyileşmeler elde edilebilmektedir. Sıcak presleme ile ilgili ana mekanizmalar, suyun faz değişimi (buharlaşması), kondüksiyon ve konveksiyon yoluyla malzemenin sıkışması ve gerilme gevşemesi, gaz ve bağlı su difüzyonu, gaz ve sıvı suyun hidrodinamik akışının bir sonucu olarak meydana gelen kütle transferinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Carvalho ve Costa, 1998). Bu, buharın ağ üzerinden difüzyonu veya liflerdeki boşluklar, suyun hücre çeperinden difüzyonu veya hücre zarları ve boşluklarından su veya buhar akışı olarak meydana gelmektedir (Stamm, 1964). Sıcaklık, gaz basıncı ve rutubet içeriğinin tümü,

kalınlık boyunca ısı ve kütle transferini etkilemekte, malzemenin plastikleşmesini ve sıkıştırılmasını önemli oranda etkilemektedir (Carvalho ve Costa, 1998). Kanola (kolza) sapı/samanından *T. multicolor* ve *P. ostreatus* kullanılarak ve sıcak pres uygulanarak üretilmiş kompozitlerin çekme dirençleri preslenmemiş kompozitinkine göre önemli derecede çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, *T. multicolor* mantarı kullanılarak, preslenmeden ve preslenerek üretilen kompozitlerin çekme direnci 0.04 MPa dan 0.15 MPa' la, *P. ostreatus* mantarı kullanılarak üretilen kompozitlerin çekme direnci ise 0.01'den 0.24 MPa'la arttığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada, elastikiyet modülü *T. multicolor* mantarı kullanıldığında 4 MPa'dan 59 MPa'la, *P. ostreatus* mantarı kullanıldığında ise 2 MPa'dan 97 MPa'la arttığı belirtilmiştir (Appels vd., 2019). Sıcak pres işlemi ayrıca kanola (kolza) sapı/samanından *T. multicolor* ve *P. ostreatus* mantarları kullanılarak üretilen kompozitlerinin eğilme direncini (sırasıyla 0.22 MPa dan 0.86 MPa'la ve 0.06'dan 0.87 MPa'la) ve kompozitlerin eğilme modülünü (sırasıyla 3 MPa dan 80 MPa ve 1 MPa'dan 72 MPa'la kadar) iyileştirmiştir (Appels vd., 2019). Hem soğuk hem de sıcak preslemenin ardından kompozitlerin rutubet içeriğinin azalmasından kaynaklanan numunelerin kırılmasına kadar olan gerilimde önemli azalmalar ile ilişkilendirilmiştir (Sombatsompop ve Chaochanchaikul, 2004).

1.7.2.4. Termoset Takviyeli ve Sandviç Formasyonundaki Misel Esaslı Kompozitler

Misel esaslı kompozitler, sandviç panel kaplama adı verilen iki ince laminant kaplama arasına yerleştirilen düşük yoğunluklu malzeme olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır (Jiang vd., 2017; Jiang vd., 2019; Wong vd., 2019). Kaplamalar, alüminyum (Wong vd., 2019) gibi metallerden dokuma jüt, keten veya selüloz (Jiang vd., 2017) gibi doğal malzemelere kadar herhangi bir levha malzemesi olabilmektedir. Bu kaplamalar, düzlem içi ve yanal eğilme yüklerine karşı direnç sağlarken, iç kısımdaki misel esaslı kompozitler kaplamaları yerinde tutar ve makaslama yüklerine karşı direnç sağlamaktadır (Kim ve Christensen, 2000; Allen, 2013; Vinson, 2017). Bir sandviç yapının sağladığı mekanik performanstaki iyileştirme, daha sonra yükleme koşullarına bağlıdır. Son zamanlarda yapılan birkaç çalışma, misel esaslı kompozitlerinin sandviç panellerin yapılarda kullanımını incelemiştir, ancak mekanik performansta herhangi bir önemli gelişme henüz rapor edilmemiştir, bu da misel esaslı sandviç kompozitlerinin değerini tartışmalı hale

getirmektedir. Wong ve ark. (2019) son zamanlarda şaşırtıcı olmayan bir şekilde, alüminyum alaşımlı laminatlar arasına sıkıştırılmış bir misel esaslı kompozitinden oluşan bir sandviç panel normal bir misel esaslı kompozitinden daha iyi basınç direnci özelliklerine sahip olmadığını ve kaplamaların iç kısımda bulunan misel esaslı kompozitin sandviç panellerin eğilme mukavemetinde değişen derecelerde iyileştirmeler sağladığını bildirmiştir. Bununla birlikte, daha basit yöntemlerle benzer sonuçlar elde edilebilmektedir. Örneğin, jüt, keten veya selüloz tekstil takviye derileri içeren misel esaslı kompozit sandviç paneller 4.6-6.5 MPa'lık etkili eğilme modülüne sahiptir (Jiang vd., 2017). Bu iyileşme misel kompozitinin üretimi sırasında kullanılan lignoselülozik materyalin basitçe değiştirilmesiyle benzer performanslar elde edilebilmektedir (Appels, 2018).

İç kısımda misel esaslı kompozit ve dokuma jüt, keten veya selüloz kaplamalı sandviç panellerin mekanik performansındaki en önemli gelişme reçine infüzyonu ile sağlanmaktadır. Misel esaslı kompozitlerin reçine kullanılarak takviye edilmesiyle, daha güçlü bağlayıcılık sağladığı için bu da pek şaşırtıcı ve hatta yeni değildir. Misel bazlı kompozitlere reçine ile takviye edilme yöntemine ve kullanılan reçine türüne bağlı olarak üretilen misel esaslı malzemelerin çevre dostu özelliğini ortadan kaldırabilir veya azaltabilir. Bu durumda piyasada mevcut çevre dostu kompozitlere göre misel esaslı kompozitlerin sürdürülebilirliğini belirsizleştirebilir. Jiang ve arkadaşları 30-120 sn'nin üzerinde infüze edilen soya bazlı reçinenin tüm materyali doygun hale getirdiğini ve direnç özelliklerini iyileştirdiğini belirtmiştir (Jiang vd., 2019). Merkezdeki kayma/akma gerilimi ve nihai dayanım, reçine ile takviye edilmiş keten kabuklarından üretilen kompozit için en yüksek bulunmuştur (128.9 akma ve 135.3 kPa nihai gerilime kadar) (Jiang vd., 2019). Bunun nedeni, ketenin besin profili jüt veya selülozdan daha fazla mantar büyümesini sağladığı ve daha büyük dallanma ağlarını ve ara yüzey bağlarını kolaylaştırmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Reçine infüzyonu, reçine içermeyen (sırasıyla 29.5 kPa ve 38.7 kPa'ya kadar merkezdeki makaslama verimi ve nihai gerilmeler) keten sandviç kompozitlere kıyasla önemli bir gelişme sağlamıştır (Jiang vd., 2017). Sandviç yapıların en yaygın hata modu, merkezdeki malzemenin (misellere bağlı tarımsal atık) çekme kırılmasıdır ve bu durum, bunun hala sandviç panelin en zayıf parçası olduğunu göstermiştir. Reçine emdirilmiş takviyeli keten sandviç paneller için 30 MPa'ya kadar etkili eğilme mukavemetleri elde edildiği; bu değer, reçinesiz sandviç panellerde (6 MPa'ya kadar) (Jiang vd., 2017) ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) (14 MPa) içermeyen keten takviyeli sandviç yapılardan önemli ölçüde daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ancak akrilonitril bütadien stirenden

(ABS) (75 MPa) daha düşüktür (URL-19). Sandviç paneller (410 kg/m^3), hem LDPE (920 kg/m^3) hem de ABS'den (1100 kg/m^3) daha düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı otomotiv ve spor ürünlerinde kullanılan LDPE ve ABS iç paneller yerine kullanılma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

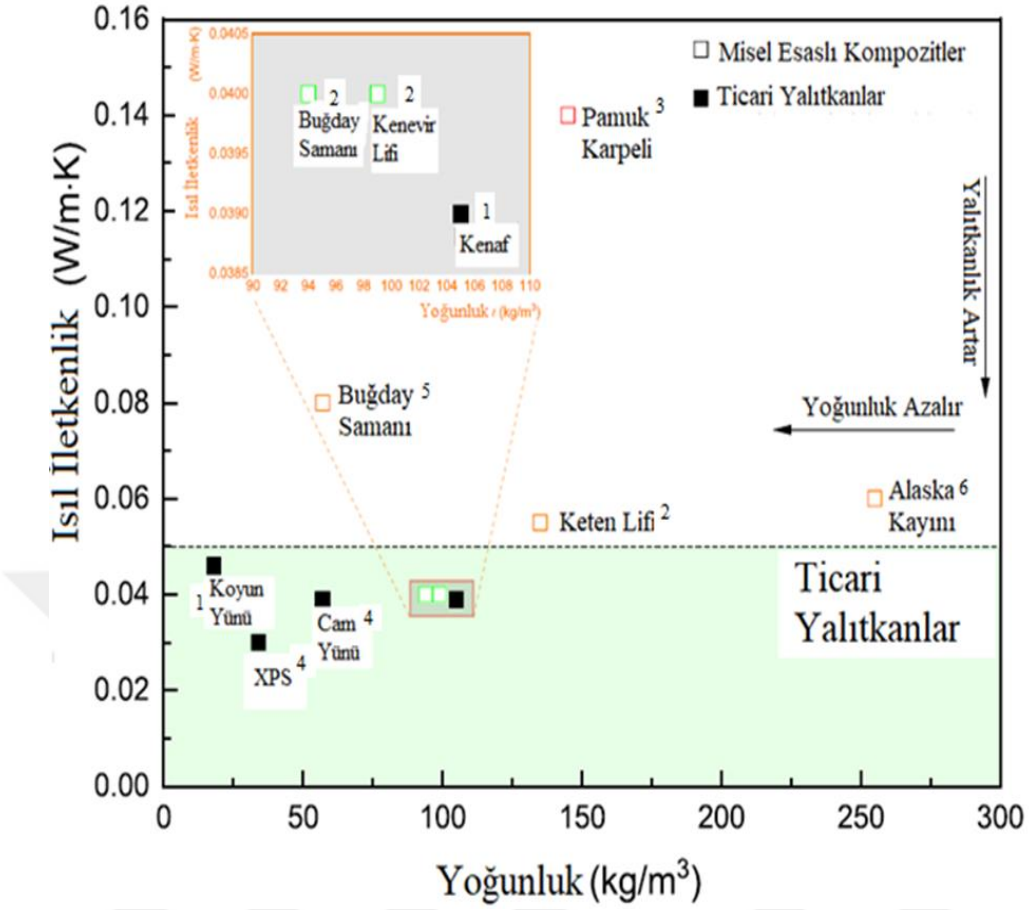
1.7.2.5. Mekanik Performansı İyileştirmek İçin Misel Esaslı Kompozitlerin Hibridizasyonu

Bir kompost aracılığıyla büyütülen bir mantar misel ağı içeren misel esaslı kompozitlerin mekanik özellikleri, stiren-bütadien kauçuk gibi küçük miktarlarda sentetik kauçuklar veya selüloz nanofibriller gibi doğal takviyeler ile hibridizasyon yoluyla geliştirilebilmektedir. Zayıf bir misel esaslı kompozitini daha güçlü sentetik veya doğal polimerlerle hibridize ederken bu gelişmeler tartışmalı bir şekilde tahmin edilebilir olsa da bunu yapmak için gereken küçük hacimli fraksiyonlar ve mekanik özellik iyileştirmesiyle ilgili eşikler ilginçtir. Stiren-bütadien kauçuğu, mantar gelişimi sadece hafif bir gecikmeyle ve büyüme hızı üzerinde hiçbir etkisi olmaksızın hacimce %5'e kadar olan miktarlarda mantar büyüme performansını ihmal edilebilir bir şekilde etkilemektedir (He vd., 2014). Lateksin daha büyük hacimleri büyümeyi engeller (%8 hacim) veya mantarı öldürür (%10 hacim), çünkü lateks kompozit içindeki boşluk hacmini azaltır, oksijen iletimini ve mantar büyümesi için gerekli absorpsiyonu engellemektedir (He vd., 2014; Kavanagh, 2017). Pamuk tohumu kabukları ve *P. ostreatus* mantarı kullanılarak üretilen 177 kPa basınç direncine sahip misel esaslı kompozitinin, hacimce %5 stiren-bütadien kauçuğu eklenmesiyle basınç direnci neredeyse iki katına çıktığı (343 kPa) tespit edilmiştir (He vd., 2014). Bunun nedeni, lateksin eklenmesiyle ilişkili boşluk hacminin azalması ve hacim yoğunluğunun (181 kg/m^3 ila 225 kg/m^3) artmasıdır (He vd., 2014). Daha küçük miktarlarda nanoselülozun ilave edilmesiyle misel esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştirildiği bildirilmiştir. Ağırlıkça %2.5'luk nanoselüloz ile hibritlenen odun yongaları kullanılarak ve soğuk ve sıcak presleme ile üretilen misel esaslı kompozitin eğilme mukavemetinde (1.5 MPa'dan 3.5 MPa'la kadar) ve eğilme modülünde (220 MPa'dan 575 MPa'la) artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir (Sun vd., 2019). Özellikle, nanoselüloz içeriğindeki daha fazla artışlar, mekanik performansta önemli bir gelişme sağlamamış, bu da partiküllerin yapışmasının ve müteakip eğilme özelliklerinin iyileştirilmesi için gereken nanoselüloz miktarının düşük tutulması gerektiğini ortaya koymuştur (Theng vd., 2015;

Weiland vd., 2019). Düşük nanoselüloz konsantrasyonlarında mekanik performanstaki bu gelişmeler, nanoselüloz kullanılarak hibridizasyonu, misel bazlı kompozitlerinin mekanik performansını geliştirmek için uygun bir yöntem haline getirebileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, lateks kullanarak hibridizasyon gibi, hibridizasyondan sonra elde edilen mekanik performanstaki küçük iyileşmeler, bir lateks-misel esaslı kompozit malzeme ile bağlantılı ek maliyetler, işleme ve azaltılmış çevresel sürdürülebilirlik ile pekâlâ dengelenebilir.

1.7.2.6. Yalıtım Uygulamaları İçin Misel Esaslı Kompozitlerinin Isıl İletkenlik Özellikleri

Saman ve kenevir lifleri gibi yüksek performanslı doğal yalıtkanlar içeren misel bazlı kompozitleri hem düşük yoğunluklara (57–99 kg/m^3) hem de termal iletkenliklere (0.04–0.08W/m·K) sahiptir (Şekil 13). Bu, cam yünü (57 kg/m^3, 0.04W/m·K), ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi (XPS, 34 kg/m^3, 0.03 W/m·K) (Papadopoulos, 2005), koyun yünü (18 kg/m^3, 0.05W/m·K) ve kenaf (105 kg/m^3, 0.04W/m·K) (Asdrubali vd., 2015) gibi diğer geleneksel ticari ısı yalıtım ürünleriyle ve diğer doğal yalıtım materyalleriyle (koyun yünü, kenaf vb.) rekabet edebilecek mükemmel yalıtım malzemeleri olduklarını göstermektedir.



Şekil 13. Farklı lignoselülozik malzemelerden üretilmiş misel esaslı kompozit malzemelerin ısıl iletkenlik değerleri. 1) Asdrubali vd., (2015), 2) Elsacker vd., (2019), 3) Holt vd., (2012), 4) Papadopoulos (2005), 5) Xing vd. (2018) ve 6) Yang vd., (2017), (Jones vd., 2019).

Daha düşük termal iletkenlikler, daha iyi yalıtım malzemeleri ile ilişkilidir ve öncelikle malzeme yoğunluğundan ve daha az ölçüde de rutubet içeriğinden etkilenmektedir (Uysal vd., 2004; Collet ve Prétot, 2014; Jerman vd., 2013). Örneğin, yoğunlukta %67'lik bir artış, kenevir betonlarında (kenevir kabuğu ve kireç içeren bir biyo-kompozit malzeme) termal iletkenlikte %54'lük bir artışa neden olurken, bağıl nemde %90'lık bir artış (tamamen kuru dan %90 bağıl neme çıktığında) yalnızca %15–20'lik bir termal iletkenlik artışına neden olduğu bildirilmiştir (Collet ve Prétot, 2014). Malzeme yoğunluğu ve termal iletkenlik arasındaki güçlü korelasyon, çok düşük bir termal iletkenliğe sahip olan büyük miktarlardaki kuru havanın düşük yoğunluklu malzemenin iç kısımlarında varlığının bir sonucudur (0.1 MPa basınç ve 300 K sıcaklıkta 26.2×10^{-3} W/m·K) (Kadoya vd., 1985). Bu büyük miktarlardaki hava, düşük yoğunluklu malzemelerin genellikle mükemmel ısı yalıtkanları olduğu anlamına gelmektedir.

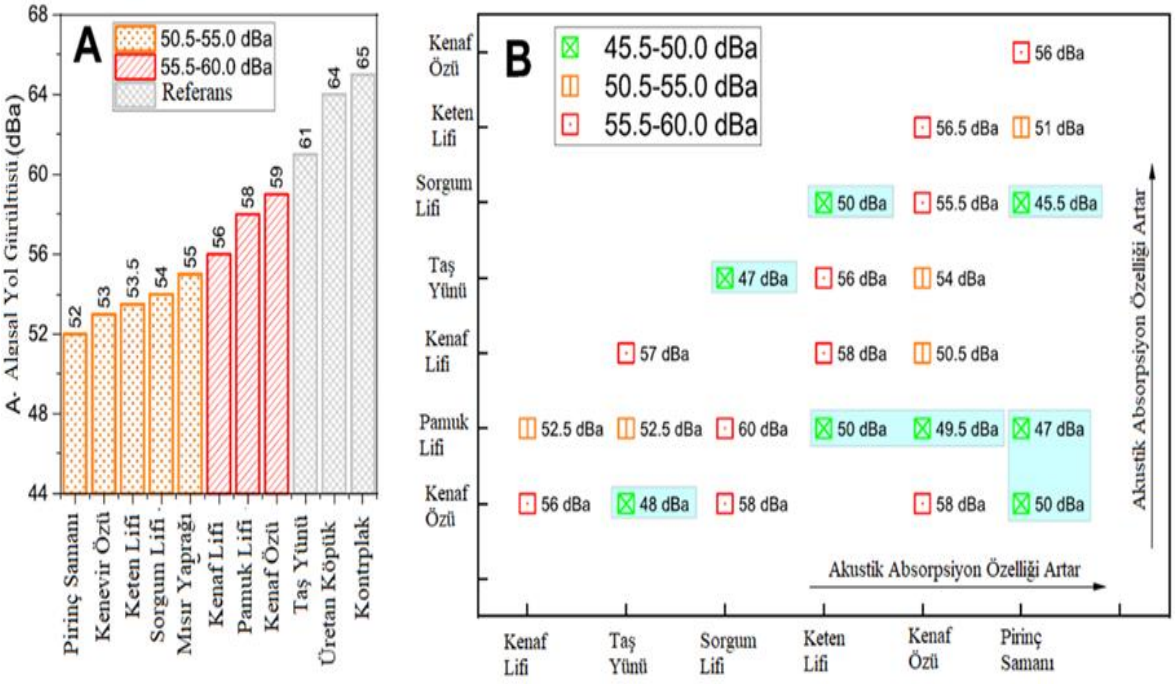
Saman ve kenevir, faydalı yalıtım özelliklerini gözenekli yapılarından ve demetlenmiş liflerin düşük kütle yoğunluğundan alan, yalıtımdaki lifler arasında büyük miktarda havanın tutulmasına yol açan, iyi bilinen doğal ısı yalıtım malzemeleridir (Kymäläinen ve Sjöberg, 2008; Wall vd., 2012). Isı yalıtım özellikleri öncelikle malzemenin yoğunluğuna, rutubet oranına ve lif tipine göre değişmektedir (Bainbridge, 1986). Buğday samanı kullanarak üretilen misel esaslı kompozitlerin termal iletkenlik katsayıları sırasıyla 0.04W/m·K (Elsacker vd., 2019) ve 0.08W/m·K (Xing vd., 2018) olarak bildirmiştir, ancak ilk değer (0.04W/m·K), daha yüksek yoğunluklu (57 kg/m^3'e kıyasla 94 kg/m^3) bir kompozit ile ilişkili olduğu düşünüldüğünde şüpheli görünmektedir. Ayrıca bu değer herhangi bir işlem görmemiş samanın termal iletkenliğinden bile önemli ölçüde daha düşüktür (0.07-0.08 W/m·K) (Pruteanu, 2010). Kenevir lifi kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitlerinin de termal iletkenliklerinin (0.04 W/m·K) (Elsacker vd., 2019) kenevir betonlarından (0.1 W/m·K) etkilenmektedir (Collet ve Prétot, 2014) önemli ölçüde daha düşük olduğu bildirilmiştir. Pamuk karpeli (0.10-0.18 W/m·K) (Holt vd., 2012) içerenler gibi daha zayıf yalıtım özellikleri sergileyen lignoselülozik materyaller kullanılarak üretilen misel bazlı kompozitler bile, alçı taşı (0.17 W/m·K), yüksek yoğunluklu yongalevha (0.15 W/m·K), kontrplak (0.12 W/m·K) ve hem yapraklı ağaç odunu (0.16W/m·K) hem de iğne yapraklı ağaç odunları (0.12W/m·K) ile karşılaştırılabilir termal iletkenlik değerlerine sahip olduğu görülmektedir (Bergman, 2011). Bu durum, misel esaslı kompozitlerini uygun, düşük maliyetli ve çevresel açıdan sürdürülebilir olması nedeniyle geleneksel ticari bina yalıtım malzemelerine bir alternatif haline getirmektedir.

1.7.2.7. Misel Esaslı Kompozitlerin Akustik Özellikleri

Misellerin kendisi mükemmel bir ses emicidir, güçlü doğal düşük frekans emilimi (<1500 Hz) sergilemekte ve yol gürültüsünü azaltmada mantar ve ticari tavan döşemelerinden daha iyi performans göstermektedir (Pelletier vd., 2019). Bu tipik olmayan özellik, misel esaslı üretilen köpüğünün düşük frekanslı absorpsiyon özelliklerini geliştirmek için diğer malzemelerle birlikte kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Alternatif olarak, misellere bağlı tarımsal atık içeren misel esaslı kompoziti, %70-75 absorpsiyon ile daha geniş aralıklı akustik absorpsiyon veya algılanan yol gürültüsü için daha iyi ulaşılabilirlik sağlayabilmektedir (Pelletier vd., 2013). A-ağırlıklı desibeller, insan kulağı tarafından algılandığı şekliyle havadaki seslerin göreceli yüksekliğini ifade eder;

düşük frekanslı seslerin büyüklüğü, düşük frekanslarda (<1000 Hz) insan kulağının azaltılmış duyarlılığı ile ilişkilendirilecek şekilde azaltılırken, daha yüksek frekanslı sesler düzeltilmeden (ses düzeyi düşürülmeden) bırakılmaktadır (Pierre vd., 2004). Bu sayede köpeklerin havlaması (500–1500 Hz), insan konuşması (85–255 Hz) ve insanlara yönelik sokak gürültüsü (700–1300 Hz) gibi ev içi seslerin algılanan yüksekliğinin yorumlanması mümkün olabilmektedir (Sandberg, 2003; Feinberg vd., 2005; Pongrácz vd., 2006; Owren vd., 2007).

Akustik malzemeler tipik olarak lifli, gözenekli veya reaktif rezonatörlülerdir. Örnek olarak, dokunmamış kumaşlar, lifli cam, mineral yünler, keçe ve köpükler verilebilir (Bell and Bell, 1994; Seddeq, 2009). Ses soğurucular, ses dalgalarında hareket eden hava moleküllerinin mekanik hareketini, kapalı alanlarda ses birikmesini önleyen ve yansıyan gürültü gücünü azaltan düşük dereceli ısıya dönüştürür (Bell ve Bell, 1994). Test edilen tüm misel esaslı kompozitler, ticari tavan döşemeleri (61 dBa), üretan köpük levha (64 dBa) ve kontrplak (65 dBa) gibi geleneksel akustik malzemelerde daha düşük algılanan yol gürültüsüne (45.5-60 dBa) sahip olduğu belirtilmiştir (Şekil 14A). Akustik absorpsiyon için misel esaslı yalıtım levhalarının üretiminde kullanılan en iyi bireysel lignoselülozik materyalleri pirinç samanı (52 dBa), kenevir özü (53 dBa), keten sapı (53,5 dBa), sorgum lifi (54 dBa) ve şalgam (55 dBa) olarak tespit edilmiştir (Şekil 14A). Bununla birlikte, en iyi kombinasyonlar pirinç samanı-sorgum lifi (45.5 dBa), pirinç samanı-pamuk frez lifi (47 dBa) ve sorgum lifi-switchgrass olmak üzere materyallerin (ağırlıkça %50-50) karışımlarıyla daha da iyi akustik absorpsiyon elde edildiği bildirilmiştir. (47 dBa) (Şekil 14B).



Şekil 14. Misel esaslı kompozit malzemelerin algıladığı yol gürültüsü (Jones vd., 2019). A) Geleneksel akustik malzemelere göre bazı yıllık bitki ve atıklarının akustik değerleri. B) Yıllık bitkilerin ağırlıkça %50-50 oranında karışımlarının akustik değerleri. Renkler: yeşil çarpı: 45.5–50 dBa, turuncu çizgi: 50.5–55 dBa, kırmızı nokta: 55.5–60 dBa, gri: geleneksel akustik malzemeler (Pelletier vd., 2013)

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Tez çalışmasında odun doğal plastik kompozitleri (ODPK) üretiminde Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi'den (Samsun) temin edilen sarıçam ve kavak odunu yongaları kullanılmıştır.

Tez çalışmasında misel esaslı yalıtım malzemesi üretiminde Kalaycıoğlu Ticaret'ten (Trabzon) temin edilen buğday sapı (saman) kullanılmıştır.

Tez çalışmasında misel esaslı ambalaj malzemesi üretiminde Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi'den (Samsun) temin edilen kavak odunu yongaları kullanılmıştır.

Tez çalışmasında beyaz çürüklük *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. (Mad-542-Sp) (PO) ve *Ganoderma lucidum* (Curtis) P.Karst. (CS-70-11A) (GL) mantar kültürü ise Northern Research Station United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, U.S.A 'den temin edilmiştir.

2.1.1. Parafin

Tez çalışma esnasında odun doğal plastik kompozitlerin üretiminde kullanılan parafin (sıvı) ZAG KİMYA firmasından temini sağlanmıştır. Sıvı parafin renksiz ve kokusuz olup, 40°C'de kinematik viskozitesi 15.69 ve 20°C'de yoğunluğu 0. 848 g/cm^3''tür.

2.2. Yöntem

2.2.1. Yongaların Hazırlanması

Temin edilen sarıçam ve kavak odunu yongaları Robert Hildebrand marka, 6 çekiçli ve 16 bıçaktan oluşan bıçak halkalı yongalama makinesinde yongalanarak hem küçük boyutlu hem de aynı boyutta yongalar elde edilmiştir. Denge rutubetindeki yongaların rutubeti tespit edilerek tam kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

Temin edilen buğday sapı (saman) ise Algemaier marka, dairesel hareket yapan 10 mm tek kademeli elekten geçen buğday sapı (saman) kullanılmıştır. Hazırlanan buğday sapı (saman)ın tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

2.2.2. İnokulum Hazırlama, İnokülasyon ve İnkübasyon

Tez çalışmasında mantarların besi ortamı için buğday tanesi hazırlanmıştır. Buğday tanesinin hazırlanması bir çelik kazan içerisinde yeterince su ilave edilerek buğday taneleri yumuşayıncaya kadar kaynatılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynatılan buğday tanelerinin pH'sı 7'ye ayarlanmıştır. pH düzenlemesi yapılmış buğday tanelerini sterilize etmek için cam şişelere konularak ağızları alüminyum folyo ile kapatıldıktan sonra 121 °C' deki otoklavda 20 dakika bekletilmiş ve sonrasında alınıp aşılama kabininde soğumaya bırakılmıştır. İyice soğuduktan sonra buğday tanelerine ayrı ayrı +4°C' de muhafaza edilen PO ve G.L malt-agar besi ortamında geliştirilen mantar miselleri aşılanmıştır. Daha sonra mantar misellerinin gelişebilmesi ve buğday tanelerini sarabilmesi için cam şişeler 25 °C ve %70 bağıl nemdeki iklimlendirme kabininde 7-10 gün süreyle bekletilmiştir. Böylece katı inokulum yongalara ve buğday saplarına inoküle etmek için hazır hale getirilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. A) PO ve GL mantar miselleri. B) Buğday tanesi besi ortamındaki PO ve GL katı inokulum (Kuştaş, 2019)

2.2.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Üretilmesi

Buğday sapında yüksek oranda bulunan silis bileşenlerini mantar inkübasyonuna maruz bırakılmadan önce bir ön desilikasyonla uzaklaştırılması yapılmıştır. Ön desilikasyon işlemi eski buğday sapında %2'lik NaOH çözeltisinde 50 ºC'de 20 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Ön desilikasyon işleminden sonra elekte süzülüp, buğday saplarındaki kimyasal madde uzaklaştırıncaya kadar su ile iyice yıkandıktan sonra örnekler serilerek açık havada rutubet oranı %70-80'e kadar kurutulmuştur.

Tam kuru ağırlığı belirlenmiş olan buğday sapının rutubet oranı %70-80'e ve pH'sı 7'ye ayarlanmıştır. Daha sonra ısıya dayanıklı polietilen poşetlerde 121ºC de 30 dakika süreyle otoklavda steril edilip ve steril bir ortamda soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan örnekler hazırlanan katı inokulum buğday saplarına inoküle edilmiştir. İnokülasyon sonrası poşet içindeki buğday sapları iklimlendirme dolabına yerleştirilmiştir. İklimlendirme dolabı 25 ºC ve %70 bağıl neme ayarlanarak inkübasyon süreleri başlatılmıştır.

10-, 20- ve 30- günlük inkübasyon sürelerinin sonunda buğday sapı (saman) kimyasal analizler için TAPPI T 257 cm-02 standart esaslarına göre hazırlanmıştır.

Buğday sapı (saman) örneklerinde yapılan kimyasal analizler ise Tablo 5'de belirtilmiştir.

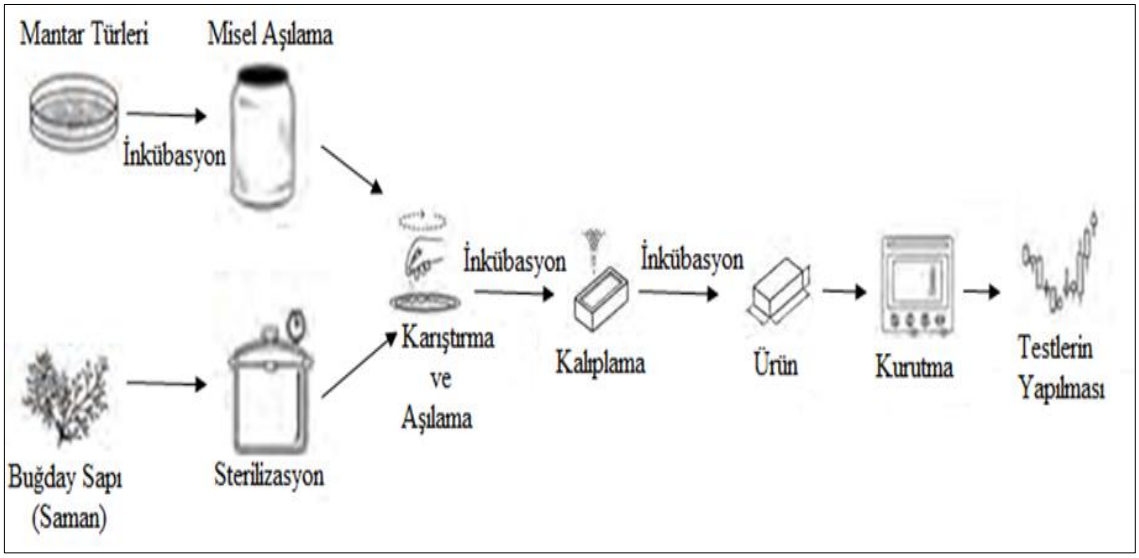
7. günün sonunda yeterli miktarda poşet Buğday sapı (saman) iklimlendirme dolabından alınarak 300X300X40 mm plastik kalıplara serilmiş tekrar iklimlendirme dolaplarına bırakılarak 10 günlük inkübasyon süreleri tamamlanmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda plastik kalıplardan çıkartılarak 90 ºC'ye ayarlanmış kurutma fırınlarında kurutulmuştur (Şekil 16).

15. günün sonunda yeterli miktarda poşet buğday sapı iklimlendirme dolabından alınarak 300X300X40 mm plastik kalıplara serilmiş tekrar iklimlendirme dolaplarına bırakılarak 20 günlük inkübasyon süreleri tamamlanmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda plastik kalıplardan çıkartılarak 90 ºC'ye ayarlanmış kurutma fırınlarında kurutulmuştur (Şekil 16).



Şekil 16. Misel esaslı yalıtım malzemelerini üretimi. 1) P.O ve GL mantarları ile muamele edilmiş buğday sapının inkübasyonu, 2) Plastik kalıplama işlemi, 3) İnkübasyon sürelerinin sonunda kalıplardan çıkartılmış levha, 4) İnkübasyon sürelerinin sonunda yalıtım levhalarının kurutulması, 5-6) Üretilmiş misel esaslı yalıtım levhaları (Kuştaş, 2021).

25. günün sonunda yeterli miktarda poşet Buğday sapı (saman) iklimlendirme dolabından alınarak 300X300X40 mm plastik kalıplara serilmiş tekrar iklimlendirme dolaplarına bırakılarak 30 günlük inkübasyon süreleri tamamlanmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda plastik kalıplardan çıkartılarak 90ºC'ye ayarlanmış kurutma fırınlarında kurutulmuştur (Şekil 16). Şekil 17'de misel esaslı yalıtım malzemelerinin üretim şeması verilmiştir.



Şekil 17. Misel esaslı yalıtım malzemesi üretim şeması

Misel esaslı yalıtım malzemelerinin üretim değişkenleri Tablo 2'de verilmiştir.

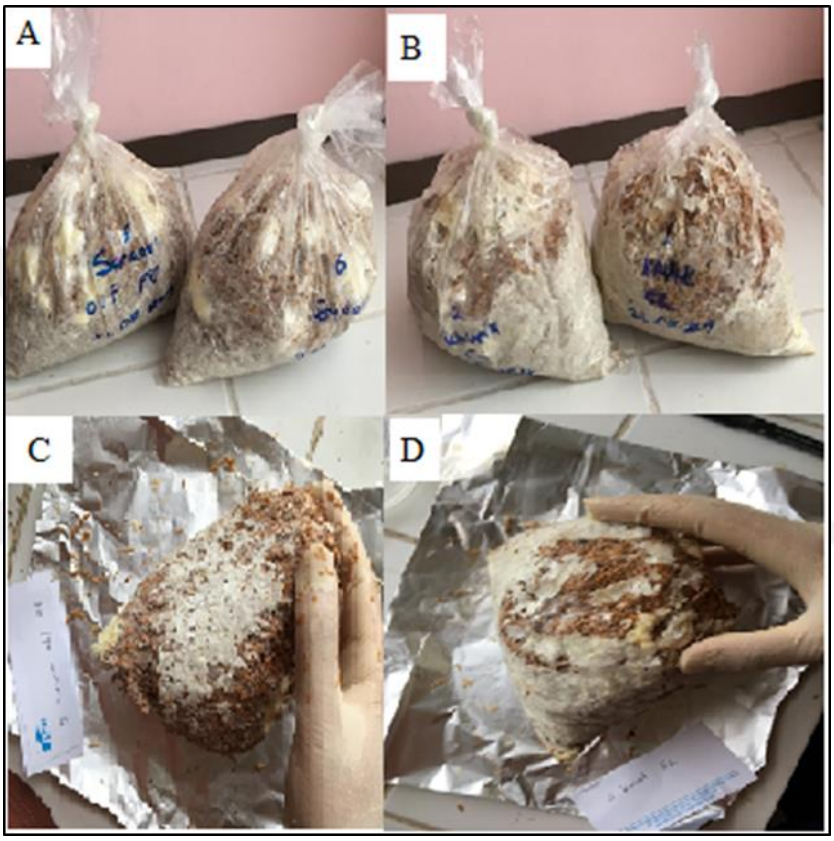
Tablo 2. Misel esaslı yalıtım malzemesi üretimindeki değişkenler

Ürün	Levha Grubu	Mantar Türü	Lignoselülozik Madde	İnkübasyon Süresi (Gün)	Kurutma Sıcaklığı (ºC)
Misel Esaslı Yalıtım Malzemesi	YG1	GL	Buğday Sapı	10	90
	YG2			20	
	YG3			30	
	YP1	PO		10	
	YP2			20	
	YP3			30	

2.2.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Üretilmesi

Tam kuru ağırlığı belirlenmiş sarıçam ve kavak odun yongaların rutubet oranı %70-80'e ve pH'sı 7'ye ayarlanmıştır. Daha sonra ısıya dayanıklı polietilen poşetlerde 121ºC de 30 dakika süreyle otoklavda steril edilmiştir. Daha sonra steril bir ortamda soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan örnekler hazırlanan katı inokulum ile inoküle edilmiştir. İnokülasyon sonrası poşet içindeki sarıçam ve kavak odun yongaları iklimlendirme dolabına yerleştirilmiştir. İklimlendirme dolabı 25 ºC ve %70 bağıl neme ayarlanarak inkübasyon süreleri başlatılmıştır. 20 gün süreyle mantar inkübasyonuna maruz bırakılan sarıçam ve

kavak odunu yongası iklimlendirme dolabından alınarak 20 günlük inkübasyon süreleri tamamlanmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda sarıçam ve kavak odunu yongaları serilerek hava kurusu rutubete gelene kadar kurutulmuştur. 20 gün süreyle mantara maruz bırakılan yonga örnekleri için uygulanan işlemler 30 günlük inkübasyon süresinin sonunda hazır hale getirilen yongalar için de uygulanmıştır. PO ve GL mantarları ile muamele edilmiş sarıçam ve kavak odun yongaların poşetli ve poşetsiz hali Şekil 18'de görülmektedir.



Şekil 18. P.O mantarı ile 20 gün muamele edilmiş sarıçam odun yongaları (A: Poşetli, C: Poşetsiz). G.L mantarları ile 20 gün muamele edilmiş kavak odun yongaları (B: Poşetli, D: Poşetsiz). (Kuştaş, 2019)

Kurutulan mantar inkübasyonuna maruz kalan sarıçam ve kavak odun yongaları laboratuvar tipi Willey değirmeninde öğütülme işleminden sonra sırayla 40-60 meshlik eleklerden oluşan sarsak elekte elenmiştir. 60 mesh (210 µm) elek üzerindeki kalan sarıçam ve kavak odun yongaları/unu alınarak ODPK üretimi için kullanılmıştır.

Eleme işleminden sonra odun unları 24 saat süre ile 103±2 ºC sıcaklığa ayarlanmış etüvde kurutulmuştur. Kurutulan odun unları ve parafinin homojen bir karışımın

sağlanabilmesi için yüksek karıştırma hızına sahip laboratuvar mikserinde karıştırılmıştır (Şekil 19).

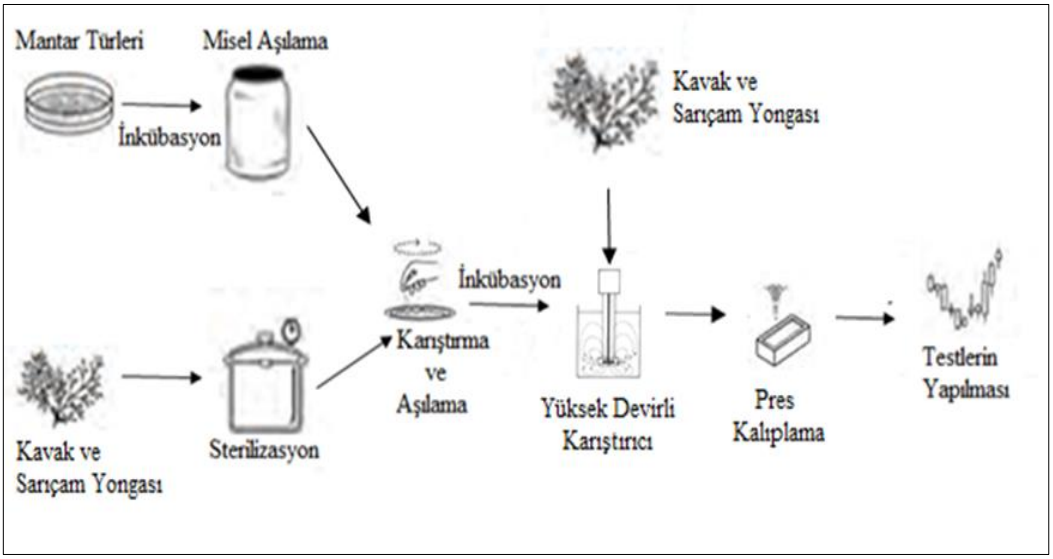


Şekil 19. Odun doğal plastik kompozitlerinin üretimi. 1) Laboratuvar tipi Mikser, 2-3) Karıştırılmış odun talaşlarının serilmesi, 4) GL mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odun yongalarından üretilmiş ODPK, 5) PO mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odun yongalarından üretilmiş ODPK, 6) GL mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam odun yongalarından üretilmiş ODPK, 7) PO GL mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam odun yongalarından üretilmiş ODPK

Odun doğal plastik kompozit malzemeleri düz presleme yöntemi uygulanarak elde edilmiştir. Odun doğal plastik kompozit malzemesi üretim şeması Şekil 20'de, üretim değişkenlerine ait bilgiler ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Odun doğal plastik malzemesinin üretim değişkenleri

Ürün	Levha Grubu	Mantar Türü	Ligno-selülozik Madde	İnkübasyon Süresi (Gün)	Mantar Ön İşlemi Görmüş Odun Unu/Odun Unu Oranı	Parafin (%)	Pres Sıcaklığı (ºC)	Pres Süresi (Dak.)	Pres Basıncı (Bar)
Odun Doğal Plastik Kompozitleri	K5P2	PO	Kavak	20	%50-%50	3	150	30	120
	K7P2				%70-%30				
	K8P2				%80-%20				
	K5P3			30	%50-%50				
	K7P3				%70-%30				
	K8P3				%80-%20				
	K5G2	GL		20	%50-%50				
	K7G2				%70-%30				
	K8G2				%80-%20				
	K5G3			30	%50-%50				
	K7G3				%70-%30				
	K8G3				%80-%20				
	S5P2	PO	Sarıçam	20	%50-%50				
	S7P2				%70-%30				
	S8P2				%80-%20				
	S5P3			30	%50-%50				
	S7P3				%70-%30				
	S8P3				%80-%20				
	S5G2	GL		20	%50-%50				
	S7G2				%70-%30				
	S8G2				%80-%20				
	S5G3			30	%50-%50				
	S7G3				%70-%30				
	S8G3				%80-%20				



Şekil 20. Odun doğal plastik kompozitlerinin üretim şeması

İnkübasyon sürelerinin sonunda sarıçam ve kavak odun yongaları kimyasal analizler için TAPPI T 257 cm-02 standart esaslarına göre hazırlanmıştır.

Sarıçam ve kavak odun yonga örneklerinde yapılan kimyasal analizler ise Tablo 5'de belirtilmiştir.

2.2.5. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Üretilmesi

Tam kuru ağırlığı belirlenmiş olan kavak odun yongalarının rutubet oranı %70-80'e ve pH'sı 7'ye ayarlanmıştır. Daha sonra ısıya dayanıklı polietilen poşetlerde 121ºC de 30 dakika süreyle otoklavda steril edildikten sonra steril bir ortamda soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan örnekler hazırlanan katı inokulum ile inoküle edilmiştir. İnokülasyon sonrası poşet içindeki kavak odun yongaları iklimlendirme dolabına yerleştirilmiştir. İklimlendirme dolabı 25 ºC ve %70 bağıl neme ayarlanarak inkübasyon süreleri başlatılmıştır.

7. günün sonunda yeterli miktarda poşet kavak odun yongaları iklimlendirme dolabından alınarak özel plastik kalıplara serilmiş tekrar iklimlendirme dolaplarına bırakılarak 10 günlük inkübasyon süreleri tamamlanmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda plastik kalıplardan çıkartılarak 90 ºC'ye ayarlanmış kurutma fırınlarında kurutulmuştur (Şekil 21).

15. günün sonunda yeterli miktarda poşet kavak odun yongaları iklimlendirme dolabından alınarak özel plastik kalıplara serilmiş tekrar iklimlendirme dolaplarına

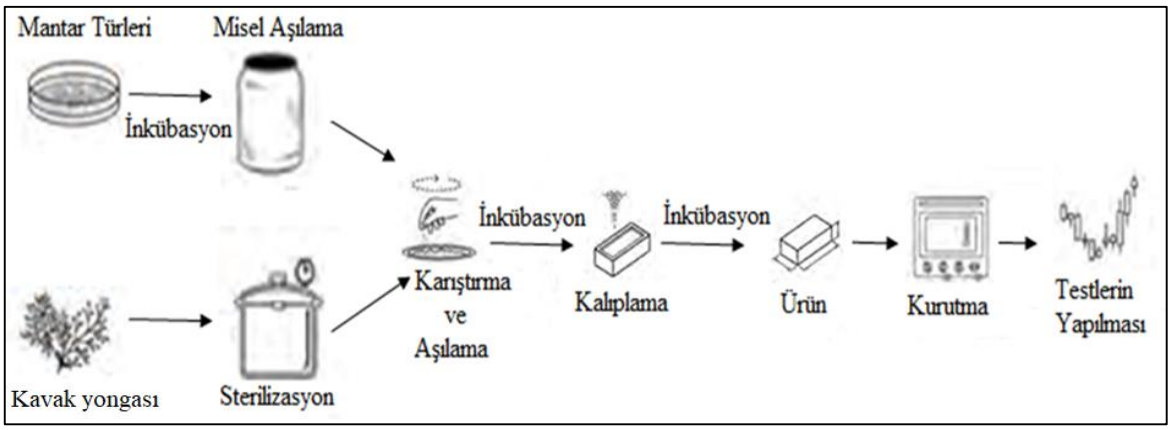
bırakılarak 20 günlük inkübasyon süreleri tamamlanmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda plastik kalıplardan çıkartılarak 90 ºC'ye ayarlanmış kurutma fırınlarında kurutulmuştur (Şekil 21).



Şekil 21. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin üretimi. 1-2) Mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odun yongaları, 3) P.O ve GL mantarları ile muamele edilmiş kavak odunlarının şişe kalıplarındaki inkübasyonu, 4) İnkübasyon sonrası, 5-6-7-8-9) P.O ve GL mantarları ile muamele edilmiş kavak odunlarından üretilmiş misel esaslı ambalaj malzemeleri

25. günün sonunda yeterli miktarda poşet kavak odun yongaları iklimlendirme dolabından alınarak özel plastik kalıplara serilmiş tekrar iklimlendirme dolaplarına bırakılarak 30 günlük inkübasyon süreleri tamamlanmıştır. İnkübasyon süresinin sonunda plastik kalıplardan çıkartılarak 90 ºC'ye ayarlanmış kurutma fırınlarında kurutulmuştur (Şekil 21).

Misel esaslı ambalaj malzemesi üretim şeması Şekil 22'de verilmiştir.



Şekil 22. Misel esaslı ambalaj malzemesi üretim şeması

10-, 20- ve 30- günlük inkübasyon sürelerinin sonunda kavak odun yongaları kimyasal analizler için TAPPI T 257 cm-02 standart esaslarına göre hazırlanmıştır.

Kavak odun yonga örneklerinde uygulanan kimyasal analizler ise Tablo 5'de belirtilmiştir.

Misel esaslı ambalaj malzemelerinin üretim değişkenleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Misel esaslı ambalaj malzemesinin üretim değişkenleri

Ürün	**Ambalaj Grubu**	**Mantar Türü**	**Lignoselülozik Madde**	**İnkübasyon Süresi (Gün)**	**Kurutma Sıcaklığı (ºC)**
Ambalaj Malzemesi	AG1	GL	Kavak	10	90
	AG2			20	
	AG3			30	
	AP1	PO		10	
	AP3			20	
	AP3			30	

2.2.6. Kimyasal Analizler

Kimyasal analizler için sarıçam odun yongalarının, kavak odun yongalarının ve Buğday sapı (saman) örneklerini TAPPI T 11 os-75 standart esaslarına göre laboratuvar tipi Willey değirmeninde öğütülme işleminden sonra sırayla 60-40 meshlik eleklerden oluşan

elek takımında elenmiştir. 60 mesh (210 μm) elek üzerinde kalan örnekler alınarak kimyasal analizler için hazırlanmıştır.

Sarıçam odun yongalarının, kavak odun yongalarının ve buğday sapı (saman) örneklerinin lignin, holoselüloz, α-selüloz, ekstraktif oranları ve %1'lik NaOH çözünürlüğü tespit edilmiştir. Her bir kimyasal analiz 3 tekrarlı yapılmıştır. Kimyasal analiz deneyleri Tablo 5'de belirtilen standartlara göre tespit edilmiştir.

Tablo 5. Kimyasal analizlerde kullanılan yöntemler

Deney	**Kullanılan Yöntem**
Kimyasal analizler için örneklerin hazırlanması	TAPPI T 257 cm-02
Holoselüloz tayini	Klorit (Wise ve Jahn, 1952)
Alfa selüloz tayini	Rowell (2005)
Lignin tayini	TAPPI T 222 om-02
Ekstraktif oranı	TAPPI T 204 cm-97
%1'lik NaOH çözünürlüğü	TAPPI T 212 om-02

Sarıçam odun yongalarının, kavak odun yongalarının ve buğday sapı (saman) örneklerinin lignin, holoselüloz, α-selüloz, ekstraktif oranları ve %1'lik NaOH çözünürlüğü deneyleri Şekil 23'de gösterilmiştir.

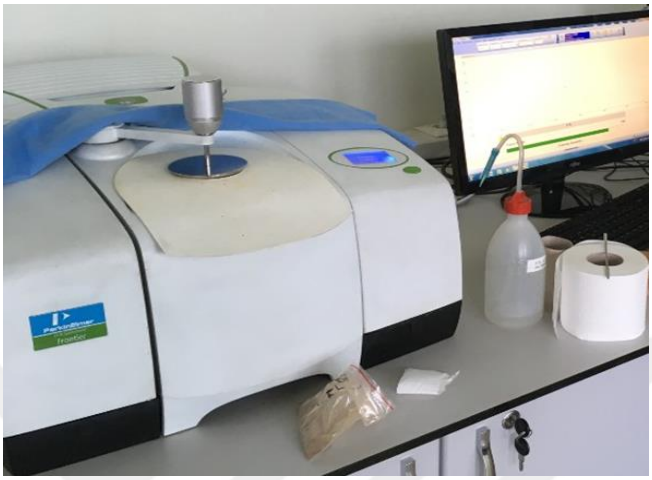


Şekil 23. 1) Alkol/Benzen çözünürlüğü, 2-3) Holoselüloz, 4-5-6) Lignin tayini, 7-8) α-selüloz ve 9-10) %1'lik NaOH çözünürlüğü deneyleri (Kuştaş, 2019)

2.2.7. FTIR-ATR Analizi

P.O ve G.L mantar türleri ile aşılanmış sarıçam odun yongalarının, kavak odun yongalarının ve buğday sapı (saman) örneklerinin farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra her bir inkübasyon süresinin sonunda polisakkaritler, lipitler, protein miktarındaki değişimlerin belirlenmesi için FTIR-ATR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy- Attenuated Total Reflection Technique) kullanılmıştır. Analizler Artvin Çoruh Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında Perkin Elmer Spectrum One marka FTIR cihazıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 24). Her bir örneğin spektrası 4 cm^{-1} çözünürlükte 4000

ila 500 cm^{-1} tarama aralığında alınmıştır. Her bir grup için en az 3 tekrar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçümler Thermo Scientific Omnic yazılımı ile incelenmiştir.



Şekil 24. FTIR-ATR spektroskopi cihazı (Kuştaş, 2019)

Elsacker (2021) yaptığı çalışmada literatürü geniş bir şekilde özetlemiş ve FTIR analiz sonuçlarının sağlıklı bir şekilde irdelenebilmesi için Tablo 6'da oluşturmuştur.

Tablo 6. Besin ortamında yetişen mantar misellerinin IR spektrumundaki (600-3800 cm^{-1}) gözlenen dalga boyları

Dalga Boyu (cm^{-1})	**Tespit**	**Kaynaklar**
3600-3000	O-H genişlemesi	Haneef vd., 2017; Mohebby, 2005
2980-2835	Selülozda CH_2, CH_2OH	Schwanningera vd., 2004
2940-2840	CH_2 Simetrik genişlemesi	Schwanningera vd., 2004
1770-1710	Ksilanda C=O genişlemesi (Hemiselüloz)	Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003
1650-1640	Lignin veya selüloz ile ilişkili absorbe edilmiş O-H, Amid I (β-düzlemi)	Haneef vd., 2017; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
1560-1520	Lignin içindeki (syringyl) aromatik halkaların C = C genişlemesi	Haneef vd., 2017; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
1520-1500	Lignin içindeki (guaiacyl) aromatik halkaların C = C genişlemesi	Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004

Tablo 6'nın devamı

Dalga Boyu (cm^{-1})	Tespit	Kaynaklar
1470-1410	Metil guruplarda C-H deformasyon	Popescu vd., 2010
	Karbonhidrat ve lignindeki C-H deformasyonu, CH_2 kopma vibrasyonu	Haneef vd., 2017; Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
1375-1365	Selüloz ve hemiselülozda CH deformasyonu, kitin	Haneef vd., 2017; Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
1365-1335	OH, düzlem içi deformasyon	Schwanningera vd., 2004)
	Selülozda CH_2 tip vibrasyonu	Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
1282-1277	Selülozda CH deformasyonu	Schwanningera vd., 2004
	Syringyl halkası, C-O geriliyor lignin ve ksilan, Nükleik asit	Haneef vd., 2017; Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003
1235-1225	OH düzlem deformasyonu	Schwanningera vd., 2004
1162-1125	Selüloz ve hemiselülozda C-O-C vibrasyonu	Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
1047-1004	Selülozda C-O genişlemesi	Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004
896	C-C genişlemesi	Haneef vd., 2017
	Anomer C-grubu, Glukan ß-anomerik C-H gurup genişlemesi, selülozda C-H deformasyonu	Haneef vd., 2017; Mohebby, 2005; Pandey and Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004

2.2.8. Işık Mikroskopu

P.O ve G.L mantar türleri ile aşılanmış sarıçam odun yongalarının, kavak odun yongalarının ve buğday sapı (saman) örneklerinin farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra her bir inkübasyon süresinin sonunda mantar misel yoğunluğu ışık mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünde ışık mikroskobu analizi gerçekleştirilmiştir. ZEISS Stemi 305 ışık mikroskobu ve ZEISS AxiocaAM erC 5s kamera ile örneklerin incelenmesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. Işık Mikroskobu (Kuştaş, 2021)

2.2.9 Teknolojik Özellikler

Proje kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım malzemelerinin, odun doğal plastik kompozit malzemelerinin ve misel esaslı ambalaj malzemelerinin tespit edilen teknolojik özellikleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Biyo-bozunur malzemelerin belirlenen teknolojik özellik testleri

DENEYLER	**ÜRÜNLER**		
	Misel Esaslı Yalıtım Malzemesi	**Odun Doğal Plastik Kompozitleri**	**Misel Esaslı Ambalaj Malzemesi**
Yoğunluk (gr/cm^3)	+	+	+
Rutubet (%)	+	+	+
Su Alma Oranı (%)	+	+	+
Kalınlık Artışı (Şişme) Oranı(%)	+	+	+
Eğilme Direnci	+	+	+
Elastikiyet Direnci	+	+	+
Yüzeye Dik Çekme Direnci	+	-	-
Çekme Direnci	-	+	-
Basınç Direnci	+	-	+
Darbe Testi	-	+	-
Isı İletkenlik (kcal/m.h.°C)	+	-	-

Tablo 7'nin devamı

DENEYLER	ÜRÜNLER		
	Misel Esaslı Yalıtım Malzemesi	**Odun Doğal Plastik Kompozitleri**	**Misel Esaslı Ambalaj Malzemesi**
Ses Geçiş Kaybı	+	-	-
SEM	+	+	+
Sınırlayıcı Oksijen İndeksi (LOI)	+	+	-
Termogravimetrik analiz (TGA)	+	+	-
Mantar Çürüklük Testi	-	+	-

Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım malzemelerinin, odun doğal plastik kompozit malzemelerinin ve misel esaslı ambalaj malzemelerinin yoğunluk, su alma ve kalınlık artış oranları tespit edilmiştir.

Misel esaslı yalıtım malzemelerinin eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci ve basınç direnci belirlenmiştir.

Odun doğal plastik kompozitlerinin eğilme direnci, elastikiyet modülü, darbe direnci ve çekme direnci belirlenmiştir.

Misel esaslı ambalaj malzemelerinin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci belirlenmiştir.

2.2.9.1. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

2.2.9.1.1. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Yoğunluk Değerinin Belirlenmesi

Üretilen misel esaslı yalıtım malzemesinin yoğunluk değerleri KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında ASTM C303 (2012)'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Yoğunluk testi, 50x50xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan örnekler tam değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar 103±2 °C kurutulduktan sonra örneklerin tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Yoğunluğun belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$\delta = \frac{m}{V} \qquad (1)$$

Burada;

δ: Yoğunluk (g/cm^3)

m: Tam kuru ağırlık (g)

v: Örnek hacmi (cm^3) dir.

2.2.9.1.2. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Su Alma Oranı Belirlenmesi

Üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında tespit edilmiştir. Su alma oranı ASTM D1037 (2012) standardına uygun olarak belirlenmiştir. 50x50xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan örneklerin ağırlığı ±0.01gr. duyarlıklı terazide tartılmıştır. Daha sonra örnekler destile su yüzünden 25 mm aşağıda tutulacak şekilde 20±2°C'lik destile suda deney süresince bekletilmiştir. 0.75, 1.5, 3, 6, 9, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ve 168 saatlik ölçümler periyodik olarak yapılmıştır. Her bir ölçüm için sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla su bir bez ile silinmiş ve ağırlıkları aynı hassasiyetle ± 0,01 gr. duyarlıklı terazide tartılmıştır. Su alma oranın (SA) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$SA=\left(\frac{m_y-m_1}{m_1}\right) X\ 100 \qquad (2)$$

Burada;

SA = Su alma oranı (%)

m_1: Örneğin ilk ağırlığı (g)

m_y: Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)

2.2.9.1.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Kalınlık Artış Oranın Belirlenmesi

Üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının kalınlık artış oranı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında tespit edilmiştir. Kalınlık artış oranı ASTM D1037 (2012) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Örnekler 50x50x levha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanmıştır. Örneklerin kalınlıkları 3 farklı yerinden 0.01 mm duyarlılıkta mikrometre ile ölçülmüştür ve ölçüm alınan noktalar işaretlenmiştir. Daha sonra örnekler destile su yüzünden 25 mm aşağıda tutulacak şekilde 20±2°C'lik destile suda deney

süresince bekletilmiştir. 0.75, 1.5, 3, 6, 9, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ve 168 saatlik ölçümler periyodik olarak yapılmıştır. Her bir ölçüm için sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla su bir bez ile silinmiş ve kalınlıkları ilk ölçüm noktasından tekrar ölçülmüştür. Kalınlık artış oranının (KA) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$KA = \left(\frac{e_y - e_k}{e_k}\right) X\ 100 \quad (3)$$

Burada;

KA: Kalınlık artış oranı (%)

e_y: Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

e_k: Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)

2.2.9.1.4. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Test örnekleri 300x50x levha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanmıştır ve ASTM C203 05a (2012) standardına göre eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir. İki dayanak üzerine serbest olarak yerleştirilen test örneklerine orta yerden bir kuvvet (dik olarak) uygulanarak eğilme direnci ve elastikiyet modülü tespit edilmiştir. Eğilme direnci testleri Artvin Çoruh Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan Zwick Roell Z050 marka cihazında gerçekleşmiştir (Şekil 26).



Şekil 26. Zwick Roell Z050 test cihazı (Kuştaş, 2021)

Eğilme direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$\sigma_e = \frac{3xFxL}{2xbxd^2} \ (kg/cm^2) \quad (4)$$

Eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

F_{max}: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (kg)

L_s: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (cm)

d: Örnek kalınlığı (cm)

b: Örnek genişliği (cm)

Eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$E = \frac{FxL^3}{4x\Delta_e xbxd^2} \ (kg/cm^2) \quad (5)$$

Eşitliği kullanılmıştır. Burada;

Δ_e: Eğilme miktarı (sehim) (cm)

F: Deformasyon sağlayan kuvvet (kg)

L_s: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (cm)

d: Örnek kalınlığı (cm)

b: Örnek genişliği (cm)

2.2.9.1.5. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Yüzeye Dik Çekme Direncinin Belirlenmesi

Test örnekleri TS EN 319 (1993) standardına göre 50x50x levha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerin her iki yüzüne standartlara uygun olarak hazırlanmış metal takozlar mum silikon ile yapıştırılmıştır. Takozlara yapıştırılan örnekler yapışma işlemi gerçekleşene kadar (en az 2 saat) bekletildikten sonra testte tabi tutulmuştur. Yalıtım levha yüzeylerine çok yakın alanlardan kopan örnekler direnç hesaplarına katılmamıştır. Yüzeye dik çekme direnci testleri Artvin Çoruh Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan Zwick Roell Z050 marka cihazda gerçekleştirilmiştir (Şekil 27).

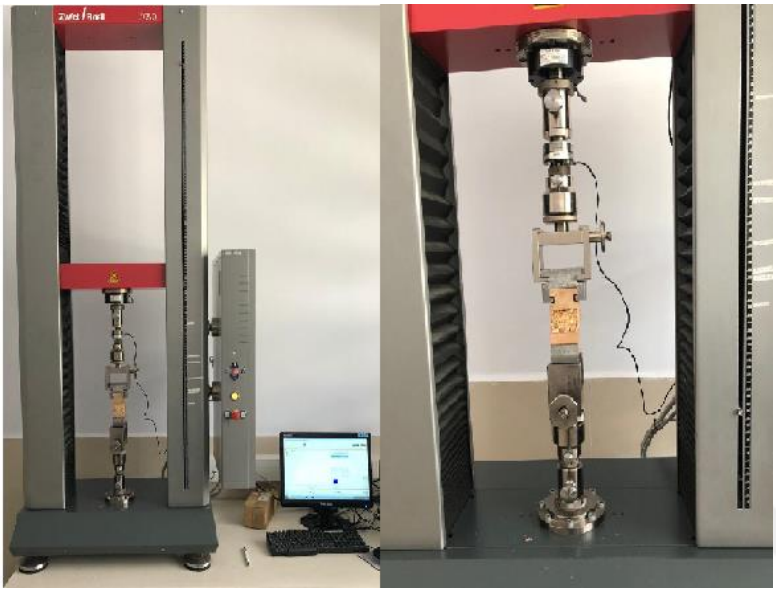
Yüzeye dik çekme direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$\sigma çd = \frac{F_{max}}{A} \quad (kg/cm^2) \qquad (6)$$

Eşitliği kullanılmıştır. Burada;

Fmax: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (kg)

A: Örnek enine kesit alanı (cm^2)



Şekil 27. Zwick Roell Z050 test cihazı (Kuştaş, 2021)

2.2.9.1.6. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Basınç Direncinin Belirlenmesi

Test örnekleri ASTM C165-07 (2012) standardına göre 50x50x levha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanmıştır. Basınç direnci testlerinden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı dijital kumpasla ölçülmüştür. Daha sonra, ezilme anındaki maksimum kuvvet (F*max*) elde edilmesiyle basınç dirençleri (*σb*) tespit edilmiştir. Basınç direnci testleri Artvin Çoruh Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında bulunan Zwick Roell Z050 marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 28).

Basınç direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{A} \quad (kg/cm^2) \qquad (7)$$

Eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

F*max*: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (kg)

A: Örneğin enine kesit alanı $(mm)^2$ dır.



Şekil 28. Zwick Roell Z050 test cihazı (Kuştaş, 2021)

2.2.9.1.7. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Isıl İletkenlik Değerlerinin Belirlenmesi

Tez kapsamında üretimi yapılan yalıtım levhalarının belirlenen amaç doğrultusunda yalıtım malzemesi olarak değerlendirilebilmesi için her bir levha grubunun ısıl iletkenlik katsayısının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Misel esaslı yalıtım levhalarının ısıl iletkenliği katsayılarının belirlenmesi KTÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarında gerçekleşmiş olup Laser Comp Fox 314 ısıl iletkenlik ölçüm cihazda yapılmıştır (Şekil 29). Isı iletkenlik değerlerinin ölçümü ASTM C518 (2003) standardına göre tespit edilmiştir. Yapılan ısı iletkenlik testlerinde Laser Comp Fox 314 ısıl iletkenlik ölçüm cihazının üst plaka (soğuk plaka) sıcaklığı 20°C'ye, alt plaka (sıcak plaka) sıcaklığı ise 40°C olarak ayarlanmıştır. Misel esaslı yalıtım levhalarının ısıl iletkenlik değerlerinin tespit edilmesinde her bir levha grubu için 30x30xlevha kalınlığı (mm) ebatlarında 3'er adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.



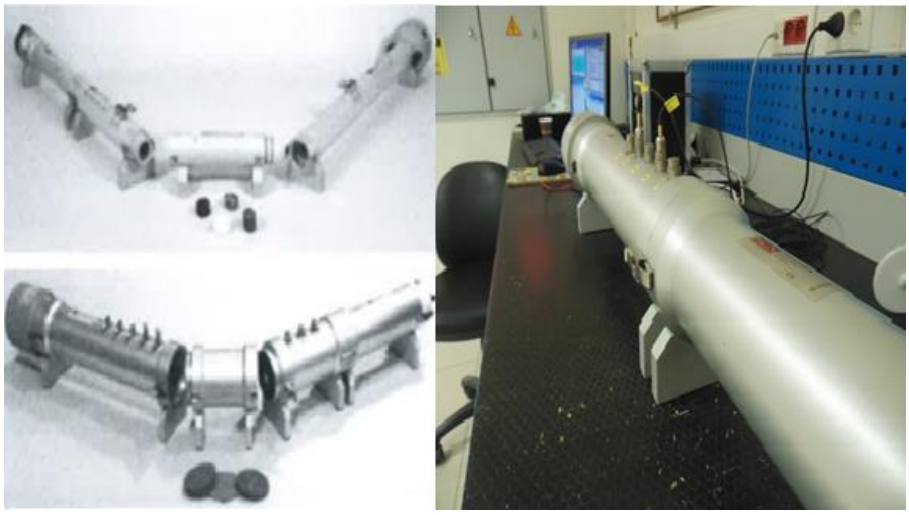
Şekil 29. Laser Comp Fox-314 ısıl iletkenlik cihazı (Kuştaş, 2021)

2.2.9.1.8. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Akustik Özelliklerinin Belirlenmesi

2.2.9.1.8.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Ses Yutum Katsayısının Belirlenmesi

Proje kapsamında üretimi yapılan yalıtım levhalarının ses yutum katsayılarının (α) değerinin ölçümü TSE Yapı Malzemeleri Yangın ve Akustik Laboratuvarı Akustik Bölümünde TS EN ISO 10534-2:2003 standardına göre tayin edilmiştir. Testler için her bir mantar türü için üretilen yalıtım malzemelerinden 30 mm ve 100 mm çapında her grup için 3'er adet örnek hazırlanmıştır.

Deneyde kullanılacak tertibat kullanımdan önce bir seri deney yapılarak kontrol edilmiştir. Deneyin yapılacağı ortamın sıcaklığı 23 °C, bağıl nemi %58-60 basınç ise 100 kPa olarak ölçülmüştür. Ölçmelerden önce hoparlör, sıcaklığın kararlı hale gelmesi amacıyla 10 dakika süresince çalıştırılmıştır. Ön deney ve ölçmeler yapıldıktan sonra deney numunesi ile numune tutucunun ön yüzü çıkıntı yapmayacak ve etrafından hava sızdırmayacak şekilde tüp içerisine yerleştirilmiştir. Her bir çap için 3'şer adet numune üzerinde ölçüm yapılmıştır. Sinyal üreteci ile empedans tüpü arasındaki bağlantı sağlandıktan sonra l00-6300Hz frekans aralığında her bir 1/3 oktav bant merkez frekansında sinyal oluşturulmuş ve uygun yazılım aracılığıyla sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 30).

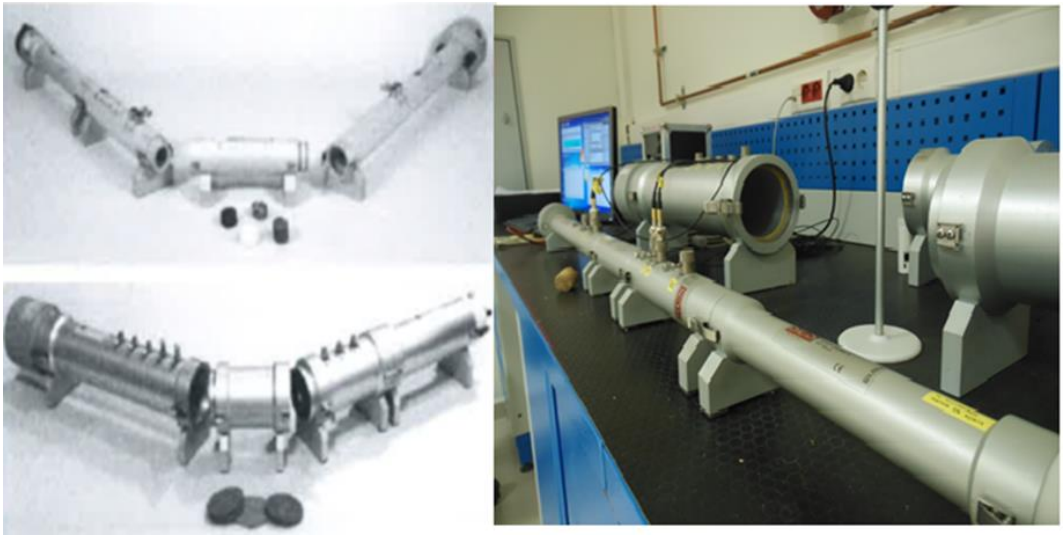


Şekil 30. Empedans tüpü test cihazıyla ses yutum katsayılarının belirlenmesi (Kuştaş, 2021)

2.2.9.1.8.2. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Ses Geçiş Kaybının Belirlenmesi

Proje kapsamında üretimi yapılan misel esaslı yalıtım levhalarının ses geçiş kaybının ölçümü TSE Yapı Malzemeleri Yangın ve Akustik Laboratuvarı Akustik Bölümünde TS EN ISO 10534-2:2003 standardı esaslarına göre tayin edilmiştir. Her bir mantar türü için üretilen yalıtım esaslı yalıtım malzemelerinden 30 mm ve 100 mm çapında her grup için 3'er adet örnek hazırlanmıştır.

Deneyde kullanılacak tertibat kullanımdan önce bir seri deney yapılarak kontrol edilmiştir. Deneyin yapılacağı ortamın sıcaklığı 23 °C, bağıl nemi %58, basınç ise 100 kPa olarak ölçülmüştür. Ölçmelerden önce hoparlör, sıcaklığın kararlı hale gelmesi amacıyla 10 dakika süresince çalıştırılmıştır. Ön deney ve ölçmeler yapıldıktan sonra deney numunesi ile numune tutucunun ön yüzü çıkıntı yapmayacak ve etrafından hava sızdırmayacak şekilde tüp içerisine yerleştirilmiştir. Her bir çap için 3'şer adet numune üzerinde ölçüm yapılmıştır. Sinyal üreteci ile empedans tüpü arasındaki bağlantı sağlandıktan sonra l00-6300Hz frekans aralığında her bir 1/3 oktav bant merkez frekansında sinyal oluşturulmuş ve uygun yazılım aracılığıyla sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 31).



Şekil 31. Empedans tüpü test cihazıyla ses geçiş kaybının belirlenmesi (Kuştaş, 2021)

2.2.10. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

2.2.10.1. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi

Üretilen ODPK'lerinin yoğunluk değerleri KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında EN 323 (1999)'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Yoğunluk testi, 30x30xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan örnekler tam değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar 103±2 °C kurutulduktan sonra örneklerin tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Yoğunluğun belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$\delta = \frac{m}{V} \tag{8}$$

Burada;

δ: Yoğunluk (g/cm^3)

m: Tam kuru ağırlık (g)

v: Örnek hacmi (cm^3) dir.

2.2.10.2. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Su Alma Oranın Belirlenmesi

Üretilen Odun doğal plastik kompozit levhalarının su alma oranı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında yapılmıştır. Su alma oranı ASTM D1037 (2012) standardına uygun olarak belirlenmiştir. 30x30xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan örneklerin ağırlığı ±0.01gr. duyarlıklı terazide ölçülmüştür. Daha sonra örnekler destile su yüzünden 25 mm aşağıda tutulacak şekilde 20±2°C'lik destile suda deney süresince bekletilmiştir. 1, 2, 8 ve 24 saatlik ölçümler periyodik olarak yapılmıştır. Her bir ölçüm için sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla su bir bez ile silinmiş ve ağırlıkları aynı hassasiyetle ± 0,01 gr. duyarlıklı terazide ölçülmüştür. Su alma oranın (SA) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$SA = \left(\frac{m_y - m_1}{m_1}\right) X\ 100 \qquad (9)$$

Burada;
SA = Su alma oranı (%)
m_1: Örneğin ilk ağırlığı (g)
m_y: Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)

2.2.10.3. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Kalınlık Artış Oranın Belirlenmesi

Üretilen Odun doğal plastik kompozit levhalarının kalınlık artış oranı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında yapılmıştır. Kalınlık artış oranı ASTM D1037 (2012) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Örnekler 30x30xlevha kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanmıştır. Örneklerin kalınlıkları 3 farklı yerinden 0.01mm duyarlılıkta mikrometre ile ölçülmüştür ve ölçüm alınan noktalar işaretlenmiştir Daha sonra örnekler destile su yüzünden 25 mm aşağıda tutulacak şekilde 20±2°C'lik destile suda deney süresince bekletilmiştir. 1, 2, 8 ve 24 saatlik ölçümler periyodik olarak yapılmıştır. Her bir ölçüm için sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla su bir bez ile silinmiş ve kalınlıkları ilk ölçüm noktasından tekrar ölçülmüştür. Kalınlık artış oranının (KA) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$KA = \left(\frac{e_y - e_k}{e_k}\right) X\ 100 \quad (10)$$

Burada;

KA: Kalınlık artış oranı (%)

e_y: Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

e_k: Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)

2.2.10.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarında Zwick/Roell Z010 Üniversal Test Makinesinde ASTM D 790 (2004) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 32). 160x12x4 mm ebatlarında olacak şekilde hazırlanan örnekler denge rutubetine ulaşıncaya kadar iklimlendirme odasında bekletilmiştir. Testlerin yapılışı esnasında levha örneklerinin yerleştirildiği mesnetler arasındaki açıklık 80 mm ve test hızı ise 2 mm/dak. olarak belirlenmiştir. Testler 3 nokta eğilme direnci testi olarak gerçekleştirilmiştir.

Eğilme direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$\sigma_e = \frac{3xFxL}{2xbxd^2} \quad (kg/cm^2) \quad (11)$$

Eşitliğinden hesaplanacaktır. Burada;

F_{max}: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (kg)

L_s: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (cm)

d: Örnek kalınlığı (cm)

b: Örnek genişliği (cm)

Eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$E = \frac{FxL^3}{4x\Delta_e xbxd^2} \quad (kg/cm^2) \quad (12)$$

Eşitliği kullanılmıştır. Burada;

Δ_e: Eğilme miktarı (sehim) (cm)

F: Deformasyon sağlayan kuvvet (kg)

L_s: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (cm)

d: Örnek kalınlığı (cm)

b: Örnek genişliği (cm)



Şekil 32. Zwick Roell Z010 test cihazı (Kuştaş, 2021)

2.2.10.4 Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Çekme Direncinin Belirlenmesi

Çekme direnci Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarında Zwick/Roell Z010 Üniversal Test Makinesinde ASTM D 638 (2004) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 33). 160x12x4 mm ebatlarında olacak şekilde hazırlanan örnekler denge rutubetine ulaşıncaya kadar iklimlendirme odasında bekletilmiştir. Test hızı 5 mm/dak. olacak şekilde ayarlanmıştır. Çekme direnci değerleri ise aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$\sigma_{çd}=\frac{F_{max}}{A} \quad (N/mm^2) \qquad (13)$$

Eşitliği kullanılmıştır. Burada;

Fmax: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

A: Örnek enine kesit alanı (mm^2)



Şekil 33. Zwick Roell Z010 test cihazı (Kuştaş, 2021)

2.2.10.5. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Darbe Direncinin Belirlenmesi

Darbe direnci Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarında Zwick/Roell HIT5.5P Üniversal Test Makinesinde ASTM D 256 (2004) standart esaslarına göre tespit edilmiştir. 160x12x4 mm mm olacak şekilde hazırlanan örnekler denge rutubetine ulaşıncaya kadar iklimlendirme odasında bekletilmiştir. Test örneklerinin çentikleri Polytest RayRan çentik açma makinesi yardımıyla açılmıştır. Darbe direnci testleri ise test esnasında Zwick/Roell HIT5.5P Universal test makinesine bağlı bilgisayar ile ilgili programından j/m cinsinden değerler otomatik olarak elde edilmiştir.

Darbe Direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$\text{Darbe Direnci (Kırılma enerjisi)} = G\,(h - h\,1) = G\,X\,L(\cos\beta - \cos\alpha) \qquad (14)$$

G = Sarkacın ağırlığı (kg)

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m),

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

h_1= Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

α= Düşme açısı(derece),

β= Yükseliş açısı(derece)

2.2.11. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

2.2.11.1. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi

Üretilen misel esaslı ambalaj malzemesinin yoğunluk değerleri KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Misel esaslı ambalaj malzemesinin yoğunlukları ASTM C303 (2012)'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Yoğunluk testi, 50X50XAmbalaj kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanan örnekler tam değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar 103±2 °C kurutulduktan sonra tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Yoğunluğun belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$\delta = \frac{m}{V} \tag{15}$$

Burada;

δ: Yoğunluk (g/cm^3)

m: Tam kuru ağırlık (g)

v: Örnek hacmi (cm^3) dir.

2.2.11.2. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Su Alma Oranın Belirlenmesi

Üretilen misel esaslı ambalaj malzemesinin su alma oranı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Su alma oranı ASTM D1037 (2012) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Örnekler 50x50xAmbalaj

kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanıp ağırlığı ±0.01gr. duyarlıklı terazide tartılmıştır. Daha sonra örnekler destile su yüzünden 25 mm aşağıda tutulacak şekilde 20±2°C'lik destile suda deney süresince bekletilmiştir. 2, 24 ve 48 saatlik ölçümler periyodik olarak yapılmıştır. Her bir ölçüm için sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla su bir bez ile silinmiş ve ağırlıkları aynı hassasiyetle ± 0,01 gr. duyarlıklı terazide tartılmıştır. Su alma oranın (SA) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$SA = \left(\frac{m_y - m_1}{m_1}\right) X\ 100 \quad (16)$$

Burada;

SA = Su alma oranı (%)

m_1: Örneğin ilk ağırlığı (g)

m_y: Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)

2.2.11.3. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Kalınlık Artış Oranı Belirlenmesi

Üretilen misel esaslı ambalaj malzemesinin kalınlık artış oranı KTÜ, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kalınlık artış oranı ASTM D1037 (2012) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Örnekler 50x50xAmbalaj kalınlığı (mm) boyutlarında hazırlanmıştır. Örneklerin kalınlıkları 3 farklı yerinden 0.01 mm duyarlılıkta mikrometre ile ölçülmüştür ve ölçüm alınan noktalar işaretlenmiştir. Daha sonra örnekler destile su yüzünden 25 mm aşağıda tutulacak şekilde 20±2°C'lik destile suda deney süresince bekletilmiştir. 2, 24 ve 48 saatlik ölçümler periyodik olarak yapılmıştır. Her bir ölçüm için sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki fazla su bir bez ile silinmiş ve kalınlıkları ilk ölçüm noktasından tekrar ölçülmüştür. Kalınlık artış oranının (KA) belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmıştır;

$$SA = \left(\frac{m_y - m_1}{m_1}\right) X\ 100 \quad (17)$$

Burada;

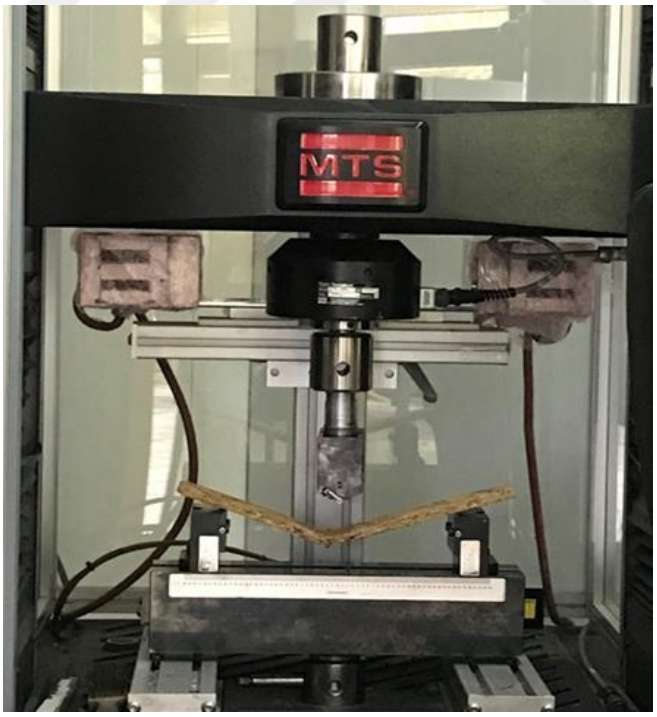
KA: Kalınlık artış oranı (%)

e_y: Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)

e_k: Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)

2.2.11.4. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Belirlenmesi

Test örnekleri ASTM C203 05a (2012) standardına göre 100 mm boyutlarında hazırlanmıştır. İki dayanak üzerine serbest olarak yerleştirilen bir deney parçasına orta yerden bir kuvvet (dik olarak) uygulanarak eğilme direnci ve elastikiyet modülü tespit edilmiştir. Eğilme direnci KTÜ Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan MTS marka cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 34).



Şekil 34. MTS test cihazı

Eğilme direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$\sigma_e = \frac{3xFxL}{2xbxd^2} \quad (kg/cm^2) \qquad (18)$$

Eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

F_{max}: Kırılma anındaki maksimum kuvvet (kg)

L_s: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (cm)

d: Örnek kalınlığı (cm)

b: Örnek genişliği (cm)

Eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$E = \frac{FxL^3}{4x\Delta_e xbxd^2} \quad (kg/cm^2) \qquad (19)$$

Eşitliği kullanılmıştır. Burada;

Δ_e: Eğilme miktarı (sehim) (cm)

F: Deformasyon sağlayan kuvvet (kg)

L_s: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (cm)

d: Örnek kalınlığı (cm)

b: Örnek genişliği (cm)

2.2.11.5. Misel Esaslı Ambalaj Malzemesinin Basınç Direncinin Belirlenmesi

Test örnekleri ASTM C165-07 (2012) standardına göre 30x20x20 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Testlerden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı dijital kumpasla ölçülüp, ezilme anındaki maksimum kuvvet (Fmax) belirlenerek basınç dirençleri (σb) tespit edilmiştir. Basınç direnci KTÜ Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan MTS marka cihazda gerçekleştirilmiştir.

Basınç direnci değerleri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$\sigma_b = \frac{F_{max}}{A} \quad (kg/cm^2) \qquad (20)$$

Eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

Fmax: Kırılma anındaki max kuvvet (kg)

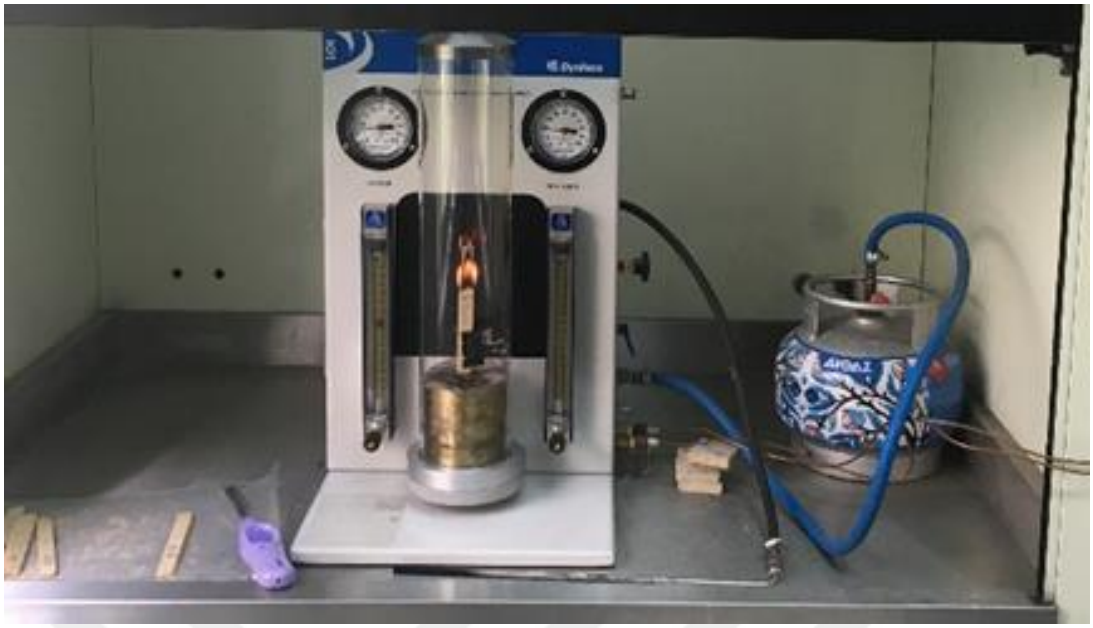
A: Örneğin enine kesin alanı $(mm)^2$ dir.

2.2.12. Termal ve Yanma Özelliklerinin Belirlenmesi

2.2.12.1. Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testi

Misel esaslı yalıtım malzemesinde ve odun doğal plastik kompozitlerin LOI değerleri ASTM D 2863-19 standardı esaslarına göre tespit edilmiştir. Üretilen misel esaslı yalıtım levhalardan 150x35x10 mm ölçülerinde, odun doğal plastik kompozitlerinden ise 150x15x4 mm her grup için 5'er adet numune hazırlanmıştır. Numuneler, test öncesi ASTM D 618 (2013) standardına uygun olarak kondisyonlanarak hazırlanmıştır.

LOI değerleri Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında Dynisco LOI analyzer instrument (Franklin, USA) cihazı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 35). Oksijen/azot gaz karışımı yanma olayının gerçekleşmesi için kullanılmıştır. LOI testinde numunelerin alevli bir şekilde yanma olayı gerçekleştirilmesi için gerekli olan minimum oksijen miktarı tespit edilmiştir.



Şekil 35. Sınırlayıcı oksijen indeks test cihazı (Kuştaş, 2021)

2.2.12.2. Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) Analizi

Misel esaslı yalıtım malzemelerin ve odun doğal plastik kompozitlerin TGA/DTG analizleri Artvin Çoruh Üniversitesi, Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Enstrümantal Laboratuvarı'nda bulunan Perkin Elmer 59 STA 6000 termogravimetrik analiz cihazında yapılmıştır. Analizler için örnekler laboratuvar tipi IKA değirmeninde 1 mm boyutunda öğütülmüş ve fırın sıcaklığı 103±2℃ olan fırında değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Termogravimetrik analiz cihazı oda sıcaklığından 600℃'ye çıkana kadar dakikada 10℃ artacak şekilde programlanmıştır. Misel esaslı yalıtım malzemelerinin ve odun doğal plastik kompozitlerinin örnek ağırlıkları azot gazı ortamında sabit bir hızda ısıtılmasıyla zamana bağlı değişimi tespit edilmiştir. TGA grafikleri Origin 2021b (OriginLab Corporation) programı kullanılarak TGA/DTG grafikleri çizdirilmiştir.

2.2.13. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

Üretilen misel esaslı yalıtım malzemesi ve odun doğal plastik kompozitleri SEM görüntüleri Artvin Çoruh Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri Carl Zeiss marka EVO LS10 model cihazda yapılmıştır. Örnekler, ilk öncesinde sıvı azot ile muamele edildikten sonra sert bir cisim yardımıyla

kesilerek temiz bir kırık yüzey (fractured surface) oluşturulmuştur olup sonra örnek yüzeyinden oluşabilecek yansımaları engellemek maksadıyla kırık yüzeyler altın tozuyla 10 mA de 120 sn süreyle kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kaplanmış örneklerden farklı büyütmeler kullanılarak görüntüler alınmıştır.

2.2.14. Biyolojik Özellikler

2.2.14.1. Mantar Çürüklük Testi

Odun doğal plastik kompozitlerin esmer çürüklük (*Coniophora puteana* (CP)) ve beyaz çürüklük (*Trametes versicolor* (TV)) mantarlarına karşı biyolojik dayanımları EN 113-97 standardı modifiye edilerek tespit edilmiştir. Üretilen her bir mantar türü için Odun doğal plastik kompozitlerinden 30x15x4 mm ölçülerinde her grup için 6'şar adet numune hazırlanmıştır.

Mantar çürüklük testi Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 36). Test için 1000 mililitre saf suya 48 g malt extract agar eklenerek ve karıştırılarak hazırlanan besi ortamının, 121ºC'de, 1.1 atmosferik basınç ve 20 dak. süreyle otoklavda sterilizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonra, malt-agar besi ortamı her bir petri kabına yaklaşık 30 cc oranında aktarılmıştır. Daha sonra besin ortamları *Coniophora puteana* ve *Tramates versicolor* mantar kültürleriyle aşılanmıştır. Aşılanan mantar kültürleri 20 ºC sıcaklık ve %65 bağıl nem şartlarındaki klima dolaplarında yaklaşık 10 gün süreyle bekletilerek mantar misellerinin besin ortamlarını tamamen sarması sağlanmıştır. Tam kuru ağırlıkları ölçülmüş ve sterilize edilmiş test ve kontrol örnekleri her bir petri kabına aynı varyasyona ait bir test ve bir de kontrol örneği yerleştirilmiştir. Daha sonra petri kaplarındaki test örnekleri 23±2ºC sıcaklık ve %65 bağıl nem değerlerine sahip steril klima dolabında *Trametes versicolor* ve *Coniophora puteana* mantarlarının saldırısına maruz bırakılmıştır. Örneklerin ağırlık kayıpları 8 hafta sonra ölçülerek belirlenmiştir. İnkübasyon süresi onunda kontrol ve test örnekleri mantar misellerinden temizlenmiştir. 103±2ºC sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Örneklerin ağırlıkları tartıldıktan sonra ağırlık kayıpları aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır.

$$\% \text{ AK} = \left(\frac{t_ö - t_s}{t_ö}\right) \text{ X } 100 \quad (21)$$

AK=Ağırlık Kaybı (%)

tö= Test öncesi tam kuru ağırlık (g)

ts= Test sonrası tam kuru ağırlık (g)



Şekil 36. Mantar Çürüklük testi (Kuştaş, 2021)

2.2.15. İstatistiksel Analiz

Yapılan testler sonrasında elde edilen verilerin istatistiksel analizi, istatistik paket programı (IBM SPSS v22) kullanılarak yapılmıştır. Yapılan analizlerde %95 güven düzeyi dikkate alınarak tespit edilmiştir. Basit varyans analizi ve çoklu varyans analiziyle deney grupları arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Deney grupları arasında sonuçların anlamlı çıkması durumunda homojenlik grupları belirlenerek gruplar arası karşılaştırma gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Lignoselülozik Materyal Ana Bileşenlerinin Kimyasal Analizlerine Ait Bulgular

3.1.1. Buğday Sapının Ana Bileşenlerinin Kimyasal Analizlerine Ait Bulgular

Tez çalışması kapsamında GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış (kontrol) buğday sapı materyalinin ana bileşenlerindeki kimyasal değişimleri Tablo 8' de sunulmuştur. Elde edilen bulgular incelendiğinde GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kontrol buğday saplarına oranla alkol/benzen çözünürlüğü, holoselüloz oranı, lignin oranları azalmış, %1'lik NaOH çözünürlüğü ve α-selüloz oranları arttığı tespit edilmiştir.

Tablo 8. GL ve PO mantarı ile farklı inkübasyon sürelerine maruz bırakılmış buğday sapı materyalinin kimyasal yapısındaki değişimler

Buğday Sapı (Saman)								
Deneyler (%)		**Kontrol**	**İnkübasyon Süresi (Gün)**					
			GL Mantarı			**PO Mantarı**		
			10	**20**	**30**	**10**	**20**	**30**
Alkol/Benzen Çözünürlüğü	**Ort.**	3.62	3.48	3.02	3.00	3.40	3.15	3.04
	Std.	0.24	0.03	0.02	0.03	0.05	0.02	0.08
%1'lik NaOH Çözünürlüğü	**Ort.**	42.21	48.16	46.30	59.65	45.67	52.60	55.38
	Std.	0.55	0.77	0.35	0.84	0.27	0.04	0.42
Holoselüloz	**Ort.**	76.26	74.68	70.74	69.90	70.89	72.20	76.21
	Std.	0.18	0.34	0.36	0.35	0.50	1.21	0.61
Lignin	**Ort.**	21.57	19.21	23.80	21.90	20.97	20.19	19.13
	Std.	0.45	0.44	0.54	0.42	0.83	1.26	0.76
α-selüloz	**Ort.**	35.72	46.60	39.38	35.52	44.46	41.60	39.01
	Std.	0.23	0.47	0.68	0.54	1.36	2.16	0.10
Toplam		101.46	97.38	97.56	94.80	95.26	95.54	98.38

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Buğday sapı materyalinin ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

Yapılan varyans analizi sonucuna göre; mantar türü ve inkübasyon süresinin buğday sapının oranla alkol/benzen çözünürlüğü, holoselüloz oranı, lignin oranı ve %1'lik NaOH çözünürlüğü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte mantar türü ve inkübasyon süresi buğday sapının α-selüloz oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 9. Buğday sapının ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini ilişkin basit Varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Alkol/Benzen Çözünürlüğü	Gruplar arası	0.907	6	0.151	7.152	0.007
	Gruplar içi	0.169	8	0.021		
	Toplam	1.077	14			
%1'lik NaOH Çözünürlüğü	Gruplar arası	518.522	6	86.420	39.386	0.000
	Gruplar içi	17.554	8	2.194		
	Toplam	536.075	14			
Holoselüloz	Gruplar arası	106.322	6	17.720	119.149	0.000
	Gruplar içi	1.190	8	0.149		
	Toplam	107.512	14			
Lignin	Gruplar arası	226.484	6	37.747	43.477	0.000
	Gruplar içi	6.946	8	0.868		
	Toplam	233.430	14			
α-selüloz	Gruplar arası	37.319	6	6.220	2.865	0.097
	Gruplar içi	15.195	7	2.171		
	Toplam	52.515	13			

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 10-14'de verilmiştir.

Tablo 10. Buğday sapının alkol/benzen çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	**N**	**Alkol/Benzen Çözünürlüğü**	**HG***
GL 30 Gün	2	2.1750	A
GL 20 Gün	2	2.2809	A
PO 30 Gün	2	2.4974	A
PO 20 Gün	2	2.6965	A B
PO 10 Gün	2	2.7057	B C
GL 10 Gün	2	2.9863	B C
KONTROL	3	3.0649	C

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 10 incelendiğinde; GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kontrol buğday saplarına oranla alkol/benzen çözünürlüğünün azaldığı tespit edilmiştir. En çok azalışı 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında, en az azalışı ise 10 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında olarak tespit edilmiştir.

Tablo 11. Buğday sapının holoselüloz oranına etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	**N**	**Holoselüloz Oranı**	**HG***
GL 30 Gün	2	69.8918	A
GL 20 Gün	2	70.1051	A B
PO 10 Gün	2	70.8926	B
PO 20 Gün	2	72.1430	C
GL 10 Gün	2	74.6831	D
KONTROL	3	76.2624	E
PO 30 Gün	2	76.3573	E

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 11 incelendiğinde; GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kontrol buğday saplarına oranla holoselüloz oranı azaldığı tespit edilmiştir. En çok azalışı 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında tespit edilmiştir. Bununla birlikte, en az azalışı ise 30 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapı örneklerinde tespit edilmiştir.

Tablo 12. Buğday sapının lignin oranına etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	**N**	**Lignin Oranı(%)**	**HG***
GL 10 Gün	2	19.2080	A
PO 30 Gün	2	19.1366	A
PO 20 Gün	2	20.7017	A
PO 10 Gün	2	20.9685	A
GL 20 Gün	2	21.3956	A B
KONTROL	2	21.5718	A B
GL 30 Gün	2	24.8861	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kontrol buğday saplarına oranla lignin oranı genel olarak azalmamaktadır, ancak GL 20 ve 30 gün inkübasyon sürelerinde arttığı tespit edilmiştir. En çok azalışı 10 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında, en fazla artışı ise 20 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında tespit edilmiştir.

Tablo 13. Buğday sapının %1'lik NaOH çözünürlüğüne etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	**N**	**%1'lik NaOH çözünürlüğü**	**HG***
KONTROL	3	42.0534	A
PO 10 Gün	2	45.6711	B
GL 20 Gün	2	46.4545	B
GL 10 Gün	2	48.1575	B
PO 20 Gün	2	52.5983	C
PO 30 Gün	2	55.3822	C
GL 30 Gün	2	59.8027	D

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 13 incelendiğinde; GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kontrol buğday saplarına oranla %1'lik NaOH çözünürlüğünün arttığı tespit edilmiştir. En çok artış 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında, en az artış ise 10 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında tespit edilmiştir.

Tablo 14. Buğday sapının α-selüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	**N**	**α-selüloz Oranı**	**HG***
GL 30 Gün	2	35.7186	A
KONTROL	3	35.7250	A
PO 30 Gün	2	39.0113	B
GL 20 Gün	2	39.2319	B
PO 20 Gün	2	41.5951	C
PO 10 Gün	2	44.4600	D
GL 10 Gün	2	46.5954	E

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 14 incelendiğinde; GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kontrol buğday saplarına oranla α-selüloz oranın arttığı tespit edilmiştir. En çok artış 10 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında, en az artış ise 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında tespit edilmiştir.

3.1.2. Sarıçam Odununun Ana Bileşenlerinin Kimyasal Analizlerine Ait Bulgular

Tez çalışması kapsamında GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış (kontrol) sarıçam odununun ana bileşenlerindeki kimyasal değişimleri Tablo 15' de sunulmuştur. Elde edilen veriler incelendiğinde GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla alkol/benzen çözünürlüğü, holoselüloz oranı ve lignin oranları azalmış; %1'lik NaOH çözünürlüğü ve mantar muamelesi görmüş sarıçam yongalarının bazı inkübasyon sürelerinde α-selüloz oranları arttığı tespit edilmiştir.

Tablo 15. GL ve PO mantarlarına farklı inkübasyon sürelerinde maruz bırakılmış sarıçam odununun kimyasal yapısındaki değişimler

Sarıçam Odunu								
Deneyler (%)		**Kontrol**	**İnkübasyon Süresi (Gün)**					
			GL Mantarı			**PO Mantarı**		
			10	**20**	**30**	**10**	**20**	**30**
Alkol/Benzen Çözünürlüğü	**Ort.**	5.06	4.25	3.32	3.53	4.93	2.38	1.94
	Std.	0.31	0.13	0.50	0.46	0.08	0.46	0.16
%1'lik NaOH Çözünürlüğü	**Ort.**	8.81	23.83	18.86	25.88	16.07	28.33	30.77
	Std.	0.06	0.76	0.06	0.11	1.52	0.74	0.11
Holoselüloz	**Ort.**	72.17	66.27	69.87	71.40	67.64	68.04	69.87
	Std.	0.13	0.29	0.35	1.13	1.26	0.35	0.10
Lignin	**Ort.**	26.78	24.74	24.89	26.18	25.51	24.66	25.98
	Std.	0.63	0.28	0.37	0.38	0.50	0.49	0.64
α-selüloz	**Ort.**	46.16	44.32	48.48	40.86	47.17	41.01	48.60
	Std.	0.37	1.02	0.55	0.43	0.57	1.19	0.14
Toplam		104.02	95.26	98.08	101.11	98.08	95.08	97.79

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Sarıçam odunun ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 16'da verilmiştir.

Yapılan varyans analizi sonucuna göre; mantar türü ve inkübasyon süresinin sarıçam odunun oranla alkol/benzen çözünürlüğü, holoselüloz oranı, lignin oranı ve %1'lik NaOH çözünürlüğü ve α-selüloz oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 16. Sarıçam odunun ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Alkol/Benzen Çözünürlüğü	Gruplar arası	19.265	6	3.211	36.619	0.000
	Gruplar içi	0.701	8	0.088		
	Toplam	19.966	14			
%1'lik NaOH Çözünürlüğü	Gruplar arası	708.151	6	118.025	239.164	0.000
	Gruplar içi	3.454	7	0.493		
	Toplam	711.606	13			
Holoselüloz	Gruplar arası	71.764	6	11.961	11.623	0.001
	Gruplar içi	8.232	8	1.029		
	Toplam	79.996	14			
Lignin	Gruplar arası	129.406	6	21.568	48.405	0.000
	Gruplar içi	3.565	8	0.446		
	Toplam	132.970	14			
α-selüloz	Gruplar arası	13.141	6	2.190	4.323	0.038
	Gruplar içi	3.546	7	0.507		
	Toplam	16.687	13			

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 17-21'de verilmiştir.

Tablo 17. Sarıçam odunun alkol/benzen çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	**N**	**Alkol/Benzen Çözünürlüğü**	**HG***
PO 30 Gün	2	1.9355	A
GL 20 Gün	2	2.3765	A
GL 30 Gün	2	3.3192	B
PO 20 Gün	2	3.5308	B

Tablo 17'nin devamı

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	Alkol/Benzen Çözünürlüğü	HG*
PO 10 Gün	2	4.2478	C
GL 10 Gün	2	4.9290	D
KONTROL	3	5.0633	D

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 17 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol sarıçam odununa oranla alkol/benzen çözünürlüğünün azaldığı tespit edilmiştir. En çok azalışı 30 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda, en az azalışı ise 10 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda olarak tespit edilmiştir.

Tablo 18. Sarıçam odunun holoselüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	Holoselüloz Oranı	HG*
GL 10 Gün	2	66.2718	A
PO 10 Gün	2	67.6401	A B
PO 20 Gün	2	68.0600	A B
PO 30 Gün	2	68.7575	B
GL 20 Gün	2	69.6075	B
GL 30 Gün	2	70.0528	B
KONTROL	3	73.0836	C

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 18 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol sarıçam odununa oranla holoselüloz oranı azaldığı tespit edilmiştir. En çok azalışı 10 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda, en az azalışı ise 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda olarak tespit edilmiştir.

Tablo 19. Sarıçam odunun lignin oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	Lignin Oranı	HG*
GL 30 Gün	2	23.5131	A
GL 10 Gün	2	24.7443	A B
PO 20 Gün	2	24.9307	A B
PO 10 Gün	2	25.5088	B C
PO 30 Gün	2	25.5677	B C
GL 20 Gün	2	26.0841	B C
KONTROL	2	26.7839	C

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 19 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol sarıçam odununa oranla lignin oranı azaldığı tespit edilmiştir. En çok azalışı 10 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda, en az azalışı ise 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda olarak tespit edilmiştir.

Tablo 20. Sarıçam odunun %1'lik NaOH çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	%1'lik NaOH Çözünürlüğü	HG*
KONTROL	3	8.8096	A
PO 10 Gün	2	16.0745	B
GL 30 Gün	2	18.8562	C
GL 10 Gün	2	23.8331	D
GL 20 Gün	2	25.8792	E
PO 20 Gün	2	28.3278	F
PO 30 Gün	2	30.7718	G

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 20 incelendiğinde; GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol sarıçam odununa oranla %1'lik NaOH çözünürlüğünün arttığı tespit edilmiştir. En çok artış 30 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda, en az artış ise 10 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda tespit edilmiştir.

Tablo 21. Sarıçam odunun α-selüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	α-selüloz Oranı	HG*
GL 20 Gün	2	40.8564	A
PO 20 Gün	2	41.0143	A
GL 10 Gün	2	44.3162	B
KONTROL	3	46.1554	C
PO 10 Gün	2	47.1690	C
GL 30 Gün	2	48.4833	D
PO 30 Gün	2	48.6014	D

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 21 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça α-selüloz oranı (10 gün GL ve 20 gün PO mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam odunu hariç) kontrol sarıçam odununa göre arttığı tespit edilmiştir. α-selüloz oranında en çok artış 30 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda belirlenmiş, fakat 10 gün GL ve 20 gün PO mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam odununda ise α-selüloz oranı azalmıştır. En çok azalış ise 20 gün PO mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam odununda belirlenmiştir.

3.1.3. Kavak Odunun Ana Bileşenlerinin Kimyasal Analizlerine Ait Bulgular

Tez çalışması kapsamında GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış (kontrol) kavak yongalarının ana bileşenlerindeki kimyasal değişim Tablo 22' de sunulmuştur. Elde edilen bulgular incelendiğinde GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol odununa oranla alkol/benzen çözünürlüğü, holoselüloz oranı ve lignin oranları azalmış olduğu; %1'lik NaOH çözünürlüğü ve mantar muamelesi görmüş bazı kavak odunun α-selüloz oranları arttığı tespit edilmiştir.

Tablo 22. GL ve PO mantarı ile farklı inkübasyon sürelerine maruz bırakılmış kavak odun yongalarının kimyasal yapısındaki değişimler

Kavak Odunu								
Deneyler (%)		Kontrol	İnkübasyon Süresi (Gün)					
			GL Mantarı			PO Mantarı		
			10	20	30	10	20	30
Alkol/Benzen Çözünürlüğü	Ort.	3.06	2.71	2.50	2.18	3.48	3.02	3.00
	Std.	0.06	0.10	0.21	0.05	0.03	0.02	0.03
%1'lik NaOH Çözünürlüğü	Ort.	10.70	24.30	32.48	36.14	48.16	46.30	59.65
	Std.	0.27	1.25	0.57	0.40	0.77	0.35	0.84
Holoselüloz	Ort.	76.22	71.34	69.31	69.47	74.68	70.74	69.90
	Std.	0.64	1.95	0.29	0.28	0.34	0.36	0.35
Lignin	Ort.	26.87	23.68	23.58	22.68	19.21	23.80	21.90
	Std.	0.24	1.26	0.83	0.49	0.44	0.54	0.42
α-selüloz	Ort.	44.96	45.03	41.03	43.95	46.60	39.38	35.52
	Std.	0.10	0.86	0.17	1.47	0.47	0.68	0.54
Toplam		106.16	97.72	95.39	94.33	97.38	97.56	94.80

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Kavak odunun ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 23'de verilmiştir.

Yapılan varyans analizi sonucuna göre; mantar türü ve inkübasyon süresinin kavak odunun oranla alkol/benzen çözünürlüğü, holoselüloz oranı, lignin oranı ve %1'lik NaOH çözünürlüğü ve α-selüloz oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 23. Kavak odunun ana bileşenlerindeki kimyasal değişimlerine mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Alkol/Benzen Çözünürlüğü	Gruplar arası	1.522	6	0.254	14.763	0.001
	Gruplar içi	0.137	8	0.017		
	Toplam	1.660	14			
%1'lik NaOH Çözünürlüğü	Gruplar arası	1008.401	6	168.067	176.820	0.000
	Gruplar içi	6.653	7	0.950		
	Toplam	1015.054	13			
Holoselüloz	Gruplar arası	109.459	6	18.243	26.856	0.000
	Gruplar içi	5.434	8	0.679		
	Toplam	114.893	14			

Tablo 23'ün devamı

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Lignin	Gruplar arası	164.249	6	27.375	26.152	0.000
	Gruplar içi	8.374	8	1.047		
	Toplam	172.623	14			
α-selüloz	Gruplar arası	22.210	6	3.702	6.501	0.013
	Gruplar içi	3.986	7	0.569		
	Toplam	26.195	13			

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 24-28'de verilmiştir.

Tablo 24. Kavak odunun alkol/benzen çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	Alkol/Benzen Çözünürlüğü	HG*
GL 30 Gün	2	2.1750	A
PO 30 Gün	2	2.2809	A B
GL 20 Gün	2	2.4974	B C
PO 20 Gün	2	2.6965	C D
GL 10 Gün	2	2.7057	C D
PO 10 Gün	2	2.9863	D E
KONTROL	3	3.0649	E

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 24 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol kavak odununa oranla alkol/benzen çözünürlüğünün azaldığı tespit edilmiştir. En çok azalış 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda, en az azalış ise 10 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda olarak tespit edilmiştir.

Tablo 25. Kavak odunun holoselüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	Holoselüloz Oranı	HG*
PO 20 Gün	2	68.6750	A
PO 30 Gün	2	69.3100	A
GL 20 Gün	2	69.4600	A B
PO 10 Gün	2	69.6466	A B
GL 30 Gün	2	69.8880	A B
GL 10 Gün	2	71.3393	B
KONTROL	3	76.2228	C

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 25 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol kavak odununa oranla holoselüloz oranı azaldığı tespit edilmiştir. En çok azalış 20 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda, en az azalış ise 10 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda olarak tespit edilmiştir.

Tablo 26. Kavak odunun lignin oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	Lignin Oranı	HG*
GL 30 Gün	2	22.5603	A
PO 30 Gün	2	23.1899	A
GL 10 Gün	2	23.6790	A
GL 20 Gün	2	23.8736	A
PO 20 Gün	2	24.0507	A
PO 10 Gün	2	24.1979	A
KONTROL	2	26.8706	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 26 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol kavak odununa oranla lignin oranının azaldığı tespit edilmiştir. En çok azalış 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda, en az azalış ise 10 gün PO mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda tespit edilmiştir.

Tablo 27. Kavak odunun %1'lik NaOH çözünürlüğüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	%1'lik NaOH Çözünürlüğü	HG*
KONTROL	2	11.2284	A
PO 10 Gün	2	21.1916	B
GL 10 Gün	2	24.3022	C
PO 20 Gün	2	31.9219	D
GL 20 Gün	2	32.4786	D
PO 30 Gün	2	35.8951	E
GL 30 Gün	2	36.1404	E

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 27 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol kavak odununa oranla %1'lik NaOH çözünürlüğü arttığı tespit edilmiştir. En çok artış 30 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda, en az artış ise 10 gün PO mantar inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda olarak tespit edilmiştir.

Tablo 28. Kavak odunun α-selüloz oranına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)

Mantar Türü ve İnkübasyon Süresi	N	α-selüloz Oranı	HG*
GL 20 Gün	2	35.4353	A
PO 20 Gün	2	40.3958	B
GL 30 Gün	2	43.9522	C
PO 30 Gün	2	44.3246	C
KONTROL	2	44.9597	C
GL 10 Gün	2	45.0316	C
PO 10 Gün	2	45.3683	C

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 28 incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça α-selüloz oranı (10 gün GL ve 10 gün PO mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odunu hariç) kontrol sarıçam odununa göre azaldığı tespit edilmiştir. α-selüloz oranında en çok azalış 20 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda tespit edilmiştir. Fakat 10 gün süreyle GL ve PO mantar inkübasyonuna maruz

bırakılmış kavak odununda ise α-selüloz oranı artmıştır, en çok azalış ise 10 gün PO mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda tespit edilmiştir.

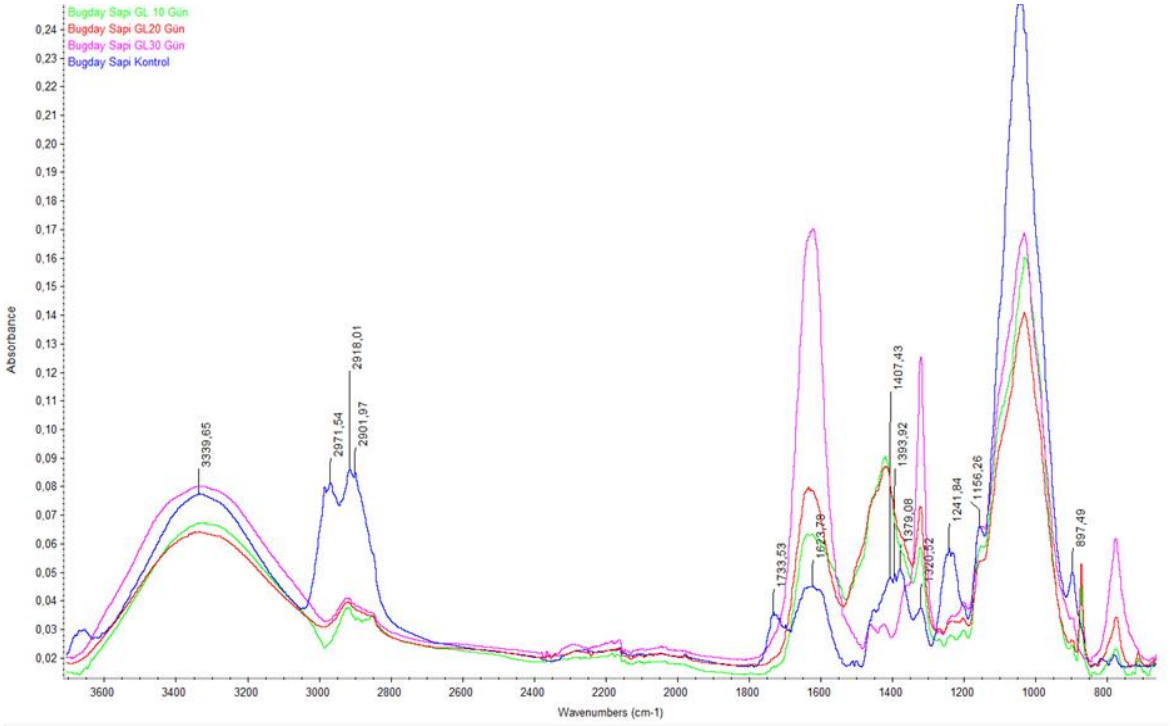
3.2. FTIR Analizlerine Ait Bulgular

Tez çalışmasında GL ve PO mantar türü ile aşılanmış lignoselülozik materyaller (sarıçam, kavak ve buğday sapı) farklı sürelerde (10, 20 ve 30 gün) inkübasyona maruz bırakılmıştır. Her bir inkübasyon süresinin sonunda lignoselülozik materyallerin ana bileşenlerindeki kimyasal değişimler FTIR-ATR yardımıyla karakterize edilmiştir.

Genel olarak, polisakkaritler (1200– 900 cm^{-1}), lipitler (3000-2800 cm^{-1}, ∼1740 cm^{1}), proteinler (1700–1600 cm^{-1} amid I, amid II ve III). 1575–1300 cm^{-1}), kitin (∼1375 cm^{-1}) ve nükleik asitler (1255–1245 cm^{-1}) pikleri bulunmaktadır (Haneef vd., 2017; Pena vd., 2014).

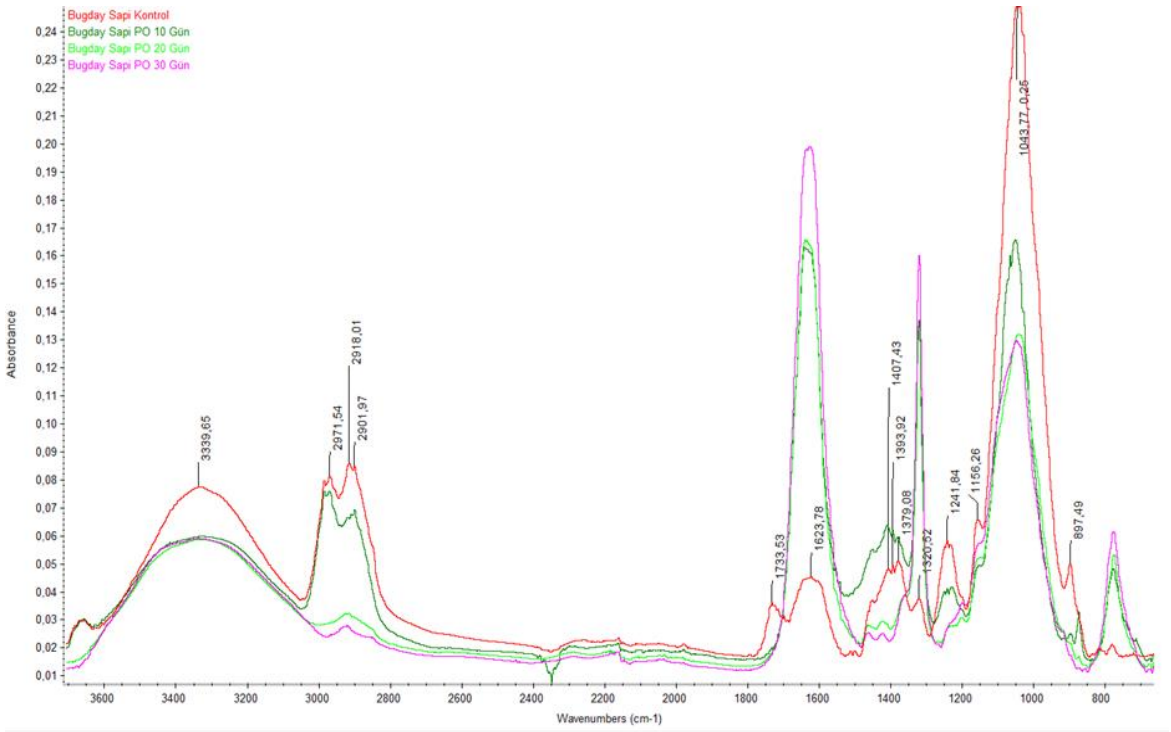
3.2.1. Buğday Sapının FTIR Analizlerine Ait Bulgular

Tez kapsamında GL ve PO mantarları ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış buğday sapı materyalinin ana bileşenlerindeki kimyasal değişimleri IR spektrumu (600-3800 cm^{-1}) ile tespit edilmiştir. GL ve PO mantarları ile aşılanmış buğday sapının farklı sürelerde (10, 20 ve 30 gün) inkübasyonun ve buğday sapı kontrol örneklerinin FTIR analiz sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 37 ve Şekil 38'de verilmiştir.



Şekil 37. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve GL mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan buğday sapı örneklerine ait FTIR spektrumları

Şekil 37 incelendiğinde, GL mantarı ile muameleye uğratılmış buğday sapının FTIR spektrumları inkübasyon süresi arttıkça buğday sapı kontrol örneklerine göre 3000-2825 cm^{-1} aralığındaki ve 1043 cm^{-1} piklerin azaldığı, 1770-1520 cm^{-1}, 1425-1390 cm^{-1} aralığındaki, 1375-1300 cm^{-1} aralığındaki, 896 cm^{-1} ve 800 cm^{-1} piklerinin ise arttığı gözlemlenmiştir

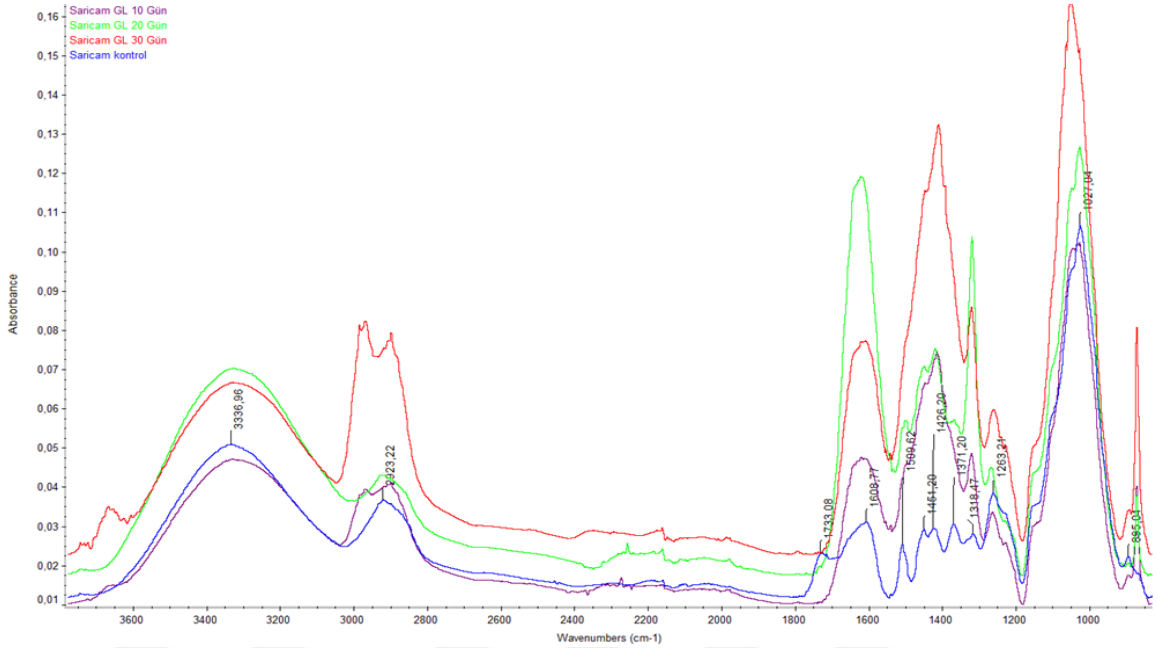


Şekil 38. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan buğday sapı örneklerine ait FTIR spektrumları

Şekil 38 incelendiğinde, PO mantarı ile muameleye uğratılmış buğday sapının FTIR spektrumları inkübasyon süresi arttıkça buğday sapı kontrol örneklerine göre 3000-2825 cm^1 aralığındaki ve 1043 cm^{-1} piklerinin azaldığı, 1770-1520 cm^{-1}, 1425-1390 cm^{-1} aralığındaki, 1375-1300 cm^{-1} aralığındaki, 896 cm^{-1} ve 800 cm^{-1} piklerinin ise arttığı gözlemlenmiştir.

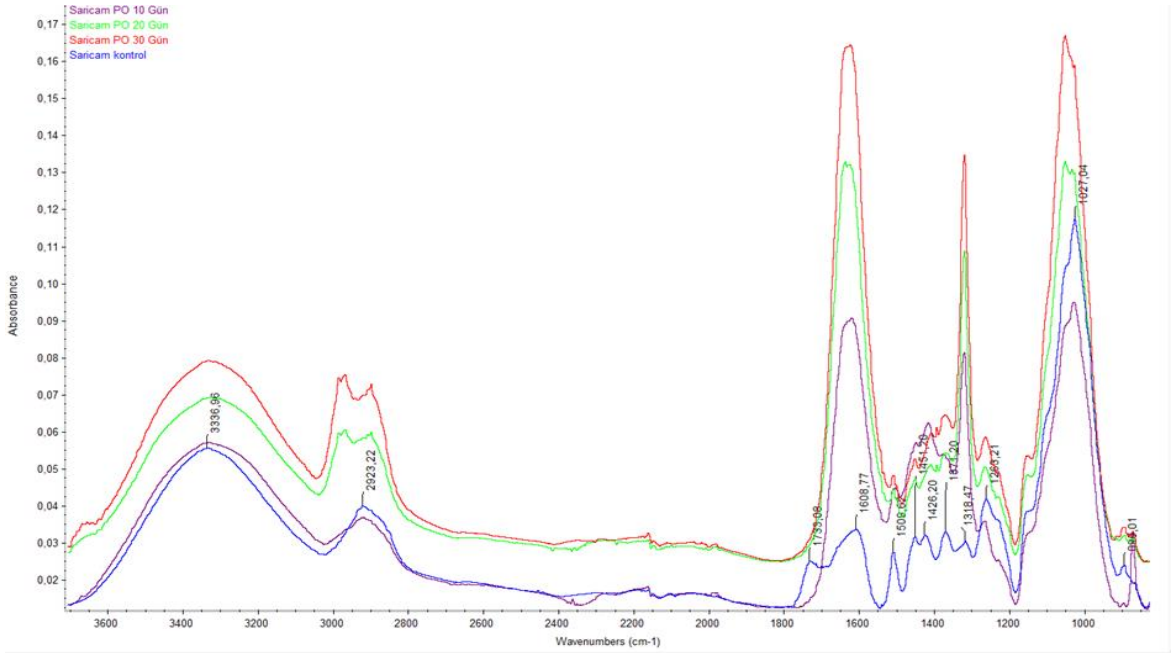
3.2.2. Sarıçam Yongalarının FTIR Analizlerine Ait Bulgular

Tez kapsamında GL ve PO mantarları ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış (kontrol) sarıçam yongalarının ana bileşenlerindeki kimyasal değişimleri IR spektrumu (600-3800 cm^{-1}) ile tespit edilmiştir. GL ve PO mantarları ile aşılanmış sarıçam yongalarının farklı sürelerde (10, 20 ve 30 gün) inkübasyonun ve sarıçam yongaları kontrol örneklerinin FTIR analiz sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 39 ve Şekil 40'da verilmiştir.



Şekil 39. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve GL mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan sarıçam yongalarına ait FTIR spektrumları

Şekil 39 incelendiğinde, GL mantarı ile muameleye uğratılmış sarıçam odun yongalarının FTIR spektrumlarında inkübasyon süresi arttıkça sarıçam kontrol örneklerine göre bütün piklerin yüksekliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

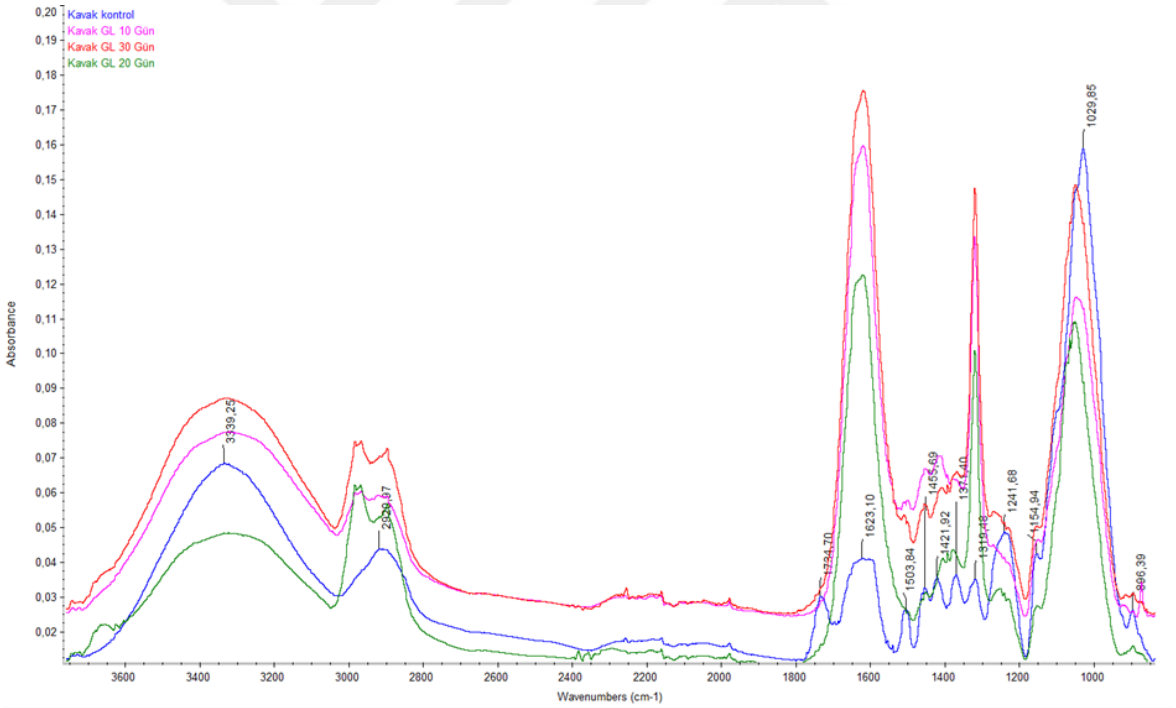


Şekil 40. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan sarıçam yongalarına ait FTIR spektrumları

Şekil 40 incelendiğinde, PO mantarı ile muameleye uğratılmış sarıçam odun yongalarının sapının FTIR spektrumları inkübasyon süresi arttıkça sarıçam kontrol örneklerine göre bütün piklerin yüksekliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

3.2.3. Kavak Yongalarının FTIR Analizlerine Ait Bulgular

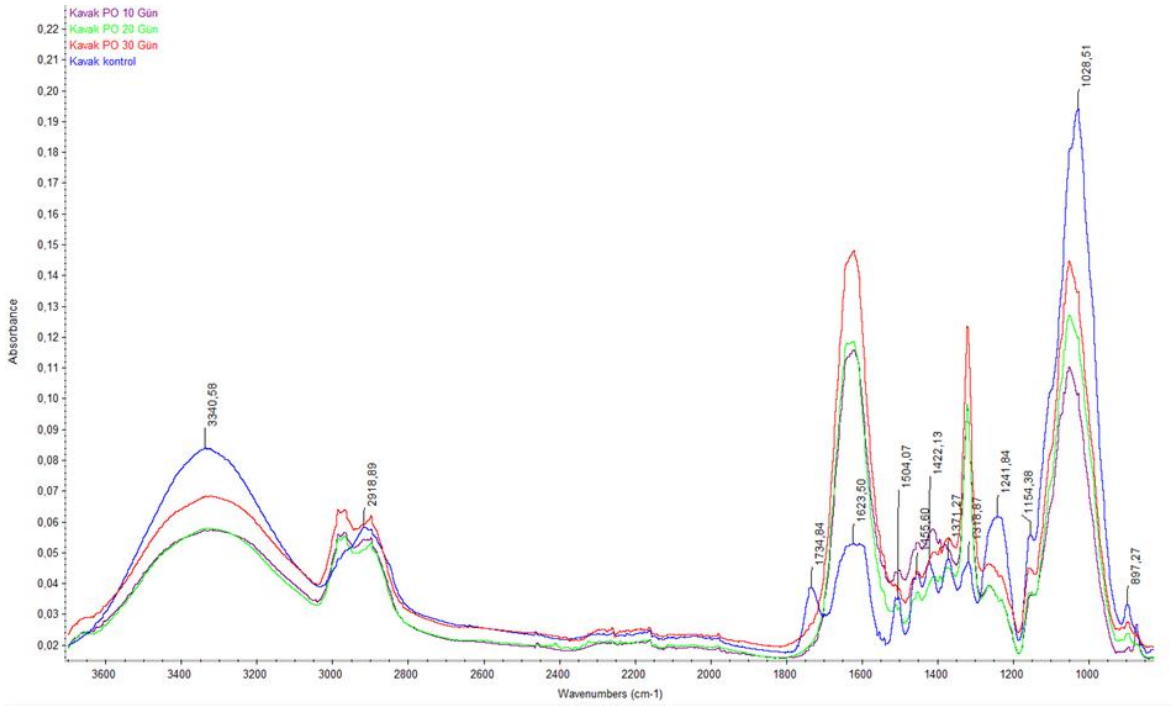
Tez çalışmasında GL ve PO mantarları ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış (kontrol) kavak yongalarının ana bileşenlerindeki kimyasal değişimleri IR spektrumu (600-3800 cm^{-1}) ile tespit edilmiştir. GL ve PO mantarları ile aşılanmış kavak yongaların farklı sürelerde (10, 20 ve 30 gün) inkübasyonun ve kavak yongaları kontrol örneklerinin FTIR analiz sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 41 ve Şekil 42'de verilmiştir.



Şekil 41. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve GL mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak yongalarına ait FTIR spektrumları

Şekil 41 incelendiğinde, GL mantarı ile muameleye uğratılmış kavak odun yongalarının sapının FTIR spektrumları inkübasyon süresi arttıkça kavak odun kontrol

örneklerine göre bütün piklerin yüksekliklerinin (1029 cm^{-1} piki haricindeki) arttığı gözlemlenmiştir.



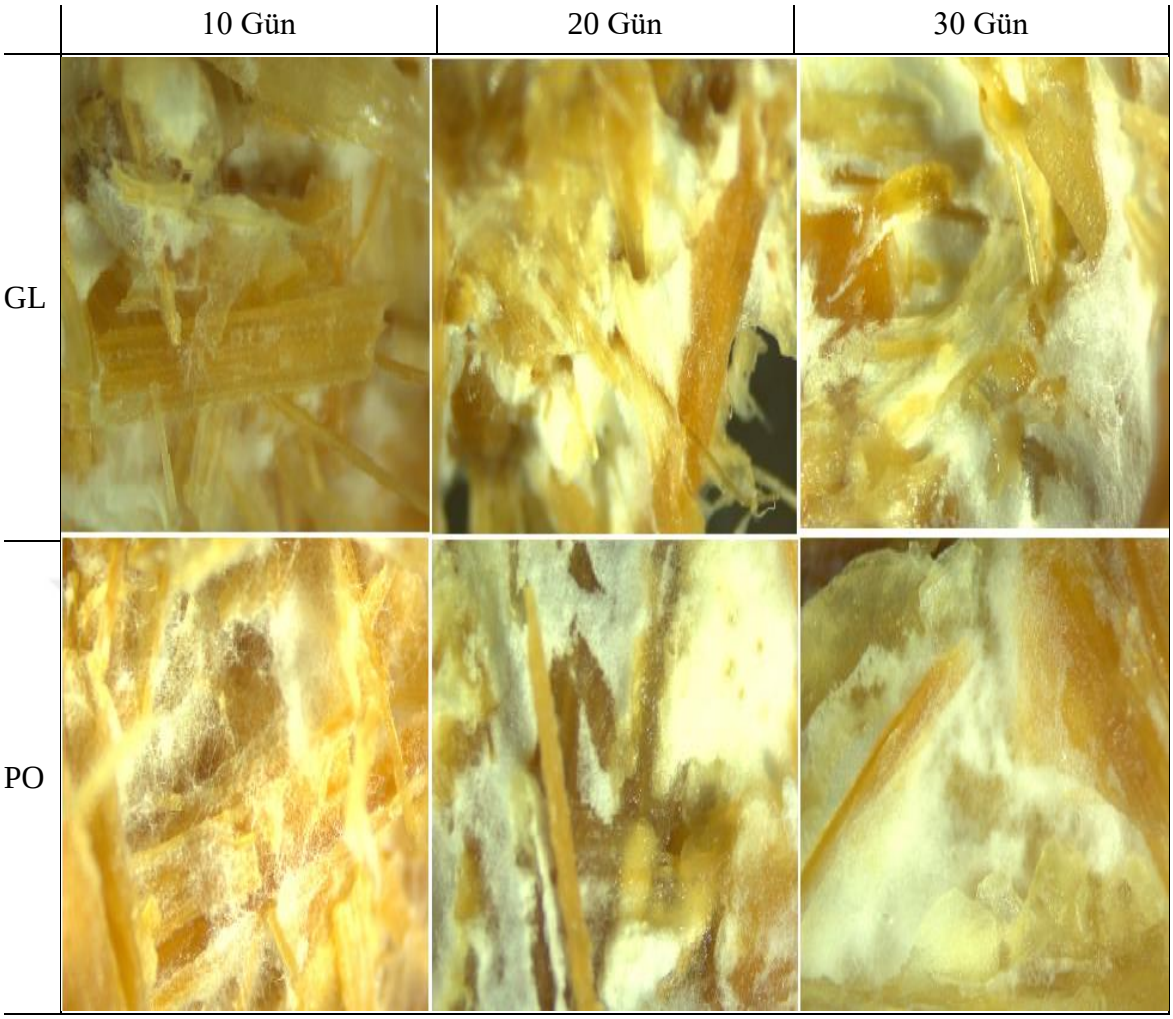
Şekil 42. Ön işlem görmemiş (kontrol) ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak yongalarına ait FTIR spektrumları

Şekil 42 incelendiğinde, PO mantarı ile muameleye uğratılmış kavak odun yongalarının sapının FTIR spektrumları inkübasyon süresi arttıkça kavak odun kontrol örneklerine göre bütün piklerin yüksekliklerinin (1029 cm^{-1} piki haricindeki) arttığı gözlemlenmiştir.

3.3. Işık Mikroskobu Analizine Ait Bulgular

3.3.1. Mantar Misel Yoğunluğunun Işık Mikroskobuyla Belirlenmesine İlişkin Bulgular

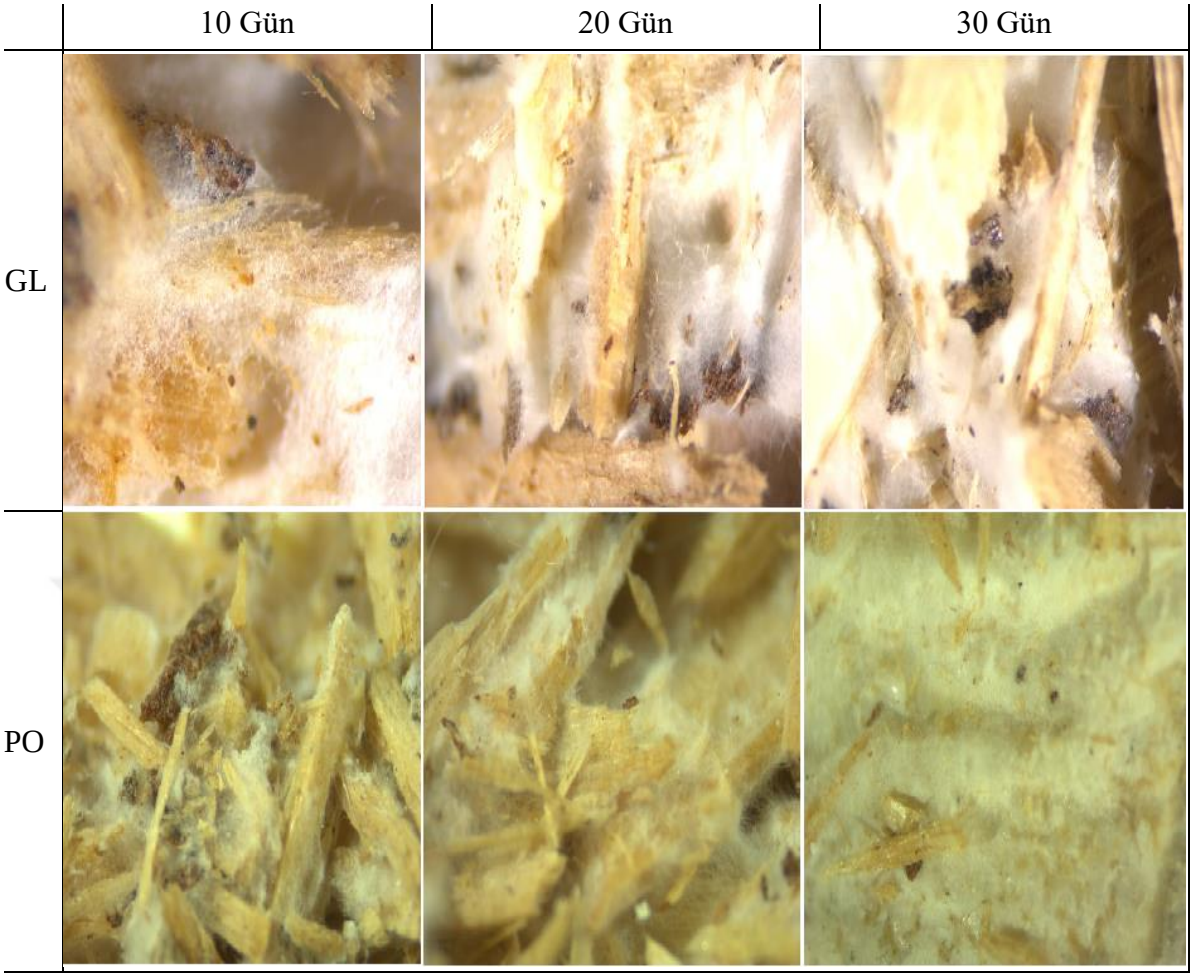
Tez çalışması kapsamında GL ve PO mantarı ile aşılanan ve 10, 20 ve 30 günlük sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının inkübasyon sürelerinin sonundaki mantar misel yoğunluğuna ait ışık mikroskobu görüntüleri sırasıyla Şekil 43'de verilmiştir.



Şekil 43. GL ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının ışık mikroskobuna ait görüntüleri

Şekil 43'deki ışık mikroskobu verileri incelendiğinde, GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapının inkübasyon süresi arttıkça misel yoğunluğunun da arttığı belirlenmiştir. Misel yoğunluğunun arttığından dolayı misel ağ yapısının da güçlendiği gözlemlenmiştir.

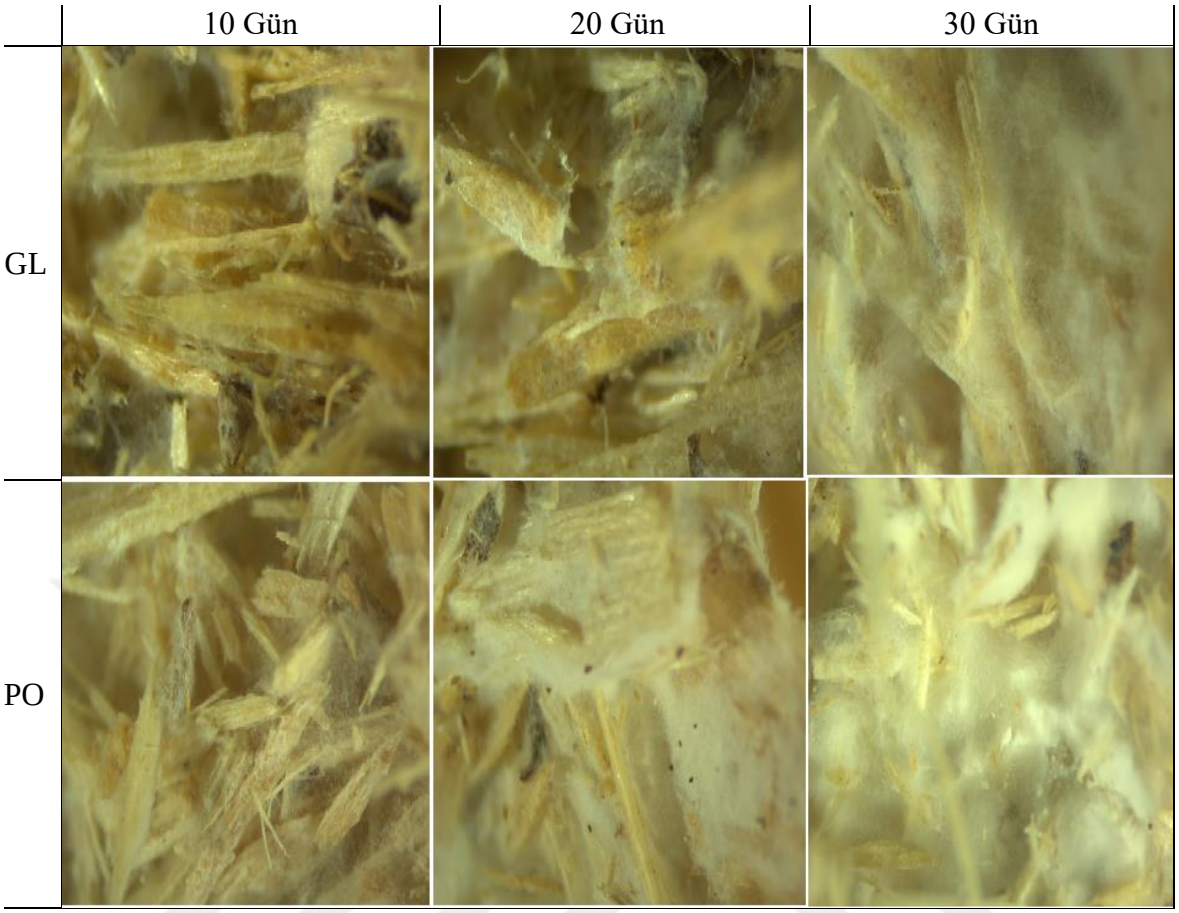
Tez çalışmasında GL ve PO mantarları ile aşılanan ve 10, 20 ve 30 günlük süreyle inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam yongalarının inkübasyon sürelerinin sonundaki mantar misel yoğunluğuna ait ışık mikroskobu görüntüleri sırasıyla Şekil 44'de verilmiştir.



Şekil 44. GL ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odun yongalarının ışık mikroskobuna ait görüntüleri

Şekil 44'deki ışık mikroskobu verileri incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam odun yongalarının inkübasyon süresi arttıkça misel yoğunluğunun da arttığı belirlenmiştir. Misel yoğunluğunun arttığından dolayı misel ağ yapısının da güçlendiği gözlemlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında GL ve PO mantarları ile aşılanan 10, 20 ve 30 günlük sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odun yongalarının inkübasyon sürelerinin sonundaki mantar misel yoğunluğuna ait ışık mikroskobu görüntüleri sırasıyla Şekil 45'de verilmiştir.



Şekil 45. GL ve PO mantarı ile 10, 20 ve 30 gün inkübasyona maruz bırakılmış kavak odun yongalarının ışık mikroskobuna ait görüntüleri.

Şekil 45'deki ışık mikroskobu verileri incelendiğinde, GL ve PO mantarları ile inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odun yongalarının inkübasyon süresi arttıkça misel yoğunluğu da arttığı belirlenmiştir. Misel yoğunluğunun arttığından dolayı misel ağ yapısının güçlendiği gözlemlenmiştir.

3.4. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerine İlişkin Bulgular

3.4.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Yoğunluk Değerlerine Ait Bulgular

Buğday samanı ve PO ve GL mantarları kullanılarak 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak üretilen yalıtım levhaların yoğunluk değerleri Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29. Misel esaslı yalıtım levhalarının yoğunluk değerleri

Levha Grubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Yoğunluk (g/cm^3)	
			Ort.	Std.
YG1	GL	10	0.135	0.006
YG2		20	0.134	0.008
YG3		30	0.137	0.012
YP1	PO	10	0.141	0.015
YP2		20	0.131	0.007
YP3		30	0.132	0.012

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Misel esaslı yalıtım levhalarının üretiminden önce, hedeflenen yoğunluk değerleri 0.135 g/cm^3 olarak belirlenmiş olup, hedeflenen yoğunluk hedefine ulaşabilmek amacıyla kullanılan buğday samanı miktarı başlangıçta hesaplanmış ve buna göre misel esaslı yalıtım levhaların üretimi için gerekli miktarda buğday sapı kullanılmıştır. Üretilen levhalarının yoğunluk değerleri 0.131 g/cm^3 ila 0.141 g/cm^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen yalıtım levhaların yoğunluk değerlerindeki farklılıkların kalıplama sırasındaki kayıpların ve/veya rutubet oranındaki farklılıklardan dolayı guruplar arasında küçük sapmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. En düşük yoğunluk değeri buğday sapının PO mantarı ile aşılanıp 20 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen YP2 levha gurubunda, en yüksek yoğunluk ise buğday sapının PO mantarı ile aşılanıp 10 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen YP1 levha grubunda olduğu tespit edilmiştir.

3.4.2. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Su Alma ve Kalınlık Artışına Ait Bulgular

Üretilen misel esaslı yalıtım levhaların su alma ve kalınlık arışı oranlarını belirlemek amacıyla 45 dk., 90 dk., 3, 6, 9, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ve 168 saat süreyle teste maruz bırakılmış ve elde edilen bulgular Tablo 30 ve 31'de verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım malzemelerinin GL mantarı kullanılarak üretilenlerine oranla daha fazla su alma oranlarına sahip oldukları tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi yalıtım levhalarının su alma oranları ilk 1.5 saatlik periyotta hızlı bir şekilde artış göstermiş daha sonra su alım oranlarındaki artış hızı yavaşlamıştır. En fazla su alma oranı PO mantarı kullanılarak ve 10 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak üretilen YP1 levha grubu misel esaslı yalıtım levhasında, en düşük su alma oranı ise GL

mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak üretilen YG3 levha grubu misel esaslı yalıtım levhasında tespit edilmiştir.

Tablo 30. GL ve PO mantarlarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranları

Süre (saat)	Levha Grubu											
	YG1		YG2		YG3		YP1		YP2		YP3	
	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
0.75	39.21	2.48	37.93	3.85	53.60	7.52	53.17	4.49	35.74	4.78	70.72	6.37
1.5	64.47	5.80	65.74	4.60	96.52	5.89	66.82	3.12	51.12	5.25	85.37	8.29
3	89.01	3.52	84.16	8.01	104.51	4.14	80.89	7.17	69.93	4.12	87.92	3.47
6	105.23	8.35	93.31	5.61	110.45	4.82	82.32	4.01	73.84	4.10	93.49	1.15
9	109.60	4.10	98.79	2.38	116.78	5.38	89.68	5.96	79.25	3.79	101.10	3.78
24	126.16	2.81	118.90	5.13	127.76	6.19	91.97	7.04	90.10	8.76	107.78	6.14
48	169.16	7.59	152.98	6.13	158.14	8.98	100.50	6.05	108.06	6.95	125.57	7.16
72	198.97	13.18	178.75	8.26	189.97	5.80	108.62	3.21	117.41	7.61	145.57	4.44
96	210.77	5.84	191.95	9.27	212.45	8.78	114.87	6.89	127.67	6.22	161.65	7.33
120	228.66	8.36	206.76	9.83	232.57	8.92	126.84	7.40	136.19	7.19	171.97	7.25
144	244.24	8.75	219.83	8.35	239.49	9.82	130.16	6.72	137.91	7.51	174.67	8.49
168	250.66	8.04	223.40	7.90	247.71	9.37	135.54	6.97	141.83	9.45	177.03	8.44

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Tablo 31. GL ve PO mantarlarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının kalınlık artış oranları

Süre (Saat)	Levha Grubu											
	YG1		YG2		YG3		YP1		YP2		YP3	
	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
0.75	2.17	0.25	1.98	0.68	1.85	0.60	4.66	0.99	1.60	0.85	2.21	0.96
1.5	2.91	0.54	3.58	0.97	2.44	0.79	5.37	0.27	4.11	0.79	4.39	1.02
3	3.28	0.21	4.16	0.79	3.66	0.06	5.79	0.59	4.55	0.82	4.54	0.52
6	3.94	0.96	4.72	0.37	3.99	0.35	5.81	0.53	4.69	0.77	4.82	0.38
9	4.70	0.59	4.89	0.56	4.10	0.72	5.90	0.69	4.70	0.86	4.91	0.86
24	4.78	0.46	5.32	0.52	4.34	0.97	6.08	1.08	4.72	0.98	5.16	0.95
48	4.88	0.46	5.76	0.72	4.35	0.51	6.36	0.87	4.77	0.66	5.58	0.73
72	5.06	0.39	5.84	0.78	4.48	0.50	6.69	0.68	5.00	0.70	5.83	0.63
96	5.34	0.61	5.94	0.62	4.04	0.82	6.82	0.32	5.32	0.81	5.98	0.57
120	5.41	0.43	6.25	0.95	4.06	0.67	6.82	0.32	5.37	0.77	5.98	0.90
144	5.42	0.46	6.28	0.92	4.23	1.11	6.86	0.30	5.49	1.14	6.00	0.28
168	5.60	0.80	6.34	0.77	4.45	0.82	6.91	0.89	5.87	0.95	6.07	0.45

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 ve 168 saat su alma testinin sonunda su alma ve kalınlık artışı oranlarına mantar türü ve inkübasyon süresinin etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 32'de verilmiştir.

Tablo 32. GL mantarı kullanılarak üretilen yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Su alma oranı	Gruplar arası	3294.716	2	1647.358	55.249	0.000
	Gruplar içi	357.806	12	29.817		
	Toplam	3652.521	14			
Kalınlık artışı	Gruplar arası	3.311	2	1.655	2.671	0.110
	Gruplar içi	7.438	12	0.620		
	Toplam	10.748	14			

Varyans analizi sonucuna göre; inkübasyon süresi, GL mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 32). Bununla birlikte GL mantarıyla üretilmiş yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda kalınlık artışı oranında anlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 33'de verilmiştir.

Tablo 33. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları **GL mantarı için**	**N**	**Su Alma Oranı (%)**	**HG***
İnkübasyon süresi 10 gün	5	64.4720	A
İnkübasyon süresi 20 gün	5	65.7360	A
İnkübasyon süresi 30 gün	5	96.5240	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 34. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi

Deney	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Su alma oranı	**Gruplar arası**	2237.088	2	1118.544	15.617	0.000
	Gruplar içi	859.458	12	71.621		
	Toplam	3096.546	14			
Kalınlık artışı	**Gruplar arası**	9.119	2	4.560	7.132	0.009
	Gruplar içi	7.672	12	0.639		
	Toplam	16.791	14			

Varyans analizi sonucuna göre; inkübasyon süresi, GL mantarıyla üretilmiş yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranı ve kalınlık artışı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 34).

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 35 ve Tablo 36'da verilmiştir.

Tablo 35. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları / **GL Mantarı İçin**	**N**	**Su Alma Oranı (%)**	**HG***
İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	223.4040	A
İnkübasyon Süresi 20 Gün	5	247.7100	B
İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	250.6580	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 36. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda kalınlık artışı oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları / **GL mantarı için**	**N**	**Kalınlık Artış Oranı (%)**	**HG***
İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	4.4440	A
İnkübasyon Süresi 20 Gün	5	5.6040	A B
İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	6.3380	B C

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda inkübasyon süresinin su alma ve kalınlık artışı oranlarına istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. 168 saat sonunda en düşük su alma ve kalınlık artış oranı buğday saplarının GL mantarıyla aşılanıp 10 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen YG1 grubu misel esaslı yalıtım levhalarının su alma ve kalınlık artış oranlarının en düşük olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 37. PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Su Alma Oranı	Gruplar arası	2940.462	2	1470.231	41.589	0.000
	Gruplar içi	424.218	12	35.352		
	Toplam	3364.680	14			
Kalınlık Artışı	Gruplar arası	4.403	2	2.201	3.829	0.052
	Gruplar içi	6.898	12	0.575		
	Toplam	11.301	14			

Varyans analizi sonucuna göre; inkübasyon süresi, PO mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 37). Bununla birlikte PO mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda kalınlık artışı oranında anlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 38'de verilmiştir.

Tablo 38. PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 1.5 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları PO Mantarı İçin	**N**	**Su Alma Oranı (%)**	**HG***
İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	51.1200	A
İnkübasyon Süresi 20 Gün	5	66.8220	B
İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	85.3760	C

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 39. PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit Varyans analizi

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Su Alma Oranı	Gruplar arası	5000.485	2	2500.242	35.891	0.000
	Gruplar içi	835.947	12	69.662		
	Toplam	5836.432	14			
Kalınlık Artışı	Gruplar arası	2.884	2	1.442	2.366	0.140
	Gruplar içi	6.703	11	0.609		
	Toplam	9.587	13			

Varyans analizi sonucuna göre; inkübasyon süresi, PO mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 39). Bununla birlikte PO mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda kalınlık artışı oranında anlamlı bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 40'da verilmiştir.

Tablo 40. PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda su alma oranlarına inkübasyon süresinin etkileri araştırılan Varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları PO Mantarı İçin	N	Su Alma Oranı (%)	HG*
İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	135.5360	A
İnkübasyon Süresi 20 Gün	5	141.8320	A
İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	177.0300	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

3.4.3. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

3.4.3.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular

GL ve PO mantarı ve 3 farklı inkübasyon süresine maruz bırakılarak buğday samanından üretilen misel esaslı misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci ve elastikiyet modülü tespit edilmiş ve elde edilen bulgular Tablo 41'de verilmiştir.

Tablo 41. Misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri

Levha Grubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Eğilme Direnci (kPa)		Elastikiyet Modülü (kPa)	
			Ort.	Std.	Ort.	Std.
YG1	GL	10	116.23	48.58	3597.50	1441.63
YG2		20	138.19	49.14	5642.50	2552.11
YG3		30	109.88	31.57	5376.67	2506.13
YP1	PO	10	55.86	25.42	4498.57	2015.25
YP2		20	64.77	29.11	5667.14	2484.81
YP3		30	35.40	9.47	3931.43	1114.79

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Tablo 41'de verilen bulgular incelendiğinde GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci ve elastikiyet modülünün PO mantarıyla üretilenlerden her 3 inkübasyon süresinde de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek eğilme ve elastikiyet modülü buğday sapının GL mantarı ile aşılanıp 20 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen YG2 misel esaslı yalıtım levhalarında olduğu tespit edilmiştir. En düşük eğilme ve elastikiyet modülü ise buğday sapının PO mantarı ile aşılanıp 30 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen YP3 misel esaslı yalıtım levhalarında bulunmuştur. Her iki mantar türü içinde 20 günlük inkübasyon süresi üretilen levhaların eğilme direncinin ve elastikiyet modülünün en yüksek seviyeye ulaştığı, dolayısıyla bu veriler ışığında optimum inkübasyon süresinin 20 gün olması gerektiği belirlenmiştir.

3.4.3.2. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Yüzeye Dik Çekme Direncine Ait Bulgular

GL ve PO mantarı kullanılarak ve 3 farklı inkübasyon süresine maruz bırakılarak buğday saplarından üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direnci tespit edilmiş ve elde edilen bulgular Tablo 42'de verilmiştir.

Tablo 42. Misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direnç değerleri

Levha Grubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Yüzeye Dik Çekme Direnci (kPa)	
			Ort.	Std.
YG1	GL	10	11.56	1.68
YG2		20	17.41	1.73
YG3		30	18.61	3.96
YP1	PO	10	6.50	0.80
YP2		20	7.68	1.81
YP3		30	6.21	0.74

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Tablo 42'de verilen bulgular incelendiğinde GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direnci PO mantarıyla üretilenlerden her 3 inkübasyon süresinde de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek yüzeye dik çekme direnci buğday sapının GL mantarı ile aşılanıp 30 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen YG3 grubu misel esaslı yalıtım levhalarında olduğu tespit edilmiştir. En düşük yüzeye dik çekme direnci ise buğday sapının PO mantarı ile aşılanıp 30 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen YP3 grubu misel esaslı yalıtım levhalarında bulunmuştur. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme dirençleri inkübasyon süresinin artmasıyla arttığı belirlenirken, PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme dirençleri 20 günlük inkübasyon süresinin ardından düşüş gösterdiği tespit edilmiştir.

3.4.3.3. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Basınç Direncine Ait Bulgular

GL ve PO mantarı kullanılarak ve 3 farklı inkübasyon süresine maruz bırakılarak buğday sapından üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının basınç dirençleri tespit edilmiş ve Tablo 43'te verilmiştir.

Tablo 43. Misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direnç değerleri

Levha Grubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Basınç Direnci (MPa)	
			Ort.	Std.
YG1	GL	10	0.65	0.14
YG2		20	0.54	0.08
YG3		30	0.48	0.07
YP1	PO	10	0.36	0.10
YP2		20	0.30	0.08
YP3		30	0.36	0.08

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Tablo 43'de verilen bulgular incelendiğinde GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direnç değerleri ve PO mantarıyla üretilenlerden her 3 inkübasyon süresinde de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek basınç değeri buğday sapının GL mantarı ile aşılanıp 10 gün inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen YG1 grubu misel esaslı yalıtım levhalarında olduğu görülmüştür.

3.4.3.4. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Mekanik Özelliklerine Mantar Türü ve İnkübasyon Süresinin Etkisine Ait Bulgular

GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine inkübasyon süresinin etkisinin belirlenmesi amacıyla basit varyans analizi gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları Tablo 44'de verilmiştir.

Yapılan varyans analizi sonucuna göre; inkübasyon süresinin, GL mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci ve elastikiyet modülü basınç direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte GL mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direnci ve basınç direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 45 ve Tablo 46'da verilmiştir.

Tablo 44. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Eğilme Direnci	Gruplar arası	3238,861	2	1619.430	0.801	0.463
	Gruplar içi	38407.632	19	2021.454		
	Toplam	41646.493	21			
Elastikiyet Modülü	Gruplar arası	19226475.758	2	9613237.879	1.995	0.163
	Gruplar içi	91544233.333	19	4818117.544		
	Toplam	110770709.091	21			
Yüzeye dik çekme	Gruplar arası	178.197	2	89.098	12.480	0.000
	Gruplar içi	135.652	19	7.140		
	Toplam	313.848	21			
Basınç Direnci	Gruplar arası	0.082	2	0.041	4.115	0.036
	Gruplar içi	0.159	16	0.010		
	Toplam	0.241	18			

Tablo 45. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direncine inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları GL Mantarı İçin	N	Yüzeye Dik Çekme Direnci (kPa)	HG*
İnkübasyon Süresi 10 Gün	7	12.0310	A
İnkübasyon Süresi 20 Gün	7	17.4079	B
İnkübasyon Süresi 30 Gün	8	18.6088	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 46. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direncine inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları PO Mantarı İçin	N	Basınç Direnci (MPa)	HG*
İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	0.4795	A
İnkübasyon Süresi 20 Gün	8	0.5438	A B
İnkübasyon Süresi 10 Gün	6	0.6489	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine inkübasyon süresinin etkilerinin belirlenmesi amacıyla basit varyans analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 47'de verilmiştir.

Varyans analizi sonucuna göre; inkübasyon süresinin, PO mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte PO mantarıyla üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci ve basınç direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 48'de verilmiştir.

Tablo 47. PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine inkübasyon süresinin etkisine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Eğilme Direnci	Gruplar arası	3867.203	2	1933.602	3.807	0.041
	Gruplar içi	9650.190	19	507.905		
	Toplam	13517.393	21			
Elastikiyet Modülü	Gruplar arası	14339566.883	2	7169783.442	1.904	0.176
	Gruplar içi	71553378.571	19	3765967.293		
	Toplam	85892945.455	21			
Yüzeye Dik Çekme	Gruplar arası	9.688	2	4.844	3.259	0.059
	Gruplar içi	31.211	21	1.486		
	Toplam	40.899	23			
Basınç Direnci	Gruplar arası	0.023	2	0.012	1.640	0.215
	Gruplar içi	0.171	24	0.007		
	Toplam	0.195	26			

Tablo 48. PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direncine inkübasyon süresinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları PO Mantarı İçin	**N**	**Eğilme Direnci (kPa)**	**HG***
İnkübasyon Süresi 30 Gün	7	33.7625	A
İnkübasyon Süresi 10 Gün	7	55.8571	A B
İnkübasyon Süresi 20 Gün	8	64.7714	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir

Mantar türünün 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla basit varyans analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 49'da verilmiştir.

Tablo 49. 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine mantar türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Eğilme Direnci	Gruplar arası	13605.305	1	13605.305	8.671	0.011
	Gruplar içi	20397.352	13	1569.027		
	Toplam	34002.657	14			
Elastikiyet Modülü	Gruplar arası	3031204.286	1	3031204.286	1.013	0.333
	Gruplar içi	38915435.714	13	2993495.055		
	Toplam	41946640.00	14			
Yüzeye Dik Çekme	Gruplar arası	113.953	1	113.953	124.086	0.000
	Gruplar içi	11.938	13	0.918		
	Toplam	125.891	14			
Basınç Direnci	Gruplar arası	0.292	1	0.292	22.495	0.000
	Gruplar içi	0.169	13	0.013		
	Toplam	0.461	14			

Varyans analizi sonucuna göre; mantar türünün, 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının elastikiyet modülü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte mantar türünün misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci, yüzeye dik çekme ve basınç direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Mantar türünün 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla basit varyans analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 50'de verilmiştir.

Tablo 50. 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine mantar türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Eğilme Direnci	Gruplar arası	20122.366	1	20122.366	11.896	0.004
	Gruplar içi	21990.083	13	1691.545		
	Toplam	42112.449	14			

Tablo 50'nin devamı

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Elastikiyet Modülü	Gruplar arası	2267.143	1	2267.143	0.000	0.985
	Gruplar içi	82638292.857	13	6356791.758		
	Toplam	82640560.000	14			
Yüzeye Dik Çekme	Gruplar arası	353.386	1	353.386	112.385	0.000
	Gruplar içi	40.878	13	3.144		
	Toplam	394.264	14			
Basınç Direnci	Gruplar arası	0.248	1	0.248	40.501	0.000
	Gruplar içi	0.092	15	0.006		
	Toplam	0.340	16			

Varyans analizi sonucuna göre; mantar türünün, 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının elastikiyet modülü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte mantar türünün misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci, yüzeye dik çekme ve basınç direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Mantar türünün 30 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla basit varyans analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 51' de verilmiştir.

Tablo 51. 30 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının mekanik özelliklerine mantar türünün etkisine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Eğilme Direnci	Gruplar arası	19866.450	1	19866.450	42.043	0.000
	Gruplar içi	5670.387	12	472.532		
	Toplam	25536.837	13			
Elastikiyet Modülü	Gruplar arası	9495259.524	1	9495259.524	2.743	0.124
	Gruplar içi	41543883.333	12	3461990.278		
	Toplam	51039142.857	13			
Yüzeye Dik Çekme	Gruplar arası	615.288	1	615.288	75.531	0.000
	Gruplar içi	114.047	14	8.146		
	Toplam	729.335	15			
Basınç Direnci	Gruplar arası	0.043	1	0.043	7.365	0.019
	Gruplar içi	0.070	12	0.006		
	Toplam	0.112	13			

Varyans analizi sonuçlarına göre; mantar türünün, 30 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının elastikiyet modülü üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte mantar türünün misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci, yüzeye dik çekme direnci ve basınç direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

3.4.4. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Termal İletkenlik Katsayı Değerlerine Ait Bulgular

Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının ısıl iletkenlik katsayıları Tablo 52'de verilmiştir. Misel esaslı yalıtım levhalarının termal iletkenlik katsayıları 0.0488 ila 0.0534 W/m °K değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ısıl iletkenlik katsayısına sahip olan misel esaslı yalıtım levhaları, buğday samanlarının GL mantarıyla aşılanıp 20 günlük inkübasyon süresine maruz bırakılarak üretilmiştir. En düşük ısıl iletkenlik katsayısına sahip misel esaslı yalıtım levhası; buğday sapları PO mantarıyla aşılanıp, 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak üretilmiştir. Düşük termal iletkenlik katsayısına sahip levhalar daha iyi yalıtım özellikleri göstermektedir.

Tablo 52. Misel esaslı yalıtım levhalarının termal iletkenlik katsayı değerleri (W/m °K)

Mantar Grubu	**Mantar Türü**	**İnkübasyon Süresi (Gün)**	**Termal İletkenlik Katsayı Değerleri (W/m °K)**	
			Ortalama	**Standart Sapma**
YG1	GL	10	0.0501	0.0005
YG2		20	0.0534	0.0008
YG3		30	0.0518	0.0020
YP1	PO	10	0.0510	0.0004
YP2		20	0.0480	0.0017
YP3		30	0.0488	0.0000

3.4.5. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Termal ve Yanma Özelliklerine Ait Bulgular

3.4.5.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulgular

Sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI): LOI değeri bir materyalin yanmaya devam etmesi için gereksinim duyduğu % oksijen miktarı anlamına gelmektedir. Malzemelerin yanma özelliklerinin karşılaştırılmasında en çok kullanılan yöntem Limit Oksijen İndeksi (kısaca LOI) test yöntemidir. Limit Oksijen İndeksi bir başka ifadeyle sabit yanmayı devam ettiren minimum oksijen miktarıdır. Hava %21 oranında O_2 içerdiği için, LOI değeri 21'den daha büyük olan materyaller kendi kendini söndürür. LOI değeri 21' ten büyük olan materyaller havada genellikle kendiliğinden sönmekte; 21'ten küçük olanlar ise çok kolay yanmaktadırlar (Erdem ve Arıoğlu, 2016).

Misel esaslı yalıtım levhalarının LOI değerleri belirlenmiş ve Tablo 53'de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre 3 farklı sürede inkübasyona maruz bırakılan ve 2 farklı mantar türü kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının LOI değerleri 21'den daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek LOI değeri PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday saplarından üretilen YP3 grubu misel esaslı yalıtım levhalarında bulunurken, en düşük LOI değerine sahip misel esaslı yalıtım levhası ise PO mantarıyla aşılanıp 10 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday saplarından üretilen YP1 grubu misel esaslı yalıtım levhalarında belirlenmiştir.

Tablo 53. Misel esaslı misel esaslı yalıtım levhalarının LOI değerleri

Levha Grubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	LOI Değerleri (%)
YG1	GL	10	28.1
YG2		20	28.5
YG3		30	28.4
YP1	PO	10	26.1
YP2		20	29.1
YP3		30	29.5

3.4.5.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) Analizlerine Ait Bulgular

Misel esaslı yalıtım levhaların ve buğday sapının termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik analizlerine (DTG) ait bulgular Tablo 54'te verilmiştir.

Tablo 54. Misel esaslı yalıtım levhaların ve buğday sapının TGA-DTG analizlerine ait bulgular

Levha Grubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	T_o (°C)	T_e (°C)	T_o - T_e Ağırlık Kaybı (%)	T_{max} (°C)	695°C'deki Kalıntı Miktarı (%)
Kontrol	-	-	205	527	67.12	354.02	23.86
YG1	GL	10	174	478	63.13	344.00	24.94
YG2		20	170	434	60.66	337.81	24.57
YG3		30	169	425	55.31	334.21	28.82
YP1	PO	10	176	455	62.63	350.95	24.85
YP2		20	177	450	60.09	340.15	26.71
YP3		30	171	446	59.29	341.42	26.73

T_o: Bozunmaya başlama sıcaklığı,
T_e: Bozunma bitiş sıcaklığı
T_{max}: Maksimum bozunma sıcaklığı

Tablo 54'da elde edilen verilere göre mantar ile muamele edilen buğday sapından üretilen misel esaslı levhaların buğday sapı kontrol örneklerine göre daha erken sıcaklıkta termal bozunmaya başladığı tespit edilmiştir. İnkübasyon süresi artıkça bozunmaya başlama sıcaklığının da düştüğü gözlemlenmiştir. Buğday sapı kontrol örnekleri, YG1, YG2, YG3, YP1, YP2 ve YP3 levha gruplarının ikinci aşama termal bozunma sıcaklıkları sırasıyla 205-527°C, 174-478 °C, 170-434°C, 169-425°C, 176-455°C, 177-450°C ve 171-446°C olarak tespit edilmiştir. GL mantar inkübasyonu ile üretilen misel esaslı yalıtım levha gruplarının termal bozunmaya başlama sıcaklığı, PO mantarı ile üretilen misel esaslı yalıtım levha gruplarına göre daha erken başladığı tespit edilmiştir.

İkinci termal bozunma aşamasında buğday sapı kontrol örnekleri, YG1, YG2, YG3, YP1, YP2 ve YP3 levha gruplarının ağırlık kayıpları sırasıyla %67.12, %63.13, %60.66, %55.31, %62.63, %60.09 ve %59.29 olarak belirlenmiştir. İnkübasyon süresi artıkça ağırlık kaybı oranının azaldığı belirlenmiştir. GL mantar inkübasyonu ile üretilen misel esaslı yalıtım levha gruplarının ağırlık kayıp oranları, PO mantarı ile üretilen misel esaslı yalıtım levha gruplarına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

3.4.6. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Ses Geçiş Kaybı ve Ses Yutma Katsayısı Değerlerine Ait Bulgular

Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının ses geçiş kaybı ve ses yutma katsayılarına ilişkin değerler sırasıyla Tablo 55 ve 56'da verilmiştir. Sesi oluşturan dalgaların 1 saniyedeki sayısı frekans (f) olarak adlandırılır, birimi Hertz (Hz) dir. İnsan kulağı 16 ile 20.000 Hz. arasında olan sesleri duyabilir. 1,000-4,000 Hz frekans en hassas olduğu aralıktır. Gürültünün neden olduğu işitme kayıpları da öncelikle bu bölgede başladığı belirlenmiştir (Moore, 1975). Sesin yalıtılması yani geçişinin azaltılması ile soğurulmasının yani başka erke biçimine dönüştürülmesi olayının birbirine karıştırılması ses yalıtımında en büyük yanlışlardan biridir. Sesin gözenekli gereçlerde ya da titreşen levhalarda soğurulması ile bir bölmeyi geçerken azalması, birbiri ile herhangi bir alakası olmayan farklı durumlardır. Bu olaylar, birimleri, hesapları, oluş biçimleri, sonuçları ve alınacak önlemler ve kullanılacak malzeme yönünden önemli farklılıklar göstermektedir (Sirel, 1998).

Bir yüzeyde yutulan ses enerjisi, bu yüzeyden geri dönmeyen ses enerjisidir ve bir oran ile verilir. Bir cidarın ses yalıtım değeri, sesin bu cidarı geçerken kayıp ettiği değerdir. Birimi ise dB'dir. Örnek olarak, kalın kumaştan üretilmiş bir perdede gürültünün mikrovat/cm^2 cinsinden ses enerjisinin ancak yarısı geri yansır ve yutma çarpanın 0.50 olduğunu gösterir. Bu büyük bir oran olup perde büyük bir yutuculuk gösterir. Ancak kalın kumaştan üretilmiş perdenin aynı gürültü seviyesinde ses yalıtım değeri en çok 3 dB olup anlamsız bir değerdir. Bir kişinin böyle bir perdenin arkasından çıkan bütün sesleri işitebileceği herkes tarafından bilinmektedir (Sirel, 1998). Dolayısıyla, tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının ses geçiş kaybı ve ses yutma katsayısı değerleri bu bağlamda değerlendirilmesi gerekmektedir. Misel esaslı yalıtım levhalarının 1000Hz.'de ses geçiş kaybı değerleri incelendiğinde buğday saplarının GL mantarıyla aşılanıp 10 ve 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen misel esaslı yalıtım levhalarında en yüksek ses geçiş kaybı değerlerine (sırasıyla 14.44, 15.45 dBa) sahip oldukları görülmektedir. 8 mm kalınlığındaki camyünü çatı şiltesinin ses geçiş kaybı değeri yaklaşık 16 dBa olarak verilmektedir (Çalışkan, 2011). Yukarda bahsedilen varyasyonlarla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının camyünü çatı şiltesi ile yakın ses geçiş kaybı değerlerine sahip oldukları görülmektedir.

Ses yutma katsayısı değerleri incelendiğinde PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının GL mantarıyla üretilenlere oranla çok daha yüksek olduğu tespit

edilmiştir. 1000Hz.'de PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının ses yutma katsayıları 0.87 ila 0.99 arasında değişirken, GL mantarıyla üretilenlerinki ise 0.37 ila 0.53 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Tablo 55. Misel esaslı yalıtım levhalarının Ses geçiş kaybı değerleri

Levha Türü	Frekans (Hz)																		
	100	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**	**3150**	**4000**	**5000**	**6300**
YG1	8.88	9.91	10.61	11.77	11.81	9.41	10.86	11.98	12.53	12.38	14.44	17.3	15.92	16.56	18.65	22.7	27.38	33.91	41.69
YG2	7.07	7.64	9.26	10.59	10.71	8.56	10.99	12.79	13.03	14.49	15.45	16.14	17.43	18.79	20.74	25.88	33.69	38.87	43.42
YG3	3.24	4.23	4.87	5.11	5.87	6.07	6.91	7.63	8.26	9.07	9.71	10.86	11.88	13.9	16.37	19.23	22.73	27.08	32.61
YP1	1.11	0.99	2.53	2.68	3.26	3.35	3.65	4.35	4.77	5.37	7.50	8.74	10.97	11.61	13.5	15.77	18.61	21.88	25.76
YP2	1.42	1.20	2.00	1.94	2.47	2.51	2.56	3.16	3.41	3.83	5.60	7.37	9.67	10.22	11.53	13.47	15.95	18.83	23.01
YP3	2.11	3.02	3.86	4.05	4.83	5.36	6.21	7.11	8.03	8.77	10.58	12.94	13.63	16.15	17.95	22.63	28.21	32.06	38.42

YG1: GL mantarı 10 gün inkübasyon süresi, YG2: GL mantarı 20 gün inkübasyon süresi, YG3: GL mantarı 30 gün inkübasyon süresi,
YP1: PO mantarı 10 gün inkübasyon süresi, YP2: PO mantarı 20 gün inkübasyon süresi, YP3: PO mantarı 30 gün inkübasyon süresi

Tablo 56. Misel esaslı yalıtım levhalarının Ses absorpsiyon (yutma) katsayısı değerleri

Levha Türü	Frekans (Hz)																		
	100	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**	**3150**	**4000**	**5000**	**6300**
YG1	0.09	0.14	0.2	0.26	0.34	0.45	0.59	0.72	0.65	0.52	0.53	0.53	0.52	0.53	0.56	0.54	0.52	0.53	0.54
YG2	0.09	0.13	0.19	0.26	0.34	0.41	0.49	0.65	0.65	0.51	0.44	0.47	0.53	0.5	0.53	0.56	0.57	0.57	0.61
YG3	0.08	0.12	0.17	0.24	0.31	0.35	0.38	0.54	0.56	0.42	0.37	0.66	0.58	0.6	0.62	0.62	0.59	0.59	0.59
YP1	0.03	0.04	0.05	0.07	0.1	0.16	0.24	0.38	0.64	0.89	0.9	0.77	0.69	0.68	0.71	0.74	0.78	0.79	0.81
YP2	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.2	0.31	0.46	0.7	0.91	0.87	0.71	0.64	0.65	0.67	0.71	0.71	0.76	0.79
YP3	0.04	0.05	0.07	0.09	0.14	0.22	0.41	0.52	0.75	0.97	0.99	0.65	0.66	0.68	0.77	0,77	0,75	0,76	0.78

3.5. Odun Doğal Plastik Kompozitlerine Ait Bulgular

3.5.1. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Yoğunluk Değerlerine Ait Bulgular

PO ve GL mantarları ile 20 ve 30 günlük inkübasyona maruz bırakılan sarıçam veya kavak odunun farklı oranlarda karışımından üretilen ODPK levhalarının yoğunluk değerleri Tablo 57'de verilmiştir.

Tablo 57. ODPK levhalarının yoğunluk değerleri

Levha Grubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Karışım Oranı	Yoğunluk (g/cm^3)	
				Ort.	Std.
K5P2	PO	20	%50-%50	0.824	0.049
K7P2			%70-%30	0.833	0.028
K8P2			%80-%20	0.839	0.036
K5P3		30	%50-%50	0.807	0.081
K7P3			%70-%30	0.756	0.051
K8P3			%80-%20	0.713	0.070
K5G2	GL	20	%50-%50	0.813	0.048
K7G2			%70-%30	0.789	0.034
K8G2			%80-%20	0.754	0.057
K5G3		30	%50-%50	0.872	0.085
K7G3			%70-%30	0.870	0.057
K8G3			%80-%20	0.842	0.063
S5P2	PO	20	%50-%50	0.802	0.037
S7P2			%70-%30	0.810	0.031
S8P2			%80-%20	0.803	0.040
S5P3		30	%50-%50	0.857	0.188
S7P3			%70-%30	0.760	0.032
S8P3			%80-%20	0.783	0.056
S5G2	GL	20	%50-%50	0.767	0.051
S7G2			%70-%30	0.791	0.048
S8G2			%80-%20	0.748	0.057
S5G3		30	%50-%50	0.822	0.027
S7G3			%70-%30	0.780	0.035
S8G3			%80-%20	0.728	0.037

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

ODPK levhalarının üretiminden önce, hedeflenen yoğunluk değerleri 0.800 g/cm^3 olarak belirlenmiş olup, hedeflenen yoğunluk hedefine ulaşabilmek amacıyla kullanılan sarıçam odunu ve kavak odun yongası/talaşı miktarları hesaplanmıştır. Üretilen levhalarının yoğunluk değerleri 0.713 g/cm^3 ila 0.872 g/cm^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sarıçam odun yonga/talaşları kullanılarak üretilen ODPK'lerin yoğunluk değerlerinin, kavak odun yonga/talaşları kullanılarak üretilenlerinkinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

3.5.2. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Su Alma Oranlarına Ait Bulgular

ODPK'lerin su alma testleri gerçekleştirilmiş ve 1, 2, 8 ve 24 saat su alma testi sonunda ODPK'lerin su alma oranları belirlenmiştir (Tablo 58). Elde edilen bulgulara göre ODPK'lerin su alma oranlarının oldukça yüksek olduğu ve beklenildiği üzere (diğer odun ve odun esaslı kompozitlerde olduğu gibi) su alma oranı ilk başta hızlı bir şekilde arttığı daha sonra su alma oranının yatay bir seyir izlediği görülmektedir. Ayrıca bazı varyasyonlara ait test örneklerinin su alma testi sırasında çok yüksek oranda su almaları nedeniyle belirli süre sonunda dağılmaya başladığı gözlemlenmiştir. Kavak odun yonga/talaşları kullanılarak üretilen ODPK'lerin su alma oranlarının, sarıçam odun yonga/talaşları kullanılarak üretilenlerinkinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 58. ODPK'lerin su alma oranları

Levha Grubu	Ağaç Türü	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Karışım Oranı	Su Alma Oranı (%)							
					1 Saat		2 Saat		8 Saat		24 Saat	
					Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
K5P2	Kavak	PO	20	%50-%50	226.16	23.09	231.76	23.01	237.64	24.03	233.45	9.46
K7P2				%70-%30	209.32	31.50	210.70	28.36	218.20	27.16	235.69	20.99
K8P2				%80-%20	196.88	16.81	201.33	18.38	210.03	15.76	217.52	15.11
K5P3			30	%50-%50	190.68	26.19	194.01	25.14	202.05	24.39	206.66	24.12
K7P3				%70-%30	197.90	12.41	209.54	16.51	213.29	14.25	216.40	12.67
K5P3				%80-%20	202.16	11.56	196.03	21.41	199.36	21.91	218.90	10.69
K5G2		GL	20	%50-%50	226.70	17.85	231.20	13.45	238.55	14.74	239.60	9.91
K7G2				%70-%30	227.00	21.27	232.72	20.46	231.00	14.32	237.12	12.60
K8G2				%80-%20	139.42	19.03	149.22	21.28	164.65	21.04	160.32	21.81
K5G3			30	%50-%50	151.29	17.22	179.87	42.85	186.15	43.11	192.09	41.17
K7G3				%70-%30	145.31	29.50	145.64	22.00	150.89	21.80	161.86	23.49
K8G3				%80-%20	225.89	18.69	230.74	15.18	232.57	13.24	238.12	14.35
S5P2	Sarıçam	PO	20	%50-%50	293.01	14.03	263.10	9.29	229.07	12.76	180.92	27.13
S7P2				%70-%30	257.15	14.00	248.36	16.07	232.16	8.94	219.99	10.96
S8P2				%80-%20	245.29	10.80	232.99	8.80	228.57	8.64	224.29	10.29
S5P3			30	%50-%50	295.15	22.40	263.88	8.21	247.45	7.09	220.16	7.20
S7P3				%70-%30	274.81	11.38	267.09	8.69	241.54	12.42	223.01	7.37
S8P3				%80-%20	264.19	15.82	260.35	13.81	237.84	12.53	220.97	9.74
S5G2		GL	20	%50-%50	294.16	13.67	275.24	10.37	259.49	13.45	271.66	19.47
S7G2				%70-%30	282.98	16.24	285.65	11.40	276.62	14.06	243.12	18.50
S8G2				%80-%20	287.32	20.68	290.58	19.78	288.95	17.17	278.71	16.47
S5G3			30	%50-%50	268.35	13.12	264.07	11.07	255.74	11.63	253.02	10.66
S7G3				%70-%30	249.50	12.25	242.03	12.23	242.03	12.23	239.03	12.23
S8G3				%80-%20	229.21	12.48	229.21	12.48	226.07	10.54	220.35	6.48

Ort: Ortalama Değer, Std: Standart Sapma

Farklı varyasyonlarla üretilen ODPK'lerin su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 59'da verilmiştir. Tablo 59 incelendiğinde varyasyon faktörlerinin ODPK'lerin 1, 2, 8 ve 24 saat su alma oranlarına etkisi anlamlı düzeyde bulunmuştur.

Tablo 59. Farklı varyasyonlarla üretilen ODPK'lerin su alma oranlarına ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Su Alma 1 Saat	Gruplar arası	310665.190	23	13507.182	39.779	0.000
	Gruplar içi	43462.584	128	339.551		
	Toplam	354127.774	151			
Su Alma 2 Saat	Gruplar arası	226308.039	23	9839.480	28.045	0.000
	Gruplar içi	46663.354	133	350.852		
	Toplam	272971.393	156			
Su Alma 8 Saat	Gruplar arası	141528.152	23	6153.398	17.884	0.000
	Gruplar içi	43010.055	125	344.080		
	Toplam	184538.207	148			
Su Alma 24 Saat	Gruplar arası	89596.455	23	3895.498	12.939	0.000
	Gruplar içi	32817.139	109	301.075		
	Toplam	122413.594	132			

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla 1 saat su alma testi sonunda yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 60'da verilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; 1 saat sonunda en düşük su alma oranına sahip ODPK'lerinin kavak odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra K8G3, K7G3 ve K5G3 üretilen levha grupları olduğu belirlenmiştir. Diğer varyasyonlarla üretilen bütün ODPK'lerinin su alma oranlarından anlamlı düzeyde farklı olduğu tespit edilmiştir. Sarıçam odun yonga/talaşlarının PO veya GL mantarıyla aşılandıktan sonra 20 veya 30 gün süreyle inkübasyon süresinin sonunda %50-50 karışımıyla üretilen ODPK'lerinin (S5P2, S5G2 ve S5P3) 1 saat sonunda su alma oranlarının en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 60. ODPK'lerin 1 saat sonunda su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyasyon Kodu	N	Su Alma Oranı (%)	HG*
K8G3	6	139.4235	A
K7G3	6	145.3076	A
K8P3	5	151.2920	A
S8G3	6	190.6752	B
K5G3	5	196.8836	B
K7P3	5	197.9018	B
S7G3	5	202.1628	B
K8G2	6	209.3210	B C
K5P3	7	225.8938	B C D
K7G2	7	226.1621	B C D
K5G2	7	226.6968	B C D
S5G3	6	227.0042	B C D
K8P2	7	229.2100	B C D
K7P2	7	245.2868	C D E
S8P2	7	249.4957	D E F
S7P2	7	257.1474	D E F G
S7P3	6	264.1875	E F G
K5P2	7	268.3529	E F G
S8P3	5	274.8076	E F G
S8G2	7	282.9836	E F G
S5P2	7	287.3206	F G
S5G2	7	293.0109	G
S5P3	7	294.1619	G
S7G2	7	295.1533	G

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla 2 saat su alma testi sonunda yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 61'de verilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; 2 saat sonunda en düşük su alma oranına sahip ODPK'lerinin kavak odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %70-30, %80-20 ve %50-50 karışım oranlarıyla üretilenler olduğu belirlenmiş ve tez kapsamında diğer varyasyonlarla üretilen bütün ODPK'lerinin su alma oranlarından anlamlı düzeyde farklı olduğu tespit edilmiştir. Sarıçam odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılandıktan sonra 20 gün süreyle inkübasyon

süresinin sonunda %80-20 karışımıyla üretilen ODPK'lerinin (S8P2) 2 saat sonunda su alma oranının en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 61. ODPK'lerin 2 saat sonunda su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05)

Varyasyon Kodu	N	Su Alma Oranı (%)	HG*
K7G3	6	145.6426	A
K8G3	6	149.2190	A
K5G3	7	179.8690	A B
K5P3	6	194.0132	B C
K8P3	6	196.0293	B C D
K8P2	7	201.3253	B C D
K7P3	7	209.5414	B C D E
K7P2	6	210.6999	B C D E F
S8G3	7	229.2100	C D E F G
K8G2	7	230.7423	C D E F G
K5G2	6	231.1969	C D E F G
K5P2	7	231.7585	C D E F G
K7G2	6	232.7172	D E F G
S8P2	7	232.9889	D E F G
S7G3	7	242.0314	E F G H
S7P2	6	248.3568	F G H I
S8P3	6	260.3500	G H I J
S5P2	6	263.0994	G H I J
S5P3	6	263.8839	G H I J
S5G3	7	264.0671	G H I J
S7P3	7	267.0903	G H I J
S5G2	7	275.2401	H I J
S7G2	7	285.6549	I J
S8G2	7	290.5826	J

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla 8 saat su alma testi sonunda yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 62'de verilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; 8 saat sonunda en düşük su alma oranına sahip ODPK'lerinin kavak odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %70-30, %80-20, ve %50-50 karışım oranlarıyla üretilenler olduğu belirlenmiş ve K7G3 varyasyonu tez kapsamında diğer varyasyonlarla üretilen bütün ODPK'lerinin su alma oranlarından anlamlı düzeyde farklı olduğu tespit

edilmiştir. Sarıçam odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılandıktan sonra 20 gün süreyle inkübasyon süresinin sonunda %80-20 karışımıyla üretilen ODPK'lerinin (S8P2) 8 saat sonunda su alma oranının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 62. ODPK'lerin 8 saat sonunda su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0.05)

Varyasyon Kodu	N	Su Alma Oranı (%)	HG*
K7G3	6	150.8936	A
K8G3	7	164.6454	A B
K5G3	7	186.1461	A B C
K8P3	6	199.3632	B C D
K5P3	6	202.0518	B C D E
K8P2	7	210.0257	C D F
K7P3	7	213.2862	C D E
K7P2	6	218.1997	C D E F G
S8G3	7	226.0671	C D E F G H
S8P2	7	228.5726	D E F G H
S5P2	3	229.0687	D E F G H
K7G2	6	230.9969	D E F G H
S7P2	6	232.1558	D E F G H
K8G2	7	232.5710	D E F G H
K5P2	7	237.6361	D E F G H I
S8P3	6	237.8383	D E F G H I
K5G2	7	238.5480	D E F G H I
S7P3	5	241.5416	E F G H I
S7G3	7	242.0314	F G H I
S5P3	6	247.4458	F G H I
S5G3	7	255.7371	G H I J
S5G2	4	259.4941	H I J
S7G2	6	276.6151	I J
S8G2	6	288.9462	J

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla 24 saat su alma testi sonunda yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 63'de verilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; 24 saat sonunda en düşük su alma oranına sahip ODPK'lerinin kavak odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %80-20, %70-30, %50-50 karışım oranlarıyla üretilen K8G3, K7G3 ve K5G3 levha grupları olduğu belirlenmiştir. Sarıçam odun

yonga/talaşlarında ise PO mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %50-50 karışım oranlarıyla üretilen S5P2 levhaları olduğu belirlenmiştir. Sarıçam odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılandıktan sonra 20 gün süreyle inkübasyon süresinin sonunda %80-20 karışımıyla üretilen ODPK'lerinin (S8G2) 24 saat sonunda su alma oranının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 63. ODPK'lerin 24 saat sonunda su alma oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyasyon Kodu	N	Su Alma Oranı (%)	HG*
K8G3	6	160.3160	A
K7G3	5	161.8593	A
S5P2	3	180.9237	A B
K5G3	7	192.0855	A B C
K5P3	6	206.6629	B C D
K7P3	7	216.3986	B C D E
K8P2	7	217.5193	B C D E
K8P3	5	218.9033	B C D E
S7P2	5	219.9889	B C D E
S5P3	5	220.1587	B C D E
S8G3	7	220.3529	B C D E
S8P3	6	220.9699	B C D E
S7P3	4	223.0090	C D E
S8P2	6	224.2923	C D E
K5P2	5	233.4534	D E F
K7P2	5	235.6924	D E F
K7G2	6	237.1250	D E F
K8G2	7	238.1160	D E F G
S7G3	7	239.0314	D E F G
K5G2	6	239.5971	D E F G
S7G2	5	243.1249	D E F G
S5G3	7	253.0229	E F G
S5G2	2	271.6609	F G
S8G2	4	278.7139	G

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

3.5.3. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Kalınlık Artış Oranlarına Ait Bulgular

ODPK'lerin su alma testleri gerçekleştirilmiş ve 1, 2, 8 ve 24 saat su alma testi sonunda ODPK'lerin kalınlık artış oranları belirlenmiştir (Tablo 64). Elde edilen bulgulara göre

ODPK’lerin kalınlık artış oranlarının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bazı varyasyonlara ait test örnekleri su alma testi sırasında çok yüksek oranda su almaları nedeniyle belirli süre sonunda dağılmaya başladığı gözlemlenmiş ve kalınlık artış oranları belirlenememiştir. Kalınlık artış oranları su alma test süresinin artmasıyla çok fazla artış göstermemiştir. Kavak odun yonga/talaşları GL mantarıyla aşılanmış ve 30 süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %80-20 karışım oranıyla üretilmiş ODPK’lerin (K8G3) en düşük kalınlık artış oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 64. ODPK'lerin kalınlık artış oranları

Levha Grubu	Ağaç Türü	MantarTürü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Karışım Oranı	Su Alma Oranı (%)							
					1 Saat		2 Saat		8 Saat		24 Saat	
					Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
K5P2	Kavak	PO	20	%50-%50	132.01	4.40	133.58	4.27	135.85	4.79	138.01	3.83
K7P2				%70-%30	128.14	22.61	131.30	21.91	128.58	18.69	136.91	17.80
K8P2				%80-%20	125.74	4.71	127.48	5.15	132.23	3.88	132.76	4.51
K5P3			30	%50-%50	112.52	8.08	113.73	13.30	121.37	10.97	117.14	5.46
K7P3				%70-%30	106.02	3.38	107.44	7.16	113.76	3.63	114.98	6.05
K5P3				%80-%20	93.74	6.26	90.60	7.17	96.58	6.36	97.22	6.15
K5G2		GL	20	%50-%50	119.63	8.77	119.97	6.37	125.36	10.15	124.25	6.38
K7G2				%70-%30	119.10	4.33	120.61	3.21	121.03	3.42	123.76	2.10
K8G2				%80-%20	79.77	4.69	79.65	5.10	87.41	9.46	87.30	4.06
K5G3			30	%50-%50	99.54	11.86	104.05	12.99	102.87	11.57	116.86	16.77
K7G3				%70-%30	81.29	7.54	86.98	9.32	86.34	7.52	87.76	5.83
K8G3				%80-%20	106.62	7.89	107.93	8.22	108.52	7.41	112.02	8.44
S5P2	Sarıçam	PO	20	%50-%50	137.52	9.62	141.15	7.76	129.33	4.16	107.85	4.29
S7P2				%70-%30	130.67	4.94	125.40	6.00	126.09	2.57	124.30	3.33
S8P2				%80-%20	129.86	7.43	120.00	7.98	120.06	5.47	128.75	5.04
S5P3			30	%50-%50	142.23	8.71	152.51	53.38	130.36	11.24	116.78	4.32
S7P3				%70-%30	131.41	7.78	126.29	3.74	123.39	8.42	114.91	4.11
S8P3				%80-%20	135.44	11.12	134.74	6.06	130.54	4.73	122.17	7.64
S5G2		GL	20	%50-%50	139.60	13.44	132.00	16.47	135.07	7.01	129.05	1.77
S7G2				%70-%30	146.15	6.71	141.46	4.29	137.45	3.70	132.29	6.02
S8G2				%80-%20	136.11	17.64	134.40	8.72	129.12	7.15	131.73	5.00
S5G3			30	%50-%50	125.54	13.70	120.68	13.35	120.82	9.17	117.24	8.67
S7G3				%70-%30	106.11	13.62	101.53	11.58	98.67	10.21	95.67	6.51
S8G3				%80-%20	98.49	11.69	93.15	10.94	92.72	8.47	90.00	7.50

Ort: Ortalama Değer, Std: Standart Sapma

Farklı varyasyonlarla üretilen ODPK'lerin kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 65'de verilmiştir. Tablo 65 incelendiğinde varyasyon faktörlerinin ODPK'lerin 1, 2, 8 ve 24 saat kalınlık oranlarına etkisi anlamlı düzeyde bulunmuştur.

Tablo 65. Farklı varyasyonlarla üretilen ODPK'lerin kalınlık artış oranlarına ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Kareler Ortalaması**	**F-Hesap**	**Önem Derecesi**
Kalınlık Artış Oranı 1 Saat	Gruplar arası	53396.581	23	2321.590	21.857	0.000
	Gruplar içi	14339.367	135	106.218		
	Toplam	67735.948	158			
Kalınlık Artış Oranı 2 Saat	Gruplar arası	50087.714	23	2177.727	11.944	0.000
	Gruplar içi	23701.717	130	182.321		
	Toplam	73789.431	153			
Kalınlık Artış Oranı 8 Saat	Gruplar arası	36481.872	23	1586.168	22.741	0.000
	Gruplar içi	8788.407	126	69.749		
	Toplam	45270.279	149			
Kalınlık Artış Oranı 24 Saat	Gruplar arası	31565.996	23	1372.435	23.520	0.000
	Gruplar içi	6418.782	110	58.353		
	Toplam	37984.778	133			

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla 1 saat su alma testi sonunda belirlenen kalınlık artış oranlarına ilişkin yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 66'da verilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; 1 saat sonunda en düşük kalınlık artış oranına sahip ODPK'lerinin kavak odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %80-20 ve 70-30 karışım oranlarıyla üretilen K8G3 ve K7G3 levha grupları olduğu belirlenmiştir. Sarıçam odun yonga/talaşlarının PO veya GL mantarıyla aşılandıktan sonra 20 veya 30 gün süreyle inkübasyon süresinin sonunda %50-50 karışımıyla üretilen ODPK'lerinin (S5G2 ve S5P3) 1 saat sonunda kalınlık artış oranlarının en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 66. ODPK'lerin 1 saat sonunda kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyasyon Kodu	N	Kalınlık Artış Oranı (%)	HG*
K8G3	6	79.7735	A
K7G3	6	81.2898	A
K5G3	5	93.7367	A B
K5P3	6	98.4943	A B C
K8P2	5	99.5371	A B C
K7P3	5	106.0198	B C D
K8P3	5	106.1086	B C D
K7P2	6	106.6230	B C D
K8G2	7	112.5203	B C D E
K5P2	7	119.1035	C D E F
K5G2	7	119.6323	C D E F
K7G2	6	125.5371	D E F G
S8G3	7	125.7390	D E F G
S8P2	7	128.1363	E F G
S7G3	7	129.8599	E F G
S7P2	7	130.6677	E F G
S8P3	6	131.4069	E F G
S5G3	7	132.0127	E F G
S7P3	5	135.4401	F G
S7G2	7	136.1081	F G
S8G2	7	137.5184	F G
S5P2	7	139.6037	F G
S5G2	7	142.2268	G
S5P3	7	146.1522	G

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla 2 saat su alma testi sonunda kalınlık artış oranlarına ilişkin yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 67'de verilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; 2 saat sonunda en düşük kalınlık artış oranına sahip ODPK'lerinin kavak odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %80-20 karışım oranlarıyla üretilen K8G3 levha grubu olduğu belirlenmiştir. Sarıçam odun yonga/talaşlarının PO mantarıyla aşılandıktan sonra 30 gün süreyle inkübasyon süresinin sonunda %50-50 karışımıyla üretilen ODPK'lerinin (S8P3) 2 saat sonunda kalınlık artış oranının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 67. ODPK'lerin 2 saat sonunda kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyasyon Kodu	N	Kalınlık Artış Oranı (%)	HG*
K8G3	6	79.6466	A
K7G3	7	86.9800	A B
K8P3	7	90.6007	A B
S8G3	7	93.1486	A B C
S7G3	7	101.5257	A B C D
K5G3	7	104.0517	A B C D E
K7P3	7	107.4402	A B C D E F
K7G2	7	107.9280	A B C D E F
K5P3	7	113.7283	B C D E F G
K5G2	6	119.9714	C D E F G
S8P2	7	119.9968	C D E F G
K7G2	7	120.6091	C D E F G
S5G3	7	120.6800	C D E F G
S7P2	6	125.4004	D E F G H
S7P3	6	126.2916	D E F G H
K8P2	7	127.4812	D E F G H
K7P2	7	131.3049	E F G H
S5G2	5	132.0041	E F G H
K5P2	7	133.5799	F G H
S8G2	6	134.3959	F G H
S8P3	6	134.7432	F G H
S5P2	4	141.1465	G H
S7G2	6	141.4603	G H
S5P3	5	152.5083	H

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla 8 saat su alma testi sonunda kalınlık artış oranlarına ilişkin yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 68'de verilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; 8 saat sonunda en düşük kalınlık artış oranına sahip ODPK'lerinin kavak odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %70-30 ve %80-20 karışım oranlarıyla üretilen K7G3 ve K8G3 levha grupları olduğu belirlenmiştir. Sarıçam odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılandıktan sonra 20 gün süreyle inkübasyon süresinin sonunda %50-50 ve %70-30 karışım oranıyla üretin S7G2 ve S5G2 levha grupları ile kavak odun yonga/talaşlarının PO mantarıyla aşılandıktan sonra 20 gün süreyle inkübasyon süresinin sonunda %50-50 ve

%80-20 karışımıyla üretilen ODPK'lerinin (K5P2 ve K8P2) 8 saat sonunda kalınlık artış oranının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 68. ODPK'lerin 8 saat sonunda kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyasyon Kodu	N	Kalınlık Artış Oranı (%)	HG*
K7G3	6	86.3390	A
K8G3	7	87.4101	A
S8G3	7	92.7157	A B
K8P3	7	96.5785	A B C
S7G3	7	98.6686	A B C
K5G3	7	102.8723	A B C D
K8G2	7	108.5159	B C D E
K7P3	7	113.7609	C D E F
S8P2	7	120.0615	D E F G
S5G3	7	120.8157	D E F G
K7G2	7	121.0281	E F G
K5P3	7	121.3651	E F G
S7P3	5	123.3908	E F G
K5G2	7	125.3570	E F G
S7P2	6	126.0868	E F G
K7P2	6	128.5783	F G
SG2	6	129.1216	F G
S5P2	3	129.3333	F G
S5P3	5	130.3641	F G
S8P3	6	130.5386	F G
K8P2	7	132.2343	G
S5G2	3	135.0702	G
K5P2	7	135.8538	G
S7G2	6	137.4537	G

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla 24 saat su alma testi sonunda kalınlık artış oranlarına ilişkin yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 69'de verilmiştir.

Tukey testi sonuçlarına göre; 24 saat sonunda en düşük kalınlık artış oranına sahip ODPK'lerinin kavak odun yonga/talaşlarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %70-30 ve %80-20 karışım oranlarıyla üretilen K7G3 ve K8G3 levha grupları olduğu belirlenmiştir. Kavak odun yonga/talaşlarının PO

mantarıyla aşılandıktan sonra 20 gün süreyle inkübasyon süresinin sonunda %50-50 ve %70-30 karışımıyla üretilen K5P2 ve K7P2 levha gruplarının 24 saat sonunda kalınlık artış oranının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Tablo 69. ODPK'lerin 24 saat sonunda kalınlık artış oranlarına varyasyon faktörlerinin etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyasyon Kodu	N	Kalınlık Artış Oranı (%)	HG*
K8G3	6	87.3020	A
K7G3	5	87.7595	A
S8G3	7	90.0014	A B
S7G3	7	95.6686	A B C
K8P3	6	97.2204	A B C D
S5P2	3	107.8536	B C D E
K8G2	7	112.0153	C D E F G
S7P3	4	114.9082	D E F G
K7P3	7	114.9810	D E F G
S5P3	4	116.7758	E F G
K5G3	7	116.8598	E F G
K5P3	5	117.1366	E F G
S5G3	7	117.2443	E F G
S8P3	5	122.1671	E F G H
K7G2	6	123.7564	E F G H
K5G2	7	124.2496	E F G H
S7P2	5	124.3038	E F G H
S8P2	6	128.7520	F G H
S5G2	2	129.0515	F G H
S8G2	4	131.7329	G H
S7G2	5	132.2922	G H
K8P2	7	132.7614	G H
K7P2	5	136.9056	H
K5P2	7	138.0113	H

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

3.5.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

İki farklı ağaç türü, iki farklı mantar türü, iki farklı inkübasyon periyodu ve üç farklı karışım oranları kullanılarak üretilen odun doğal plastik kompozitlerinin mekanik özellikleri belirlenmiş ve Tablo 70'de verilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda ayrı başlıklar altında verilmiştir.

3.5.4.1. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Çekme Direncine Ait Bulgular

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin çekme direnci değerlerinin 0.42 MPa ila 2.19 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek çekme direnci, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8P3 grubu ODPK'larda, en düşük çekme direnci ise sarıçam odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-50 karışımıyla üretilen S5G2 grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongaları kullanılarak üretilen ODPK'ların çekme direnç değerleri sarıçam odun talaş/yongaları kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Üretilen ODPK'ların çekme dirençlerinin bazı istisnalar dışında ağaç türü ve mantar türüne bağlı kalmaksızın inkübasyon süresinin artmasıyla arttığı belirlenmiştir.

3.5.4.2. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Çekmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri 62.93 MPa ila 189.47 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek çekmede elastikiyet modülü, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8P3 grubu ODPK'larda, en düşük çekmede elastikiyet modülü ise sarıçam odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-%50 karışımıyla üretilen S5G2 grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongaları kullanılarak üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülü değerlerinin sarıçam odun talaş/yongaları kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülünün bazı istisnalar dışında ağaç türü ve mantar türüne bağlı kalmaksızın inkübasyon süresinin artmasıyla arttığı belirlenmiştir.

3.5.4.3. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Eğilme Direncine Ait Bulgular

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin eğilme direnci değerleri 1.05 MPa ila 4.51 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek

eğilme direnci, kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8G3 grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. En düşük eğilme direnci ise sarıçam odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen S8P3 grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongaları kullanılarak üretilen ODPK'ların eğilme direnci değerlerinin sarıçam odun talaş/yongaları kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

3.5.4.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülüne Ait Bulgular

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri 189.15 MPa ila 529.03 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8P3 grubu ODPK'larda, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise sarıçam odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-%50 karışımıyla üretilen S5G2 grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongaları kullanılarak üretilen ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin sarıçam odun talaş/yongaları kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 70. Odun doğal plastik kompozitlerin mekanik özellikleri

Levha Grubu	Ağaç Türü	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Karışım Oranı	Çekme Test Örnekleri				Eğilme Test Örnekleri				Darbe Direnci (kJ/m²)	
					Çekme Direnci (MPa)		Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)		Eğilme Direnci (MPa)		Eğilmede Elastikiyet Modülü (MPa)			
					Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
K5P2	Kavak	PO	20	%50-%50	0.84	0.07	100.82	14.49	1.49	0.13	289.61	28.79	1.08	0.09
K7P2				%70-%30	0.89	0.21	114.33	19.19	1.64	0.19	312.78	41.08	1.36	0.14
K8P2				%80-%20	1.00	0.09	125.71	13.29	1.90	0.26	297.70	41.30	1.30	0.12
K5P3			30	%50-%50	1.18	0.25	128.35	10.92	2.50	0.15	360.84	32.15	1.26	0.10
K7P3				%70-%30	1.26	0.23	137.88	25.37	3.24	0.40	472.72	38.48	1.40	0.12
K8P3				%80-%20	2.19	0.25	189.47	14.21	3.91	0.29	529.03	49.61	1.50	0.10
K5G2		GL	20	%50-%50	0.84	0.14	74.89	12.40	1.62	0.12	260.93	34.40	1.00	0.09
K7G2				%70-%30	0.56	0.08	79.45	19.52	1.70	0.17	271.80	32.69	1.02	0.07
K8G2				%80-%20	0.61	0.11	93.03	24.66	1.75	0.10	271.78	21.71	1.08	0.12
K5G3			30	%50-%50	1.31	0.27	139.04	10.49	4.25	0.26	463.40	62.53	1.25	0.18
K7G3				%70-%30	1.95	0.37	152.35	9.97	4.33	0.26	478.71	69.99	1.37	0.12
K8G3				%80-%20	1.35	0.27	114.62	17.08	4.51	0.44	511.15	65.79	2.02	0.29
S5P2	Sarıçam	PO	20	%50-%50	0.46	0.08	74.06	8.99	1.38	0.18	222.32	28.07	1.16	0.05
S7P2				%70-%30	0.64	0.09	79.25	17.42	1.35	0.18	224.86	41.92	1.16	0.16
S8P2				%80-%20	0.48	0.09	84.94	16.90	1.53	0.29	289.77	45.59	1.30	0.14
S5P3			30	%50-%50	0.53	0.08	81.83	3.60	1.21	0.25	235.92	33.40	1.22	0.13
S7P3				%70-%30	0.69	0.07	97.59	12.52	1.06	0.25	189.15	37.08	1.15	0.13
S8P3				%80-%20	0.68	0.09	97.50	8.97	1.05	0.12	194.01	17.81	1.21	0.16
S5G2		GL	20	%50-%50	0.42	0.08	62.93	13.73	1.38	0.35	219.41	41.43	1.07	0.13
S7G2				%70-%30	0.50	0.03	72.85	7.77	1.48	0.06	307.84	11.72	1.23	0.12
S8G2				%80-%20	0.66	0.21	85.81	29.75	1.30	0.16	295.54	28.41	1.21	0.10
S5G3			30	%50-%50	0.49	0.04	71.84	11.02	1.50	0.17	242.85	19.39	1.12	0.10
S7G3				%70-%30	0.53	0.05	79.52	4.17	1.52	0.10	281.34	22.85	1.17	0.13
S8G3				%80-%20	0.74	0.08	106.02	22.32	1.61	0.18	309.20	15.38	1.22	0.09

3.5.4.5. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Darbe Direncine Ait Bulgular

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin darbe direnci değerleri 1.00 kJ/m² ila 2.02 kJ/m² arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek darbe direnci değerleri, kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8G2 grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. En düşük darbe direnci değerleri ise kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-50 karışımıyla üretilen K5G2 grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongaları kullanılarak üretilen ODPK'ların darbe direnci değerlerinin sarıçam odun talaş/yongaları kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

3.5.4.6. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Ağaç Türü, Mantar Türü, İnkübasyon Süresi ve Karşım Oranlarının Etkilerine Ait Bulgular

Odun doğal plastik kompozitlerin mekanik özelliklerine varyasyonların etkilerini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 71'de verilmiştir. Tablo 71 incelendiğinde varyasyonların odun doğal plastik kompozitlerinin çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci üzerine etkisi anlamlı düzeyde bulunmuştur.

Tablo 71. Varyasyonların odun doğal plastik kompozitlerin direnç değerlerine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Çekme Direnci	Gruplar arası	26.866	23	1.168	43.051	0.000
	Gruplar içi	3.066	113	0.027		
	Toplam	29.932	136			
Çekmede Elastikiyet Modülü	Gruplar arası	107245.936	23	4662.867	18.517	0.000
	Gruplar içi	28203.870	112	251.820		
	Toplam	135449.806	135			
Eğilme Direnci	Gruplar arası	133.764	23	5.816	113.050	0.000
	Gruplar içi	5.659	110	0.051		
	Toplam	139.423	133			

Tablo 71'in devamı

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Eğilmede Elastikiyet Modülü	Gruplar arası	1348362.632	23	58624.462	39.660	0.000
	Gruplar içi	155207.769	105	1478.169		
	Toplam	1503570.401	128			
Darbe Direnci	Gruplar arası	8.098	23	0.352	19.755	0.000
	Gruplar içi	3.261	183	0.018		
	Toplam	11.359	206			

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 72-76'de verilmiştir.

Tablo 72 incelendiğinde; sarıçam odun yongalarından GL mantarı kullanılarak 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %50-50 karışımla üretilen S5G2 grubu ODPK'lerin en düşük çekme direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Kavak odun yongalarından PO mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %80-20 karışım oranıyla üretilen K8P3 grubu ODPK'lerin en yüksek çekme direncine sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek çekme direncine sahip olan ODPK'ların K7G3 ve K8P3 varyasyonlarıyla üretildiği ve aralarında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Diğer bir ifade ile yüksek çekme direncine sahip ODPK üretimi için; kavak odun talaş/yongalarından PO mantarı kullanılacak ise %80-20 oranındaki karışımın, GL mantarıyla üretilen ise %70-30 oranındaki karışımın kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, K7G2 ve K8G2 varyasyonları hariç, kavak odun talaş/yongalarıyla üretilen ODPK'lerin çekme dirençleri sarıçam odunu talaş/yongalarından üretilenlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 72. Odun doğal plastik kompozitlerinin çekme direncine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Levha Türü	N	Çekme Direnci (MPa)	HG*
S5G2	7	.4186	A
S5P2	6	.4600	A
S8P2	7	.4786	A B
S5G3	7	.4886	A B
S7G2	5	.5000	A B
S5P3	6	.5283	A B C
S7G3	6	.5333	A B C
K7G2	5	.5600	A B C

Tablo 72'nin devamı

Levha Türü	N	Çekme Direnci (MPa)	HG*
K8G2	4	.6050	A B C
S7P2	5	.6440	A B C D
S8G2	7	.6600	A B C D
S8P3	6	.6833	A B C D
S7P3	6	.6917	A B C D
S8G3	6	.7400	A B C D
K5G2	7	.8357	B C D E
K5P2	5	.8440	B C D E
K7P2	6	.8883	C D E
K8P2	5	.9980	D E F
K5P3	5	1.1780	E F
K7P3	6	1.2617	F
K5G3	5	1.3080	F
K8G3	4	1.3525	F
K7G3	7	1.9529	G
K8P3	4	2.1900	G

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 73 incelendiğinde; sarıçam odun yongalarından GL mantarı kullanılarak 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %50-50 karışımla üretilen S5G2 grubu ODPK'lerin en düşük çekmede elastikiyet modülüne, kavak odun yongalarından PO mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %80-20 karışım oranıyla üretilen K8P3 grubu ODPK'lerin en yüksek çekmede elastikiyet modülüne sahip olduğu belirlenmiştir. S5G3, S7G2, S5P2, K5G2, S7P2, K7G2, S7G3, S5P3, S8P2, S8G2, K8G2, S8P3, S7P3, K5P2 ve S8G3 varyasyonları aralarında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 73. Odun doğal plastik kompozitlerinin çekmede elastikiyet modülüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Levha Grubu	N	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	HG*
S5G2	7	62.9286	A
S5G3	4	71.8350	A B
S7G2	6	72.8533	A B
S5P2	6	74.0617	A B
K5G2	6	74.8900	A B
S7P2	6	79.2533	A B C
K7G2	5	79.4540	A B C

Tablo 73'ün devamı

Levha Grubu	N	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	HG*
S7G3	6	79.5200	A B C
S5P3	5	81.8340	A B C
S8P2	7	84.9386	A B C
S8G2	7	85.8057	A B C
K8G2	4	93.0275	A B C D
S8P3	6	97.4950	A B C D
S7P3	7	97.5929	A B C D
K5P2	6	100.8233	B C D
S8G3	4	106.0150	B C D E
K7P2	6	114.3283	C D E
K8G3	6	114.6183	C D E
K8P2	6	125.7083	D E F
K5P3	5	128.3520	D E F
K7P3	6	137.8800	E F
K5G3	5	139.0440	E F
K7G3	7	152.3529	F
K8P3	3	189.4733	G

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 74 incelendiğinde; sarıçam odun yongalarından PO mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %80-20 ve %70-30 karışım üretilen S8P3 ve S7P3 grubu ODPK'lerin en düşük eğilme direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Kavak odun yongalarından GL mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %80-20, %70-30 ve %50-50 karışım oranlarıyla üretilen K8G3, K7G3 ve K5G3 grubu ODPK'lerin en yüksek eğilme direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Kavak odun talaş/yongalarından üretilen ODPK'lerin eğilme direnç değerlerinin sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilenlere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 74. Odun doğal plastik kompozitlerinin eğilme direncine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Levha Türü	N	Eğilme Direnci (MPa)	HG*
S8P3	7	1.0457	A
S7P3	7	1.0643	A
S5P3	5	1.2060	A B
S8G2	7	1.2986	A B
S7P2	5	1.3460	A B
S5G2	7	1.3786	A B C D

Tablo 74'ün devamı

Levha Türü	N	Eğilme Direnci (MPa)	HG*
S5P2	5	1.3840	A B C D
S7G2	4	1.4825	A B C D
K5P2	7	1.4929	A B C D
S5G3	4	1.4950	A B C D
S7G3	5	1.5200	A B C D
S8P2	4	1.5275	A B C D
S8G3	6	1.6133	B C D
K5G2	6	1.6183	B C D
K7P2	6	1.6433	B C D
K7G2	6	1.7033	B C D
K8G2	6	1.7500	C D
K8P2	5	1.9000	E
K5P3	7	2.5029	F
K7P3	7	3.2400	G
K8P3	7	3.9100	G
K5G3	5	4.2500	G H
K7G3	3	4.3333	G H
K8G3	3	4.5100	H

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 75 incelendiğinde; sarıçam odun yongalarından PO mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %70-30 karışım oranıyla üretilen S7P3 grubu ODPK'lerin en düşük eğilmede elastikiye modülüne, kavak odun yongalarından GL ve PO mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %80-20, %70-30 ve %50-50 karışım oranlarıyla üretilen K8P3, K7P3 ve K5P3 grubu ODPK'lerin en yüksek eğilmede elastikiyet modülüne sahip oldukları belirlenmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongalarından üretilen ODPK'lerin eğilmede elastikiye modülüne değerlerinin sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilenlere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 75. Odun doğal plastik kompozitlerinin eğilmede elastikiyet modülüne etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları (p≤0,05)

Levha Türü	N	Eğilmede Elastikiyet (MPa)	HG*
S7P3	6	189.1533	A
S8P3	6	194.0100	A B
S5G2	6	219.4067	A B C
S5P2	5	222.3240	A B C
S7P2	6	224.8617	A B C D

Tablo 75'in devamı

Levha Türü	N	Eğilmede Elastikiyet (MPa)	HG*
S5P3	5	235.9180	A B C D
S5G3	4	242.8450	A B C D
K5G2	6	260.9250	A B C D
K8G2	4	271.7825	A B C D E
K7G2	5	271.8000	A B C D E
S7G3	6	281.3367	B C D E
K5P2	7	289.6071	C D E
S8P2	3	289.7733	C D E
S8G2	4	295.5375	C D E
K8P2	4	297.6950	C D E
S7G2	4	307.8400	C D E
S8G3	6	309.1950	C D E
K7P2	7	312.7786	E
K5P3	7	360.8400	F
K5G3	6	463.4000	F
K7P3	6	472.7167	F
K7G3	4	478.7075	F
K8G3	5	511.1540	F
K8P3	7	529.0343	F

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Tablo 76 incelendiğinde; kavak odun yongalarından GL mantarı kullanılarak 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %50-50 karışım oranıyla üretilen K5G2 grubu ODPK'lerin en düşük darbe direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Kavak odun yongalarından GL mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak ve %80-20 karışım oranıyla üretilen K8G3 grubu ODPK'lerin en yüksek darbe direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongalarından üretilen ODPK'lerin darbe direnç değerlerinin sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilenlere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 76. Odun doğal plastik kompozitlerinin darbe direncine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Levha Türü	N	Darbe Direnci (kJ/m²)	HG*
K5G2	9	1.0000	A
K7G2	9	1.0189	A B
S5G2	10	1.0720	A B
K5P2	9	1.0822	A B

Tablo 76'nın devamı

Levha Türü	N	Darbe Direnci (kJ/m²)	HG*
K8G2	9	1.0822	A B
S5G3	8	1.1200	A B C D
S7P3	10	1.1500	A B C D
S7P2	8	1.1600	A B C D E
S5P2	7	1.1629	A B C D E
S7G3	6	1.1667	A B C D E
S8G2	8	1.2063	A B C D E
S8P3	10	1.2140	A B C D E
S5P3	9	1.2200	A B C D E
S8G3	7	1.2243	A B C D E
S7G2	6	1.2250	A B C D E
K5G3	10	1.2470	B C D E F
K5P3	9	1.2589	B C D E F
K8P2	9	1.2989	C D E F
S8P2	9	1.3044	C D E F
K7P2	10	1.3640	D E F
K7G3	8	1.3650	D E F
K7P3	10	1.3950	E F
K8P3	9	1.4967	F
K8G3	8	2.0213	G

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

Ağaç türünün, mantar türünün, inkübasyon süresinin ve karışım oranlarının ODPK'lerin çekme direncine etkilerini araştırmak amacıyla çoğul varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 77' de verilmiştir. Elde edilen çoğul varyans analiz sonuçlarına göre ağaç türünün, karşım oranın ve inkübasyon süresinin ODPK'lerin çekme direncine, çekmede elastikiyet modülüne, eğilme direncine, eğilmede elastikiyet modülüne ve darbe direncine etkisi anlamlı düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Mantar türünün ise ODPK'lerin darbe direnci dışındaki mekanik özelliklerine etkisi anlamlı düzeyde olduğu, darbe direncine etkisinin anlamlı düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 77. Ağaç türü, mantar türü, inkübasyon süresi ve karışım oranlarının ODPK'ların mekanik özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çoğul varyans analizi

Kaynaklar	Bağımlı Değişkenler	Tip III Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Düzeltilmiş Model	Çekme	12.287[a]	23	0.534	19.871	0.000
	Çekmede Elastikiyet	61620.085[b]	23	2679.134	9.734	0.000
	Eğilme	66.295[c]	23	2.882	68.045	0.000
	Eğilmede Elastikiyet	655968.250[d]	23	28520.359	20.525	0.000
	Darbe	2.087[e]	23	0.091	8.333	0.000
Intercept	Çekme	39.726	1	39.726	1477.621	0.000
	Çekmede Elastikiyet	564481.607	1	564481.607	2050.861	0.000
	Eğilme	240.721	1	240.721	5682.744	0.000
	Eğilmede Elastikiyet	5491956.624	1	5491956.624	3952.261	0.000
	Darbe	79.860	1	79.860	7334.141	0.000
Ağaç türü	Çekme	4.476	1	4.476	166.473	0.000
	Çekmede Elastikiyet	22261.687	1	22261.687	80.881	0.000
	Eğilme	24.669	1	24.669	582.355	0.000
	Eğilmede Elastikiyet	214131.397	1	214131.397	154.099	0.000
	Darbe	0.249	1	0.249	22.840	0.000
Mantar türü	Çekme	0.137	1	0.137	5.104	0.028
	Çekmede Elastikiyet	5058.061	1	5058.061	18.377	0.000
	Eğilme	2.918	1	2.918	68.893	0.000
	Eğilmede Elastikiyet	7433.805	1	7433.805	5.350	0.025
	Darbe	0.030	1	0.030	2.764	0.103
İnkübasyon süresi	Çekme	2.200	1	2.200	81.812	0.000
	Çekmede Elastikiyet	8315.186	1	8315.186	30.211	0.000
	Eğilme	14.954	1	14.954	353.027	0.000
	Eğilmede Elastikiyet	88780.177	1	88780.177	63.890	0.000
	Darbe	0.416	1	0.416	38.163	0.000
Karışım oranı	Çekme	0.253	2	0.127	4.709	0.013
	Çekmede Elastikiyet	3244.380	2	1622.190	5.894	0.005
	Eğilme	0.732	2	0.366	8.635	0.001
	Eğilmede Elastikiyet	33594.689	2	16797.345	12.088	0.000
	Darbe	0.459	2	0.229	21.055	0.000
Ağaç türü * Mantar türü	Çekme	0.098	1	0.098	3.631	0.062
	Elastikiyet	435.827	1	435.827	1.583	0.214
	Eğilme	1.185	1	1.185	27.979	0.000
	Eğilmede Elastikiyet	5053.805	1	5053.805	3.637	0.062
	Darbe	0.004	1	0.004	0.372	0.545

Tablo 77’nin devamı

Kaynaklar	Bağımlı Değişkenler	Tip III Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Ağaç türü * İnkübasyon süresi	Çekme	1.442	1	1.442	53.623	0.000
	Çekmede Elastikiyet	5436.321	1	5436.321	19.751	0.000
	Eğilme	17.744	1	17.744	418.889	0.000
	Eğilmede Elastikiyet	129946.601	1	129946.601	93.515	0.000
	Darbe	0.204	1	0.204	18.779	0.000
Ağaç türü * Karışım oranı	Çekme	0.028	2	0.014	0.518	0.599
	Çekmede Elastikiyet	1.461	2	0.730	0.003	0.997
	Eğilme	0.447	2	0.224	5.281	0.008
	Eğilmede Elastikiyet	1288.909	2	644.455	0.464	0.632
	Darbe	0.170	2	0.085	7.810	0.001
Mantar türü * İnkübasyon süresi	Çekme	0.000	1	0.000	0.008	0.928
	Çekmede Elastikiyet	255.689	1	255.689	0.929	0.340
	Eğilme	2.768	1	2.768	65.345	0.000
	Eğilmede Elastikiyet	10720.069	1	10720.069	7.715	0.008
	Darbe	0.106	1	0.106	9.738	0.003
Mantar türü * Karışım oranı	Çekme	0.222	2	0.111	4.131	0.022
	Çekmede Elastikiyet	1431.382	2	715.691	2.600	0.084
	Eğilme	0.145	2	0.073	1.715	0.190
	Eğilmede Elastikiyet	1591.804	2	795.902	0.573	0.568
	Darbe	0.139	2	0.069	6.367	0.003
İnkübasyon süresi * Karışım oranı	Çekme	0.227	2	0.114	4.222	0.020
	Çekmede Elastikiyet	360.910	2	180.455	0.656	0.524
	Eğilme	0.343	2	0.171	4.045	0.024
	Eğilmede Elastikiyet	3239.370	2	1619.685	1.166	0.320
	Darbe	0.200	2	0.100	9.189	0.000
Ağaç türü * Mantar türü * İnkübasyon süresi	Çekme	0.023	1	0.023	.854	0.360
	Çekmede Elastikiyet	1179.858	1	1179.858	4.287	0.044
	Eğilme	0.400	1	0.400	9.432	0.003
	Eğilmede Elastikiyet	0.147	1	0.147	0.000	0.992
	Darbe	0.061	1	0.061	5.594	0.022
Ağaç türü * Mantar türü * Karışım oranı	Çekme	0.628	2	0.314	11.674	0.000
	Çekmede Elastikiyet	909.368	2	454.684	1.652	0.202
	Eğilme	0.129	2	0.064	1.522	0.228
	Eğilmede Elastikiyet	9525.171	2	4762.586	3.427	0.040
	Darbe	0.078	2	0.039	3.566	0.036

Tablo 77'nin devamı

Kaynaklar	Bağımlı Değişkenler	Tip III Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Ağaç türü * İnkübasyon süresi * Karışım oranı	Çekme	0.262	2	0.131	4.869	0.012
	Çekmede Elastikiyet	196.407	2	98.204	0.357	0.702
	Eğilme	0.365	2	0.182	4.303	0.019
	Eğilmede Elastikiyet	22918.270	2	11459.135	8.247	0.001
	Darbe	0.188	2	0.094	8.624	0.001
Mantar türü * İnkübasyon süresi * Karışım oranı	Çekme	0.471	2	0.235	8.751	0.001
	Çekmede Elastikiyet	1314.516	2	657.258	2.388	0.102
	Eğilme	0.023	2	0.011	0.268	0.766
	Eğilmede Elastikiyet	759.686	2	379.843	0.273	0.762
	Darbe	0.120	2	0.060	5.488	0.007
Ağaç türü * Mantar türü * İnkübasyon süresi * Karışım oranı	Çekme	0.535	2	0.267	9.948	0.000
	Çekmede Elastikiyet	933.994	2	466.997	1.697	0.194
	Eğilme	0.397	2	0.199	4.691	0.014
	Eğilmede Elastikiyet	8559.456	2	4279.728	3.080	0.055
	Darbe	0.032	2	0.016	1.448	0.245
Hata	Çekme	1.344	50	.027		
	Çekmede Elastikiyet	13762.065	50	275.241		
	Eğilme	2.118	50	0.042		
	Eğilmede Elastikiyet	69478.663	50	1389.573		
	Darbe	.544	50	0.011		
Toplam	Çekme	64.014	74			
	Çekmede Elastikiyet	815270.155	74			
	Eğilme	337.075	74			
	Eğilmede Elastikiyet	7350351.270	74			
	Darbe	106.663	74			
Düzeltilmiş toplam	Çekme	13.632	73			
	Çekmede Elastikiyet	75382.151	73			
	Eğilme	68.413	73			
	Eğilmede Elastikiyet	725446.913	73			
	Darbe	2.631	73			

a. R^2= .901 (Düzeltilmiş R^2 = .856) b. R^2= .817 (Düzeltilmiş R^2 = .733) c. R^2= .969 (Düzeltilmiş R^2 = .955) d. R^2= .904 (Düzeltilmiş R^2 = .860) e. R^2= .793 (Düzeltilmiş R^2 = .698)

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 78-81'de verilmiştir.

Tablo 78. Karışım oranlarının çekme direncine etkisi

Karışım Oranı	N	Çekme Direnci	HG*
%50-50	31	0.7371	A
%80-20	19	0.8542	B
%70-30	24	0.9158	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

ODPK'ların çekme direnci değerlerine etkisi bağlamında karışım oranlarının kendi aralarındaki farkları incelendiğinde %50-50 karışım oranıyla %80-20 ve %70-30 oranları arasında anlamlı fark bulunmuştur. %80-20 ve %70-30 oranları arasında ise anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 79. Karışım oranlarının çekmede elastikiyet modülüne etkisi

Karışım Oranı	N	Çekmede Elastikiyet	HG*
%50-50	31	88.0474	A
%80-20	19	106.6800	B
%70-30	24	110.1271	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

ODPK'ların çekmede elastikiyet modülü değerlerine etkisi bağlamında karışım oranlarının kendi aralarındaki farkları incelendiğinde %50-50 karışım oranıyla %80-20 ve %70-30 oranları arasında anlamlı fark bulunmuştur. %80-20 ve %70-30 oranları arasında ise anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 80. Karışım oranlarının eğilme direncine etkisi

Karışım Oranı	N	Eğilme Direnci	HG*
%50-50	31	1.8158	A
%80-20	19	1.8674	A
%70-30	24	2.0513	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

ODPK'ların eğilme direnci değerlerine etkisi bağlamında karışım oranlarının kendi aralarındaki farkları incelendiğinde %50-50 ve %80-20 karışım oranıyla %70-30 oranları

arasında anlamlı fark bulunmuştur. %80-20 ve %50-50 oranları arasında ise anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Tablo 81. Karışım oranlarının eğilmede elastikiyet modülüne etkisi

Karışım oranı	N	Eğilmede Elastikiyet	HG*
%50-50	31	275.1410	A
%80-20	19	305.6395	B
%70-30	24	325.2046	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülü değerlerine etkisi bağlamında karışım oranlarının kendi aralarındaki farkları incelendiğinde %50-50 karışım oranıyla %80-20 ve %70-30 oranları arasında anlamlı fark bulunmuştur. %80-20 ve %70-30 oranları arasında ise anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

ODPK'ların darbe direnci değerlerine etkisi bağlamında karışım oranlarının kendi aralarındaki farkları incelendiğinde %50-50 karışım oranıyla %80-20 ve %70-30 karışım oranları arasında anlamlı fark bulunmuştur. %80-20 ve %70-30 karışım oranları arasında ise anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

3.5.5. ODPK Termal ve Yanma Özelliklerine Ait Bulgular

3.5.5.1. ODPK Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulgular

Odun doğal plastik kompozit levhaların, kavak odunun kontrol ve sarıçam odunun kontrol örneklerinin LOI değerleri belirlemiş ve Tablo 82'de verilmiştir.

Tablo 82. ODPK, kavak ve sarıçam odun örneklerinin (kontrol) LOI değerleri

Levha Grubu	Ağaç Türü	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Karışım Oranı	LOI Değerleri (%)
Kavak Kontrol	Kavak	-	-	-	25.3
K5P2		PO	20	%50-%50	27.5
K7P2				%70-%30	28.8
K8P2				%80-%20	29.4

Tablo 82'nin devamı

Levha Grubu	Ağaç Türü	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Karışım Oranı	LOI Değerleri (%)
K5P3	Kavak	PO	30	%50-%50	28.7
K7P3				%70-%30	28.9
K8P3				%80-%20	29
K5G2		GL	20	%50-%50	28.5
K7G2				%70-%30	28.6
K8G2				%80-%20	28.7
K5G3			30	%50-%50	28.7
K7G3				%70-%30	29.2
K8G3				%80-%20	29.5
Sarıçam Kontrol	Sarıçam	-	-	-	24.4
S5P2		PO	20	%50-%50	28.6
S7P2				%70-%30	28.9
S8P2				%80-%20	30.1
S5P3			30	%50-%50	28.3
S7P3				%70-%30	28.5
S8P3				%80-%20	28.8
S5G2		GL	20	%50-%50	28.7
S7G2				%70-%30	28.9
S8G2				%80-%20	29
S5G3			30	%50-%50	24.4
S7G3				%70-%30	28.6
S8G3				%80-%20	28.9

Elde edilen bulgulara göre, 3 farklı inkübasyona maruz bırakılan ve 2 farklı mantar türü kullanılarak üretilen ODPK'lerinin LOI değerleri hem 21'den hem de kavak ve sarıçam odunun kontrol gruplarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek LOI değeri PO mantarıyla aşılanmış ve 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun %80-20 karışım oranından üretilen S8P2 grubu ODPK'lerinde olduğu tespit edilmiştir. En düşük LOI ise PO mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun %50-50 karışımından üretilmiş K5P2 grubu ODPK'lerinde bulunmuştur.

3.5.5.2. ODPK'lerin Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) Analizlerine Ait Bulgular

Odun doğal plastik kompozit levhaların, kavak odunun kontrol ve sarıçam odunun kontrol örneklerinin Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik analizlerine (DTG) ait bulgular Tablo 83'te verilmiştir.

Tablo 83. ODPK, kavak odunun kontrol ve sarıçam odunun kontrol örneklerinin TGA analizlerine ait bulgular

Levha Grubu	Ağaç Türü	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Karışım Oranı	T_o (°C)	T_e (°C)	T_o - T_e Ağırlık Kaybı (%)	T_{max} (°C)	695°C'deki Kalıntı Miktarı (%)
Kavak Kontrol	Kavak	-	-	-	228.18	481.20	67.03	368.86	17.41
K5P2		PO	20	%50-%50	211.07	495.88	63.97	369.28	20.91
K7P2				%70-%30	212.43	495.50	61.67	378.62	19.68
K8P2				%80-%20	213.05	498.21	66.88	379.87	18.68
K5P3			30	%50-%50	215.52	500.00	64.49	373.01	20.40
K7P3				%70-%30	214.93	501.75	64.64	371.72	19.64
K5P3				%80-%20	218.73	498.03	65.99	357.55	19.36
K5G2		GL	20	%50-%50	208.31	522.71	60.29	270.53	18.79
K7G2				%70-%30	217.45	493.58	65.52	372.88	20.87
K8G2				%80-%20	225.19	517.76	65.80	379.07	18.76
K5G3			30	%50-%50	208.94	514.58	63.37	362.24	19.52
K7G3				%70-%30	217.80	500.71	62.71	360.64	19.71
K8G3				%80-%20	207.29	510.40	66.19	379.69	18.67
Sarıçam Kontrol	Sarıçam	-	-	-	226.57	496.19	66.80	379.75	16.22
S5P2		PO	20	%50-%50	215.27	507.37	66.18	377.74	19.63
S7P2				%70-%30	230.70	504.46	65.93	378.03	19.76
S8P2				%80-%20	230.81	509.69	66.18	293.07	18.74
S5P3			30	%50-%50	220.61	521.49	65.97	378.33	20.22
S7P3				%70-%30	218.79	520.95	66.01	377.33	19.85
S8P3				%80-%20	225.82	522.26	65.80	375.85	19.68
S5G2		GL	20	%50-%50	220.26	523.95	65.35	375.36	19.75
S7G2				%70-%30	224.76	520.86	66.15	378.77	18.72
S8G2				%80-%20	229.36	507.17	65.70	375.66	18.82
S5G3			30	%50-%50	223.25	514.85	65.75	375.44	19.85
S7G3				%70-%30	228.76	510.94	65.57	377.90	19.71
S8G3				%80-%20	224.36	512.20	66.46	375.86	18.67

T_o: Bozunmaya başlama sıcaklığı, T_e: Bozunma bitiş sıcaklığı, T_{max}: Maksimum bozunma sıcaklığı

3.5.6. ODPK'lerin Çürüklük Testine Ait Bulgular

Tez kapsamında üretilen ODPK'lerin *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarlarına karşı çürüklük testi gerçekleştirilmiş ve çürüklük mantarlarının meydana getirmiş olduğu ağırlık kayıpları Tablo 84'te verilmiştir.

Tablo 84. Çürüklük mantarlarının ODPK'lerinde meydana getirmiş olduğu ağırlık kayıpları

Levha Grubu	Ağaç Türü	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Karışım Oranı	Ağırlık Kaybı (%)			
					CP Mantarı		TV Mantarı	
					Ort.	Std.	Ort.	Std.
Kontrol	Kavak	-	-	-	53.21	8.24	34.17	3.71
K5P2		PO	20	%50-%50	46.98	2.21	17.04	1.24
K7P2				%70-%30	40.88	4.79	9.70	7.03
K8P2				%80-%20	38.06	7.95	4.35	2.30
K5P3			30	%50-%50	35.30	7.68	19.12	3.88
K7P3				%70-%30	30.61	15.02	12.83	1.10
K5P3				%80-%20	11.98	7.68	8.77	2.04
K5G2		GL	20	%50-%50	35.34	5.33	7.44	2.07
K7G2				%70-%30	34.26	2.91	18.43	2.21
K8G2				%80-%20	15.92	3.04	8.56	1.40
K5G3			30	%50-%50	42.92	6.81	10.71	3.44
K7G3				%70-%30	32.33	12.86	13.77	0.66
K8G3				%80-%20	29.85	6.45	8.19	1.24
S5P2	Sarıçam	PO	20	%50-%50	28.89	3.46	4.59	1.00
S7P2				%70-%30	27.73	4.06	5.11	1.46
S8P2				%80-%20	17.81	3.75	7.13	2.22
S5P3			30	%50-%50	35.41	5.86	6.11	1.18
S7P3				%70-%30	34.84	4.45	6.48	0.92
S8P3				%80-%20	21.12	4.79	15.54	1.83
S5G2		GL	20	%50-%50	28.05	6.44	14.53	5.48
S7G2				%70-%30	14.97	5.85	13.34	3.39
S8G2				%80-%20	11.96	4.11	5.28	0.75
S5G3			30	%50-%50	24.55	5.47	14.72	5.88
S7G3				%70-%30	13.38	5.05	12.84	4.27
S8G3				%80-%20	12.73	4.23	4.88	0.91

Kontrol sarıçam odun örneklerinde *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarları tarafından meydana getirilen ağırlık kayıpları sırasıyla %53.21 ve %34.17 olarak belirlenmiştir. Mantar çürüklük testi sonrasında elde edilen veriler incelendiğinde, ODPK'lerinde *Coniophora puteana* mantarının, *Trametes versicolor* mantarından daha fazla ağırlık kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. Kavak odun talaş/yongalarından üretilen ODPK'lerinde çürüklük mantarlarının neden olduğu ağırlık kayıpları sarıçam odun talaş/yongalarından üretilenlerinkinden daha fazla olduğu görülmüştür. Üretilen ODPK'lerin üretiminde kullanılan karışım oranlarındaki PO ve GL mantarına maruz bırakılmış odun oranının artmasıyla, çürüklük mantarları tarafından meydana getirilen ağırlık kayıplarının azaldığı görülmüştür. ODPK'lerin üretiminde kullanılan odun talaş/yongalarının mantarla aşılandıktan sonraki inkübasyon süresinin artmasıyla çürüklük testinde kullanılan mantarların neden olduğu ağırlık kayıplarının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.

3.6. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerine Ait Bulgular

3.6.1. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Yoğunluk Değerlerine Ait Bulgular

Tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin yoğunluk değerleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 85' de verilmiştir. Ambalaj malzemelerinin yoğunluk değerleri 0.18 ila 0.27 gr/cm^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kavak odun yonga/talaşlarına GL ve PO mantarı aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen ambalaj malzemelerinin yoğunluk değerlerinin en yüksek, 10 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra üretilenlerinkinin ise en düşük olduğu belirlenmiştir. Her ne kadar üretim öncesi ambalaj malzemelerinin hedeflenen yoğunluk değerlerine ulaşmak amacıyla aynı miktarda/ağırlıkta kavak odun yongası/talaşı kullanılmasına özen gösterilse de, kalıplama sırasında kalıpların içerisine (mantar inkübasyona maruz bırakılmış kavak odun yonga/talaşı) yerleştirilmesi esnasında meydana gelen kayıplardan veya lignoselülozik materyallerdeki (düşük oranda olsa dahi) rutubet farklılıklarından dolayı üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin yoğunluk değerlerinde farklılıklar olduğu belirlenmiştir.

Tablo 85. Misel esaslı ambalaj malzemelerin yoğunluk değerleri

Ambalaj Grubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Yoğunluk (g/cm^3)	
			Ort.	Std.
AG1	GL	10	0.18	0.01
AG2		20	0.26	0.05
AG3		30	0.24	0.10
AP1	PO	10	0.20	0.01
AP2		20	0.27	0.05
AP3		30	0.23	0.02

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

3.6.2. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Su Alma Oranlarına Ait Bulgular

Tez kapsamında üretilen ambalaj malzemeler 48 saat süreyle su alma testine maruz bırakılmış ve ambalaj malzemelerinin 2, 24 ve 48 saat sonunda su alma oranları tespit edilmiştir. Ambalaj malzemelerinin su alma oranlarına ilişkin veriler Tablo 86' da verilmiştir. GL mantarı kullanılarak 20 günlük inkübasyona maruz bırakılan kavak odunu yonga/talaşlarıyla üretilen ambalaj malzemelerinin en düşük su alma oranına sahip olduğu, 10 günlük inkübasyon sonunda üretilen ambalaj malzemelerinin ise en yüksek olduğu tespit edilmişidir.

Tablo 86. Ambalaj malzemelerinin su alma oranları (%)

Ambalaj Gurubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	2 Saat		24 Saat		48 Saat	
			Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
AG1	GL	10	131.32	17.29	188.10	43.32	178.64	54.28
AG2		20	111.80	6.04	111.43	2.90	115.50	2.73
AG3		30	217.10	6.80	220.51	6.14	222.51	6.33
AP1	PO	10	213.07	11.35	208.83	10.17	210.94	7.74
AP2		20	135.38	4.66	132.71	2.74	134.93	3.37
AP3		30	143.88	26.32	165.33	14.34	165.05	4.35

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Mantar türünün ve inkübasyon sürelerinin su alma oranlarına etkisinin belirlemek amacıyla basit Varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 87'de verilmiştir. Tablo 87 incelendiğinde mantar türü ve inkübasyon süresinin ambalaj malzemesinin su alma oranlarına etkisi anlamlı düzeyde bulunmuştur.

Tablo 87. Mantar türünün ve inkübasyon süresinin ambalaj malzemelerin su alma oranlarına ilişkin basit Varyans analizi

Su Alma Süresi (Saat)	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
2 saat	Gruplar arası	44131.627	5	8826.325	36.908	0.000
	Gruplar içi	4782.848	20	239.142		
	Toplam	48914.475	25			
24 saat	Gruplar arası	34346.306	5	6869.261	14.970	0.000
	Gruplar içi	8718.324	19	458.859		
	Toplam	43064.630	24			
48 saat	Gruplar arası	33065.997	5	6613.199	9.711	0.000
	Gruplar içi	12258.572	18	681.032		
	Toplam	45324.569	23			

2 saat su alma testi sonunda, varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 88'de verilmiştir.

Tablo 88. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 2 saat sonunda su alma oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları	N	Su Alma Oranı (%)	HG*
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	111.8000	A
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	131.3220	A
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	135.3800	A
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	143.8760	A
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	213.0680	B
GL mantarı İnkübasyon süresi 30 gün	5	217.1000	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

İki saat sonundaki su alma oranları incelendiğinde, en düşük su alma oranı GL mantarı kullanılarak ve 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG2 grubu ambalaj malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek su alma oranı ise GL mantarı kullanılarak ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG3 grubu ambalaj malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir. 20 günlük inkübasyon süresinde, mantar türünün ambalaj malzemelerinin bir saatlik su alma oranlarına anlamlı bir etkiye sahip olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte, 10 ve 30 günlük inkübasyon süresinde, mantar türünün ambalaj malzemelerinin 2 saatlik su alma oranlarına

anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. GL mantarı kullanıldığında 10 ve 20 günlük inkübasyon sürelerinin ve PO mantarı kullanıldığında, 20 ve 30 günlük inkübasyon sürelerinin ambalaj malzemelerinin 2 saatlik su alma oranlarına etkisi anlamlı düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

24 saat su alma testi sonunda, varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 89'de verilmiştir.

Tablo 89. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 24 saat sonunda su alma oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0,05$)

Varyans Kaynakları	N	Su Alma Oranı (%)	HG*			
GL mantarı İnkübasyon süresi 20 gün	3	111.4333	A			
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	132.7133	A	B		
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	4	165.3300		B	C	
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	188.1020			C	D
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	208.8300			C	D
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	220.5060				D

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

24 saat sonunda su alma oranları incelendiğinde, en düşük su alma oranı GL mantarı kullanılarak ve 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG2 grubu ambalaj malzemelerinde olduğu belirlenmiştir. En yüksek su alma oranı ise GL mantarı kullanılarak ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG3 grubu ambalaj malzemelerinde olduğu belirlenmiştir. 10 ve 20 günlük inkübasyon süresinde, mantar türünün ambalaj malzemelerinin 24 saatlik su alma oranlarına anlamlı bir etkiye sahip olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte, 30 günlük inkübasyon süresinde, mantar türünün ambalaj malzemelerinin 24 saatlik su alma oranlarına anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. GL mantarı kullanıldığında 10 ve 30 günlük inkübasyon sürelerinin ve PO mantarı kullanıldığında, 20 ve 30 günlük inkübasyon sürelerinin ambalaj malzemelerinin 24 saatlik su alma oranlarına etkisi anlamlı düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

48 saat su alma testi sonunda, varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 90'de verilmiştir.

Tablo 90. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 48 saat sonunda su alma oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları	N	Su Alma Oranı (%)	HG		
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	115.5000	A		
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	134.9300	A	B	
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	3	165.0500	A	B	C
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	178.6360		B	C
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	210.9380			C
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	222.5040			C

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

48 saat sonunda su alma oranları incelendiğinde, en düşük su alma oranı GL mantarı kullanılarak ve 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG2 grubu ambalaj malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek su alma oranı ise GL mantarı kullanılarak ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG3 grubu ambalaj malzemelerinde tespit edilmiştir. Mantar türünün ambalaj malzemelerinin 48 saatlik su alma oranlarına anlamlı bir etkiye sahip olmadığı bulunmuştur. GL mantarı kullanıldığında 10 ve 30 günlük inkübasyon sürelerinin ve PO mantarı kullanıldığında, 10 ve 20 günlük inkübasyon sürelerinin ambalaj malzemelerinin 48 saatlik su alma oranlarına etkisi anlamlı düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

3.6.3. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Kalınlık Artış Oranlarına Ait Bulgular

Tez kapsamında üretilen ambalaj malzemeler 48 saat süreyle su alma testine maruz bırakılmış ve ambalaj malzemelerin 2, 24 ve 48 saat sonunda kalınlık artış oranları tespit edilmiştir. Ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranlarına ilişkin veriler Tablo 91' da verilmiştir. GL mantarı kullanılarak 30 günlük inkübasyona maruz bırakılan kavak odunu yonga/talaşlarıyla üretilen ambalaj malzemelerinin en düşük kalınlık artış oranına sahip

olduğu, PO mantarı kullanılarak 30 günlük inkübasyon sonunda üretilen ambalaj malzemelerinin ise en yüksek olduğu tespit edilmişidir.

Tablo 91. Ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranları (%)

Ambalaj Gurubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	2 Saat		24 Saat		48 Saat	
			Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
AG1	GL	10	1.33	1.06	2.48	1.61	3.41	1.05
AG2		20	2.67	0.61	3.86	0.22	4.61	0.33
AG3		30	1.01	0.68	2.14	0.67	2.51	0.44
AP1	PO	10	2.96	1.97	5.15	0.90	4.64	2.30
AP2		20	3.76	0.43	5.21	0.67	5.98	1.34
AP3		30	3.19	0.51	5.68	1.70	6.22	1.62

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Mantar türünün ve inkübasyon sürelerinin kalınlık artış oranlarına etkisinin belirlemek amacıyla basit Varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 92'de verilmiştir. Tablo 92 incelendiğinde mantar türü ve inkübasyon süresinin ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranlarına etkisi anlamlı düzeyde bulunmuştur.

Tablo 92. Mantar türünün ve inkübasyon süresinin üretilmiş ambalaj malzemelerinin kalınlık artışı oranlarına ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Kalınlık Artış Oranı 2 Saat	Gruplar arası	25.835	5	5.167	4.282	0.008
	Gruplar içi	24.134	20	1.207		
	Toplam	49.969	25			
Kalınlık Artış Oranı 24 Saat	Gruplar arası	51.186	5	10.237	7.748	0.000
	Gruplar içi	25.104	19	1.321		
	Toplam	76.290	24			
Kalınlık Artış Oranı 48 Saat	Gruplar arası	40.504	5	8.101	4.119	0.011
	Gruplar içi	35.404	18	1.967		
	Toplam	75.909	23			

2 saat su alma testi sonunda, varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 93'de verilmiştir.

Tablo 93. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 2 saat sonunda kalınlık artış oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları	N	Kalınlık Artış Oranı (%)	HG*
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	1.0140	A
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	1.3300	A
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	2.6633	A B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	2.9580	A B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	3.1940	A B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	3.7667	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

2 Saat sonunda ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranları incelendiğinde, en düşük kalınlık artış oranı GL mantarı kullanılarak ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG3 grubu ambalaj malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kalınlık artış oranı ise PO mantarı kullanılarak ve 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AP2 grubu ambalaj malzemelerinde tespit edilmiştir. GL veya PO mantarı kullanıldığında inkübasyon sürelerinin ambalaj malzemelerinin kalınlık arış oranlarına etkisinin anlamlı düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

24 saat su alma testi sonunda, varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 94'de verilmiştir.

Tablo 94. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 24 saat sonunda kalınlık artış oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları	N	Kalınlık Artış Oranı (%)	HG*
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	2.1400	A
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	2.4800	A
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	3.8633	A B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	5.1500	B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	5	5.2067	B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	3	5.6850	B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	3.7667	B

*Farklı harfler gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olduğunu belirtmektedir.

24 Saat su alma testi sonunda ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranları incelendiğinde, en düşük kalınlık artış oranının GL mantarı kullanılarak ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG3 grubu ambalaj malzemelerinde olduğu belirlenmiştir. En yüksek kalınlık artış oranının ise PO mantarı kullanılarak ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AP3 grubu misel esaslı ambalaj malzemelerinde olduğu belirlenmiştir. GL veya PO mantarı kullanıldığında inkübasyon sürelerinin ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranlarına etkisinin anlamlı düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

48 saat su alma testi sonunda, varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 95'de verilmiştir.

Tablo 95. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin 48 saat sonunda kalınlık artış oranlarına etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

Varyans Kaynakları	N	Kalınlık Artış Oranı (%)	HG*	
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	2.5040	A	
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	3.4140	A	B
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	3	4.6100	A	B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	4.6360	A	B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	5	5.9833		B
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	3	6.2233		B

48 Saat sonunda ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranları incelendiğinde, en düşük kalınlık artış oranının GL mantarı kullanılarak ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AG3 grubu misel esaslı ambalaj malzemelerinde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kalınlık artış oranı ise PO mantarı kullanılarak ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yonga/talaşlarından üretilen AP3 misel esaslı ambalaj malzemelerinde tespit edilmiştir. GL veya PO mantarı kullanıldığında inkübasyon sürelerinin ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranlarına etkisinin anlamlı düzeyde olmadığı belirlenmiştir.

3.6.4. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

Tez kapsamında üretilen ambalaj malzemelerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci belirlenmiş, elde edilen veriler Tablo 96' da verilmiştir. GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odunu yonga/talaşlarından üretilen AG3 grubu misel esaslı ambalaj malzemelerin eğilme direncinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. PO mantarı ve 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen AP1 grubu misel esaslı ambalaj malzemelerinin eğilme direncinin ise en düşük olduğu belirlenmiştir. Elastikiyet modülü değerlerinin her iki mantarın 20 günlün inkübasyon süresinin sonunda üretilen AG2 ve AP2 grubu misel esaslı ambalaj malzemelerinde en yüksek olduğu belirlenmiştir. GL mantarıyla üretilen ambalaj malzemelerin basınç direnç değerlerinin PO mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 96. Ambalaj malzemelerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci değerleri

Ambalaj Gurubu	Mantar Türü	İnkübasyon Süresi (Gün)	Eğilme direnci (MPa)		Elastikiyet Modülü (MPa)		Basınç Direnci (MPa)	
			Ort.	Std.	Ort.	Std.	Ort.	Std.
AG1	GL	10	0.38	0.05	20.97	2.50	0.52	0.03
AG2		20	0.37	0.06	32.16	3.91	0.66	0.03
AG3		30	0.58	0.35	25.33	8.36	0.56	0.01
AP1	PO	10	0.27	0.06	24.12	1.67	0.46	0.01
AP2		20	0.40	0.10	29.35	2.23	0.50	0.03
AP3		30	0.30	0.10	18.99	1.24	0.55	0.02

Ort: Ortalama Değer
Std: Standart Sapma

Mantar türünün ve inkübasyon sürelerinin ambalaj malzemelerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci üzerine etkisini belirlemek amacıyla basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 97' da verilmiştir. Tablo 97 incelendiğinde mantar türü ve inkübasyon süresinin ambalaj malzemelerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci üzerine etkisi anlamlı düzeyde olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte mantar türü ve inkübasyon süresinin misel esaslı ambalaj malzemesinin basınç direnci üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi maksadıyla yapılan Tukey testi sonuçları Tablo 98'de verilmiştir.

Tablo 97. Mantar türünün ve inkübasyon süresinin üretilmiş misel esaslı ambalaj malzemelerinin direnç değerlerine etkisine ilişkin basit varyans analizi

	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Hesap	Önem Derecesi
Elastikiyet Modülü	Gruplar arası	263.854	5	52.771	2.891	0.072
	Gruplar içi	182.517	10	18.252		
	Toplam	446.371	15			
Eğilme Direnci	Gruplar arası	0.198	5	0.040	1.347	0.298
	Gruplar içi	0.440	15	0.029		
	Toplam	0.638	20			
Basınç Direnci	Gruplar arası	0.181	5	0.036	64.731	0.000
	Gruplar içi	0.020	35	0.001		
	Toplam	0.201	40			

Tablo 98. GL ve PO mantarıyla ve 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon süresiyle üretilen ambalaj malzemelerinin basınç direncine etkileri araştırılan varyans kaynakları ortalamalarının Tukey testi sonuçları ($p \leq 0.05$)

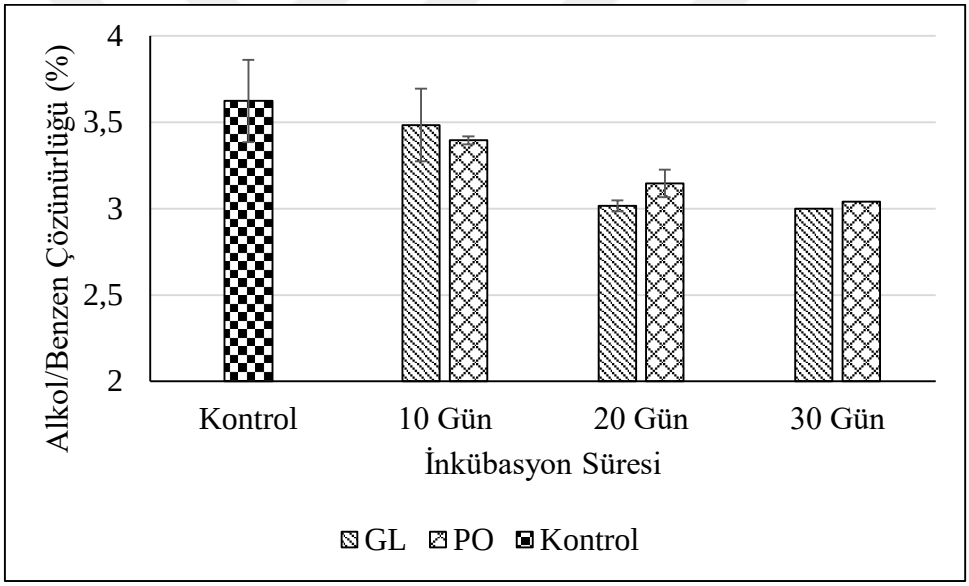
Varyans Kaynakları	N	Basınç Direnci (MPa)	HG*		
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	5	0.46	A		
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	5	0.50		B	
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 10 Gün	3	0.52		B	C
PO Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün		0.55			C
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 30 Gün	5	0.56			C
GL Mantarı İnkübasyon Süresi 20 Gün	5	0.66			D

4. İRDELEME

4.1. Lignoselülozik Materyal Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

4.1.1. Buğday Sapının Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış buğday sapı (saman) materyalinin alkol/benzen çözünürlük oranları Şekil 46'da verilmiştir.



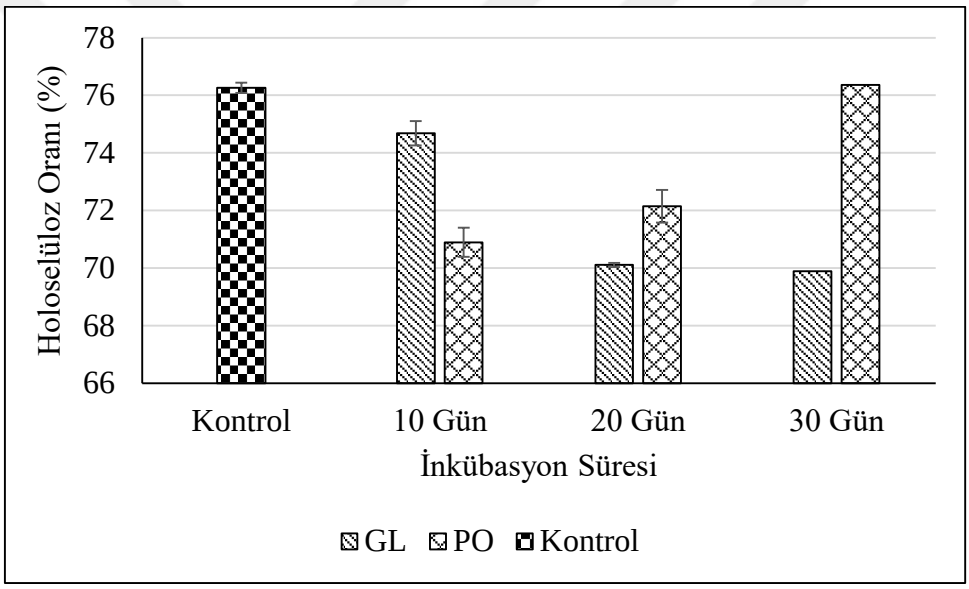
Şekil 46. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının alkol/benzen çözünürlük oranları

GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış buğday sapının inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla alkol/benzen çözünürlüğünün azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış buğday sapının alkol/benzen çözünürlüğü kontrol örneklerine göre en çok azalışı GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında %3, en az azalışı ise GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında %3.48 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen alkol/benzen çözünürlüğü sonuçlarına benzer sonuçlar çeşitli araştırıcılar tarafından tespit edilmiştir. Bajpai vd. (2004) *C. subvermispora* mantarı ile 1 hafta süreyle inkübe edilen buğday saplarının alkol/benzen çözünürlüğü oranının %6.1'den %3.4'e düştüğünü tespit etmişlerdir.

Buğday sapının mantar ile muamele süresi arttıkça mantarların ekstraktifleri besin kaynağı olarak görmesinden dolayı inkübasyon süresinin artmasıyla buğday sapında alkol/benzen çözünürlüğünün azalmasına sebep olduğu bildirilmiştir (Villalba vd., 2000).

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış buğday sapı materyalinin holoselüloz oranları Şekil 47'de verilmiştir.

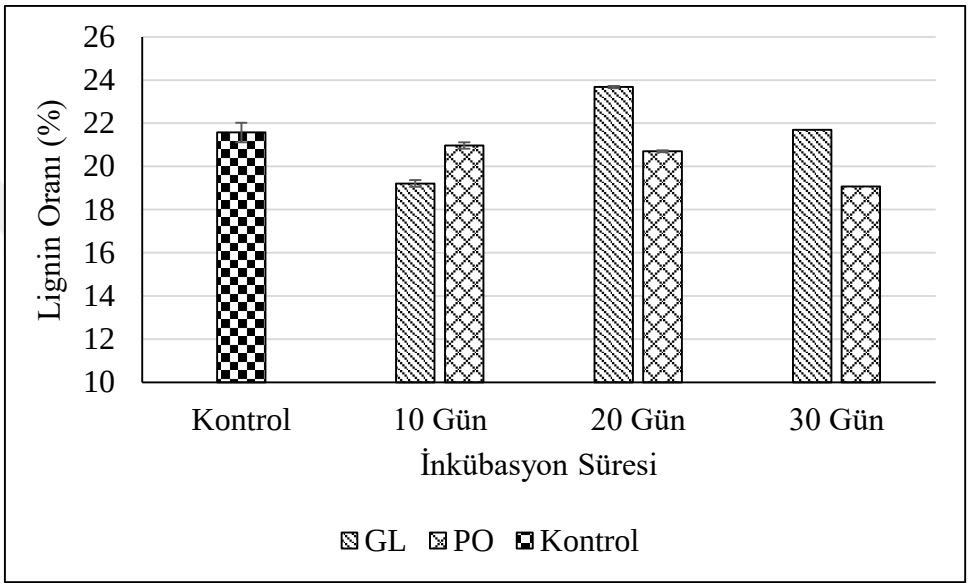


Şekil 47. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının holoselüloz oranları

GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış buğday sapının inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla holoselüloz oranının azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar türleriyle inkübasyona bırakılmış buğday sapının holoselüloz oranı kontrol buğday sapına göre en çok azalışı GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında (%69.70), en az azalışı ise PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında (%76.21) tespit edilmiştir.

Gezer vd. (2005) *Pleurotus ostreatus* mantarı ile 14 hafta muamele edilen göl kamışı saplarının holoselüloz oranının %83.69'dan %71.33'e düştüğünü tespit etmişlerdir. Liu vd. (2020) *Ganoderma lucidum* mantarı ile 2 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılan pamuk saplarının holoselüloz oranının %68.4'den %58.7'ye düştüğünü tespit etmişlerdir.

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış buğday sapı materyalinin lignin oranları Şekil 48'de verilmiştir.



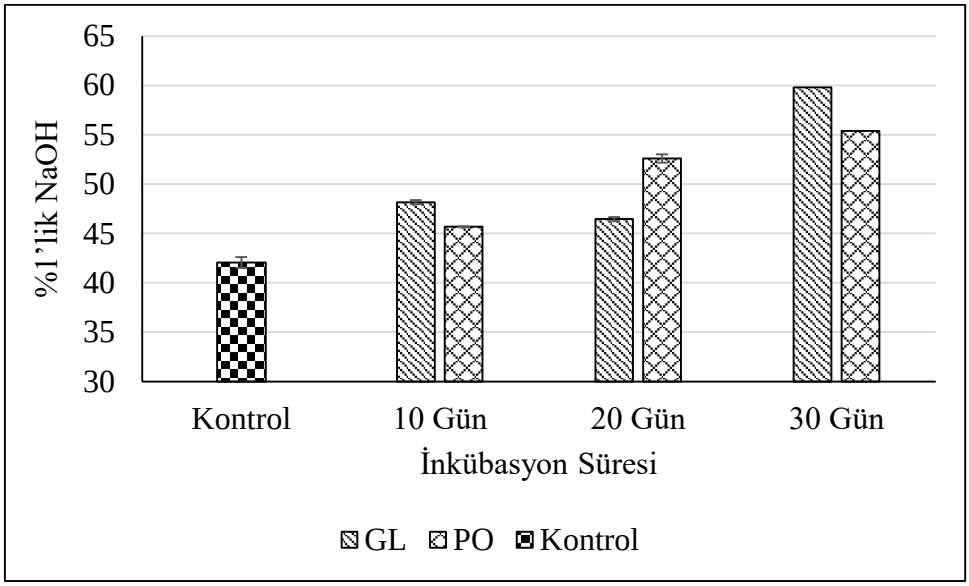
Şekil 48. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının lignin oranları

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanan buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla lignin oranın azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış buğday sapındaki lignin oranı en çok azalışı PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında %19.13, en az azalışı ise GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında %21.90 olarak tespit edilmiştir. Ancak 20 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapında %23.80 olarak belirlenmiştir. Şekil 47'de görüleceği üzere 20 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapındaki holoselüloz oranı kontrol buğday saplarının holoselüloz oranına göre azaldığı belirlenmiştir. 20 gün GL mantar inkübasyonuna maruz kalmış buğday sapındaki lignin oranın yüksek olmasının göreceli olarak ligninin fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen lignin kaybı sonuçları literatür ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Bajpai vd. (2004) *C. subvermispora* mantarı ile 1 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılan buğday saplarında lignin oranının %20.1'den %16.8'e düştüğünü belirlenmiştir. Gezer vd. (2005) yaptıkları çalışmada *Pleurotus ostreatus* mantarı ile 14 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılan göl kamışı saplarının lignin oranının %21.90'dan %17.01'e düştüğünü tespit etmişlerdir. Liu vd. (2020) *Ganoderma lucidum* mantarı ile 2 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılan pamuk saplarının lignin oranının %19.4'den %12.5'e düştüğünü tespit etmişlerdir.

Mantar inkübasyonuna maruz bırakılan buğday sapındaki lignin β-O-aril bağlarını biyodegradasyona uğratması (Guerra vd. 2004) ve parçalaması (Srebotnik vd. 1997) ile lignin miktarının azaldığı bildirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan GL ve PO mantarlarının I. Tip beyaz çürüklük mantarları olması nedeniyle lignin oranında zaten azalma beklenmektedir.

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış buğday sapı (saman) materyalinin %1'lik NaOH çözünürlük oranları Şekil 49' de verilmiştir.



Şekil 49. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının %1'lik NaOH çözünürlük oranları

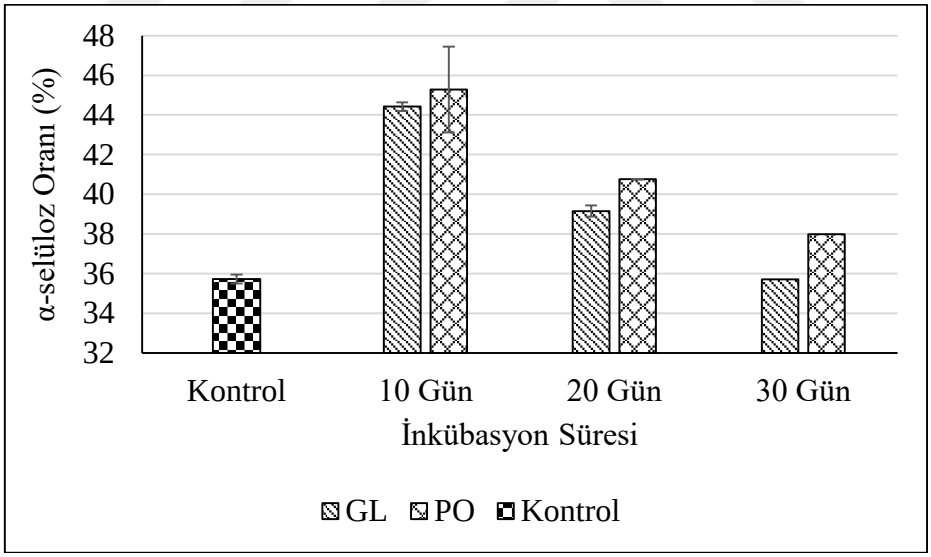
GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış buğday saplarında inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla %1'lik NaOH çözünürlüğünün arttığını

tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantarlarla aşılanıp inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının %1'lik NaOH çözünürlüğünde en çok artış GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında %59.60, en az artış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında %45.67 olarak belirlenmiştir.

Buğday sapının mantar ile inkübasyon süresi arttıkça %1'lik NaOH çözünürlüğü değerlerindeki artışın, NaOH'ın hemiselüloz ve degrade olmuş selülozu ekstraksiyonundan dolayı olduğunu bildirilmiştir. (Villalba vd. 2000).

Bu çalışmada elde edilen %1'lik NaOH çözünürlüğü sonuçlarına benzer sonuçlar diğer araştırıcılar tarafından rapor edilmiştir. Gezer vd. (2005) yaptıkları çalışmada, *Pleurotus ostreatus* mantarı ile 14 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılmış göl kamışı saplarının %1'lik NaOH çözünürlüğü oranın %29.40'dan %37.47'e arttığını tespit etmişlerdir.

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış buğday sapı materyalinin α-selüloz oranları Şekil 50'de verilmiştir.



Şekil 50. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının α-selüloz oranları

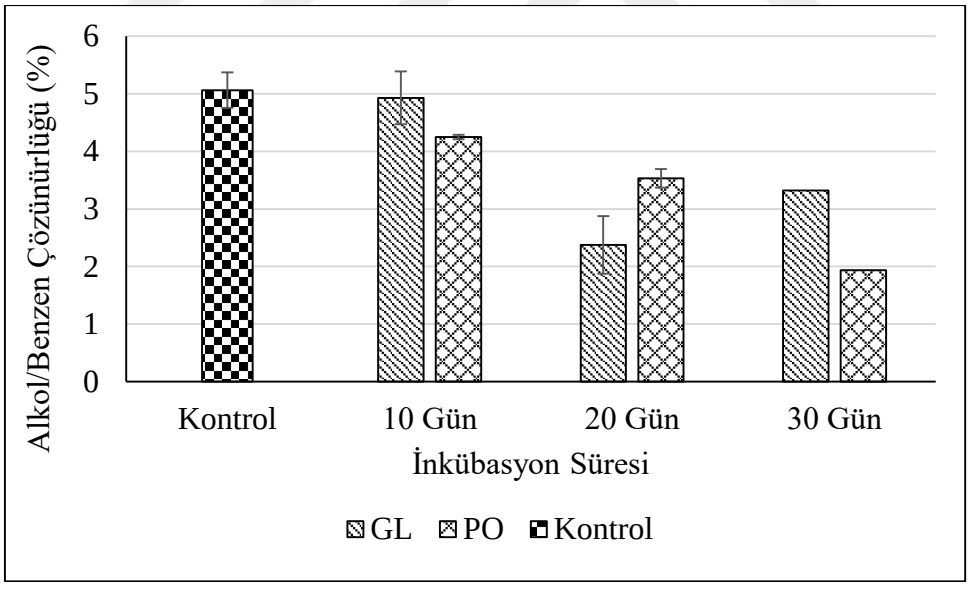
GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla α-selüloz oranının arttığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantarlarla inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapının α-selüloz oranındaki en çok artış GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle

inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında %46.60, en az artış ise GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında %35.52 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçların aksine, Gezer vd. (2005) yaptıkları çalışmada, *Pleurotus ostreatus* mantarı ile 14 hafta süreyle muamele edilen göl kamışı saplarının α-selüloz oranın %52.06'dan %42.56'ya düştüğünü tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin, Gezer vd (2005) yapmış oldukları çalışmada inkübasyon süresinin mevcut çalışmaya göre oldukça uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.2. Sarıçam Odunun Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış sarıçam odunundaki alkol/benzen çözünürlük 51'de verilmiştir.



Şekil 51. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun alkol/benzen çözünürlük oranları

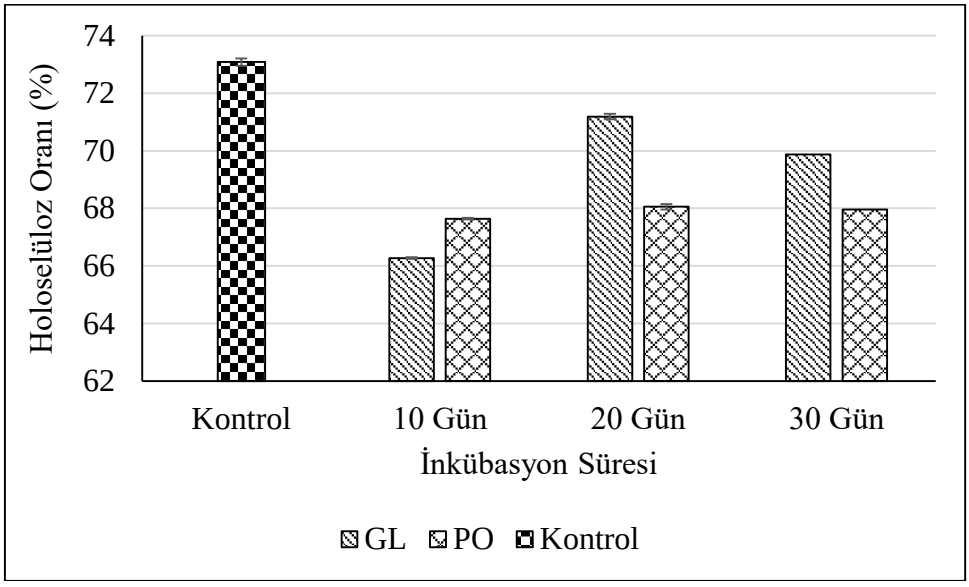
GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla alkol/benzen çözünürlüğünün azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış sarıçam yongalarının alkol/benzen çözünürlüğü sarıçam yongaları kontrol örneklerine göre en çok

azalış PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam yongaları %1.94, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam yongalarında %2.38 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen alkol/benzen çözünürlüğü sonuçlarına benzer sonuçlar çeşitli araştırıcılar tarafından da rapor edilmiştir. Mendonça vd. (2002) yaptıkları çalışmada, *C. subvermispora* mantarı ile muameleye maruz bırakılmış *Pinus teada* yongalarında mantar muamelesinin 15, 30, 60 ve 90. günlerinde ekstraktif kaybını sırasıyla %28, %32, %48 ve %65 olarak belirlenmiştir. Tozluoğlu (2007) yaptıkları çalışmada, *C. subvermispora* beyaz çürüklük mantarı ile 4 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılan *Pinus brutia* yongalarında ekstraktif oranının %1.86'dan %1.06'ya düştüğünü tespit etmiştir. Gülsoy (2009) yaptığı çalışmada, *C. subvermispora* beyaz çürüklük mantarı ile 20, 40, 60, 80 ve 100 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan *Pinus nigra* yongalarında ekstraktif oranındaki azalma sırasıyla %15.49, %32.52, %47.12, %54.20 ve %55.09 olarak belirlemiştir.

Sarıçam yongalarının mantar ile muamele süresi arttıkça mantarların ekstraktifleri besin kaynağı olarak görmesinden dolayı inkübasyon süresiyle artmasıyla sarıçam yongalarında alkol/benzen çözünürlüğünün azalmasına sebep olduğu bildirilmiştir (Villalba vd., 2000).

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış sarıçam odunun holoselüloz oranları Şekil 52'de verilmiştir.

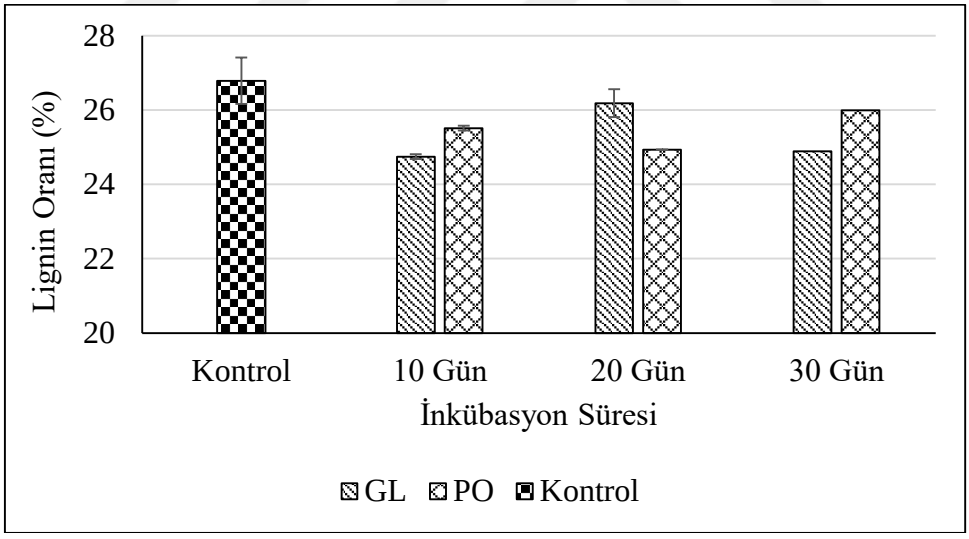


Şekil 52. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun holoselüloz oranları

GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla holoselüloz oranının azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantarlarla inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam yongalarının holoselüloz oranı sarıçam yongaları kontrol örneklerine göre en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam yongalarında (%66.27), en az azalış ise GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam yongalarında (%71.40) tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen holoselüloz oranı sonuçlarına benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. İstek vd. (2005) *Phanerochaete chrysosporium*, mantarı ile 20, 40 ve 60. gün muameleye tabi tutulmuş *Abies bornmulleriana* yongalarının holoselüloz oranın %72.8' den sırasıyla %66.1, %63.8 ve %65.2'ye azaldığını tespit etmişlerdir.

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış sarıçam odundaki lignin oranları Şekil 53'te verilmiştir.



Şekil 53. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun lignin oranları

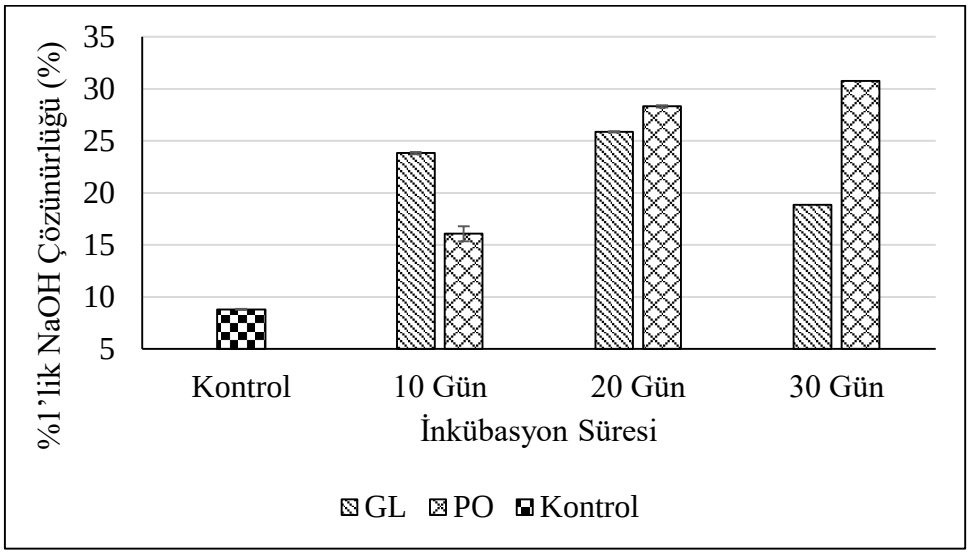
GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla lignin oranın azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün farklı mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam yongalarının lignin oranı kontrol örneklerine göre en çok azalışı PO mantarıyla aşılanmış ve 20 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam yongaları (%24.66), en az azalışı ise GL mantarıyla

aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam yongalarında (%26.18) belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen lignin kaybı sonuçlarına benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da belirlenmiştir. Ferraz vd. (2000) *C. subvermispora* mantarı ile 90 gün süreyle inkübasyona tabi tutulmuş *Pinus radiata* yongalarının lignin oranının %27.5'den %22.3'e indiğini tespit etmişlerdir. İstek vd. (2005) *Phanerochaete chrysosporium*, mantarı ile 20, 40 ve 60. gün muameleye tabi tutulan *Abies bornmulleriana* yongalarının lignin oranlarının %26.7'den sırasıyla %25.7, %24.9 ve %22.7'ye düştüğü belirtilmiştir. Tozluoğlu (2007) *C. subvermispora* beyaz çürüklük mantarı ile 4 hafta muameleye tabi tutulmuş *Pinus brutia* yongalarının lignin oranının %25.1'den %22.6'ya düştüğünü tespit etmiştir. Gülsoy (2009) *C. subvermispora* beyaz çürüklük mantarı ile 20, 40, 60, 80 ve 100 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan *Pinus nigra* yongalarının lignin kayıpları sırasıyla %2.84, %6.07, %9.02, %10.31 ve %12.14 olarak belirlemiştir.

Mantar inkübasyonuna maruz bırakılan sarıçam yongalarının lignindeki β-O-aril bağlarını biyodegradasyona uğratması (Guerra vd. 2004) ve parçalaması (Srebotnik vd. 1997) nedeni ile lignin miktarının azaldığını bildirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan GL ve PO mantarlarının I. Tip beyaz çürüklük mantarları olduğundan dolayı lignin oranında azalma beklenmektedir.

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış sarıçam odundaki %1'lik NaOH çözünürlük oranları Şekil 54'te verilmiştir.



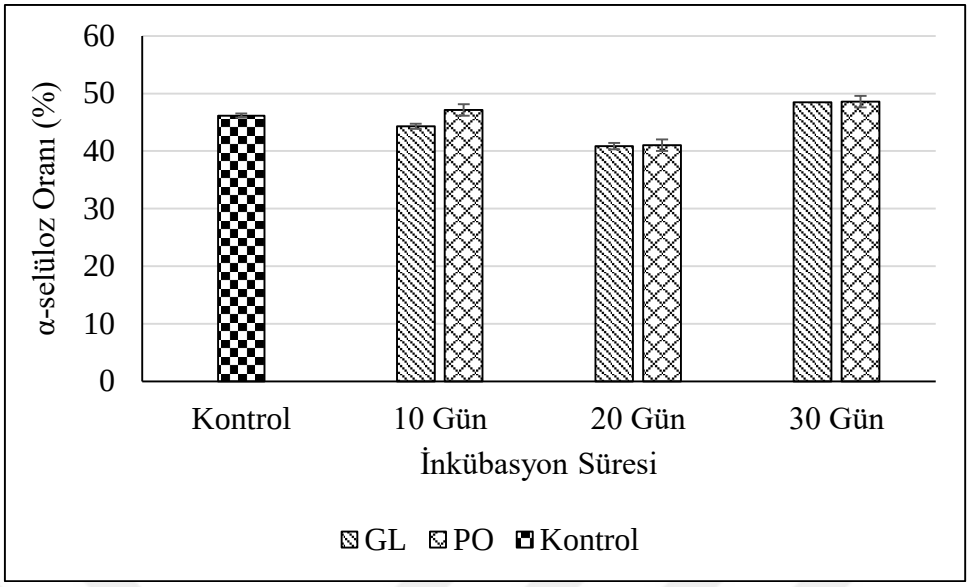
Şekil 54. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun %1'lik NaOH çözünürlük oranları

GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla %1'lik NaOH çözünürlük oranın da arttığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış sarıçam yongalarının %1'lik NaOH çözünürlüğü kontrol örneklerine göre en çok artış PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam yongalarında (%30.77), en az artış ise PO mantarıyla aşılamış ve 10 gün süreyle inkübasyona maruz kalmış sarıçam yongalarında (%16.07) belirlenmiştir

Bu çalışmada elde edilen %1'lik NaOH çözünürlük oranı sonuçlarına benzer sonuçları diğer araştırıcılar tarafından da rapor edilmiştir. Villalba vd. (2006) *C. subvermispora* mantarı ile 4 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılan *Pinus taeda* yongalarında %1'lik NaOH çözünürlüğü oranının %11.5'den %18.8'e yükseldiği belirlenmiştir. İstek vd. (2005) *Phanerochaete chrysosporium*, mantarı ile aşılanan *Abies bornmulleriana* yongalarında mantar muamelesinin 20, 40 ve 60. inkübasyon sürelerinin sonunda %1'lik NaOH çözünürlüğü oranları (kontrol) %7.3'den sırasıyla %15.4, %16.7 ve %16.6'a arttığını tespit etmişlerdir. Tozluoğlu (2007) *C. subvermispora* beyaz çürüklük mantarı ile 4 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılan *Pinus brutia* yongalarında %1'lik NaOH çözünürlüğü oranının %13.1'den %21.6'ya yükseldiğini bildirmiştir. Gülsoy (2009) *C. subvermispora* beyaz çürüklük mantarı ile aşılanan ve 20, 40, 60, 80 ve 100 gün inkübasyona maruz bırakılan *Pinus nigra* yongalarında kontrol yongalarına oranla %1'lik NaOH çözünürlüğü değerlerindeki artış oranlarını sırasıyla %42.26, %46.07, %53.93, %59.19 ve %67.85 olarak bildirmiştir.

Mantar miselleriyle aşılanan sarıçam yongalarının inkübasyon süresi arttıkça %1'lik NaOH çözünürlüğü değerlerindeki yükselişi, NaOH'ın hemiselüloz ve degrade olmuş selülozu ekstraksiyonundan kaynaklandığını bildirilmiştir (Villalba vd. 2000).

GL ve PO mantarı ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış sarıçam odundaki α-selüloz oranları Şekil 55'te verilmiştir.



Şekil 55. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun α-selüloz oranları

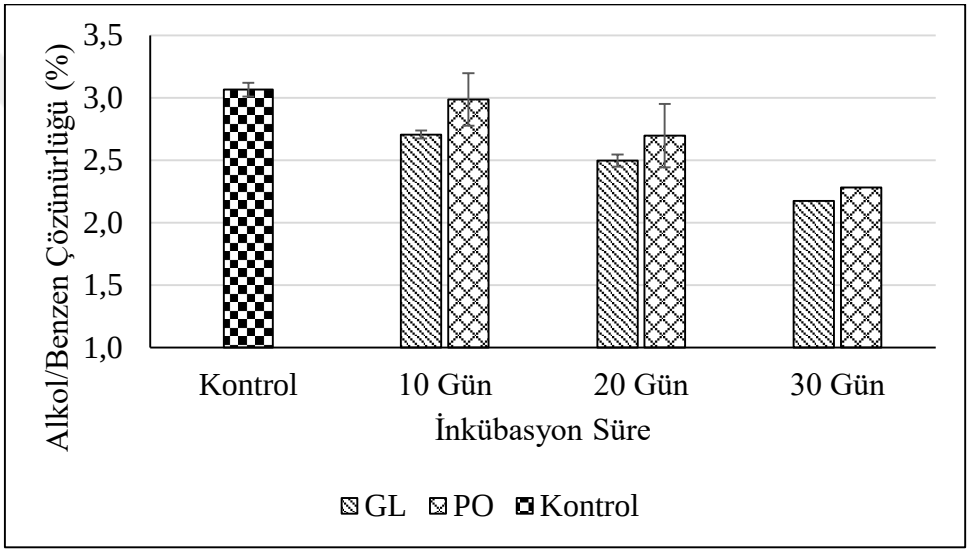
GL ve PO mantar miselleri ile aşılanıp, inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla α-selüloz oranı genellikle azaldığı belirlenmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar muamelesine maruz bırakılmış sarıçam odunun α-selüloz oranı en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam yongalarında, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam yongalarında belirlenmiştir. Fakat GL ve PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında α-selüloz oranı sırasıyla %48.48 ve %48.60 olarak belirlenmiştir. Şekil 52'de görüleceği üzere GL ve PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam yongalarının holoselüloz oranının yüksek olduğu belirlenmiştir. GL ve PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam yongalarının α-selüloz oranın artmış olması holoselüloz oranının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen α-selüloz oranı sonuçlarına benzer sonuçlar çeşitli araştırıcılar tarafından da rapor edilmiştir. Gülsoy (2009) *C. subvermispora* beyaz çürüklük mantarı ile aşılanan ve 20, 40, 60, 80 ve 100 gün inkübasyona maruz bırakılan *Pinus nigra* yongalarında kontrol yongalarına oranla α-selüloz oranlarındaki azalma sırasıyla %2.02, %5.74, %7.11, %6.67 ve %5.74 olarak belirlemiştir. Fakat İstek vd. (2005) *Phanerochaete chrysosporium* mantarı ile 20 ve 40 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış *Abies*

bornmulleriana yongalarının α-selüloz oranları %56'dan sırasıyla %55.6, %54.5'e düştüğünü, 60 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış *Abies bornmulleriana* yongalarının ise α-selüloz oranları %56 dan %57.6'ya yükseldiğini tespit etmişlerdir.

4.1.3. Kavak Odunun Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

GL ve PO mantarı ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış kavak odunundaki alkol/benzen çözünürlük oranları Şekil 56'da verilmiştir.



Şekil 56. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun alkol/benzen çözünürlük oranları

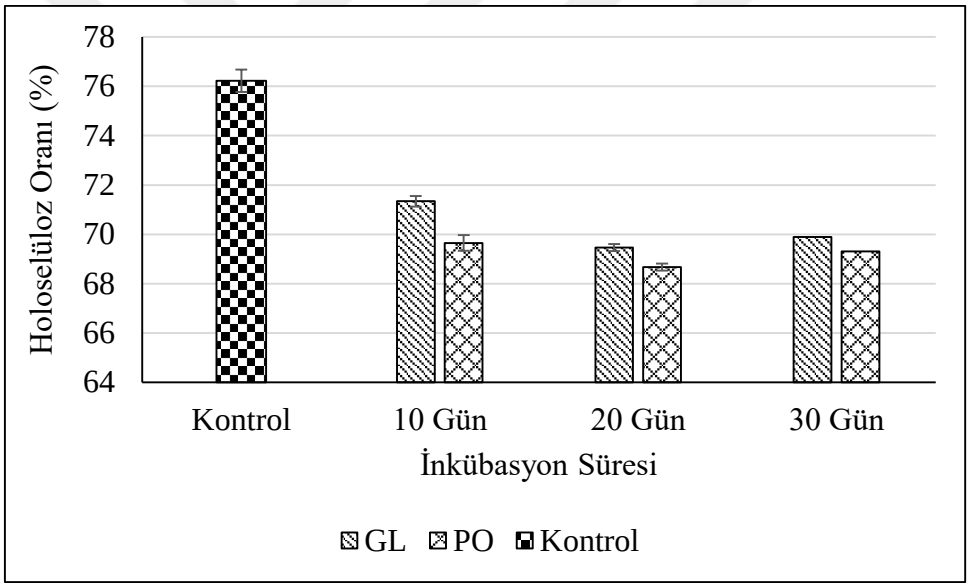
GL ve PO mantar miselleri ile inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla alkol/benzen çözünürlüğünün azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış kavak yongalarının alkol/benzen çözünürlüğü kavak yongaları kontrol örneklerine göre en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında %2.48, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün inkübasyonuna maruz kalmış kavak yongalarında %3.02 belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen alkol/benzen çözünürlüğü sonuçlarına benzer sonuçlar çeşitli araştırıcılar tarafından da rapor edilmiştir. Bajpai vd. (2001) *C. subvermispora* L-14807 SS-3 mantarı ile 2 hafta süreyle inkübasyona maruz bırakılan *Eucalyptus teretecornis*

yongalarında alkol/benzen çözünürlüğü oranının %3.01'den %1,85'e düştüğünü belirtmişlerdir. Mardones vd. (2006) *C. subvermispora* mantarı ile 15 gün muamele edilen *Eucalyptus nitens* yongalarında alkol/benzen çözünürlüğü oranının %2.06'dan %1.90'a azaldığını belirtmişlerdir.

İnkübasyon süresi arttıkça mantarların ekstraktifleri besin olarak tüketmesinden dolayı alkol/benzen çözünürlüğünün azalmasına sebep olabileceği bildirilmiştir (Villalba vd. 2000). Benzer şekilde, bu çalışmada iki farklı mantar ile aşılanıp, inkübasyona maruz bırakılan kavak odunu yongalarında, inkübasyon süresinin artmasıyla, alkol benzen çözünürlüğünün azaldığı belirlenmiştir.

GL ve PO mantarı ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış kavak odundaki holoselüloz oranları Şekil 57'de verilmiştir.

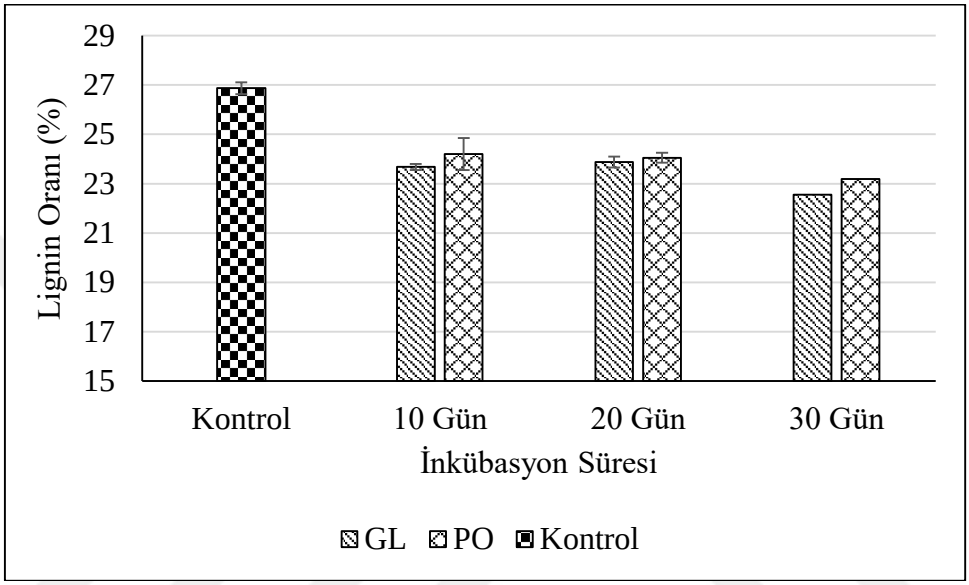


Şekil 57. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun holoselüloz oranları

GL ve PO mantar miselleri ile inkubasyona maruz kalmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla holoselüloz oranın azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış kavak yongalarının holoselüloz oranı kavak yongaları kontrol örneklerine göre en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 20 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında (%69.51) en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında (%74.68) tespit edilmiştir.

İstek vd. (2005) *Phanerochaete chrysosporium* mantarı ile aşılanan ve 20, 40 ve 60 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan *Fagus orientalis* yongalarında holoselüloz oranları (kontrol) %78.7 den sırasıyla %72.8, %72.9 ve %73.9'a düştüğü tespit edilmiştir.

GL ve PO mantarı ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış kavak odundaki lignin oranları Şekil 58'de verilmiştir.



Şekil 58. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun lignin oranları

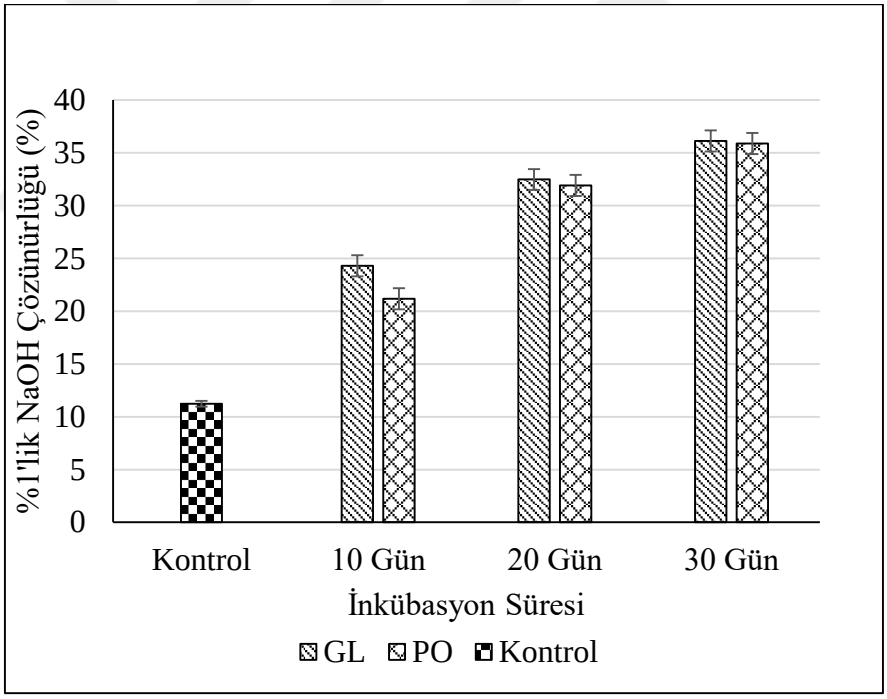
GL ve PO mantar miselleri ile inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla lignin oranın azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış kavak yongalarının lignin oranı kavak yongaları kontrol örneklerine göre en çok azalış PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında %19.21, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 20 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında %23.80 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen lignin kaybı sonuçlarına benzer sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir. Ferraz vd. (2000b) *C. subvermispora* mantarı ile 90 gün muameleye maruz bırakılmış *Eucalyptus globulus* yongalarında lignin oranının %22.4'den %16.7'ye düştüğünü belirtmiştir. Bajpai vd. (2001) *C. subvermispora* mantarı ile 2 hafta süreyle muameleye maruz bırakılmış *Eucalyptus teretecornis* yongalarında lignin oranının %28'den %27'ye azaldığını tespit etmişlerdir. İstek vd. (2005) *Phanerochaete*

chrysosporium mantarı ile muameleye maruz bırakılmış *Fagus orientalis* yongalarında mantar muamelesinin 20, 40 ve 60. günlerinde lignin oranları %21.5'den sırasıyla %17.7, %16.7 ve %16.6'ya düştüğünü belirtmişlerdir. Mardones vd. (2006) *C. subvermispora* mantarı ile 15 gün süreyle muameleye maruz bırakılmış *Eucalyptus nitens* yongalarında lignin oranının %26'dan %23.9'a azaldığını tespit etmişlerdir.

Mantar inkübasyonuna maruz bırakılan kavak yongalarındaki ligninin β-O-aril bağlarını biodegradasyona uğratması (Guerra vd. 2004) ve parçalaması (Srebotnik vd. 1997) nedeniyle lignin miktarının azaldığını bildirilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan GL ve PO mantarlarının I. Tip beyaz çürüklük mantarları olduğundan ve öncelikle lignini tahrip etmelerinden dolayısıyla lignin oranında azalma beklenmektedir.

GL ve PO mantarı ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış kavak odunundaki %'lik NaOH çözünürlük oranları Şekil 59'da verilmiştir.



Şekil 59. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun %1'lik NaOH çözünürlük oranları

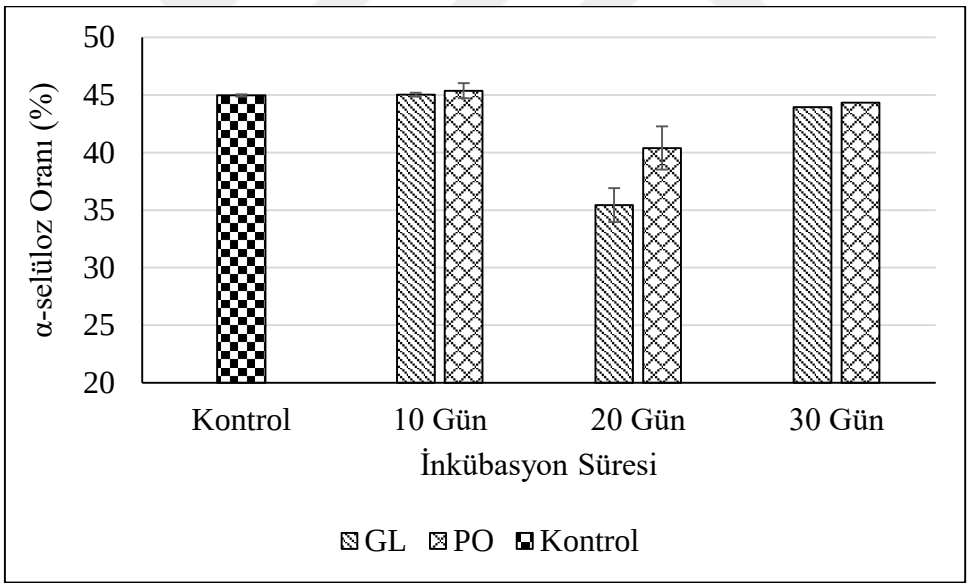
GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla %1'lik NaOH çözünürlük oranın arttığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış kavak yongalarının %1'lik NaOH çözünürlüğü ve kontrol kavak yongalarına göre en çok artış PO mantarıyla

aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında (%59.65), en az artış GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında (%24.30) belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen %1'lik NaOH çözünürlük oranı sonuçlarına benzer sonuçları diğer araştırıcılar tarafından da rapor edilmiştir. İstek vd. (2005) *Phanerochaete chrysosporium*, mantarı ile muameleye maruz bırakılmış *Fagus orientalis* yongalarında mantar muamelesinin 20, 40 ve 60. günlerinde %1'lik NaOH çözünürlük oranları %15'den sırasıyla %21.7, %24.1 ve %26'ya arttığını tespit etmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada, kavak odunu yongalarının mantar ile inkübasyon süresi arttıkça degrade olmuş holoselüloz oranının artmasından dolayı NaOH ile ekstraksiyon oranın da arttığı bildirilmiştir (Villalba vd. 2000).

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış ve bırakılmamış kavak odundaki α-selüloz oranları Şekil 60'da verilmiştir.



Şekil 60. GL ve PO mantarı ile aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun α-selüloz oranları

GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış kavak odunu yongalarında, inkübasyon süresi arttıkça kontrol örneklerine oranla α-selüloz oranı genellikle azaldığı tespit edilmiştir. 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar muamelesine maruz bırakılmış kavak odunun α-selüloz oranında en çok azalış PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında (%35.52) tespit

edilmiştir. Ancak PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak yongalarında α-selüloz oranı %46.60 olarak belirlenmiştir. Şekil 57'de görüleceği üzere PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış kavak yongalarının holoselüloz oranının yüksek olduğu belirlenmiştir. PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyona maruz kalmış kavak yongalarının α-selüloz oranın artmış olması holoselüloz oranın yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen α-selüloz oranı sonuçlarına benzer sonuçlar çeşitli araştırıcılar tarafından da rapor edilmiştir. Ferraz vd. (2003) *C. subvermispora* mantarı ile 90 gün muameleye maruz bırakılmış *Eucalyptus grandis* yongalarında α-selüloz oranının %43.6'dan %37.6'ya azaldığı belirlenmiştir. Fakat İstek vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, *Phanerochaete chrysosporium*, mantarı ile muameleye maruz bırakılmış *Fagus orientalis* yongalarında mantar muamelesinin 20, 40 ve 60. günlerinde α-selüloz oranları %46.9'dan sırasıyla %48.6, %49.4 ve %51.2'ye arttığını tespit etmişlerdir.

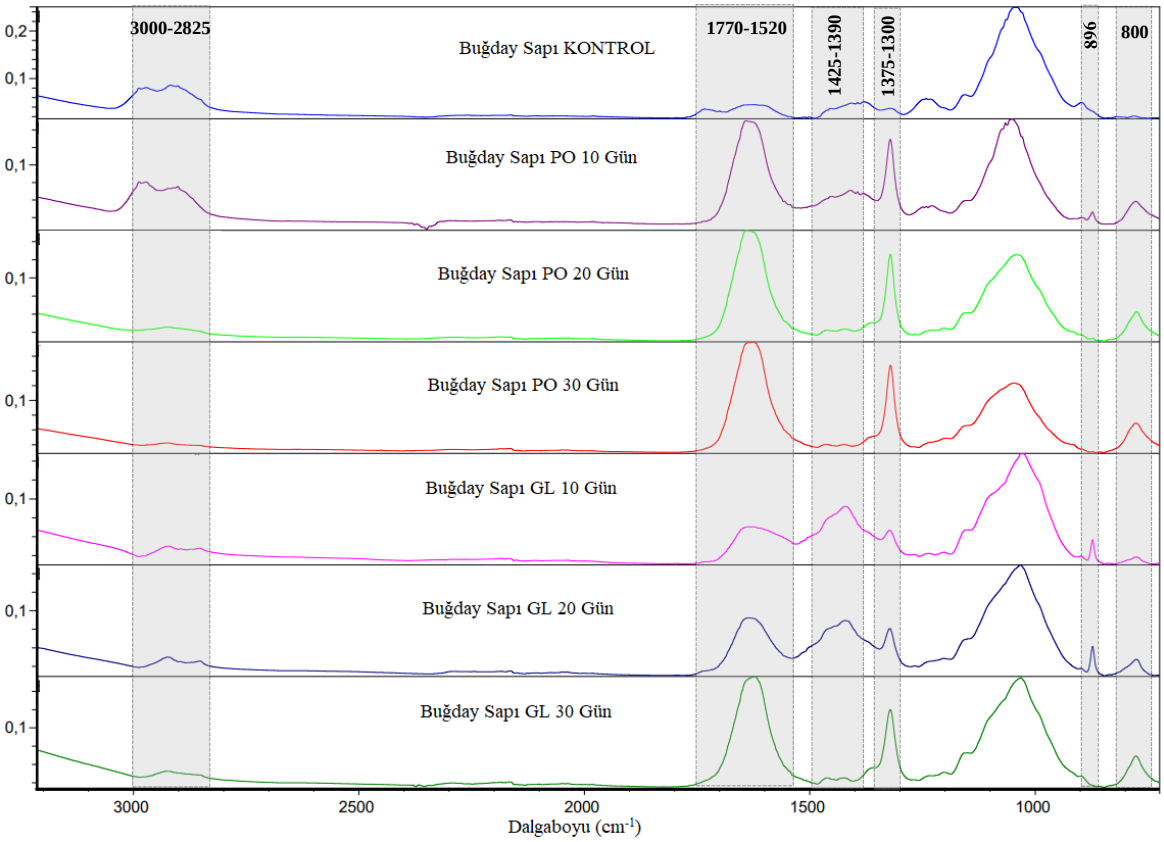
4.2. Mantar İnkübasyonuna Maruz Kalan Lignoselülozik Örneklerin FTIR Spektrumlarının İrdelenmesi

Mantar miselleri lignoselülozik malzeme üzerinde büyüdüğünde hücre çeperi bileşenlerini parçalamak için farklı tipte hidrolize edici enzimler salgılamaktadır. Mantarların büyümesi esnasında lignoselülozik malzemenin kimyasal bileşenlerinde değişiklikler meydana gelmektedir. Beyaz çürüklük mantar büyümesinin lignoselülozik hammaddenin kimyasal yapısındaki değişikliklerdeki etkisini anlamak için kimyasal bileşenlerin görünümüne ve kaybolmasına odaklanan FTIR spektroskopisi kullanılmaktadır (Popescu ve ark., 2010).

GL ve PO mantar türü ile aşılanmış lignoselülozik materyaller (sarıçam odunu yongası, kavak odunu yongası ve buğday sapı) farklı sürelerde (10, 20 ve 30 gün) inkübasyona maruz bırakılmıştır. Her bir inkübasyon süresinin sonunda lignoselülozik materyallerin ve lignoselülozik kontrol (sarıçam odunu yongası, kavak odunu yongası ve buğday sapı) örnekleri üzerinde FTIR-ATR analizi 600-3800 cm^{-1} dalga aralığında yapılmıştır.

4.2.1. Buğday Sapının FTIR Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

GL ve PO mantarları ile aşılanmış buğday sapının 10, 20 ve 30 günlük inkübasyonun ve buğday sapı kontrol örneklerinin FTIR analiz sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 61'de verilmiştir.



Şekil 61. Ön işlem görmemiş (kontrol), GL ve PO mantarıyla aşılanmış ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılan buğday sapına ait 10., 20. ve 30. günlerindeki FTIR spektrumları

Elde edilen FTIR sonuçları incelendiğinde, GL ve PO mantar ile ön işlem görmüş buğday saplarında 3000-2825 cm^{-1} pik aralığında deformasyon, 1770-1520 cm^{-1}, 1425-1390 cm^{-1}, 1375-1300 cm^{-1},896 cm^{-1} ve 800 cm^{-1} piklerinin ise ortaya çıktığı görülmektedir. Bu piklerdeki değişimler;

2925 ve 2855 cm^{-1} pikleri CH_2 ve CH_3'teki asimetrik ve simetrik C-H titreşimi ifade etmektedir. Bu pikler yeni fonksiyonel grupların ortaya çıktığının göstergesidir (Schwanningera vd., 2004). İnkübasyon süresi arttıkça 2925 ve 2855 cm^{-1} piklerinin azaldığı

20 ve 30 günlük PO ve 30 günlük GL mantar inkübasyon sürelerin sonunda ise piklerin tespit edilmediği gözlemlenmiştir.

1740 cm^{-1} piki esterlerdeki C=O titreşimini yani lignoselülozdaki iki karbonil grubu ifade etmektedir. Bu pik hidroksil, asetil ve eter gruplarına yol açan halka açma ürünleri için karakteristiktir. Aynı zamanda bu pikteki artışlar hemiselülozun bozunmasını ifade etmektedir (Pandey ve Pitman, 2003; Mohebby, 2005).

1623 cm^{-1} pik lignin veya selüloz ile ilişkili absorbe edilmiş O-H, Amid I'i ifade etmektedir (Pandey ve Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004; Haneef vd., 2017).

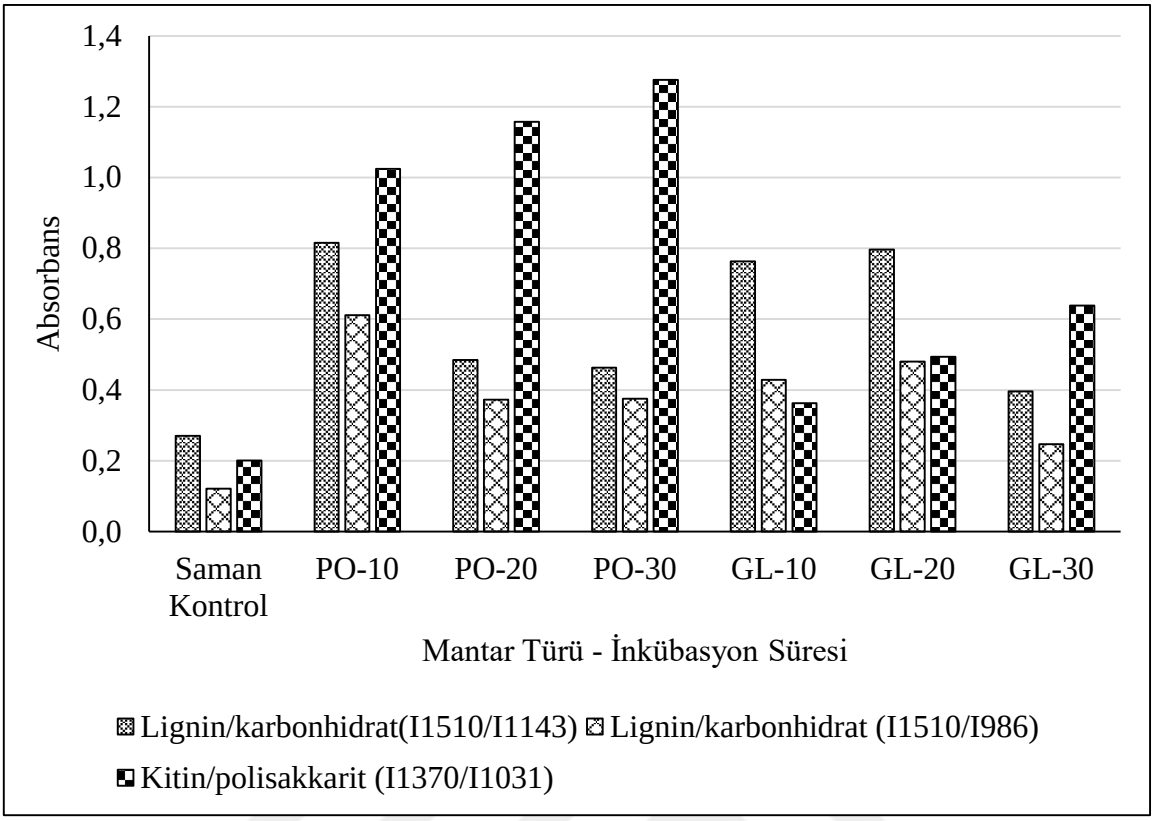
1590, 1270 ve 1230 cm^{-1} piklerindeki artışlar lignin yapılarındaki değişimi gösterirken; 1168 ve 896 cm^{-1} piklerindeki artışlar hemiselüloz ve selüloz yapılarının bozunmaya başladığını ya da bozunduğunu ifade etmektedir (Pandey ve Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004; Mohebby, 2005; Haneef vd., 2017). Ancak 896 cm^{-1} piki buğday sapının 20 ve 30 günlük PO mantar ile inkübasyonunda gözlemlenmemiştir.

1410 cm^{-1} pikindeki artışlar karbonhidrat ve lignindeki C-H deformasyonu ve CH_2 kopma vibrasyonunu göstermektedir (Pandey ve Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004; Mohebby, 2005; Haneef vd., 2017). 1410 cm^{-1} pikindeki bu artış GL mantarıyla aşılanmış ve 10 ve 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapında tespit edilmiştir.

1375 cm^{-1} pikindeki artışlar selüloz ve hemiselülozda CH deformasyonu ve kitinin artışının göstergesi olduğu bildirilmiştir (Pandey ve Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004; Mohebby, 2005; Haneef vd., 2017).

800 cm^{-1} pikindeki artışlar piran halka genişlemesini ifade etmektedir (Klemm vd., 1998).

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapı materyalinin lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}), lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}), kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{986}) ve kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranları Şekil 62'de verilmiştir.



Şekil 62. GL ve PO mantarı ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapının bazı pik yüksekliğindeki değişim oranları. I_{1510} lignin aromatik iskelet titreşimi, I_{1370} C-H deformasyonu ve kitinin artışını, I_{1143} selüloz ve hemiselülozda C-O-C titreşimini, I_{986} selülozda karbonhidratların C-H deformasyonunu ifade eder

Şekil 62 incelendiğinde PO mantarı ile aşılanan buğday sapının inkübasyon süresi arttıkça lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}) pik yüksekliğindeki değişim oranı azalmıştır. Buğday sapının GL mantarı inkübasyonu ile lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}) pik yüksekliğindeki değişim oranı 20 günlük inkübasyon süresinde en yüksek artış, 30 günlük inkübasyon süresinde ise en çok azalış olarak belirlenmiştir.

Buğday sapının PO mantarı ile inkübasyon süresi arttıkça lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}) pik yüksekliğindeki değişim oranı azalmıştır. Buğday sapının GL mantarı inkübasyonu ile lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}) pik yüksekliğindeki değişim oranı 20 günlük inkübasyon süresinde en yüksek artış, 30 günlük inkübasyon süresinde ise en çok azalış olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda lignin bozunmasıyla oluşan fenol oksitleyici enzimlerin (lakkaz ve peroksidaz) kompozitin yapışmasını ve mukavemetini etkilediği belirtilmiştir. Bu

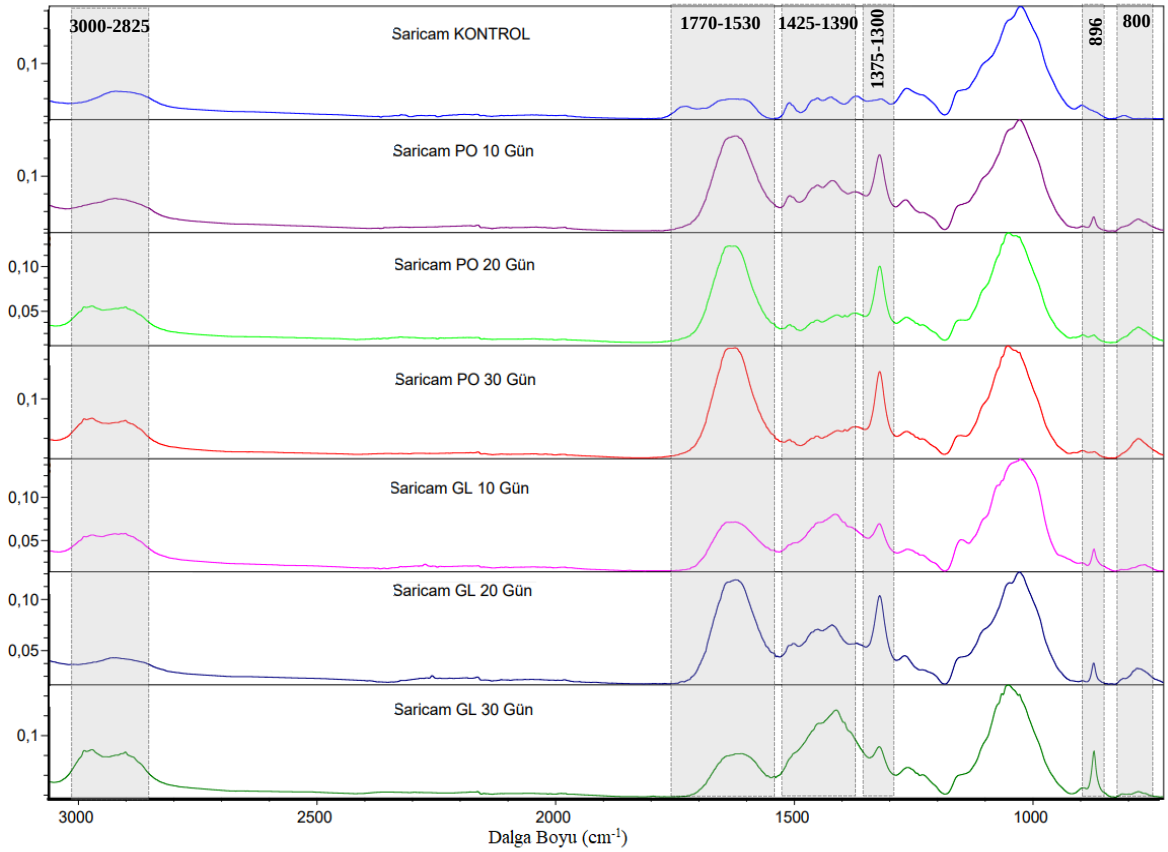
enzimler, lignin bazlı radikallerin çapraz bağlanmasını ve sertliği arttırmaktadır (John ve Thomas, 2008; Widsten ve Kandelbauer, 2008).

GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış buğday saplarının inkübasyon süresi arttıkça kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranları da artmıştır. Buğday saplarının kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranları en yüksek GL ve PO mantarlarında 30 günlük inkübasyon süresinde elde edilmiştir. Buğday sapı ile PO mantarı inkübasyonun kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranı GL mantar inkübasyonundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış lignoselülozik materyallerin kitin ve β-glukan esaslı oligosakkaritler gibi biyo yapıştırıcıların oranın arttığı belirtilmiştir (Widsten, 2004).

4.2.2. Sarıçam Odunun FTIR Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

GL ve PO mantarları ile aşılanmış sarıçam odun yongalarının 10, 20 ve 30 günlük inkübasyonun ve sarıçam odun yongası kontrol örneklerinin FTIR analiz sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 63'te verilmiştir.



Şekil 63. Ön işlem görmemiş (kontrol), GL ve PO mantarı ile inkübasyona maruz bırakılan sarıçam odunu yongalarına ait 10., 20. ve 30. günlerindeki FTIR spektrumları

Elde edilen FTIR sonuçları incelendiğinde, GL ve PO mantar ile ön işlem görmüş sarıçam odunu yongalarında 3000-2825 cm^{-1} pik aralığında deformasyon, 1770-1520 cm^{-1}, 1425-1390 cm^{-1}, 1375-1300 cm^{-1}, 896 cm^{-1} ve 800 cm^{-1} piklerinin ise ortaya çıktığı görülmektedir. Bu piklerdeki değişimler;

2925 ve 2855 cm^{-1} pikleri CH_2 ve CH_3'teki asimetrik ve simetrik C-H titreşimi ifade etmektedir. Bu pikler yeni fonksiyonel grupların ortaya çıktığının göstergesidir (Schwanningera vd., 2004).

1740 cm^{-1} piki esterlerdeki C=O titreşimini yani lignoselülozdaki iki karbonil grubu ifade etmektedir. Bu pik hidroksil, asetil ve eter gruplarına yol açan halka açma ürünleri için karakteristiktir. Aynı zamanda bu pikteki artışlar hemiselülozun bozunmasını ifade etmektedir (Pandey ve Pitman, 2003; Mohebby, 2005).

1623 cm^{-1} pik lignin veya selüloz ile ilişkili absorbe edilmiş O-H, Amid I ifade etmektedir (Pandey ve Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004; Haneef vd., 2017).

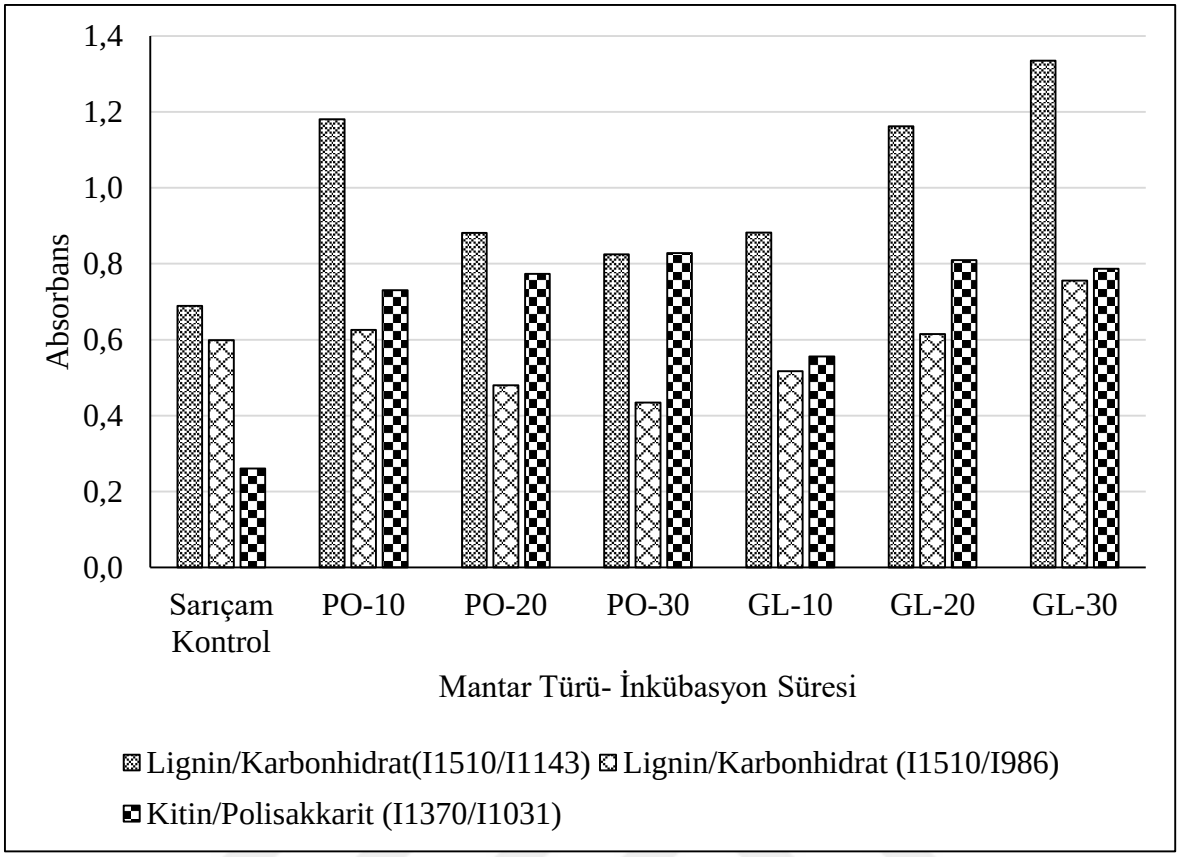
1590, 1270 ve 1230 cm^{-1} piklerindeki artışlar lignin yapılarındaki değişimi gösterirken; 1168 ve 896 cm^{-1} piklerindeki artışlar hemiselüloz ve selüloz yapılarının bozunmaya başladığını ya da bozunduğunu ifade etmektedir (Pandey ve Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004; Mohebby, 2005; Haneef vd., 2017). Ancak 896 cm^{-1} piki sarıçam odun yongasının 20 ve 30 günlük PO mantar ile inkübasyonunda gözlemlenmemiştir.

1410 cm^{-1} pikindeki artışlar karbonhidrat ve lignindeki C-H deformasyonu ve CH_2 kopma vibrasyonunu göstermektedir (Pandey ve Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004; Mohebby, 2005; Haneef vd., 2017). Fakat 1410 cm^{-1} pikindeki bu artış sarıçam odun yongasının GL mantarı ile inkübasyonlarında tespit edilmiştir.

1375 cm^{-1} pikindeki artışlar selüloz ve hemiselülozda CH deformasyonu ve kitinin artışının göstergesidir (Pandey ve Pitman, 2003; Schwanningera vd., 2004; Mohebby, 2005; Haneef vd., 2017).

800 cm^{-1} pikindeki artışlar piran halka genişlemesini ifade etmektedir (Klemm vd., 1998).

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}), lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}) ve kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranları Şekil 64'te verilmiştir.



Şekil 64. GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun bazı pik yüksekliğindeki değişim oranları. I_{1510} lignin aromatik iskelet titreşimi, I_{1370} C-H deformasyonu ve kitinin artışını, I_{1143} selüloz ve hemiselülozda C-O-C titreşimini, I_{986} selülozda karbonhidratların C-H deformasyonuna ifade eder

Şekil 64 incelendiğinde sarıçam odunun PO mantarı ile inkübasyon süresi arttıkça lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}) pik yüksekliğindeki değişim oranı azalmıştır. Fakat sarıçam odunun GL mantarı ile inkübasyon süresi arttıkça lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}) pik yüksekliğindeki değişim oranı artmıştır. Bu artışın sebebi GL mantarının hemiselülozları öncelikli olarak tahrip etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Pandey ve Pitman, 2003).

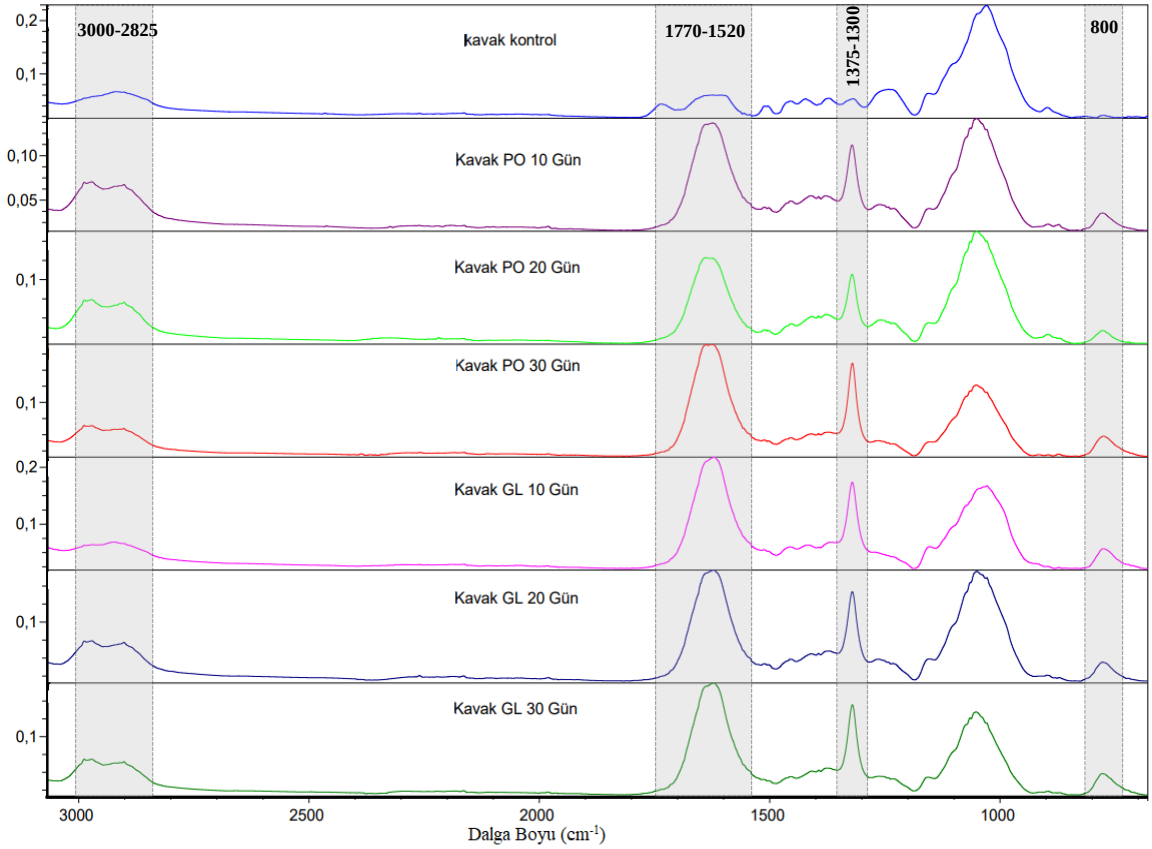
Sarıçam odunun PO mantarı ile inkübasyon süresi arttıkça lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}) pik yüksekliğindeki değişim oranı azalmıştır. Fakat sarıçam odunun GL mantarı ile inkübasyon süresi arttıkça lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}) pik yüksekliğindeki değişim oranı artmıştır.

GL ve PO mantarları ile muameleye uğratılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranları da artmıştır.

Sarıçam odununun kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranları en yüksek PO mantarı ile 30 günlük inkübasyon süresinde, en düşük ise GL mantarı ile 10 günlük inkübasyonunda elde edilmiştir. PO mantarı ile inkübasyona maruz bırakılan sarıçam odunu örneklerinde, kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranı GL mantarıyla inkübasyonuna maruz bırakılan örneklerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

4.2.3. Kavak Odunun FTIR Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

GL ve PO mantarları ile aşılanmış kavak odun yongalarının 10, 20 ve 30 günlük inkübasyonun ve kavak odun yongası kontrol örneklerinin FTIR analiz sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 65'te verilmiştir.

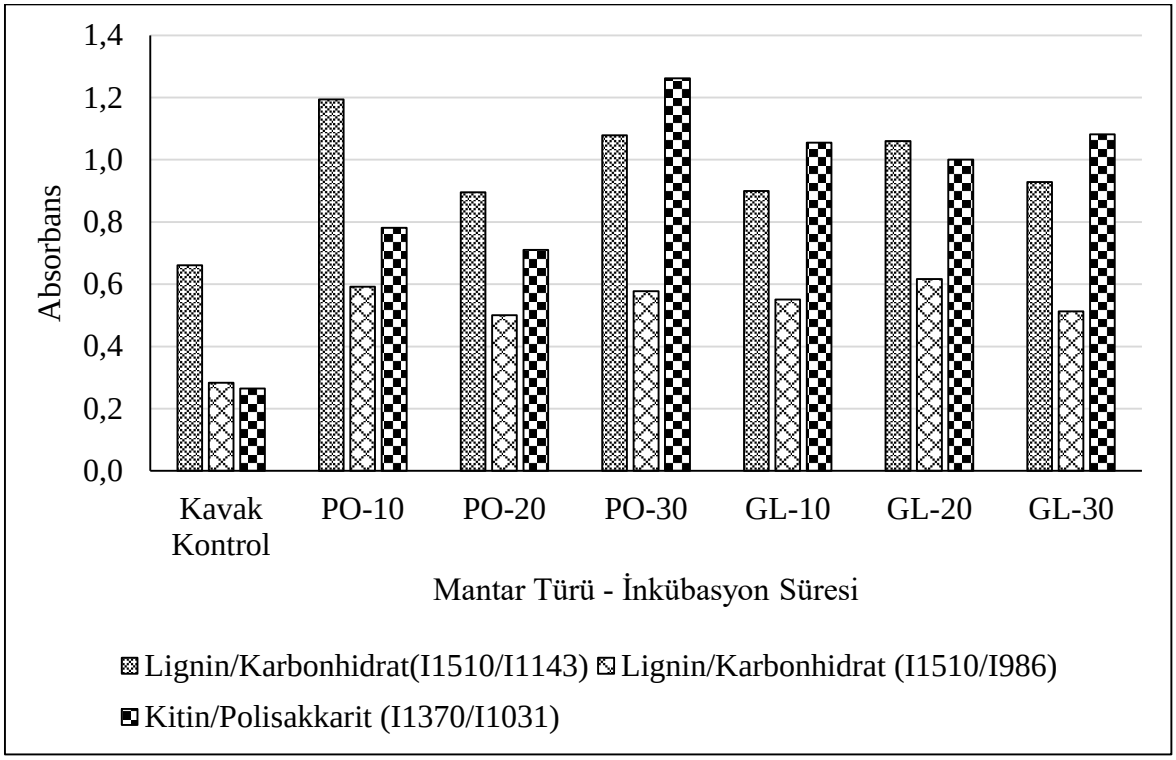


Şekil 65. Ön işlem görmemiş (kontrol), GL ve PO ile inkübasyona maruz bırakılan kavak odunu yongalarına ait 10., 20. ve 30. günlerindeki FTIR spektrumları

Elde edilen FTIR sonuçları incelendiğinde, GL ve PO mantar ile ön işlem görmüş kavak odunu yongalarında 3000-2825 cm^{-1} pik aralığında deformasyon, 1770-1520 cm^{-1}, 1375-1300 cm^{-1}ve 800 cm^{-1} piklerinin ise ortaya çıktığı görülmektedir.

Elde edilen kavak odun yongasının FTIR piklerindeki değişimleri sarıçam odun yongasının FTIR piklerine benzer şekilde olduğu tespit edilmiştir.

GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}), lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}) ve kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranları Şekil 66'da verilmiştir.



Şekil 66. GL ve PO ile aşılanan ve farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun bazı pik yüksekliğindeki değişim oranları. I_{1510} lignin aromatik iskelet titreşimi, I_{1370} C-H deformasyonu ve kitinin artışını, I_{1143} selüloz ve hemiselülozda C-O-C titreşimini, I_{986} selülozda karbonhidratların C-H deformasyonuna ifade eder.

Şekil 66 incelendiğinde kavak odunu PO mantarı ile inkübe edildiğinde lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}) pik yüksekliğindeki değişim oranı 10 günlük inkübasyon süresinde en yüksek, 20 günlük inkübasyon süresinde en düşük olduğu tespit edilmiştir. Kavak odunu GL mantarı ile inkübe edildiğinde lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{1143}) pik

yüksekliğindeki değişim oranı 20 günlük inkübasyon süresinde en yüksek, 10 günlük inkübasyon süresinde en düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kavak odunu PO mantarı ile inkübe edildiğinde lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}) pik yüksekliğindeki değişim oranı 10 günlük inkübasyon süresinde en yüksek, 20 günlük inkübasyon süresinde en düşük olduğu tespit edilmiştir. Kavak odunu GL mantarı ile inkübe edildiğinde lignin/karbonhidrat (I_{1510}/I_{986}) pik yüksekliğindeki değişim oranı 20 günlük inkübasyon süresinde en yüksek, 30 günlük inkübasyon süresinde en düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kavak odunu PO mantarı ile inkübe edildiğinde ve kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranı 30 günlük inkübasyon süresinde en yüksek, 20 günlük inkübasyon süresinde en düşük olduğu tespit edilmiştir. Kavak odunu GL mantarı ile inkübe edildiğinde ve kitin/polisakkarit (I_{1370}/I_{1031}) pik yüksekliğindeki değişim oranı 30 günlük inkübasyon süresinde en yüksek, 20 günlük inkübasyon süresinde en düşük olduğu tespit edilmiştir.

4.3. Işık Mikroskobu Analizi Ait Bulguların İrdelenmesi

4.3.1. Mantar Misel Yoğunluğunun Işık Mikroskobuna Ait Bulguların İrdelenmesi

Tez çalışmasında buğday sapı, sarıçam odun yongası ve kavak odun yongası ile GL ve PO mantarları kullanılarak 10, 20 ve 30 günlük inkübasyon sürelerinin sonundaki mantar misel yoğunluğu ve ağ yapısı ışık mikroskobu ile incelenmiştir. Işık mikroskobuna ait görüntüler sırasıyla Şekil 43, Şekil 44 ve Şekil 45'de verilmiştir.

Elde edilen buğday sapına ait ışık mikroskobu verileri incelendiğinde 10, 20 ve 30 gün GL ve PO mantarları muamelesine uğratılmış buğday sapının inkübasyon süresi arttıkça misel yoğunluğu da arttığı belirlenmiştir. Misel yoğunluğunun arttığından dolayı misel ağ yapısı güçlenmiştir (Şekil 43).

Bu çalışmada elde edilen ışık mikroskobu görüntülerine benzer sonuçlar bazı araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir. Răut vd., (2021) *Ganoderma lucidum* mantarı ile buğday saplarının 20 ve 25 günlük inkübasyonu sonucunda mantar misellerinin sert ve daha güçlü bir ağ yapısına sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Elsacker vd., (2019) saman, kendir, keten ve çam odun yongalarını *Trametes versicolor* ile inkübe etmişler ve 1, 3, 5, 7

ve 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda mantar gelişimini gözlemlemiştir. İnkübasyon süresinin artmasıyla mantar hüflerinin samana, kendire, ketene ve çam odun yongalarına sardığını ve 10. günün sonunda örneklerin her yerinde yoğun ve beyaz bir tabaka oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Elde edilen sarıçam yongalarına ait ışık mikroskobu bulguları incelendiğinde 10, 20 ve 30 gün süreyle GL ve PO mantarı inkübasyonuna maruz bırakılan sarıçam yongalarının inkübasyon süresi arttıkça misel yoğunluğunun da arttığı belirlenmiştir. Misel yoğunluğunun arttığından dolayı misel ağ yapısı güçlenmiştir (Şekil 44).

Bu çalışmada elde edilen ışık mikroskobu görüntülerine benzer sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir. Elsacker vd., (2019) saman, kendir, keten ve çam odun yongalarını *Trametes versicolor* ile inkübe etmişler ve 1, 3, 5, 7 ve 10 günlük inkübasyon sonunda mantar gelişimini gözlemlemiştir. İnkübasyon süresinin artmasıyla mantar hüflerinin samana, kendire, ketene ve çam odun yongalarına sardığını ve 10. günün sonunda örneklerin her yerinde yoğun ve beyaz bir tabaka oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Elde edilen kavak odunu yongalarına ait ışık mikroskobu bulguları incelendiğinde 20 ve 30 gün PO mantar muamelesine uğratılmış kavak yongalarının inkübasyon süresi arttıkça misel yoğunluğunun da arttığı belirlenmiştir. Misel yoğunluğunun arttığından dolayı misel ağ yapısı güçlenmiştir (Şekil 45).

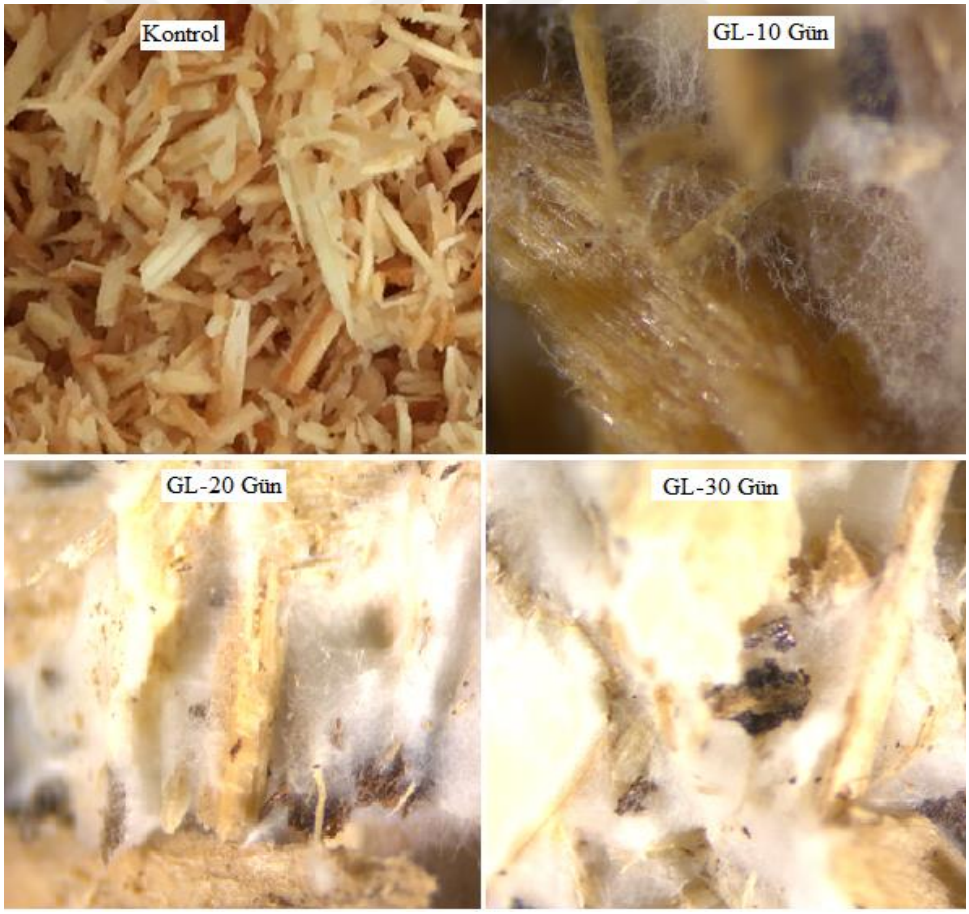
Bu çalışmada elde edilen ışık mikroskobu görüntülerine benzer sonuçlar bazı araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir. Sun vd., (2020) huş odun kaplamalarını *Trametes versicolor* mantar ile 20 güne kadar inkübasyona maruz bırakılmıştır. İnkübasyon süresi arttıkça huş odun kaplamalarının yüzeyindeki mantar misel yoğunluğunun arttığını ve 20 günün sonunda kaplamanın tamamını misel ağının sardığını belirtmişlerdir.

4.4. Mantar İnkübasyonun Lignoselülozik Materyal Üzerine Etkisinin İrdelenmesi

Lignoselülozik materyallerin hücre çeperi, lignin ve hemiselülozlar ile çevrili mikrofibrillerden oluşmaktadır. Lignoselülozik materyallere mekanik işlemler uygulayarak mikrofibrillerin açığa çıkmasıyla pürüzlü yüzey oluşur ve mekanik bağlanma için da daha fazla yüzey alanı meydana gelmektedir. Mantar inkübasyonuna maruz bırakılan lignoselülozik materyalin yüzeyindeki hüflerin büyümesiyle misel ağ yapısı oluşmaktadır. Beyaz çürüklük mantarı ile kontrollü inkübasyonuna maruz bırakılmış lignoselülozik

materyal mikrofibrillerinin parçalanması sonucu yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir (Kumar vd., 2009; Nasır vd., 2014; Nasır vd., 2015; Rajak ve Banerjee 2016; Wu vd., 2016; Zhu vd.,2017). Mantar miselleri lignoselülozik materyallerin yüzeyinde büyümesiyle kimyasında bulunan kitin ve β-glukan esaslı oligosakkaritler gibi biyo yapıştırıcıların oranının artmasıyla yongaları birbirine bağladığı bildirilmiştir (Widsten, 2004).

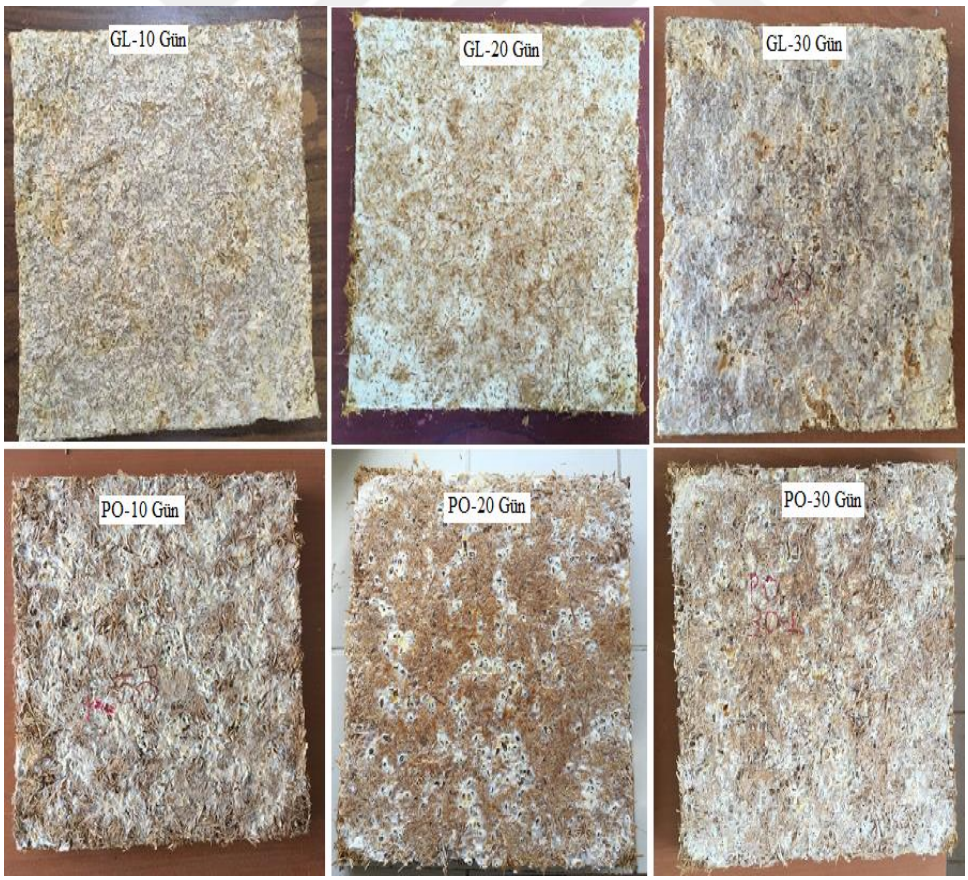
Şekil 67'deki ışık mikroskobu görüntüleri incelendiğinde sarıçam odun yongası kontrol örneklerine göre sarıçam odun yongasının GL mantarı ile 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda yongaların yüzeyini mantar hüflerinin büyüyerek sardığı gözlemlenmiştir. 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda mantar misellerinin büyüyüp dallanarak sarıçam yongalarının yüzeyini ve yongalar arası boşlukları doldurduğu gözlemlenmiştir. 30 günlük inkübasyon süresinin sonunda ise mantar misellerinin sarıçam yongalarının yüzeylerini ve yongalar arası boşluklarında yoğun bir şekilde ağ yaptığı gözlemlenmiştir.



Şekil 67. Sarıçam odun yongasının GL mantar ile farklı inkübasyon sürelerinde hüflerin büyümesi ve misel ağ yapısının oluşumu

Hem GL mantarının hem de PO mantarının 10, 20 ve 30 günlük inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapı örneklerinin (Şekil 43), sarıçam odun yonga örneklerinin (Şekil 44) ve kavak odun yonga örneklerinin (Şekil 45)'de ışık mikroskobu görüntüleri verilmiştir. GL ve PO mantarı ile aşılanmış lignoselülozik materyallerin inkübasyon süresi arttıkça materyallerin yüzeyinde ve boşluklarında misel yoğunluğu ve ağ yapısı arttığı gözlemlenmiştir. Mantar misellerinin yoğunluğundaki ve ağ yapısındaki bu artış buğday sapı örneklerinin, sarıçam odun yongalarının ve kavak odun yongalarının yapısındaki mikrofibrilleri parçalayarak yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı düşünülmektedir.

Buğday sapının ana bileşenlerindeki kimyasal değişim verileri (Tablo 8) incelendiğinde iki mantar türünde de inkübasyon süresi arttıkça holoselüloz oranları ve lignin oranları kontrol örneklerine göre azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler buğday sapı örneklerinin, sarıçam odun yongalarının ve kavak odun yongalarının yapısındaki mikrofibrillerin parçalandığı göstermektedir.



Şekil 68. Buğday sapı ile GL ve PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhaları

Şekil 68'deki görüntüler incelendiğinde GL ve PO mantarları ile aşılanmış buğday sapının inkübasyon süresi arttıkça mantarların misel yoğunluğu ve ağ yapısının arttığı gözlemlenmiştir. Ancak GL mantar miselleri buğday sapında PO mantarına göre daha yoğun ve daha iyi ağ yaptığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım malzemesinin mekanik özellikleri PO mantarı ile üretilen misel esaslı yalıtım malzemelerinden 3 farklı inkübasyon süresinde de yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 41, Tablo 42 ve Tablo 43).

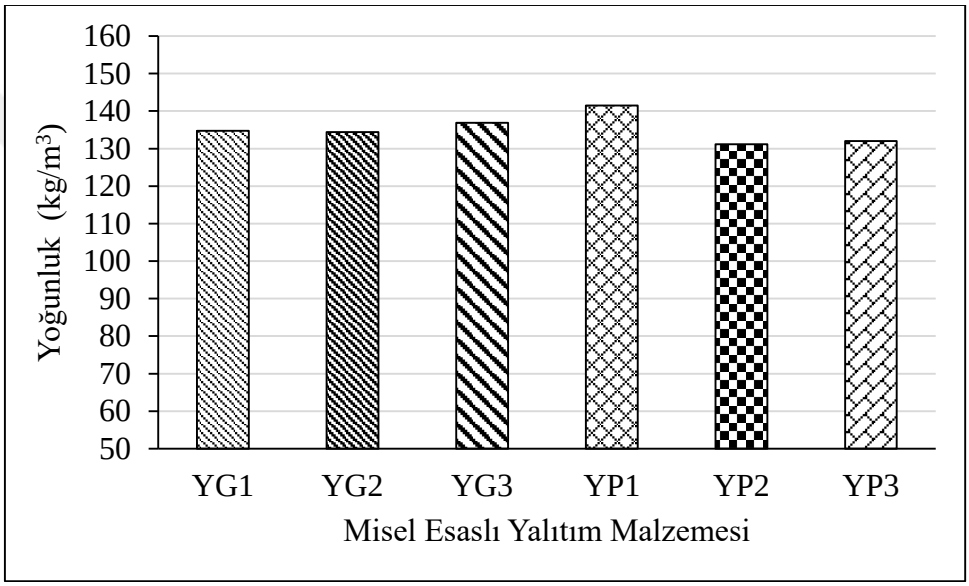
Misel esaslı kompozitlerin üretim aşamasında sıcak presleme sırasında liginin polimerizasyonu, hidrojen bağları ve mantar misellerindeki aminoasitlerin lignoselülozik materyal yongaları arasında esterleşme gibi kimyasal reaksiyonlar meydana gelmektedir (Liu vd., 2020).

PO ve GL mantarları ile 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan sarıçam ve kavak odun yongalarının yüzeyindeki mikrofibrillerin parçalanması sonucu yüzey pürüzlülüğünün ve kitin ve oligosakkarit esaslı β-glukan gibi biyo yapıştırıcıların oranın arttığı düşünülmektedir. Sarıçam ve kavak odunu yongasına ait FTIR spektrumları (Şekil 62 ve 63) incelendiğinde mantar inkübasyonuna maruz kalmış odun örneklerinin 1375 cm^{-1} kitin pikinin kontrol odun örneklerine göre arttığı tespit edilmiştir. Ana bileşenlerindeki kimyasal değişimleri sarıçam odun yongası Tablo 9 ve kavak odun yongası Tablo 10'daki elde edilen bulgular incelendiğinde iki mantar türünde de inkübasyon süresi arttıkça holoselüloz oranları ve lignin oranları kontrol örneklerine göre azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu bulgular sarıçam ve kavak odun yongalarının yapısındaki mikrofibrillerin parçalandığı göstermektedir. GL ve PO mantarları ile muamele edilmiş sarıçam odun yongalarını ve kavak odun yongalarını sıcak presleyerek ODPK'lerin üretilmesi sağlanmıştır. Mantar türünün, inkübasyon süresinin ve karışım oranın ODPK'lerin teknolojik özellikleri üzerine etkisi ilgili başlıklar altında verilmiştir.

4.5. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerinin İrdelenmesi

4.5.1. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi

Buğday samanı ve PO ve GL mantarları kullanılarak 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhaların yoğunluk değerleri Şekil 69'da verilmiştir.

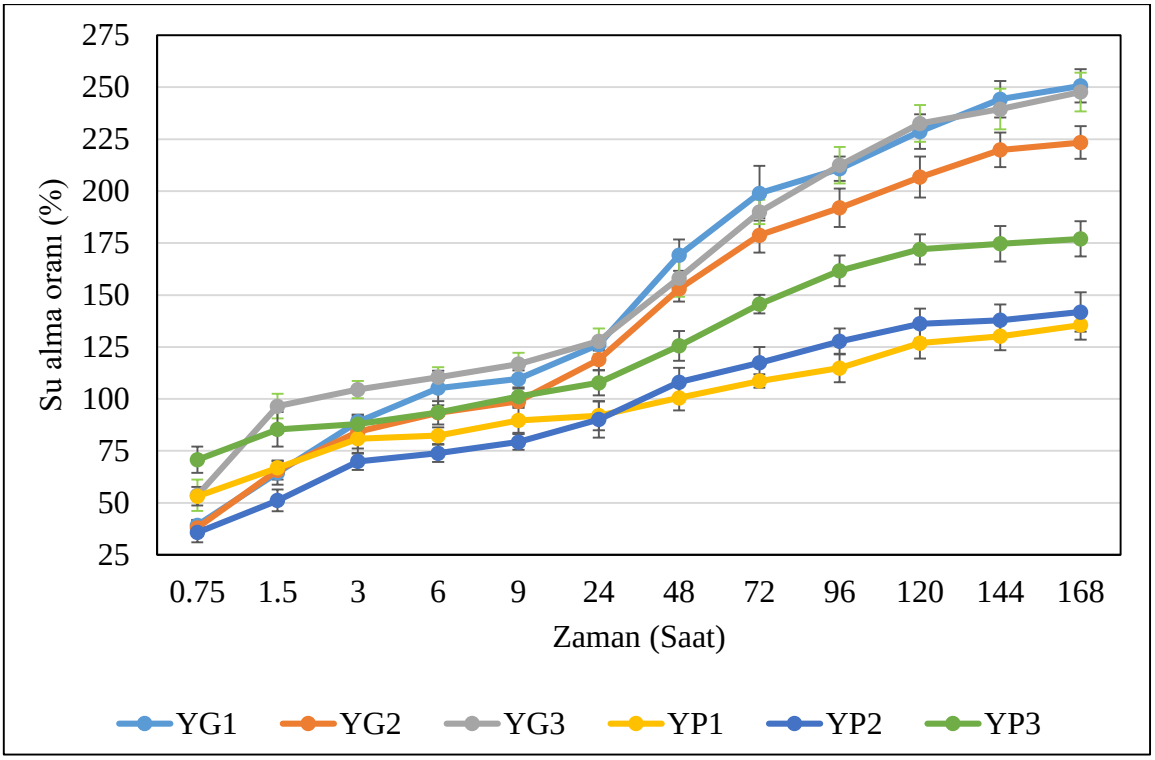


Şekil 69. Misel esaslı yalıtım levhalarının yoğunluk değerleri

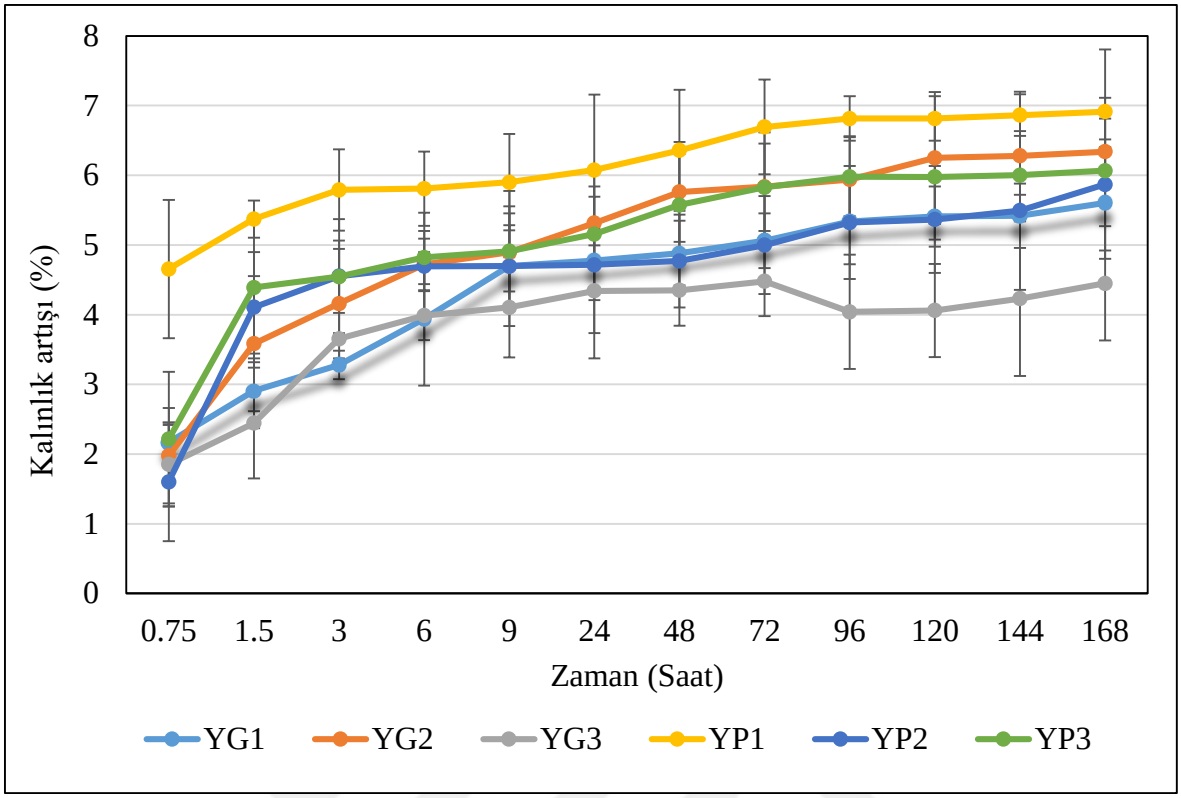
Literatürdeki bilgiler ve yapılan ön denemelerden elde edilen veriler ışığında düşük yoğunluğa sahip misel esaslı yalıtım malzemelerin mekanik özelliklerinin oldukça düşük olmasından dolayı tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yoğunluk değerleri ortalama 135 kg/m^3 olarak hedeflenmiştir. Üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yoğunluk değerleri 131 kg/m^3 ila 141 kg/m^3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Buğday sapının PO mantarıyla aşılanıp 10 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının (YP1) yoğunluk değerinin en yüksek, 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen levhalarınınki (YP2) ise en düşük olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluk değerlerinin tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının teknolojik özelliklerine etkilerine ilişkin değerlendirmeler tezin ilgili başlıkları altında verilmiştir.

4.5.2. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Su Alma ve Kalınlık Artışının İrdelenmesi

Üretilen misel esaslı yalıtım levhaların su alma ve kalınlık artış oranlarını belirlemek amacıyla 45 dk., 90 dk., 3, 6, 9, 24, 48, 72, 96,120,144 ve 168 saat süreyle su alma testine maruz bırakılmış ve elde edilen yalıtım levhalarının su alma ve kalınlık artış oranları Şekil 70 ve Şekil 71'de verilmiştir.



Şekil 70. Misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranları



Şekil 71. Misel esaslı yalıtım levhalarının kalınlık artış oranları

Tez kapsamında 2 farklı mantar türü ve 3 farklı inkübasyon süresi sonunda üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranları ilk 3 saatte hızlı bir şekilde artış göstermiş daha sonra 24 saate kadar su alma oranı nispeten yatay bir seyir izlemiş, 24 saatten sonra tekrar hızlı bir artış göstermiştir. Şekil 70'de de görüldüğü üzere PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 168 saat sonunda maksimum su alma oranları GL mantarı kullanılarak üretilenlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. PO mantarıyla aşılanan buğday sapları 20 ve 30 günlük inkübasyon periyodunun sonunda üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının (YP2 ve YP3) su alma oranlarının tez kapsamında üretilen diğer levhalardan daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Literatürde de belirtildiği üzere misel esaslı kompozit malzemelerin en önemli dezavantajlarından birisi yüksek oranda su alma oranlarına sahip olmalarıdır. Miselyum kompozitleri tipik olarak higroskopiktir ve 48-192 saat su ile temas ettiğinde ağırlıkça yaklaşık olarak %40-580 oranında arttığı birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Holt vd., 2012; López Nava vd., 2016; Appels vd., 2019; Elsacker vd. 2019; Sun vd. 2019). Misel esaslı kompozitlerin güçlü su emme afinitesi, çok sayıda erişilebilir hidroksil grubu (Zabihzadeh, 2009) içeren tipik selülozik dolgu bileşenlerinin ve fitillemeyi destekleyen

hidrofilik gözenekli misel bağlayıcı ve biyolojik olarak türetilmiş dolgu fazlarının (Chung vd., 2011; Li vd., 2013; Wei vd., 2015) sonucu olduğu bildirilmiştir. Kanola samanı veya pamuk firez elyafından oluşan lifli bir substrat içeren havayla kurutulmuş misel esaslı kompozitler, suyla temas ettiğinde 48 saat içinde ağırlıkça yaklaşık %530-550 oranında su aldığı bildirilmiştir (Jones vd., 2020). En hızlı ağırlık artışı hem kanola samanı hem de pamuk firezi elyafı bazlı kompozitlerde ağırlıkça yaklaşık %220'lik bir artış ilk 3 saat içinde meydana geldiği rapor edilmiştir (Jones vd., 2020). Bu tez kapsamında üretilen misel esaslı levhaların su alma oranlarına benzer şekilde, başka çalışmalarda da su alma oranının ilk önce hızlı daha sonra yavaş, nihayet 24 veya 48 saatin sonunda tekrar hızlı bir şekilde artış gösterdiği ve malzemenin doygunluğa ulaştığında durduğu belirtilmiştir (Appels vd., 2019). Araştırmacılar tarafından yapılan diğer çalışmalarda ise kolza samanı yüksek oranlarda selüloz (ağırlıkça %48.5) ve pentozanları (ağırlıkça %17) (Housseinpour vd. 2010), pamuk frez liflerinin ise ağırlıklı olarak selüloz (ağırlıkça %98 ile %0.5 pentozan) içerdiği tespit edilmiştir (Housseinpour vd., 2010). Bilindiği üzere, pentozanlar, pentozlardan oluşan suda çözünür polimerlerdir ve emilen su miktarını arttırdığı, selülozdaki hidroksil gruplarının da su moleküllerini çektiği bildirilmiştir (Michniewicz vd., 1992; Zabihzadeh, 2009). Lopez-Nava ve ark (2016) tarafından yapılan çalışmada buğday sapları ve PO mantarı kullanarak üretmiş oldukları misel esaslı köpük malzemelerin su alma oranının yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Appels ve ark (2019) tarafından yapılan çalışmada kolza samanı, düşük kaliteli pamuk lifleri ve kayın odunu talaşına *Trametes multicolor* ve *Pleurotus ostreatus* mantarlarını aşılayarak ve sonrasında presleyerek veya preslemeden üretmiş oldukları misel esaslı kompozit malzemelerin 198 saat sonunda su alım oranlarının %43 ila %508 arasında olduğunu tespit etmişlerdir. En düşük su alma oranına sahip kompozit malzemenin kayın odun talaşlarına *Trametes multicolor* mantarı aşılanarak ve presleme kullanılmadan üretilmiş olanlarda, en yüksek su alma oranının ise kolza samanının *Trametes multicolor* mantarıyla aşılanan ve sıcak pres kullanarak üretilenlerde olduğunu bildirmişlerdir.

Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının kalınlık artış oranları incelendiğinde, yüksek su alma oranlarına sahip olmalarına rağmen levhalarda kalınlık artış oranlarının oldukça az olduğu tespit edilmiştir (Şekil 71). Bu da levhaların herhangi bir presleme işlemi uygulanmadan üretilmesinden ve nispeten yoğunluklarının düşük olmasından dolayı, levhalarda boşluk oranının yüksek olması dolayısıyla absorplanan suyun serbest su olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi mantar misel ve hüfleri su itici özellik

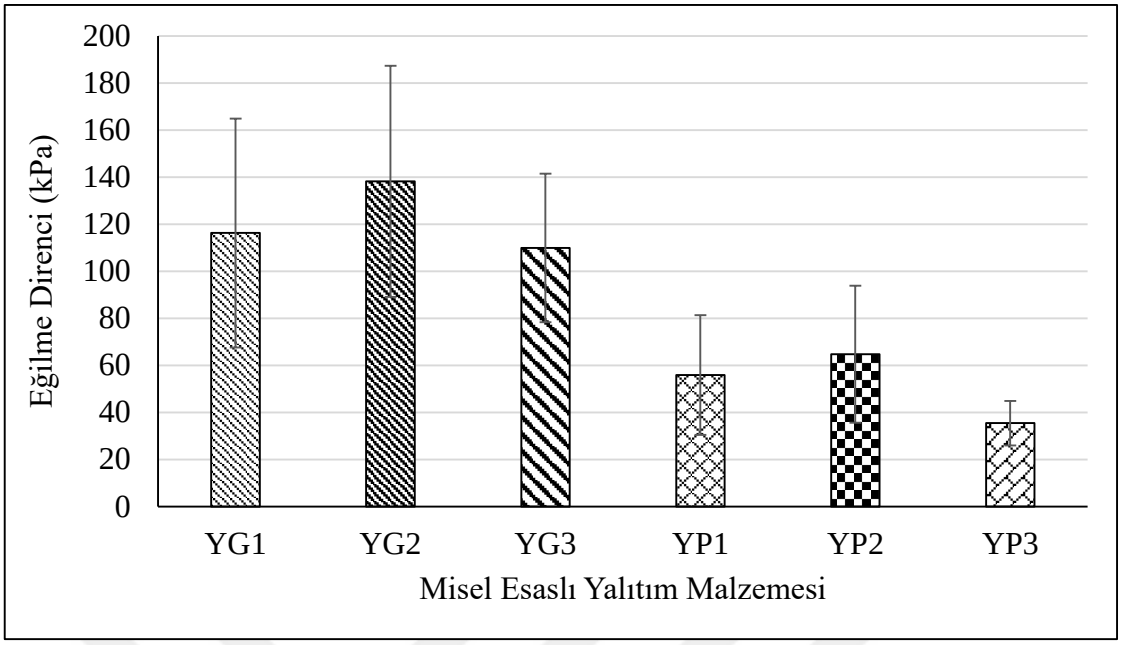
göstermekte ve üretilen misel esaslı kompozit malzemelerin boyutsal stabilizasyonunda ve/veya dolaysıyla levhaların kalınlık artışının sınırlı olmasında rol oynamaktadır.

GL mantarıyla aşılanarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranları PO mantarıyla üretilenlerden daha yüksek olmasına karşın kalınlık artış oranın PO mantarıyla üretilenlere oranla nispeten daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin GL mantarının buğday samanındaki hemiselülozları PO mantarına oranla daha fazla oranda tahrip etmesi dolayısıyla serbest OH gruplarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde misel esaslı kompozit malzemelerin su alma oranlarının belirlenmesine yönelik araştırmalar bulunmasına karşın, kalınlık artış oranlarına ilişkin yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının su alma ve kalınlık artış oranlarının tespiti literatürdeki söz konusu boşluğu doldurması açısından büyük önem arz etmektedir.

4.5.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İrdelenmesi

4.5.3.1. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülünün İrdelenmesi

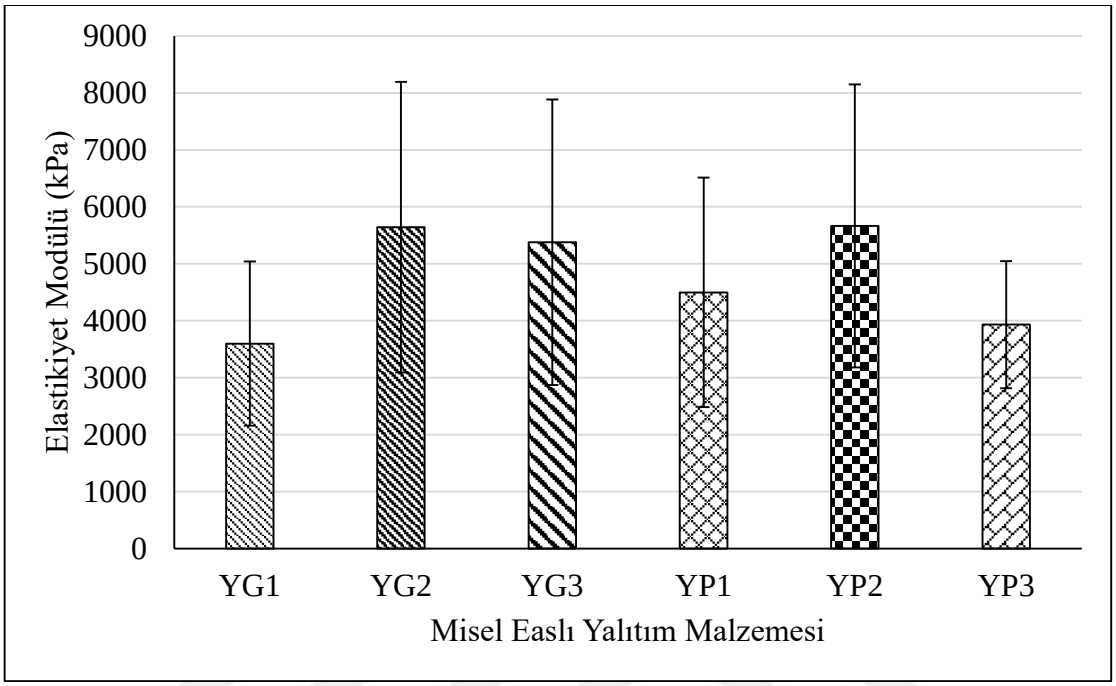
Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme dirençleri Şekil 72'de verilmiştir. Buğday sapının GL mantarıyla aşılanarak 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme dirençleri PO mantarıyla üretilenlere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Her iki mantar türü içinde 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının en yüksek eğilme direnç değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Misel esaslı yalıtım levhalarının inkübasyon süresinin artmasıyla, eğilme dirençlerinin azalmasının nedeni; tez kapsamında kullanılan mantarların lignoselülozik materyalin (buğday sapı) kimyasal ana bileşenlerini (lignin, hemiselüloz, selüloz) tahrip etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 72. Misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme dirençleri

Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının elastikiyet modülleri Şekil 73'de verilmiştir. Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının elastikiyet modülleri 3597.5 kPa ila 5667.15 kPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük elastikiyet modülüne sahip olan misel esaslı yalıtım levhası, buğday saplarının GL mantarıyla aşılanıp 10 günlük inkübasyon periyodundan sonra üretilen levhalar (YG1), en yüksek elastikiyet modülüne sahip olan ise PO mantarıyla aşılanıp 20 günlük inkübasyon periyodunun sonunda üretilen levhalar (YP2) olduğu tespit edilmiştir. Levhaların eğilme direnç değerlerine benzer şekilde, her iki mantar türü içinde 20 günlük inkübasyon periyodu sonunda üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının elastikiyet modülleri en yüksek olduğu görülmüştür. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnç değerleri PO mantarıyla üretilenlerinkine göre daha yüksek olmasına karşın, levhaların elastikiyet modüllerinde bu bariz fark görülmemiştir. Bunun nedeni, GL mantarı misellerinin yapısı ve buğday samanlarını sarmasındaki ağ yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı levhaların PO mantarıyla üretilenlere oranla oldukça sert/rijit olduğu gözlemlenmiştir. Bu da GL mantarıyla üretilen levhaların elastikliğini/esnekliğini bir miktar sınırlandırdığı düşünülmektedir. Diğer yandan misel esaslı yalıtım levhalarının üretilmesinde kullanılan mantarların buğday sapının kimyasal ana bileşenlerini farklı inkübasyon sürelerinde farklı oranlarda tahrip etmelerinden dolayı misel

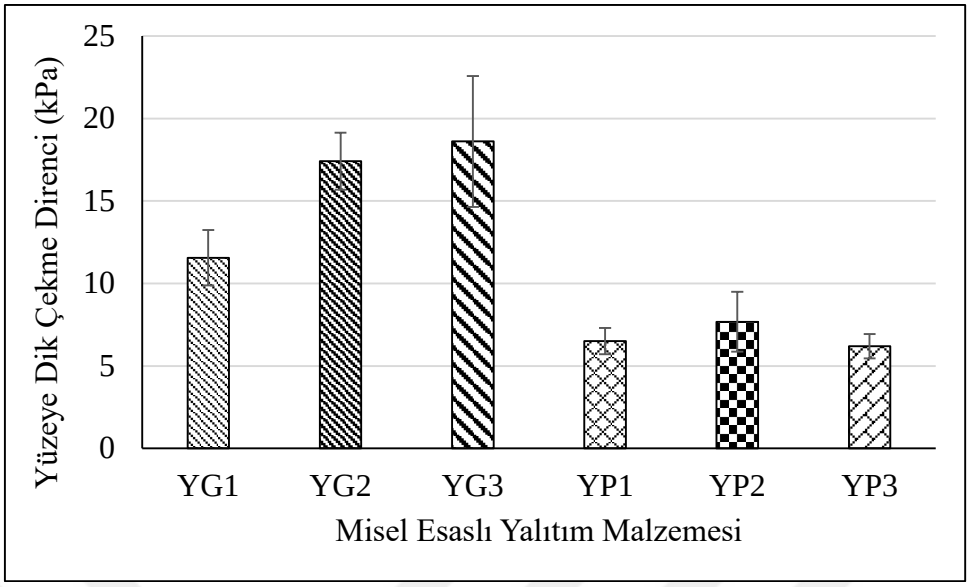
esaslı yalıtım levhalarının elastikiyet modüllerinde farklılıklar olması beklenen bir durumdur.



Şekil 73. Misel esaslı yalıtım malzemelerin elastikiyet modülü

4.5.3.2. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Yüzeye Dik Çekme Direncinin İrdelenmesi

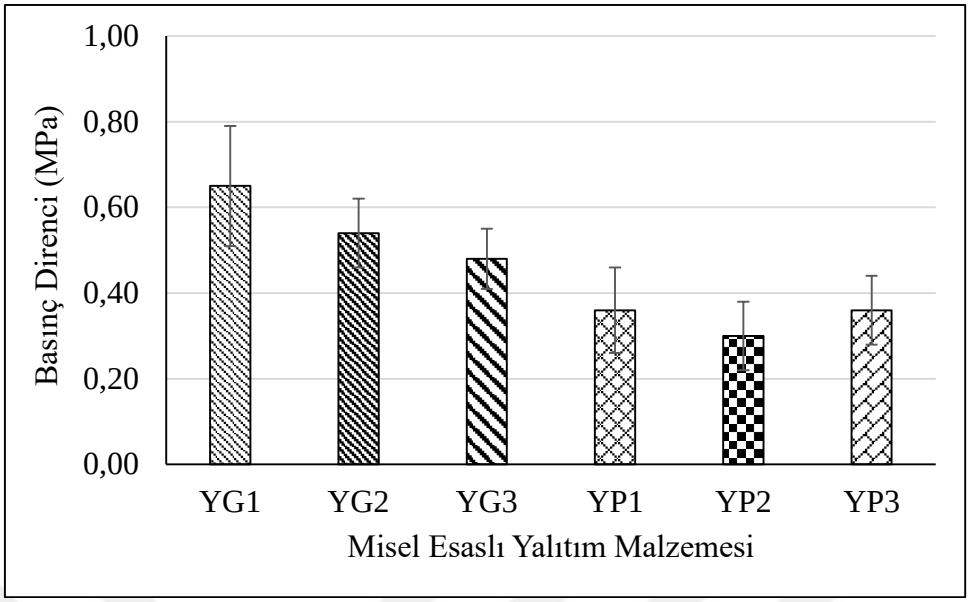
Misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme dirençlerine ilişkin elde edilen bulgular Şekil 74'de verilmiştir. Misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direnç değerlerinin 6.21 kPa ila 18.61 kPa arasında olduğu belirlenmiştir. Misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme dirençleri eğilme dirençlerine benzer şekilde, GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının PO mantarıyla üretilenlerinkinden oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhaların yüzeye dik çekme direncine kullanılan mantar türünün oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direnç değerleri inkübasyon süresinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Bunun nedeni, yukarıda belirtildiği üzere GL mantarının misel ve ağ yapısının oldukça yoğun olması nedeniyle levhaların daha rijit olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 74. Misel esaslı yalıtım levhaların yüzeye dik çekme direnci değerleri

4.5.3.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemelerinin Basınç Direncinin İrdelenmesi

Misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direnci değerlerine ilişkin elde edilen bulgular Şekil 75'de verilmiştir. Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direnci değerleri en düşük 0.30 MPa, en yüksek 0.65 MPa olarak bulunmuştur. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direnç değerleri PO mantarı kullanılarak üretilenlere oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İnkübasyon süresinin artmasıyla birlikte misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direnci değerleri düşüş göstermiştir. Bununla birlikte bulgular bölümünde de belirtildiği üzere basınç direnci değerlerindeki düşüş istatistiksel anlamda önemli olduğu belirlenmiştir. Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme ve yüzeye dik çekme dirençlerine ilişkin yapılan değerlendirmede de belirtildiği üzere, GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levha formunun PO mantarıyla üretilenlere oranla daha rijit/sert olması nedeniyle GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının direnç değerlerinin daha yüksek çıktığı düşünülmektedir. İnkübasyon süresinin artmasıyla birlikte buğday samanının kimyasal ana bileşenlerinde mantarların neden olduğu tahribat nedeniyle levhaların basınç direnç değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir.

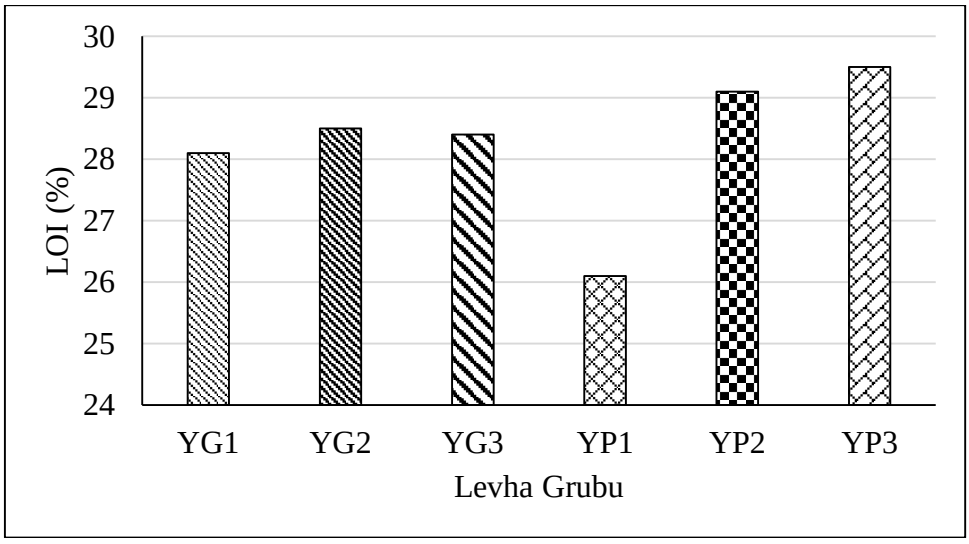


Şekil 75. Misel esaslı yalıtım levhaların basınç direnci değerleri

4.5.4. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Termal ve Yanma Özelliklerine Ait Bulguların İrdelenmesi

4.5.4.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulguların İrdelenmesi

Misel esaslı yalıtım levhalarının sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) değerleri Şekil 76'de verilmiştir.



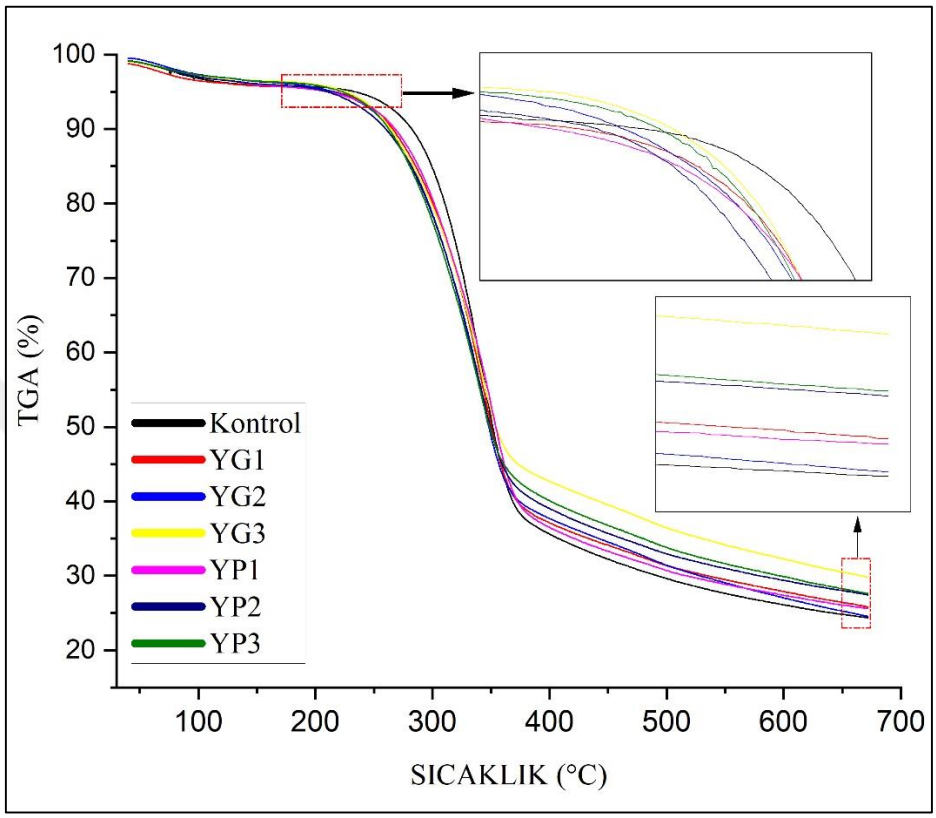
Şekil 76. Misel esaslı yalıtım levhalarının LOI değerleri

Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının, kullanılan mantar türü ve inkübasyon süresinden bağımsız olarak, oldukça yakın LOI değerlerine sahip oldukları bulunmuştur. İnkübasyon süresinin artmasıyla birlikte düşük bir oranda LOI değerlerinin arttığı görülmüştür. Bunun nedeninin ise mantarların misel/hüf ağ yapılarının inkübasyon süresinin armasıyla birlikte daha da gelişmesi ve bununda levhaların yanması için gerekli oksijen miktarında artışa neden olduğu düşünülmektedir. Günümüzde kullanılan yalıtım levhalarının büyük bir çoğunluğu petrol esaslı ürünlerdir ve bunların yüksek oranda yanıcı olması yapılar ve binalarda yaşayan insan/canlılar için risk içermektedir. Örneğin EPS'in LOI değerinin 13'den daha düşüktür, çok az oksijen düzeyinde dahi yanmaya devam edebilmektedir. Ayrıca, misel esaslı yalıtım levhaları tamamen doğal, herhangi bir kimyasal madde içermemesi, tamamen bozunabilir olması gibi avantajları göz önüne alındığında, misel esaslı yalıtım malzemelerin günümüzde yaygın olarak kullanılan yalıtım levhalarına göre oldukça üstün yönlerinin olduğu görülmektedir. Farklı substratlar kullanılarak belirli işlevlere ve amaçlara göre (örneğin, yapısal destek, yangına dayanıklılık ve akustik yalıtım), misel esaslı yalıtım levhalarının üretimi gerçekleştirebilir. Örneğin, substratlara pirinç kabuğu ve ince camlar eklenerek miselyum biyo-kompozitinin yangın direnci önemli ölçüde arttırılabileceğini, çünkü yanma sırasında yüksek sıcaklığı tolere etmek için çok fazla kömür ve silika külü açığa çıkarılacağı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Bansal vd., 2006; Jones vd., 2018).

4.5.4.2. Misel Esaslı Yalıtım Levhaların Termogravimetrik (TGA) ve Türev Termogravimetrik (DTG) Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Misel esaslı yalıtım levha gruplarına ait TGA ve DTG eğrileri ilişkin elde edilen veriler sırasıyla Şekil 77 ve Şekil 78'de verilmiştir. TGA eğrilerinde; ilk aşama bozunmasında, serbest ve kimyasal olarak bağlı suyun buharlaşmasına bağlı olarak termal bozunma meydana gelmektedir. İkinci aşama bozunmasında, muhtemelen kitin (miselyumdaki asetillenmiş ve asetillenmemiş kitin), aminoasit, lipit ve polisakkaritlerin termal bozunmalarıdır. Bu bozunmalar büyük molekül ağırlıklı polimerler düşük molekül ağırlıklı uçuculara parçalanarak termal bozunmaya başlar (Paulino vd., 2006; Jones vd., 2018a; Jones vd., 2018c). Termal bozunmanın son aşamasında kömür oluşumunun bir sonucu olarak CO, CO_2 ve H_2O oluşumundan dolayı örneklerde çok az bir kütle kaybı meydana gelir (Iqbal vd., 2011). Buğday sapının termal bozunması; 30-100 °C sıcaklık aralığında rutubet

buharlaşması, 200-450 °C sıcaklık aralığında hemiselüloz, selüloz ve lignin bileşenlerinin bozunması, 450-700 °C sıcaklık aralığında lignin pirolizine ve kalıntının kömürleşmesi gerçekleşir (Lazdovica vd., 2017).



Şekil 77. Misel esaslı yalıtım levhalarında TGA eğrileri

Şekil 77'de görüldüğü üzere mantar ile muamele edilen buğday sapından üretilen misel esaslı levhaların buğday sapı kontrol örneklerine göre daha erken sıcaklıkta termal bozunmaya başladığı tespit edilmiştir. Mantar inkübasyon süresi artıkça bozunmaya başlama sıcaklığı da düştüğü gözlemlenmiştir. Buğday sapı kontrol örnekleri, YG1, YG2, YG3, YP1, YP2 ve YP3 levha gruplarının ikinci aşama termal bozunma sıcaklıkları sırasıyla 205-527°C, 174-478 °C, 170-434°C, 169-425°C, 176-455°C, 177-450°C ve 171-446°C olarak tespit edilmiştir. GL mantar inkübasyonu ile üretilen misel esaslı yalıtım levha gruplarının termal bozunmaya başlama sıcaklığı, PO mantarı ile üretilen misel esaslı yalıtım levha gruplarına göre daha erken başladığı tespit edilmiştir.

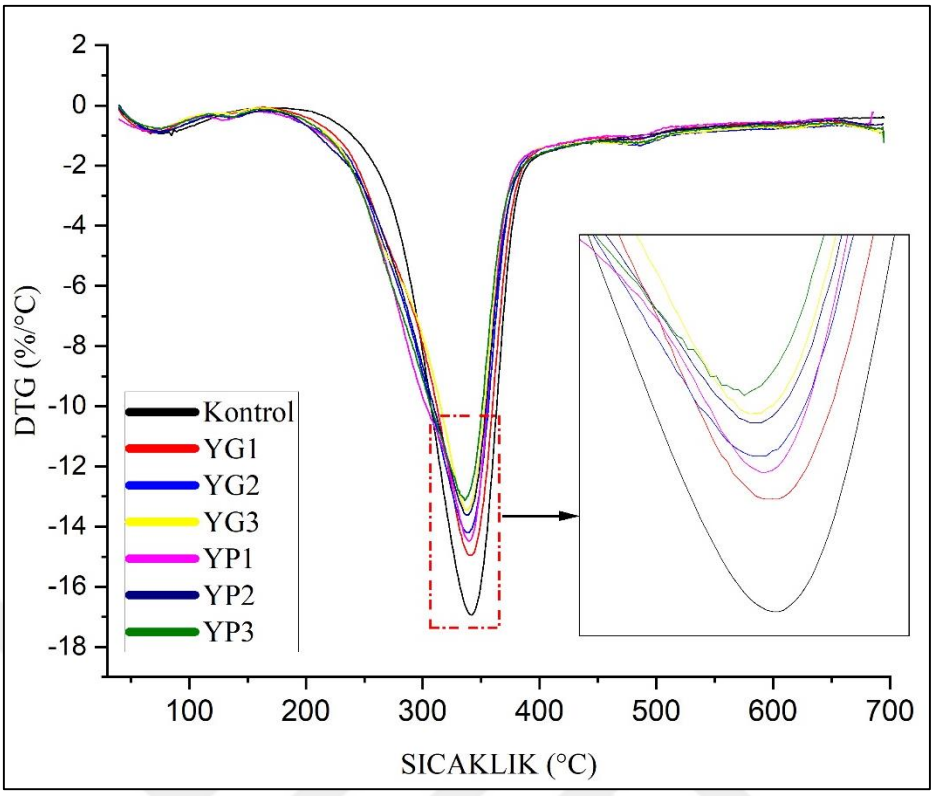
İkinci termal bozunma aşamasında buğday sapı kontrol örnekleri, YG1, YG2, YG3, YP1, YP2 ve YP3 levha gruplarının ağırlık kayıpları sırasıyla %67.12, %63.13, %60.66,

%55.31, %62.63, %60.09 ve %59.29 olarak belirlenmiştir. Mantar inkübasyon süresi artıkça ağırlık kaybı oranınında azaldığı belirlenmiştir. GL mantar inkübasyonu ile üretilen misel esaslı yalıtım levha gruplarının ağırlık kayıp oranları, PO mantarı ile üretilen misel esaslı yalıtım levha gruplarınınkine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Termal bozunma işlemi tamamlandıktan sonra buğday sapı kontrol örnekleri, YG1, YG2, YG3, YP1, YP2 ve YP3 levha gruplarının kalıntı kütle miktarı sırasıyla %23.86, %24.94, %24.57, %28.82, %24.85, %26.71 ve %26.73 olarak tespit edilmiştir. İnkübasyon süresi artıkça kalıntı kütle miktarının da arttığı tespit edilmiştir.

Gou vd., (2021) *Pleurotus ostreatus, Oudemansiella radicata Acremonium* sp mantarı ile pamuk sapı, buğday kepeği ve güçlendirilmiş doğal liflerden oluşan karışımını 3 farklı mantar (*Pleurotus ostreatus, Oudemansiella radicata Acremonium* sp) ile 28, 31 ve 37 gün süreyle inkübe ederek biyo kompozit malzemesi üretilmiştir. Üretilen biyo kompozit malzemenin TGA analizi sonuçlarına göre termal bozunması 150-500 °C sıcaklığı aralığında olduğu ve bozunma hızının düşük olduğu tespit edilmiştir. Güçlendirilmiş doğal liflerin $CaCO_3$ (%95,85) açısından zengin olması ve endotermik reaksiyonun yüksek sıcaklıklarda meydana gelmesi, bu da misel esaslı biyokompozitlerinin bozunma hızını düşürebileceği belirtilmiştir.

Jones vd., (2018a) silisçe zengin olan pirinç kabuğu ve ot ile *Trametes versicolor* kullanarak misel esaslı kompozit elde edilmiştir. Üretilen misel esaslı biyokompozitteki yüksek silis miktarının termal bozunma özelliklerini iyileştirdiğini bundan dolayı $CaCO_3$ veya SiO_2 açısından zengin misel esaslı biyokompozitlerin termal bozunma direncini iyileştirebileceği belirtilmiştir.



Şekil 78. Misel esaslı yalıtım levhalarında DTG eğrileri

Şekil 78'de DTG eğrileri incelendiğinde mantar inkübasyonuna maruz bırakılmış misel esaslı yatım levha guruplarının buğday sapı kontrol örneklerine göre termal bozunma sırasında oluşan pik uzunluklarında kısalma (ağırlık kaybı hızlarında yavaşlama) olduğu belirlenmiştir. En az ağırlık kaybı YG3 levha gurubunda, en çok ağırlık kaybı ise YG1 levha grubunda olduğu belirlenmiştir.

Misel esaslı biyokompozit malzemelerin termal bozunması düşük olmasına karşın 400 °C üstündeki sıcaklıklarda yüksek kalıntı kütle miktarına sahip olması yalıtım malzemesi olarak değerlendirilmesinde avantaj sağladığı bildirilmiştir (Bansal vd., 2006; Jones vd., 2018; Gou vd., 2021).

4.5.5. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının Isıl İletkenlik Katsayısının İrdelenmesi

Misel esaslı yalıtım levhalarının ısıl iletkenlik katsayı değerlerine ilişkin elde edilen veriler Şekil 79'da verilmiştir. Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının ısıl iletkenlik katsayıları mantar türü ve inkübasyon süresinden bağımsız olarak birbirlerine oldukça yakın değerler bulunmuştur.

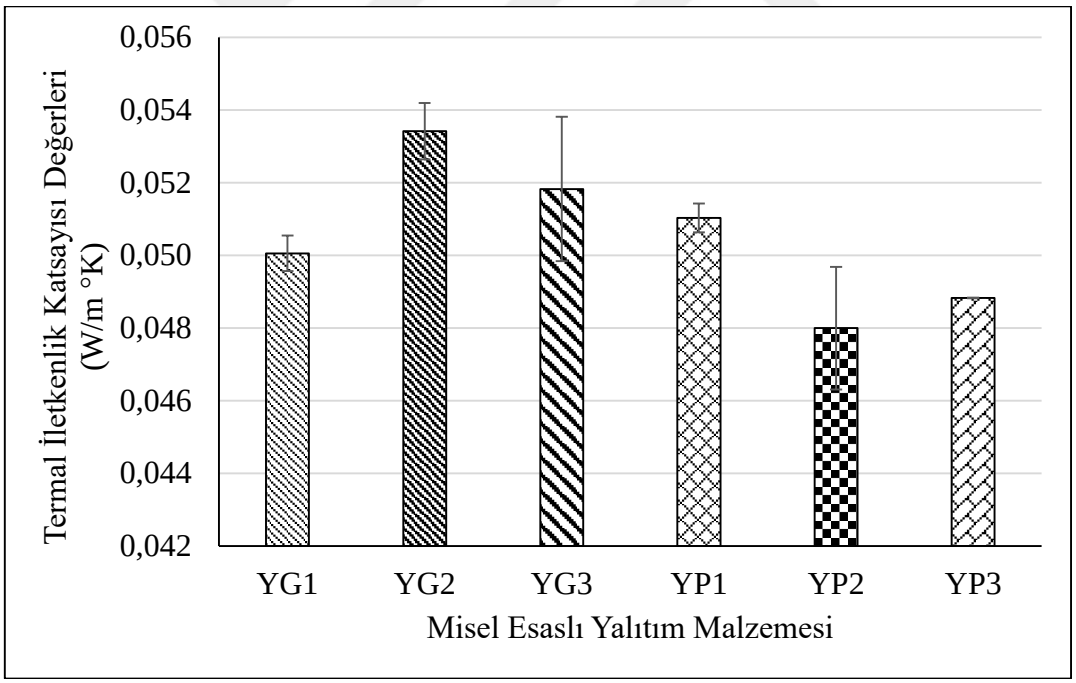
Yapılan çalışmalarda misel esaslı yalıtım malzemelerin ısıl iletkenlik katsayılarının; mantar türü ve inkübasyon süresinden daha çok, yalıtım levhalarının yoğunluğu, rutubet içeriği ve kullanılan lignoselülozik materyallere bağlı olduğu bildirilmiştir (Uysal vd., 2004; Jerman vd., 2013; Collet ve Prétot, 2014). Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yoğunluk değerleri birbirleriyle oldukça yakın olmakla birlikte, daha düşük yoğunluğa sahip misel esaslı yalıtım levhalarının daha düşük ısıl iletkenlik katsayılarına sahip olduğu, diğer bir ifade ile daha iyi yalıtım özellikleri gösterdiği bulunmuştur.

Saman ve kenevir lifleri gibi yüksek performanslı doğal yalıtkanlar içeren misel esaslı yalıtım levhalarının hem düşük yoğunluklara (57–99 kg/m^3) hem de termal iletkenliklere (0.04–0.08W/m·K) sahip olduğu bildirilmiştir (Jones vd., 2020). Bu, cam yünü (57 kg/m^3, 0,04W/m·K), ekstrüde polistiren yalıtım malzemesi (XPS, 34 kg/m^3, 0,03 W/m·K) (Papadopoulos, 2005), koyun yünü (18 kg/m^3, 0.05W/m·K) ve kenaf (105 kg/m^3, 0.04W/m·K) (Asdrubali vd., 2015) gibi diğer geleneksel ticari ısı yalıtım ürünleriyle ve diğer doğal yalıtım materyalleriyle (koyun yünü, kenaf vb.) rekabet edebilecek mükemmel yalıtım malzemeleri oldukları bildirilmiştir.

Daha düşük termal iletkenlikler, daha iyi yalıtım malzemeleri ile ilişkilidir ve öncelikle malzeme yoğunluğundan ve daha az ölçüde de rutubet içeriğinden etkilenmektedir (Uysal vd., 2004; Jerman vd., 2013; Collet ve Prétot, 2014). Örneğin, yoğunlukta %67'lik bir artış, kenevir betonlarında (kenevir kabuğu ve kireç içeren bir biyo-kompozit malzeme) termal iletkenlikte %54'lük bir artışa neden olurken, bağıl nemde %90'lık bir artış (tam kurudan %90 bağıl neme çıktığında) yalnızca %15–20'lik bir termal iletkenlik artışına neden olduğu bildirilmiştir (Collet ve Prétot, 2014). Malzeme yoğunluğu ve termal iletkenlik arasındaki güçlü korelasyon, çok düşük bir termal iletkenliğe sahip olan büyük miktarlardaki kuru havanın düşük yoğunluklu malzemenin iç kısımlarında varlığının bir sonucundan kaynakladığı rapor edilmiştir (0.1 MPa basınç ve 300 °K sıcaklıkta 26,2 × 10−3 W/m°K) (Kadoya vd., 1985). Bu büyük miktarlardaki hava, düşük yoğunluklu malzemelerin genellikle mükemmel ısı yalıtkanları olduğu anlamına gelmektedir.

Saman ve kenevir, faydalı yalıtım özelliklerini gözenekli yapılarından ve demetlenmiş liflerin düşük kütle yoğunluğundan alan, yalıtımdaki lifler arasında büyük miktarda havanın tutulmasına yol açan, iyi bilinen doğal ısı yalıtım malzemeleridir (Kymäläinen ve Sjöberg, 2008; Wall vd., 2012). Isı yalıtım özellikleri öncelikle levhanın yoğunluğuna, rutubet içeriğine ve lif tipine göre değişiklik gösterdiği bildirilmiştir (Bainbridge, 1986). Buğday samanı kullanarak üretilen misel esaslı kompozitlerin termal iletkenlik katsayılarını sırasıyla

0.04 W/m°K (Elsacker vd., 2019) ve 0.08 W/m°K (Xing vd., 2018) olarak tespit edilmiştir. Tez kapsamında üretilen yalıtım levhalarının ısıl iletkenlik değerleri (ortalama 0.05 W/m°K) de bu iki farklı çalışmada elde edilen değerlerin arasında olduğu tespit edilmiştir. Kenevir lifi kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitlerinin de termal iletkenliklerinin (0,04 W/m°K) (Elsacker vd., 2019) kenevir betonlarından (0,1 W/m°K (Collet ve Prétot, 2014) önemli ölçüde daha düşük olduğu bildirilmiştir. Pamuk karpel (0,10-0,18 W/m°K) (Holt vd., 2012) içerenler gibi daha zayıf yalıtım özellikleri sergileyen lignoselülozik materyaller kullanılarak üretilen misel esaslı kompozitler bile, alçı taşı (0,17 W/m°K), yüksek yoğunluklu yongalevha (0,15 W/m°K), kontrplak (0,12 W/m°K) ve hem yapraklı ağaç odunu (0,16 W/m°K) hem de iğne yapraklı ağaç odunları (0,12 W/m°K) ile karşılaştırılabilir termal iletkenlik değerlerine sahiptir (Bergman vd., 2011). Bu durum, misel esaslı yalıtım malzemelerinin uygun, düşük maliyetli ve çevresel açıdan sürdürülebilir olması nedeniyle geleneksel ticari bina yalıtım malzemelerine bir alternatif haline getirmektedir.

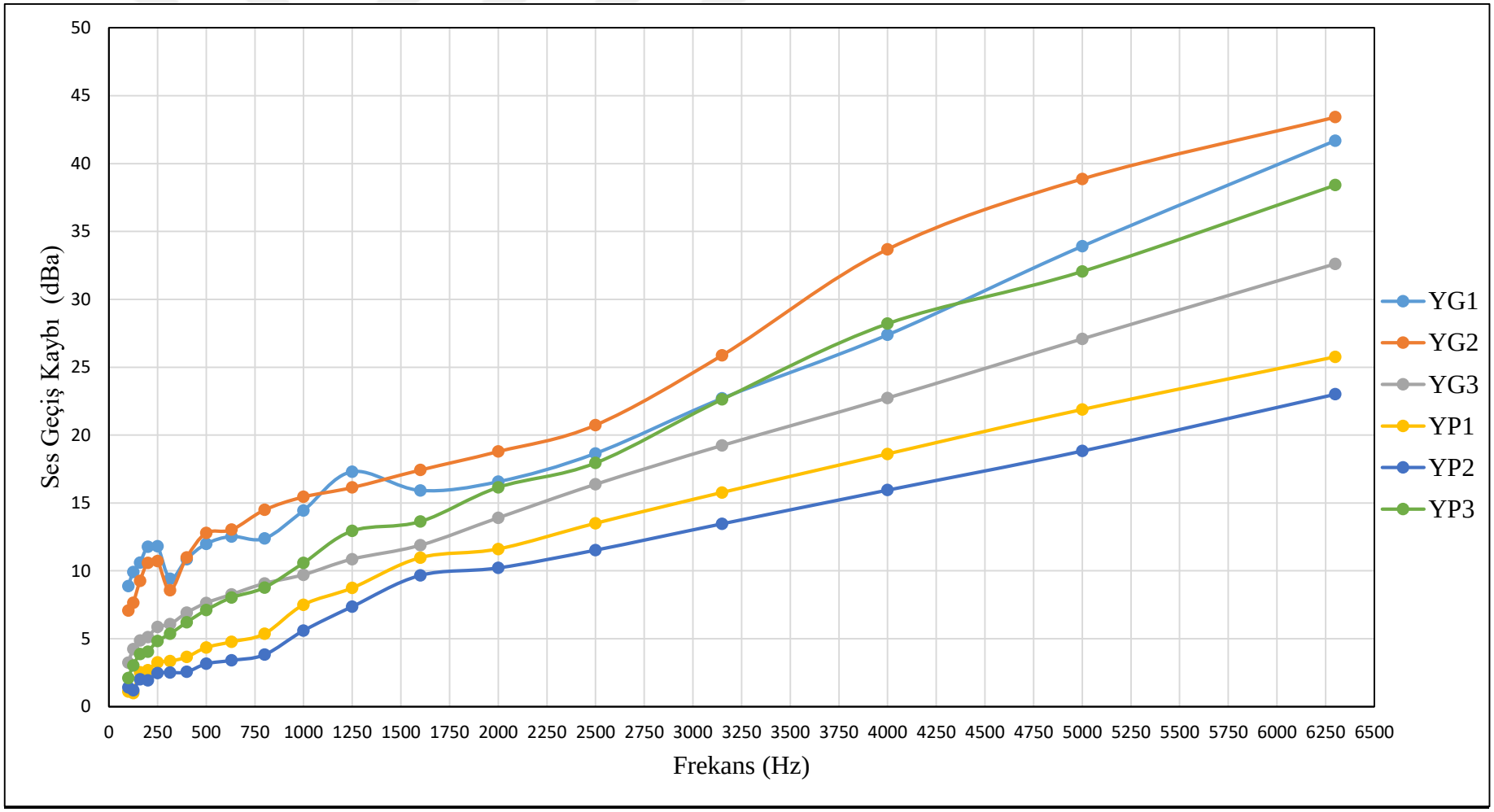


Şekil 79. Misel esaslı yalıtım levhalarının termal iletkenlik katsayı değerleri

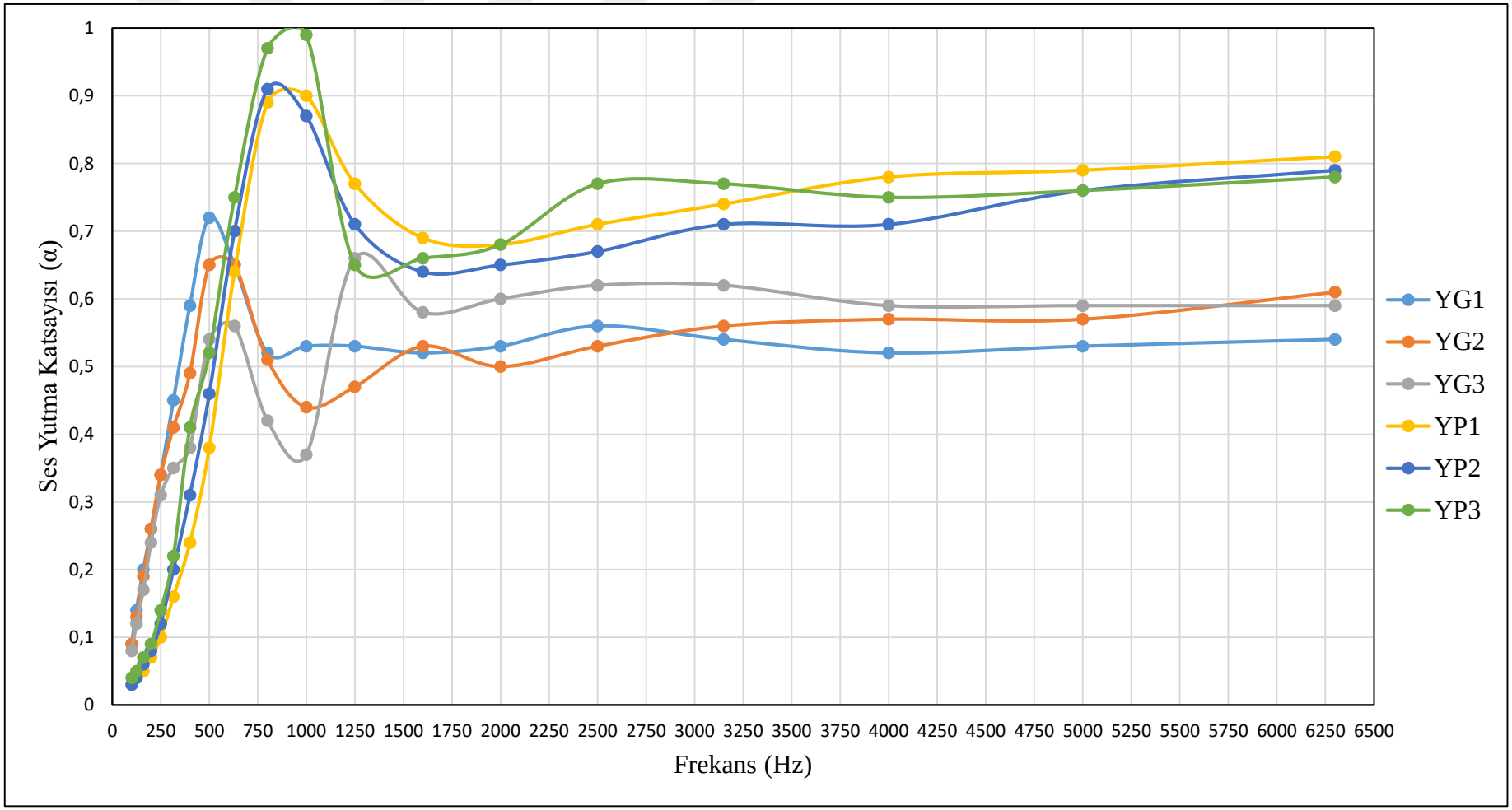
4.5.6. Ses Geçiş Kaybı ve Ses Yutma Katsayısı Değerlerinin İrdelenmesi

Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının ses geçiş kaybı ve ses yutma katsayıları belirlenmiş ve elde edilen bulgular Şekil 80 ve Şekil 81'de gösterilmiştir.

Birçok farklı frekanstan oluşan seslerin yüksekliklerini mukayese etmek için sesin frekans aralığındaki bileşenlerinin ortaya konulması, her frekans aralığındaki bileşenin kulağın o frekans aralığındaki duyarlılığı hesaba katılarak düzeltilmesi ve en sonunda bu bileşenlerin tekrar toplanması gerekmektedir. Bu yöntem ile elde edilen değer gürültü düzeyi (ses düzeyi) olarak adlandırılır. Ses düzeyinin birimi dBa ile gösterilmektedir. Elde edilen düzeyler, uluslararası standartlara göre ilgili eş ses yükseklik eğrisine ait şekilde A- ağırlıklı, B-ağırlıklı C- ağırlıklı vb. olarak adlandırılarak, ağırlıklama işleminin türüne bağlı olarak dBa, dBb, dBc vb. cinsinden gösterilmektedir. Ses düzeyi, cihazlar kullanılarak kulağın her frekansa gösterdiği değişik duyarlılığı hesaba katılıp düzeltme yapılarak dBa birimi olarak tespit edilmektedir. A- ağırlıklı ses düzeyleri, duyma sisteminin düşük yoğunluktaki seslere karşı davranışından dolayı gürültü denetimi çalışmalarında en yaygın olarak kullanılmaktadır. Duyma sisteminin duyarlı olduğu frekans aralığındaki seslerin bileşenlerini belirlemenin yanında bu aralık dışında kalan frekanslardaki seslerin toplam düzeye olan etkisini, duyma sisteminin özelliklerini de göz önünde bulundurarak azaltılmasına A- ağırlıklama işlemi denir. Bir gürültünün ses basıncı düzeyi, frekans dağılımı bilgisi olmadan tek başına gürültünün yüksekliği ile ilgili herhangi bir bilgi sağlamazken; ses düzeyi, gürültünün yüksekliği ile ilgili bütün bilgiyi vermektedir (Soydaş, 2007).



Şekil 80. Misel esaslı yalıtım levhalarının ses geçiş kaybı değerleri (dBa)



Şekil 81. Misel esaslı yalıtım levhalarının ses yutma katsayısı değerleri

Misellerin kendisi mükemmel bir akustik emicidir, güçlü doğal düşük frekans emilimi (<1500 Hz) sergilemekte ve yol gürültüsünü azaltmada mantar (meşe ağaçlarından elde edilen) ve ticari tavan döşemelerinden daha iyi performans göstermektedir (Pelletier vd., 2019). Bu tipik olmayan özellik, misel esaslı üretilen köpüğünün veya yalıtım levhalarının düşük frekanslı absorpsiyon özelliklerini geliştirmek için diğer malzemelerle birlikte kullanılabileceği anlamına geldiği belirtilmektedir. Alternatif olarak, misellere bağlı tarımsal kalıntı içeren misel esaslı kompoziti, %70-75 absorpsiyon ile daha geniş aralıklı akustik absorpsiyon veya algılanan yol gürültüsü için daha iyi ulaşılabilirlik sağlayabildiği bildirilmiştir (Pelletier vd., 2013). A-ağırlıklı desibeller, insan kulağı tarafından algılandığı şekliyle havadaki seslerin göreceli yüksekliğini ifade ettiği; düşük frekanslı seslerin büyüklüğü, düşük frekanslarda (<1000 Hz) insan kulağının azaltılmış duyarlılığı ile ilişkilendirilecek şekilde azaltıldığı, daha yüksek frekanslı sesler düzeltilmeden (ses düzeyi düşürülmeden) bırakıldığı belirtilmiştir (Pierre vd., 2004). Bu, köpeklerin havlaması (500–1500 Hz), insan konuşması (85–255 Hz) ve insanlara yönelik sokak gürültüsü (700–1300 Hz) gibi ev içi seslerin algılanan yüksekliğinin yorumlanmasına olanak tanımaktadır (Feinberg vd., 2005; Pongrácz vd., 2006; Owren vd., 2007).

Pelletier ve ark. (2013) miselyum bazlı köpüğünün üretiminde kullanılan farklı substratların etkilerini test etmiş ve en kötü özellik gösteren varyasyonda bile 1000 Hz'de akustik absorpsiyon oranının %70-75'i aştığını belirtmişlerdir. Miselyum bazlı köpüğün üretiminde substrat olarak %50 şalgam ve %50 sorgumdan oluştuğunda absorpsiyon oranının en yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Tez kapsamında PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 1000 Hz'de akustik absorpsiyon oranları inkübasyon sürelerine bağlı olarak %87 ila %99 arasında değiştiği tespit edilmiştir. GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının 1000 Hz'de akustik absorpsiyon oranları inkübasyon sürelerine bağlı olarak %37 ila %53 arasında değiştiği belirlenmiştir. PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının ses yutma (akustik absorpsiyon) oranlarının GL mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olmasının nedeni, GL mantarıyla üretilen levhaların GL mantarının misel/hüf yapısının ve güçlü ağ yapısından dolayı daha rijit olmasından, dolayısıyla sesin karşı tarafa iletilmesinin daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

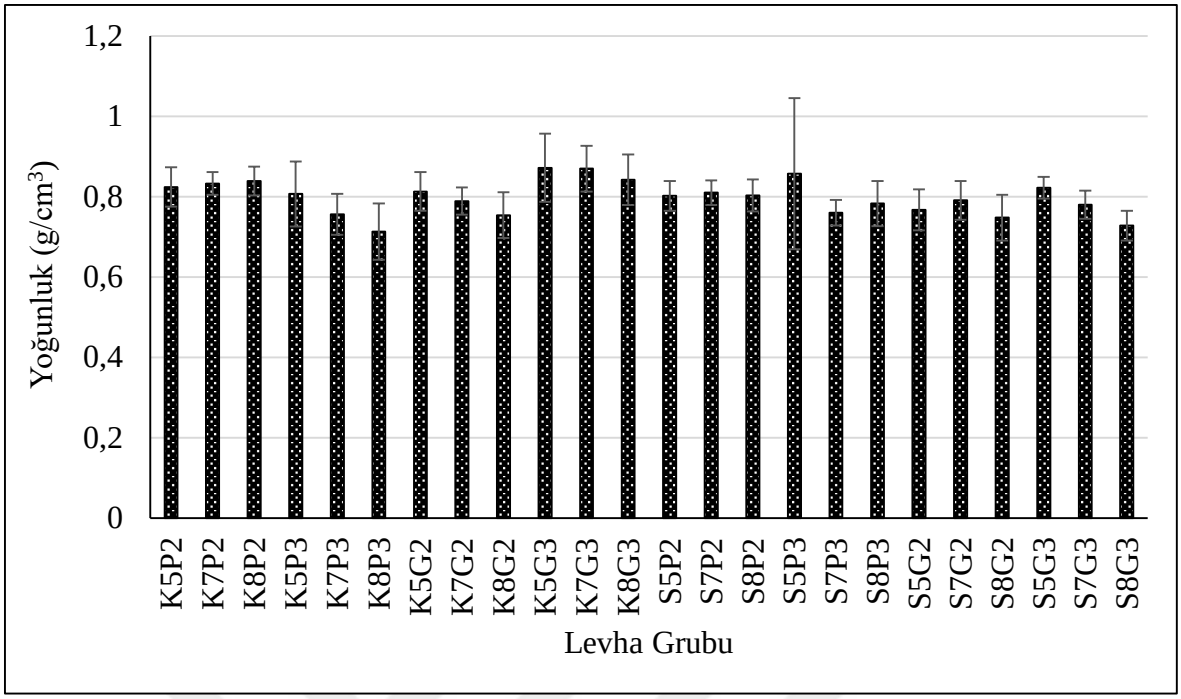
Misel esaslı kompozitlerinin mükemmel akustik absorpsiyon özellikleri, gözenekli, lifli doğalarına atfedilebilmektedir. Malzemelerin akustik özelliklerini tanımlamak için kullanılan empedans ve yayılma sabitleri, bir malzemenin hava akışı direncinden büyük

ölçüde etkilenmekte ve daha yüksek hava akışı direnci, daha büyük akustik absorpsiyonla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Ren ve Jacobsen, 1993). Misel esaslı kompozitlerde lifler, akustik dalga hareketine direnen ve ses dalgaları malzemenin kıvrımlı geçitlerinden geçmeye çalışırken genliğini azaltan ve bu süreçte ısıya dönüştürülen sürtünme elemanları gibi davranmaktadır (Hemond, 1983). İnce lifler daha kolay hareket edebildikleri için daha iyi akustik absorpsiyon sağlamakta ve birim hacim başına daha fazla sayıda lif, daha dolambaçlı yollara ve daha fazla hava akışı direncine neden olur (Sun vd., 1993; Koizumi vd., 2002). Yüzey gözenek konsantrasyonu ve geometrisi, ses dalgalarının malzemeye girmesi için gerekli gözeneklilik ve verimli sönümleme için gereken kıvrımlılık ile de önemlidir (Seddeq, 2009). Gözeneklilik ve hava akımı direnci, ses dalgası tepelerinin yüksekliğini ve genişliğini etkilerken, kıvrımlılık, gözenekli malzemelerin yüksek frekanslı akustik özelliklerini etkilemektedir (Seddeq, 2009). Daha az yoğun, daha açık yapılar dokunmamış lifli malzemelerde (500 Hz) düşük frekanslı sesi emerken, 2000 Hz'den yüksek frekanslar için daha yoğun yapılar daha iyi olduğu bildirilmiştir (Koizumi vd., 2002). Bir malzemenin sıkıştırılması, esas olarak kalınlıktaki azalmadan (Castagnede vd., 2000) kaynaklanan akustik absorpsiyonda bir azalmaya neden olduğunu ve bu nedenle, akustik emiciler olarak kullanılan misel esaslı kompozitleri sıcak veya soğuk preslenmemesi gerektiği bildirilmiştir.

4.6. Odun Doğal Plastik Kompozitlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

4.6.1. ODPK'ların Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi

Malzemenin fiziksel özelliklerini, mekanik özelliklerini ve kullanım olanakları belirleyen önemli bir faktördür (Berkel, 1970). Tez kapsamında **i**ki farklı ağaç türü, iki farklı mantar türü, iki farklı inkübasyon periyodu ve üç farklı karışım oranları kullanılarak üretilen odun doğal plastik kompozitlerinin yoğunluk değerleri belirlenmiş ve elde edilen bulgular Şekil 82'de verilmiştir.



Şekil 82. ODPK'lerin yoğunluk değerleri

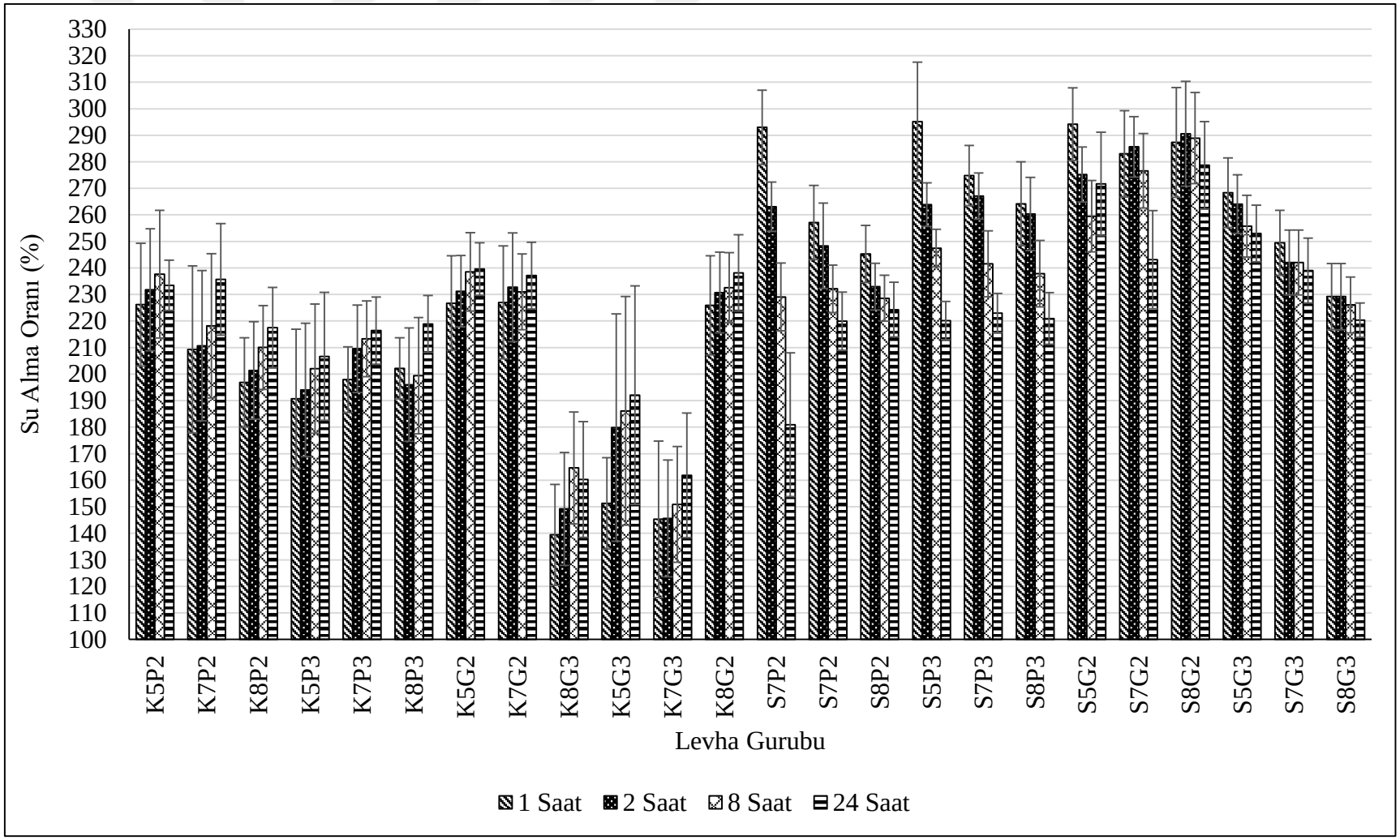
En yüksek yoğunluk değeri K5G3 levha gurubu olan ODPK'larda, en düşük yoğunluk değeri ise K5P3 levha grubu olan ODPK'larında tespit edilmiştir. Fakat genel olarak sarıçam odun yonga/talaşları kullanılarak üretilen ODPK'lerin yoğunluk değerleri, kavak odun yonga/talaşları kullanılarak üretilenlerinkinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Düz pres kullanılarak üretilen levhaların içeriğindeki odun unu oranındaki artış yoğunluk değerlerini azaltmaktadır (Benthien vd., 2012, Rahman vd., 2018). Yüksek oranda odun unu içeren levhaların viskoelastik davranış gösterme eğilimi de arttığından üretim sonrasında levha kalınlıkları artmaktadır. Levhaların kalınlık artışları yoğunluğu olumsuz etkileyerek yoğunluğun düşmesine sebep olmaktadır (Benthien vd., 2012). Şekil 82 incelendiğinde mantar inkübe edilmiş odun yonga/talaş miktarı arttıkça yoğunluk değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

4.6.2. ODPK'ların Su Alma Oranlarına Ait Bulguların İrdelenmesi

ODPK'lerin su alma testleri gerçekleştirilmiş ve 1, 2, 8 ve 24 saat sonunda ODPK'lerin su alma oranları belirlenmiştir (Şekil 83). Elde edilen bulgulara göre ODPK'lerin su alma oranlarının oldukça yüksek olduğu ve beklenildiği üzere (diğer odun ve odun esaslı

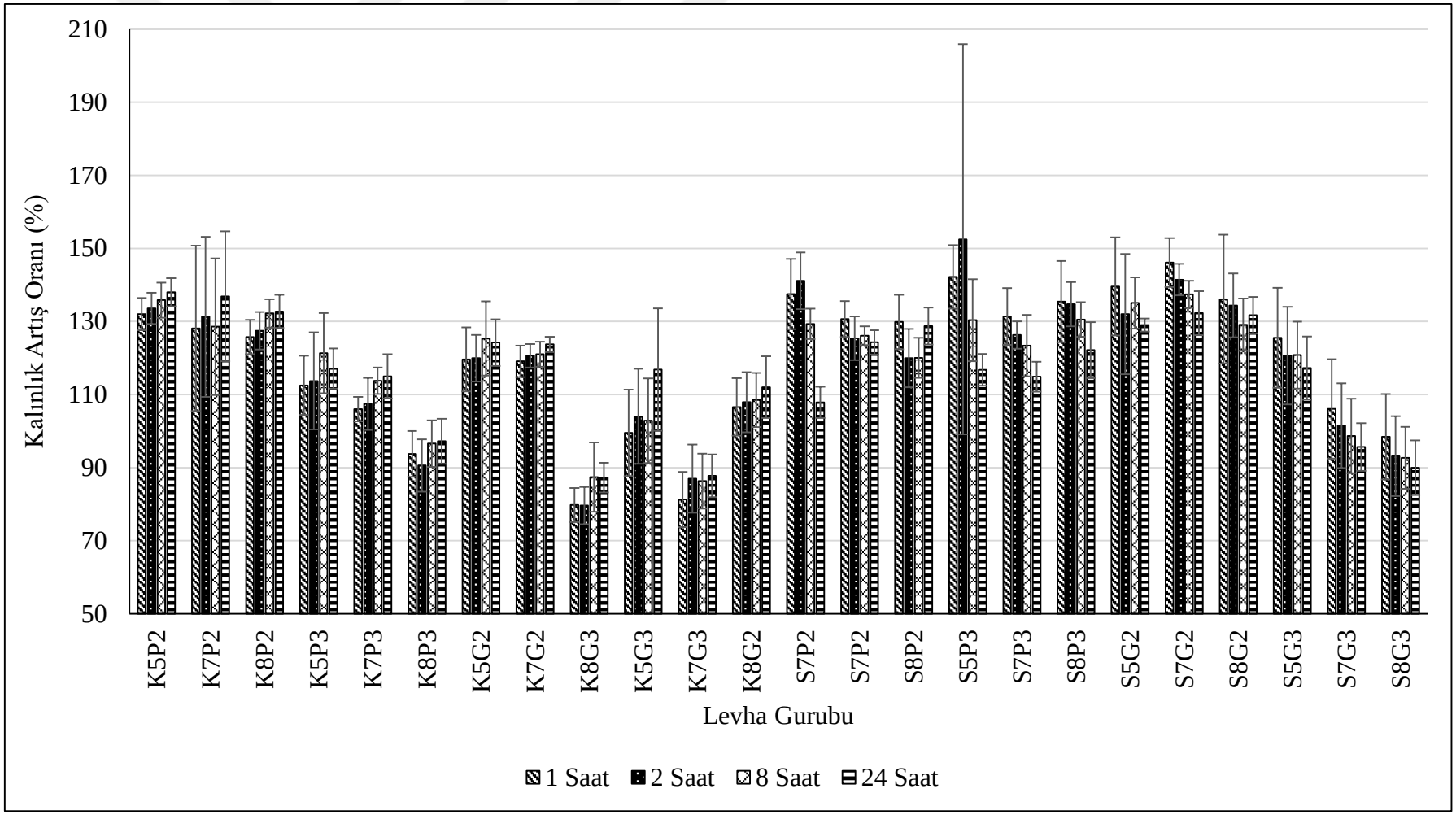
kompozitlerde olduğu gibi) su alma oranı ilk başta hızlı bir şekilde artmakta daha sonra su alma oranı yatay bir seyir izlemektedir. Ayrıca bazı varyasyonlara ait test örnekleri su alma testi sırasında çok yüksek oranda su almaları nedeniyle belirli süre sonunda dağılmaya başladığı gözlemlenmiştir. Kavak odun yonga/talaşları kullanılarak üretilen ODPK'lerin su alma oranlarının, sarıçam odun yonga/talaşları kullanılarak üretilenlerinkinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun nedenin ise, mantar misellerinin kavak odun talaş/yongalarında daha iyi geliştiği, güçlü ağ yapısı oluşturarak odun yonga/talaşları miseller arasında bağlanmasının daha iyi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kavak odun talaş/yongaları GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan ve %80-20, %70-30 ve %50-50 karışım oranlarıyla üretilen K8G3, K7G3 ve K5G3 levha grubu ODPK'ların en düşük su alma oranlarına sahip oldukları tespit edilmiştir. Sarıçam odun talaş/yongaları PO mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan %80-20 karışım oranlarıyla üretilen S8P2 levha grubu ODPK'ların ise en yüksek su alma oranlarına sahip oldukları belirlenmiştir.



Şekil 83. ODPK'ların su alma oranları

4.6.3. ODPK'ların Kalınlık Artış Oranlarının İrdelenmesi

ODPK'lerin su alma testleri gerçekleştirilmiş ve 1, 2, 8 ve 24 saat su alma testi sonunda ODPK'lerin kalınlık artış oranları belirlenmiştir (Şekil 84). Elde edilen bulgulara göre ODPK'lerin kalınlık artış oranlarının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bazı varyasyonlara ait test örnekleri su alma testi sırasında çok yüksek oranda su almaları nedeniyle belirli süre sonunda dağılmaya başladığı gözlemlenmiş ve kalınlık artış oranları belirlenememiştir. Kalınlık artış oranları su alma test süresinin artmasıyla çok fazla artış göstermemiştir. Kavak odun yonga/talaşları GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %80-20 karışım oranıyla üretilmiş K8G3 levha grubu ODPK'ların en düşük kalınlık artış oranına sahip olduğu belirlenmiştir. ODPK'ların oldukça yüksek oranda su alma ve kalınlık artış oranlarına sahip olmalarının nedeni, lignoselülozik materyallerin (kavak veya sarıçam odun yonga/talaşı) ön işleminden (GL veya PO mantarıyla aşılanıp 2 farklı inkübasyona maruz bırakılması) sonra kurutulup, öğütüldükten sonra ODPK'ların üretimi gerçekleştirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kurutma ve öğütme aşamasında mantar misellerinin ve misel ağ yapısıyla lignoselülozik materyallerle yapmış olduğu bağlanmanın azalması veya tahrip olmasına neden olmasından dolayı üretilen ODPK'lerin su alma ve kalınlık artış oranlarının oldukça yüksek olduğu kanısına varılmıştır.

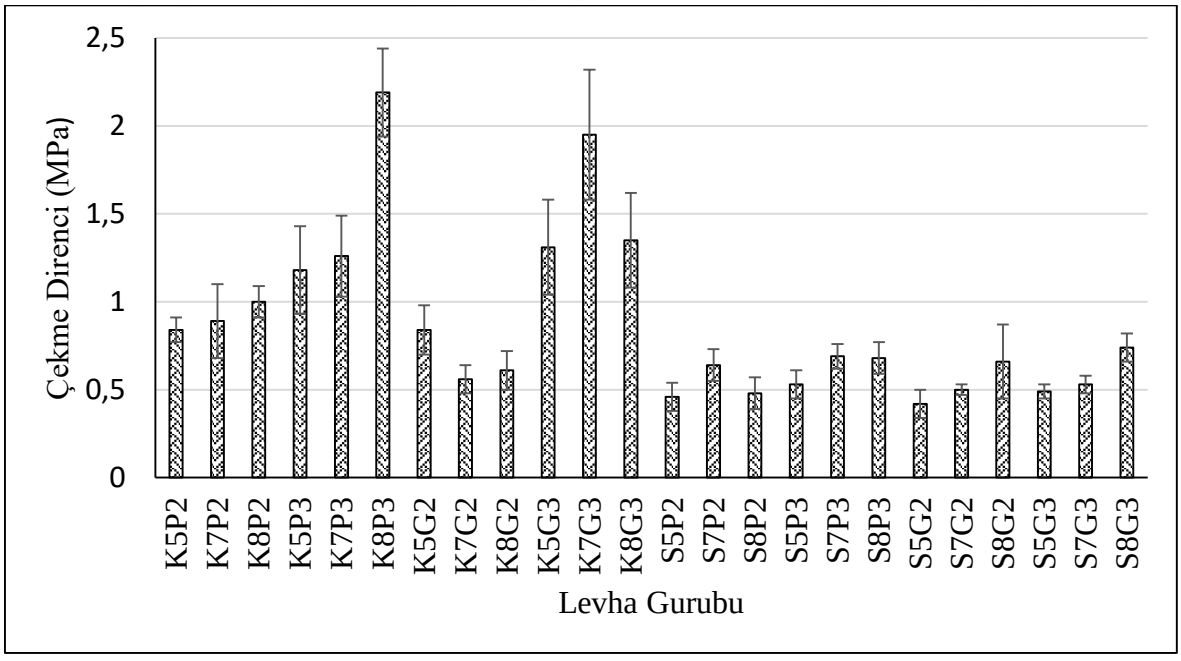


Şekil 84. ODPK'ların kalınlık artış oranları

4.6.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İrdelenmesi

4.6.4.1. ODPK'ların Çekme Direncinin İrdelenmesi

Tez kapsamında **i**ki farklı ağaç türü, iki farklı mantar türü, iki farklı inkübasyon periyodu ve üç farklı karışım oranları kullanılarak üretilen odun doğal plastik kompozitlerinin çekme direnci belirlenmiş ve elde edilen bulgular Şekil 85'de verilmiştir. En yüksek çekme direnci, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8P3 levha grubu ODPK'larda, en düşük çekme direnci ise sarıçam odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-50 karışımıyla üretilen S5G2 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongaları kullanılarak üretilen ODPK'ların çekme direnç değerleri sarıçam odun talaş/yongaları kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Üretilen ODPK'ların çekme dirençleri bazı istisnalar dışında ağaç türü ve mantar türüne bağlı kalmaksızın inkübasyon süresinin artmasıyla arttığı belirlenmiştir.



Şekil 85. ODPK'ların çekme direnci değerleri

Mevcut odun plastik kompozitlerin ticari olarak son 20-25 yıldır yaygın olarak kullanılmasından dolayı odun plastik kompozitlerinin teknolojik özelliklerine ilişkin birçok araştırma yapılmış ve araştırılmalar halen devam etmektedir. Mevcut odun plastik kompozitlerinin direnç özellikleri; kullanılan lignoselülozik materyale (odun talaşı, ağaç türü, yıllık bitki, partikül büyüklüğü), kullanılan plastik türüne (yüksek yoğunluklu, düşük yoğunluklu, geri dönüşümden elde edilen plastik kullanılması, biyobozunur plastik olup olmaması vb.), uyumlaştırıcı kullanılıp kullanılmaması, odun/plastik karışım oranları gibi birçok faktöre göre farklılık göstermektedir. Ayrıca ODPK'lar ilk defa bu tez kapsamında üretilmesinden dolayı, ODPK'lara ilişkin çekme direnç değerlerini, literatürdeki mevcut odun plastik kompozitlerinin direnç değerleriyle kıyaslama oldukça güçtür. Bununla birlikte, yüksek yoğunluklu plastiklerle üretilen ve uyumlaştırıcı kullanılarak üretilen mevcut odun plastik kompozitlerinin direnç değerlerine kıyasla bu tez kapsamında üretilen ODPK'ların direnç değerlerinin düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni odun plastik kompozitlerinde (OPK) kullanılan plastiğin ve uyumlaştırıcı katkı ajanının odun tozuyla homojen bir karışım oluşturması ve direnç özelliklerine olumlu katkı sağlamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, lignoselülozik materyallerin (kavak veya sarıçam odun yonga/talaşı) ön işleminden (GL veya PO mantarıyla aşılanıp 2 farklı inkübasyona maruz bırakılması) sonra kurutma ve öğütme aşamasında mantar misellerinin ve misel ağ yapısıyla lignoselülozik materyallerle yapmış olduğu bağlanmanın azalması ve/veya tahrip olmasından dolayı üretilen ODPK'lerin çekme dirençlerinin düşük olmasına neden olduğu düşünülmektedir. ODPK'lara farklı katkı maddeleri (reinforced, doğal reçinelerin ilavesi vb.) ilave edilerek çekme dirençlerinin artırılabileceği düşünülmektedir. ODPK'lerin direnç özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda yeni araştırma ve tezlere ihtiyaç bulunmaktadır.

PO mantarı kullanılarak üretilen ODPK'ların çekme direncine karışım oranlarının etkisi incelendiğinde, inkübasyon süresinin artmasıyla ve karışım oranındaki inkübe edilmiş lignoselülozik materyal miktarı arttıkça çekme direncinin de arttığı tespit edilmiştir (Şekil 86). GL mantarı kullanılarak üretilen ODPK'ların çekme direncine karışım oranlarının etkisi incelendiğinde, inkübasyon süresinin artmasıyla çekme direncinin de arttığı tespit edilmiştir. Kaşım oranındaki inkübe edilen odun tozu/unu miktarı %70 olduğunda çekme direnç değerlerinin en yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 86).

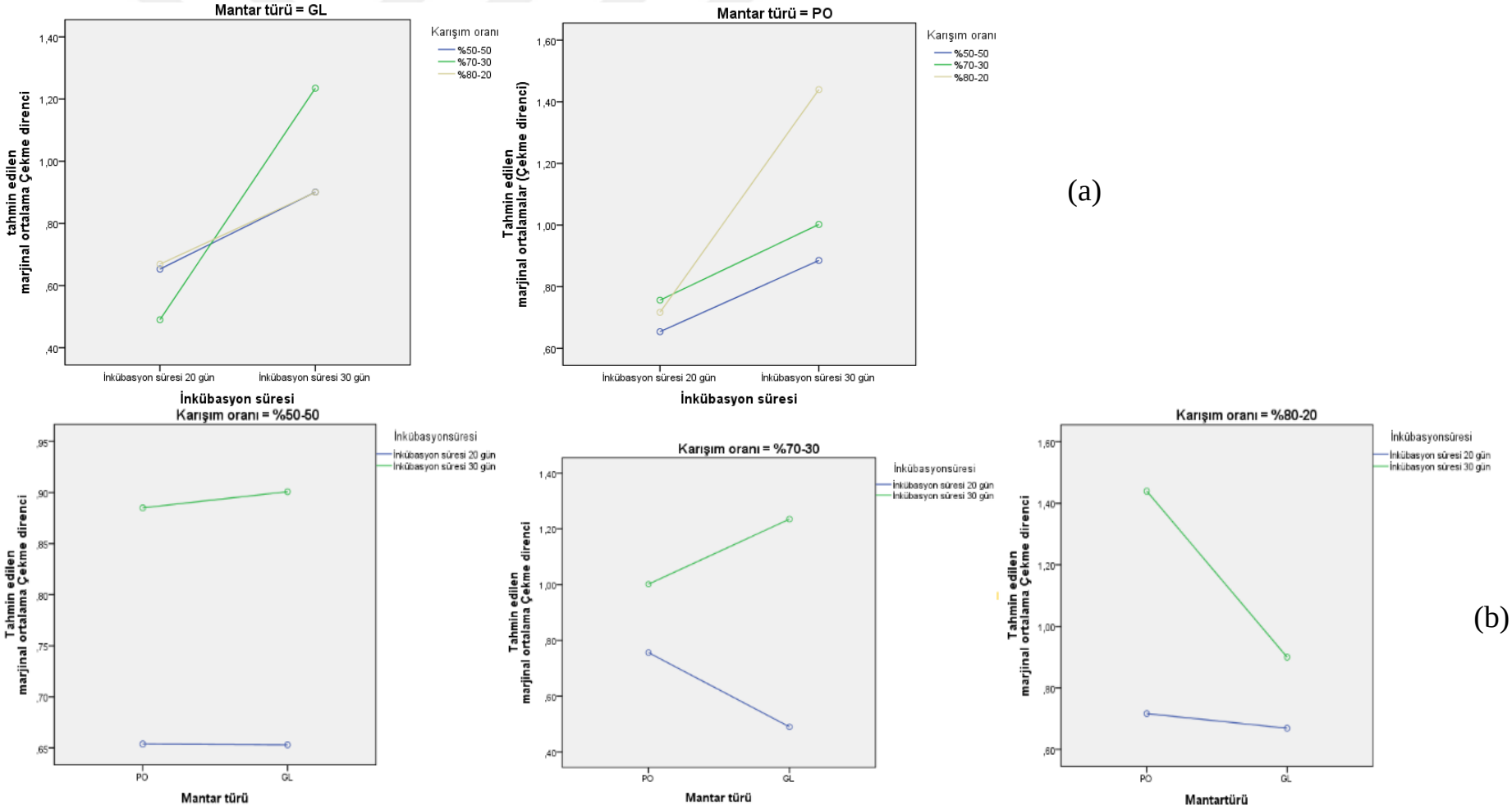
Karışım oranlarına göre, mantar türü ve inkübasyon süresinin ODPK'ların çekme direncine etkisi araştırılmıştır (Şekil 86). Karışım oranı %50-50 ve 20 günlük inkübasyon süresinde mantar türünün ODPK'ların çekme direncine bir etkisinin olmadığı, ancak 30

günlük inkübasyon sürresinde GL mantarının ODPK'ların çekme direncinin bir miktar artmasına neden olduğu görülmektedir.

Karışım oranı %70-30 ve inkübasyon süresinin 20 gün olduğu durumda, PO mantarıyla üretilen ODPK'ların çekme dirençleri, GL mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte inkübasyon süresi 30 gün olduğunda ise, GL mantarıyla üretilen ODPK'ların çekme direncinin PO mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

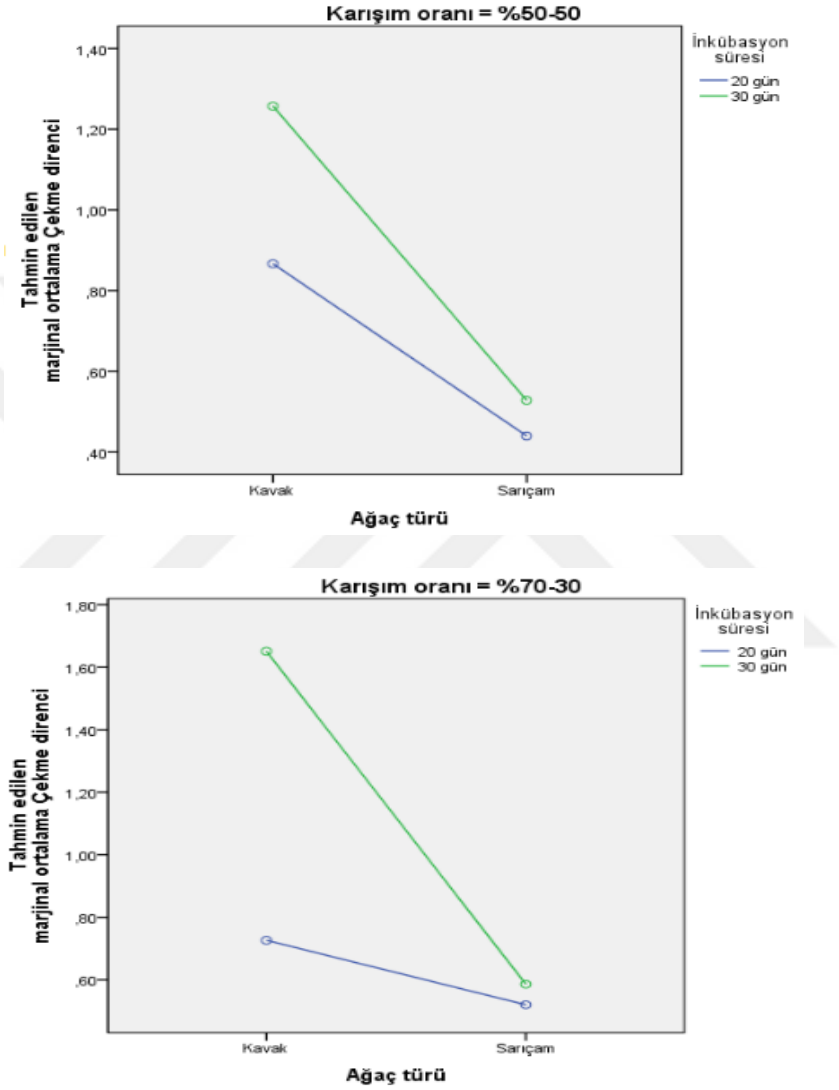
Karışım oranı %80-20 ve inkübasyon süresinin 20 gün olduğu durumda, mantar türünün ODPK'ların çekme direncine çok az bir etkisinin olduğu, PO mantarı üretilen ODPK'ların çekme direnci bir miktar daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, inkübasyon süresi 30 güne çıkartıldığında, mantar türünün etkisi oldukça artmakta, PO mantarıyla üretilen ODPK'ların çekme direnci GL mantarıyla üretilenlerinkinden çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek çekme direnci istendiğinde karışım oranının %70-30 veya %80-20 olması gerektiği, ODPK'ların üretiminde eğer %70-30 karışım oranı kullanılacak ise GL mantarı, %80-20 karışım oranı kullanılacak ise PO mantarının tercih edilmesi gerektiği belirlenmiştir.



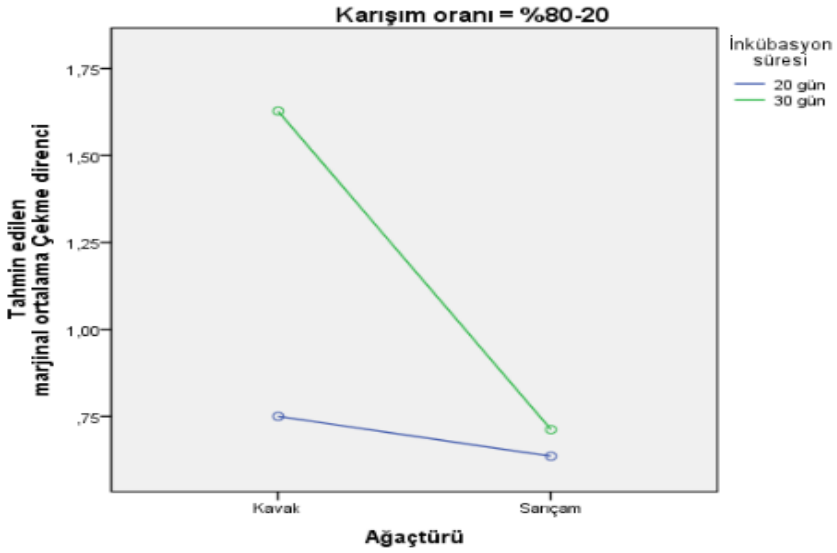
Şekil 86. ODPK'ların çekme direncine inkübasyon süresinin ve karışım oranlarının etkisi (a), inkübasyon süresinin ve mantar türünün etkisi (b)

Karışım oranlarına göre, ağaç türü ve inkübasyon süresinin ODPK'ların çekme direncine etkisi araştırılmıştır (Şekil 87). Her üç karışım oranında ve iki farklı inkübasyon süresinde de kavak odunuyla üretilen ODPK'ların çekme direnci, sarıçam odun yoga/talaşlarında üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



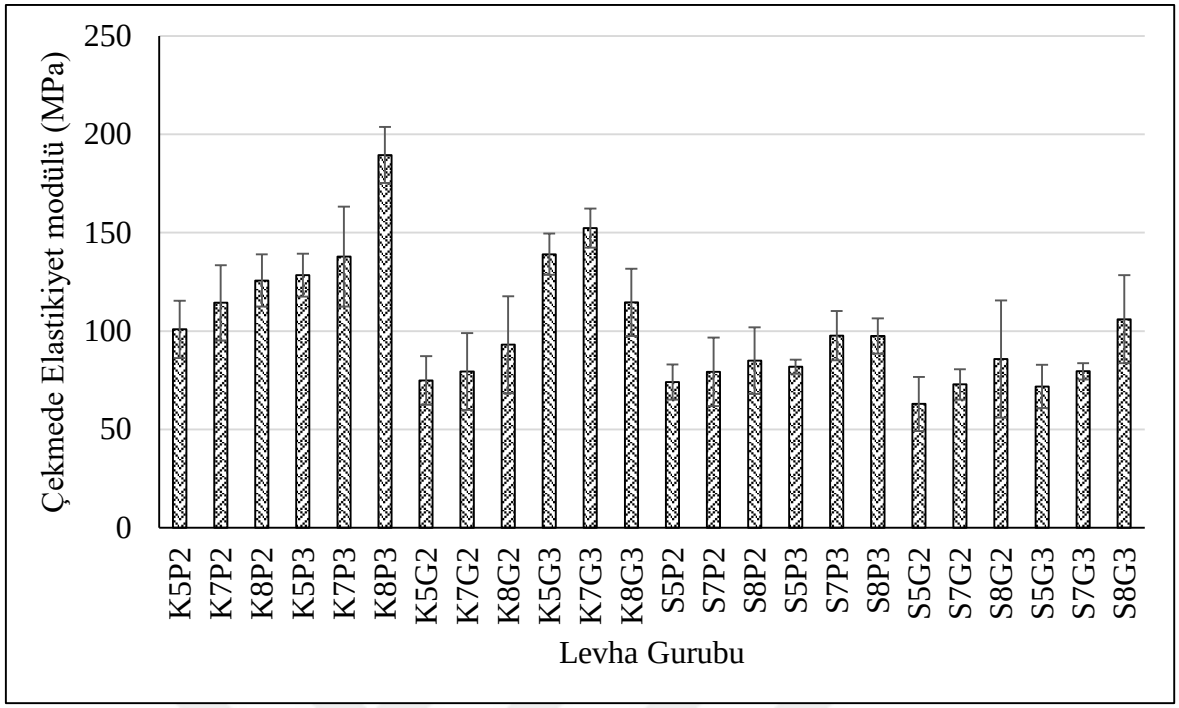
Şekil 87. ODPK'ların çekme direncine inkübasyon süresinin ve ağaç türünün etkisi

Şekil 87'nin devamı



4.6.4.2. ODPK'ların Çekmede Elastikiyet Modülünün İrdelenmesi

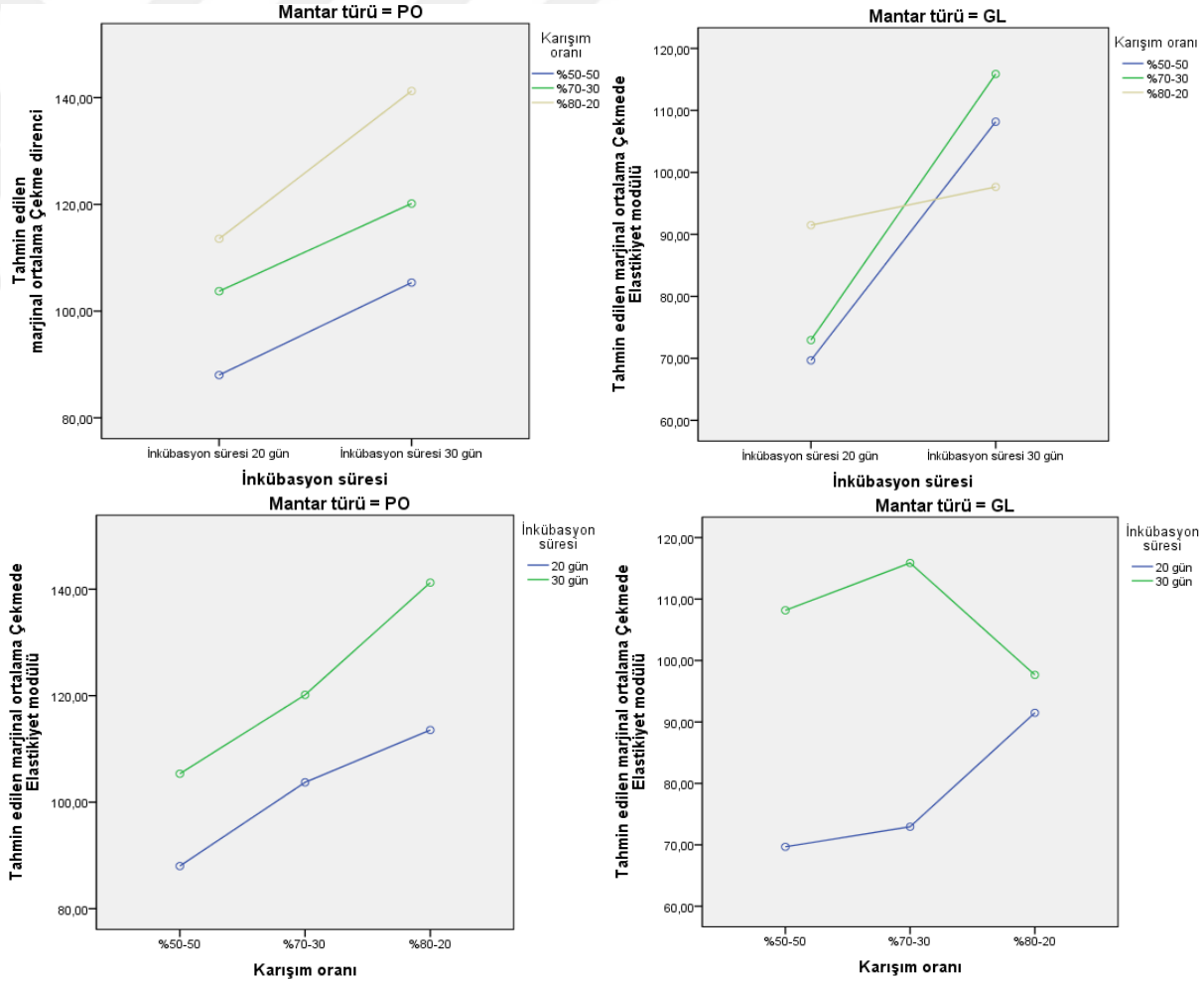
Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 88'de verilmiştir. Üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülü değerleri 62,93 MPa ila 189,47 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek çekmede elastikiyet modülü, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80 (mantara maruz bırakılmış)-%20 (işlem görmemiş) karışımıyla üretilen K8P3 levha grubu ODPK'larda, en düşük çekmede elastikiyet modülü ise sarıçam odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50 (mantara maruz bırakılmış)-%50 (işlem görmemiş) karışımıyla üretilen S5G2 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongaları kullanılarak üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülü değerlerinin sarıçam odun talaş/yongaları kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 88. ODPK'ların çekmede elastikiyet modülü değerleri

PO ve GL mantarı kullanılarak üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülüne inkübasyon süresinin etkisi incelendiğinde, inkübasyon süresinin artmasıyla ve karışım oranındaki inkübe edilmiş lignoselülozik materyal miktarı arttıkça çekmede elastikiyet modülünün de arttığı tespit edilmiştir (Şekil 89).

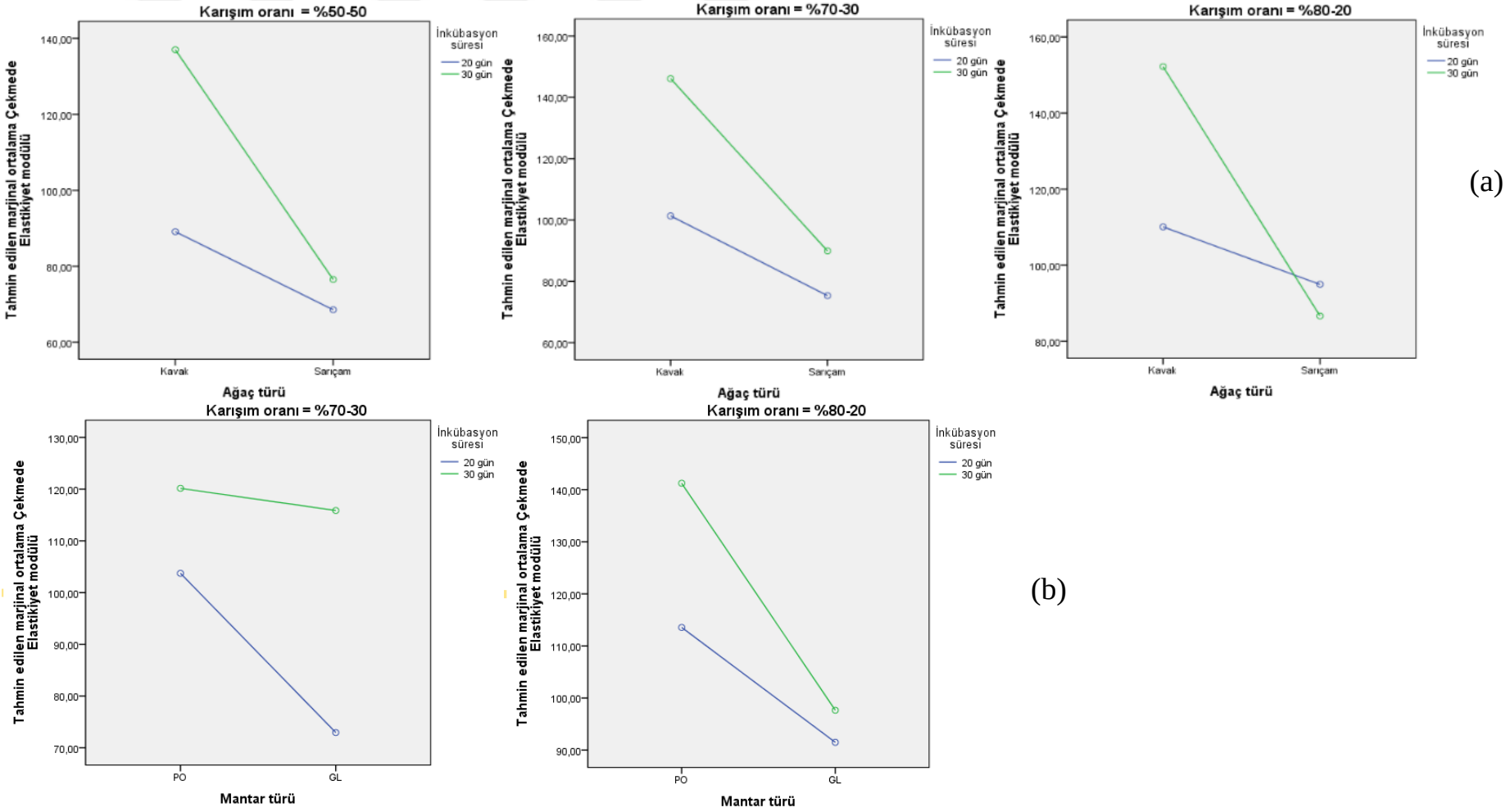
PO ve GL mantarları kullanılarak üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülüne karışım oranlarının etkisi araştırılmış (Şekil 89), PO mantarı kullanılarak üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülü, karışım oranındaki inkübe edilmiş odun talaş/yonga miktarı artıkça artış göstermiştir. Bununla birlikte GL mantarı kullanılarak üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülü %70-30 karışım oranında maksimum seviyeye çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, PO mantarının kullanılması durumunda inkübasyon süresinin artmasıyla ODPK'ların çekmede elastikiyet modülünün de arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 89. ODPK'ların çekmede elastikiyet modülüne inkübasyon süresinin etkisi (a), karışım oranlarının etkisi (b)

PO ve GL mantarları kullanılarak üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülüne ağaç türünün etkisi araştırılmış (Şekil 90), tez kapsamında araştırılan her üç karışım oranında da kavak odun yonga/talaşından üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülünün sarıçam kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İnkübasyon süresinin artmasıyla ağaç türünün etkisinde herhangi bir değişiklik olmamıştır.

ODPK'ların çekmede elastikiyet modülüne mantar türünün etkisi araştırılmış (Şekil 90), PO mantarıyla her iki inkübasyon süresinde ve farklı karışım oranlarında üretilen ODPK'ların çekmede elastikiyet modülünün GL mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

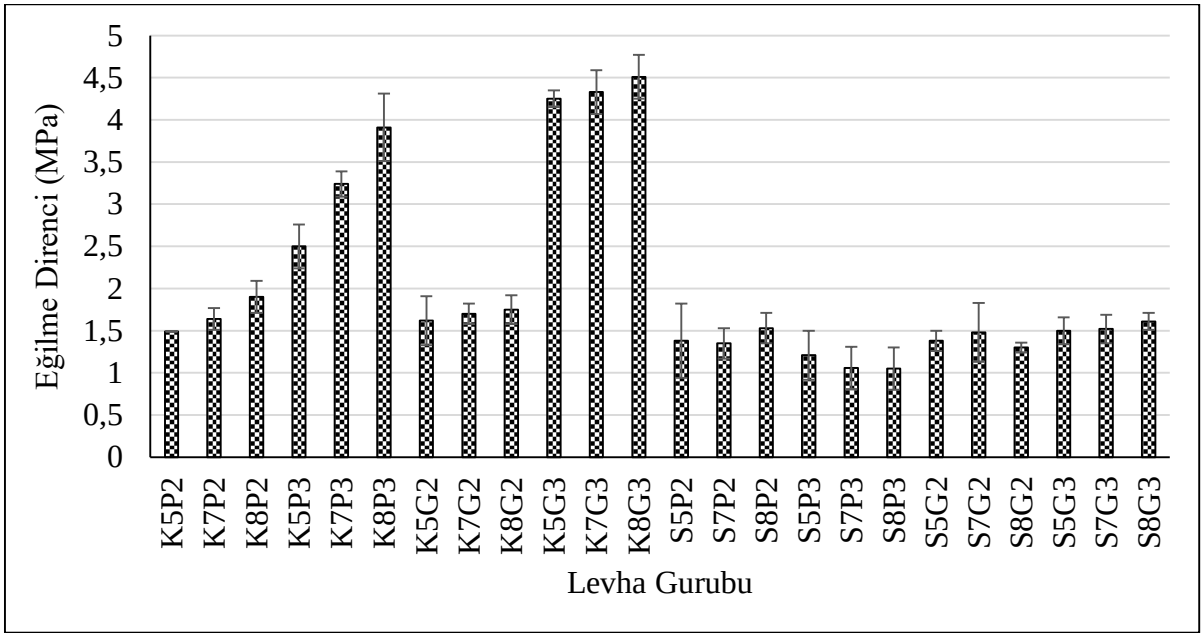


Şekil 90. ODPK'ların çekmede elastikiyet modülüne ağaç türünün etkisi (a), mantar türünün etkisi (b)

Elde edilen veriler ışığında, üretilen ODPK'lerin çekmede elastikiyet modülünün yüksek olabilmesi için PO mantarı kullanılması durumunda %80-20 karışım oranı ve 30 gün inkübasyon süresinin, GL mantarının kullanılması durumunda ise %70-30 karışım oranı ve 30 gün inkübasyon süresinin kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Buna ilaveten, ODPK'lerin çekmede elastikiyet modülünün yüksek olabilmesi için kavak odun yonga/talaşının kullanılmasının gerektiği belirlenmiştir.

4.6.4.3. ODPK'ların Eğilme Direncinin İrdelenmesi

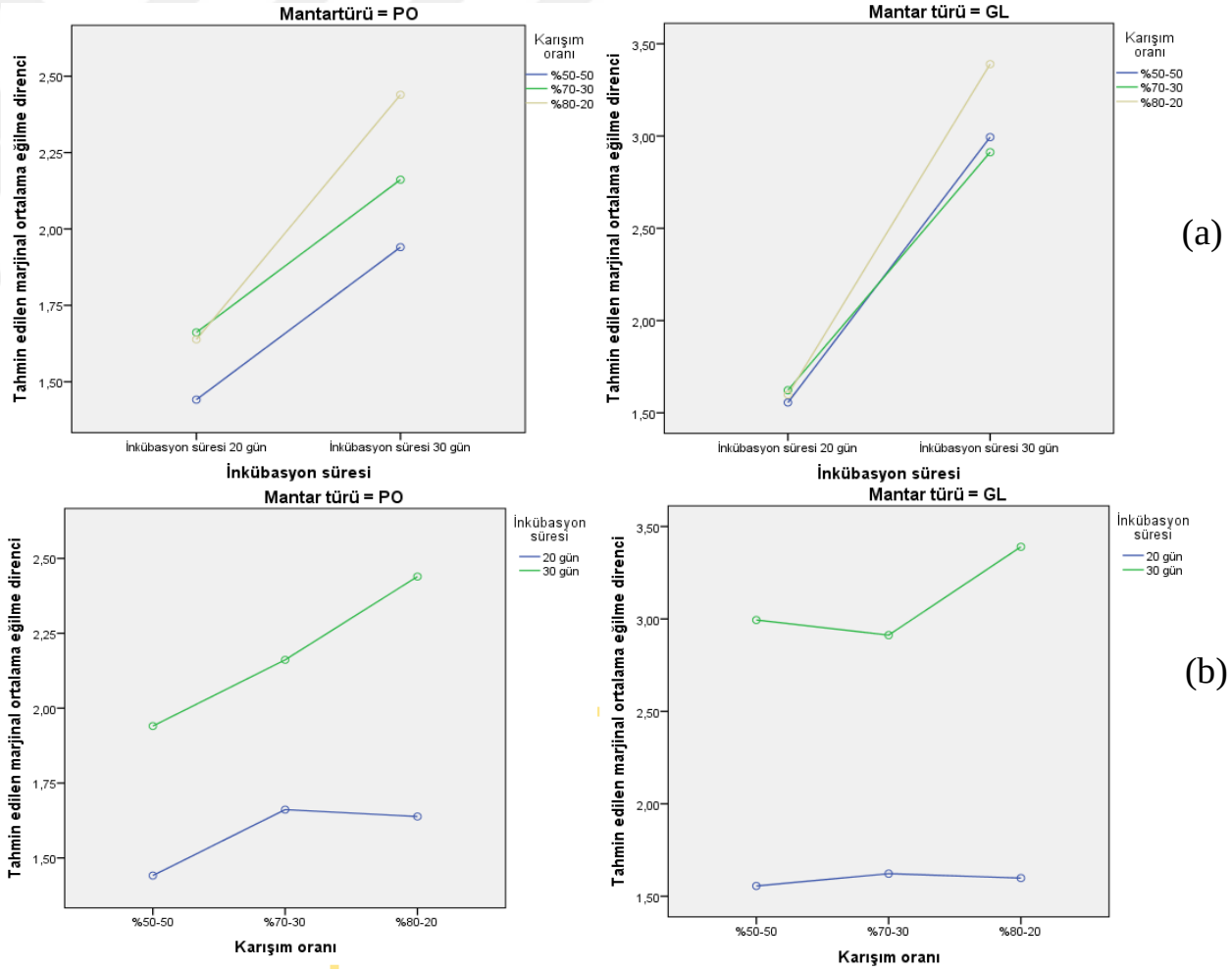
Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin eğilme direnci değerlerine ilişkin veriler Şekil 91'de verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, ODPK'ların eğilme direnci değerlerinin 1,05 MPa ila 4,51 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek eğilme direnci, kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80 (mantara maruz bırakılmış)-%20 (işlem görmemiş) karışımıyla üretilen K8G3 levha grubu ODPK'larda, en düşük eğilme direnci ise sarıçam odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80 (mantara maruz bırakılmış)-%20 (işlem görmemiş) karışımıyla üretilen S8P3 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir.



Şekil 91. ODPK'ların eğilme direnci değerleri

ODPK'ların eğilme direncine inkübasyon süresinin etkisi araştırılmış (Şekil 92), her iki mantar türü içinde 30 günlük inkübasyon süresinin 3 farklı karışım oranlarında üretilen ODPK'ların eğilme direncinin 20 günlük inkübasyon süresiyle üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

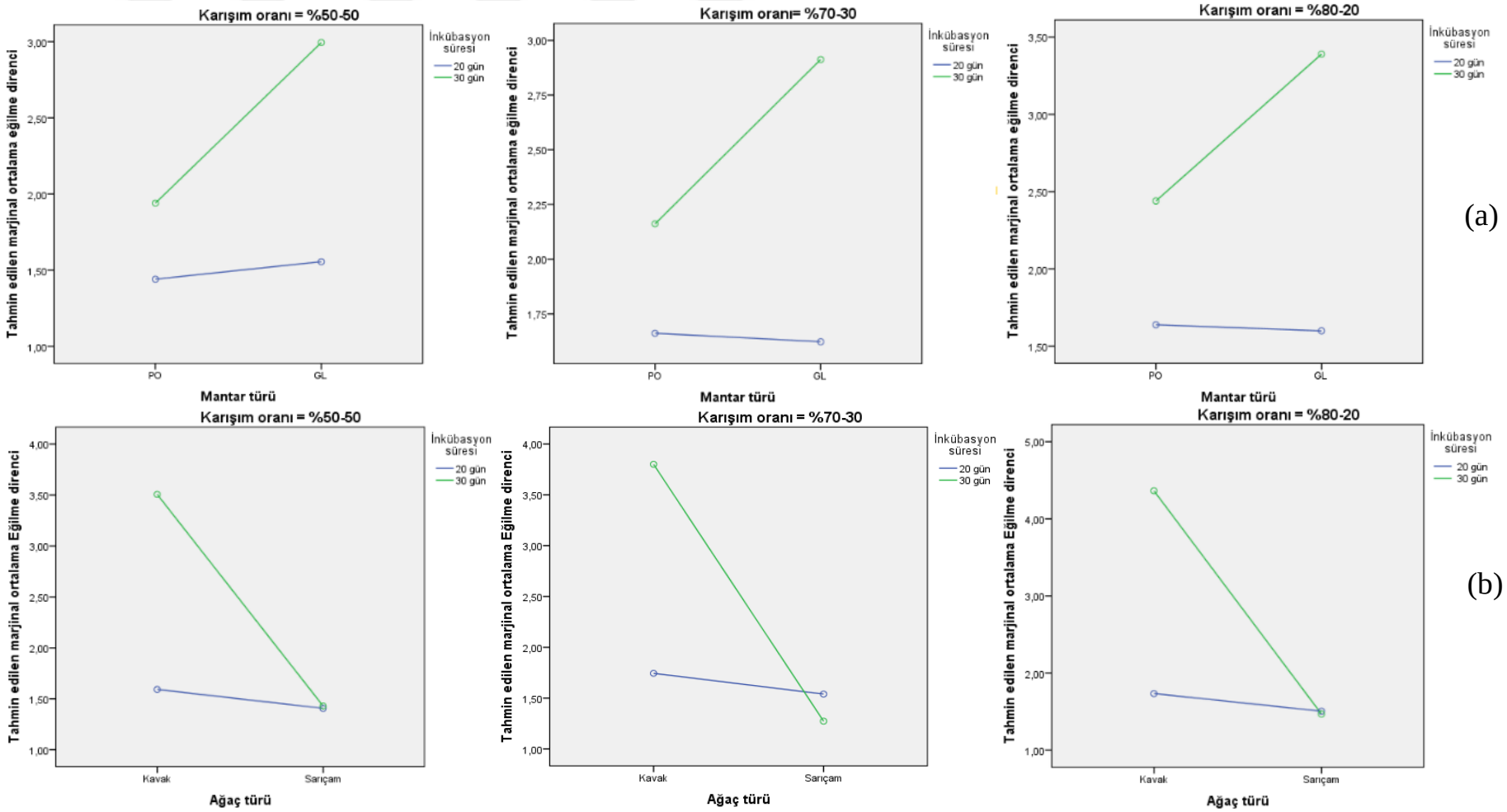
PO ve GL mantarları kullanılarak üretilen ODPK'ların eğilme direncine karışım oranlarının etkisi araştırılmış (Şekil 92), PO mantarı kullanılarak ve 30 gün inkübasyon süresi uygulanarak üretilen ODPK'ların eğilme direnci, karışım oranındaki inkübe edilmiş odun talaş/yonga miktarı artıkça artış göstermiştir. Bununla birlikte, inkübasyon süresi 20 gün olduğunda, ODPK'ların eğilme direnci %70-30 karışım oranıyla üretildiğinde en yüksek değerine ulaşmıştır. GL mantarıyla ve 30 gün inkübasyon süresi uygulanarak üretilen ODPK'ların eğilme direnci %70-30 karışım oranında minimum seviyeye düştüğü, %80-20 karışım oranıyla üretildiğinde ise en yüksek eğilme direnci seviyesine ulaştığı, 20 günlük inkübasyon sonunda GL mantarıyla üretilen ODPK'ların eğilme direnç değerlerine karışım oranının etkisi oldukça sınırlı olduğu, %70-30 karışım oranıyla üretildiğinde eğilme direncinin diğer karışım oranlarına kıyasla çok az miktar arttığı görülmüştür.



Şekil 92. ODPK'ların eğilme direncine inkübasyon süresinin etkisi (a), karışım oranlarının etkisi (b)

ODPK’ların eğilme direncine mantar türünün etkisi araştırılmış (Şekil 93), GL mantarıyla 30 günlük inkübasyon süresi uygulanarak ve her üç farklı karışım oranıyla üretilen ODPK’ların eğilme direncinin PO mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, GL mantarıyla 20 günlük inkübasyon süresi uygulanarak, %70-30 ve %80-20 karışım oranlarıyla üretilen ODPK’ların eğilme dirençlerinin, PO mantarıyla üretilenlerinkinden çok azda olsa bir miktar düşük olduğu tespit edilmiştir. %50-50 karışım oranıyla üretilen ODPK’ların eğilme direnci ise (GL mantarıyla üretilmesi durumunda) çok az bir miktar arttığı görülmüştür.

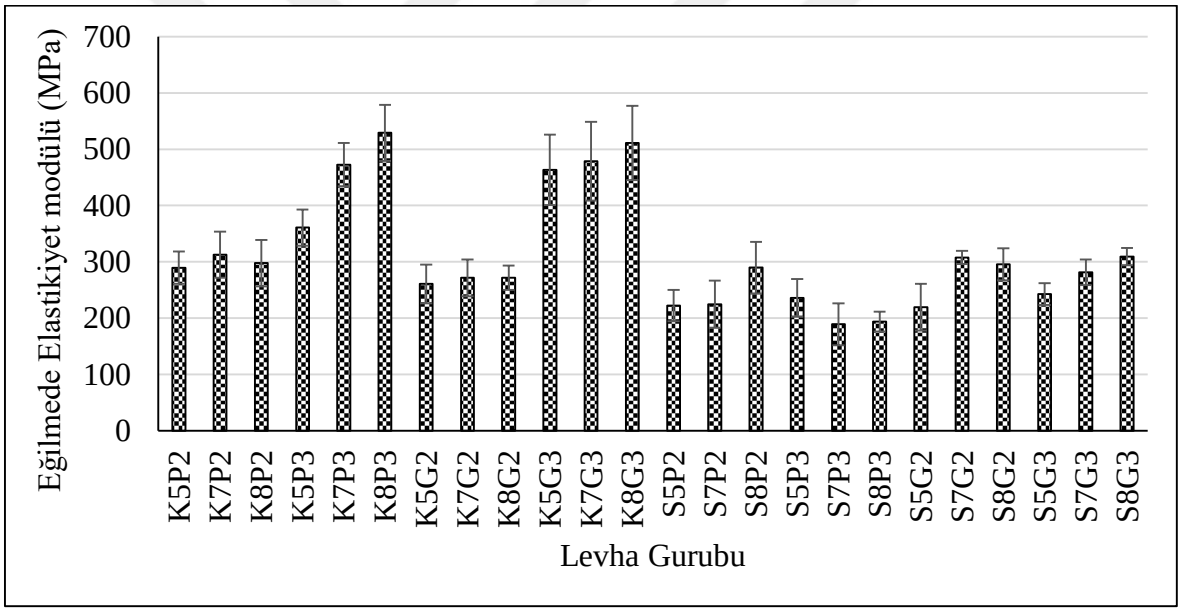
ODPK’ların eğilme direncine ağaç türünün etkisi araştırılmış (Şekil 93), kavak odunu talaş/yongalarından üretilen ODPK’ların eğilme direnci değerlerinin sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 20 günlük inkübasyon süresinde, eğilme direncine ağaç türünün etkisinin az, 30 günlük inkübasyon süresinde ise oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.



Şekil 93. ODPK'lerin eğilme direncine mantar türünün etkis i(a), ağaç türünün etkisi (b)

4.6.4.4. ODPK'ların Eğilmede Elastikiyet Modülünün İrdelenmesi

ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiş ve veriler Şekil 94'de verilmiştir. Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri 189,15 MPa ila 529,03 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80 (mantara maruz bırakılmış)-%20 (işlem görmemiş) karışımıyla üretilen K8P3 levha grubu ODPK'larda, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise sarıçam odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %70 (mantara maruz bırakılmış)-%30 (işlem görmemiş) karışımıyla üretilen S7P3 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir.



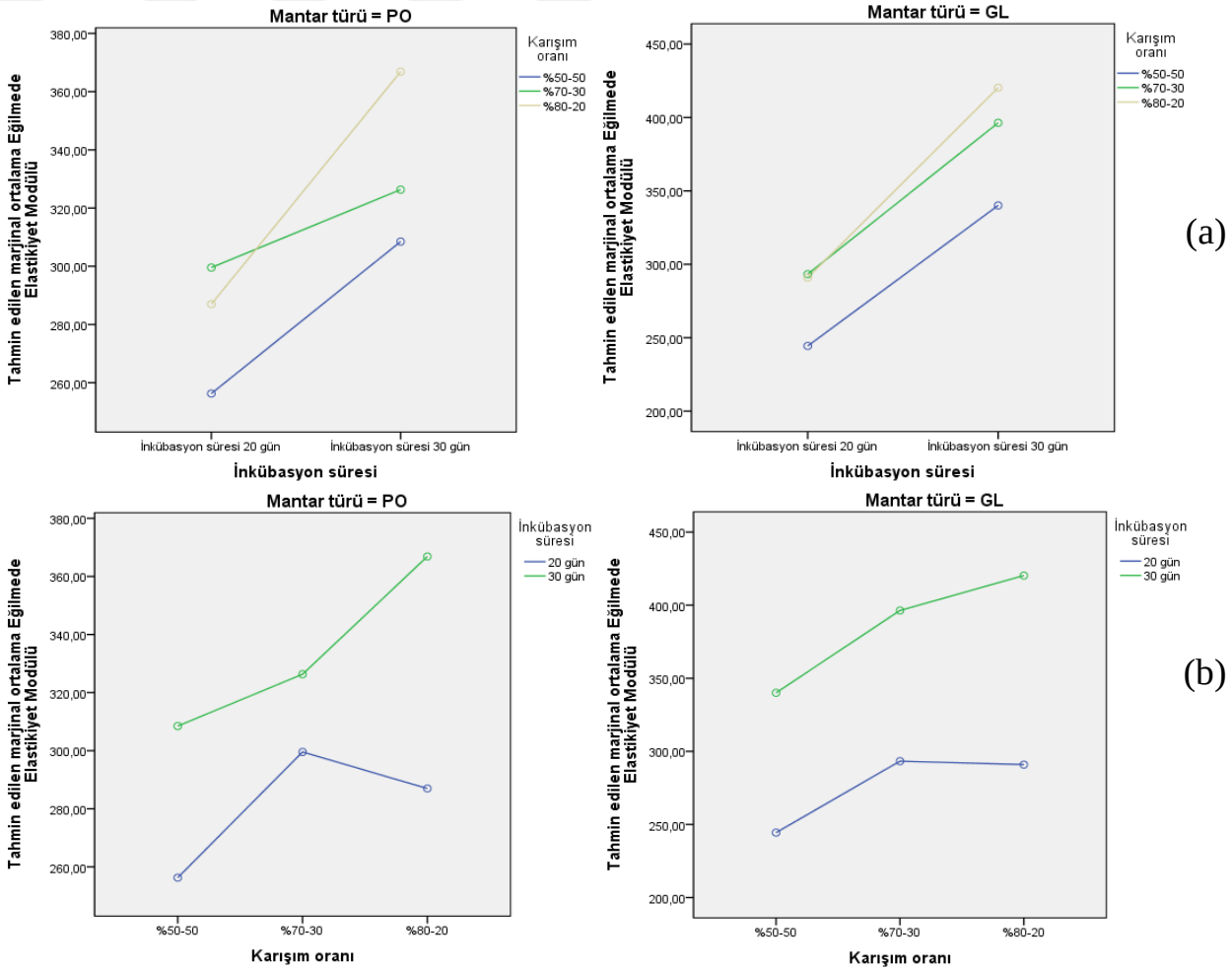
Şekil 94. ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülü değerleri

ODPK'ların eğilme eğilmede elastikiyet modülü değerlerine inkübasyon süresinin etkisi araştırılmış (Şekil 95), her iki mantar türü içinde 30 günlük inkübasyon süresinin 3 farklı karışım oranlarında üretilen ODPK'ların eğilme direncinin 20 günlük inkübasyon süresiyle üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülüne inkübasyon süresinin etkisi araştırılmıştır (Şekil 95), Tez kapsamında kullanılan her iki mantar türü ve her üç karışım oranları içinde,

inkübasyon süresinin artmasıyla ODPK'larının eğilmede elastikiyet modülünün arttığı belirlenmiştir.

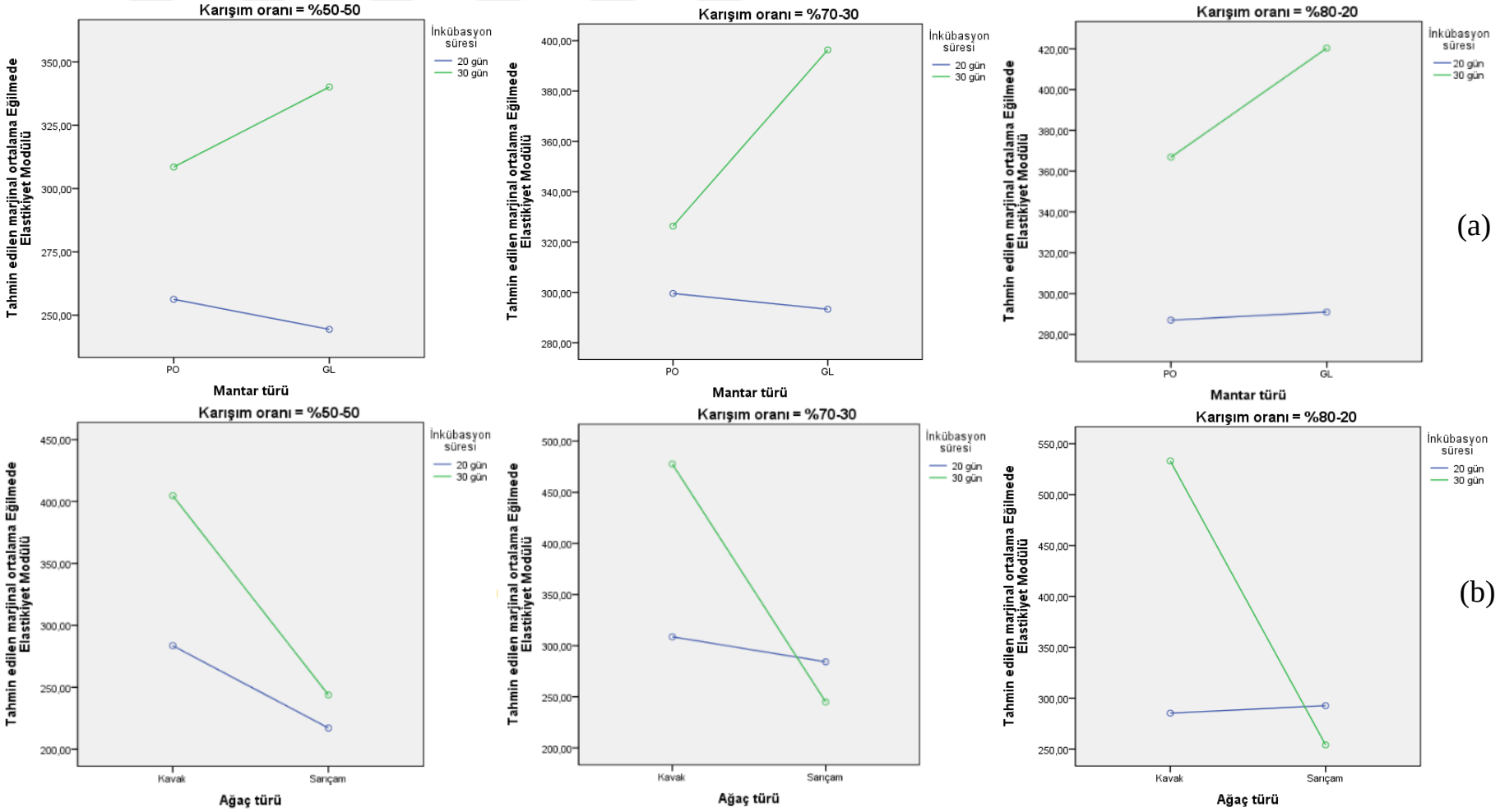
ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülüne karışım oranının etkisi araştırılmıştır (Şekil 95), PO mantarıyla 20 günlük inkübasyon periyodunda, %70-30 karışım oranıyla üretilen ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülü en yüksek seviyesine ulaştığı, 30 günlük inkübasyon periyodunda ise, karışımdaki inkübe edilen materyaller oranı arttıkça ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülünün arttığı belirlenmiştir. GL mantarıyla 20 günlük inkübasyon periyodunda, %70-30 karışım oranıyla üretilen ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülü en yüksek seviyesine ulaştığı, 30 günlük inkübasyon periyodunda ise, karışımdaki inkübe edilen materyaller oranı arttıkça ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülünün arttığı belirlenmiştir.



Şekil 95. ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülüne inkübasyon süresinin etkisi (a), karışım oranın etkisi (b)

ODPK’ların eğilmede elastikiyet modülüne mantar türünün etkisi araştırılmıştır (Şekil 96), ODPK’lar 20 günlük inkübasyon süresi ve %50-50 ve %70-30 karışım oranlarıyla üretildiğinde, PO mantarıyla üretilen ODPK’ların eğilmede elastikiyet modülü, GL mantarıyla üretilenlerindekinden daha yüksek olduğu, %80-20 karışım oranıyla üretildiğinde ise GL mantarıyla üretilen ODPK’ların eğilmede elastikiyet modülünün PO mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, 30 günlük inkübasyon periyodu uygulanarak üretilen ODPK’ların üç farklı karışım oranlarında da eğilmede elastikiyet modülleri GL mantarının kullanılmasıyla PO mantarına kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

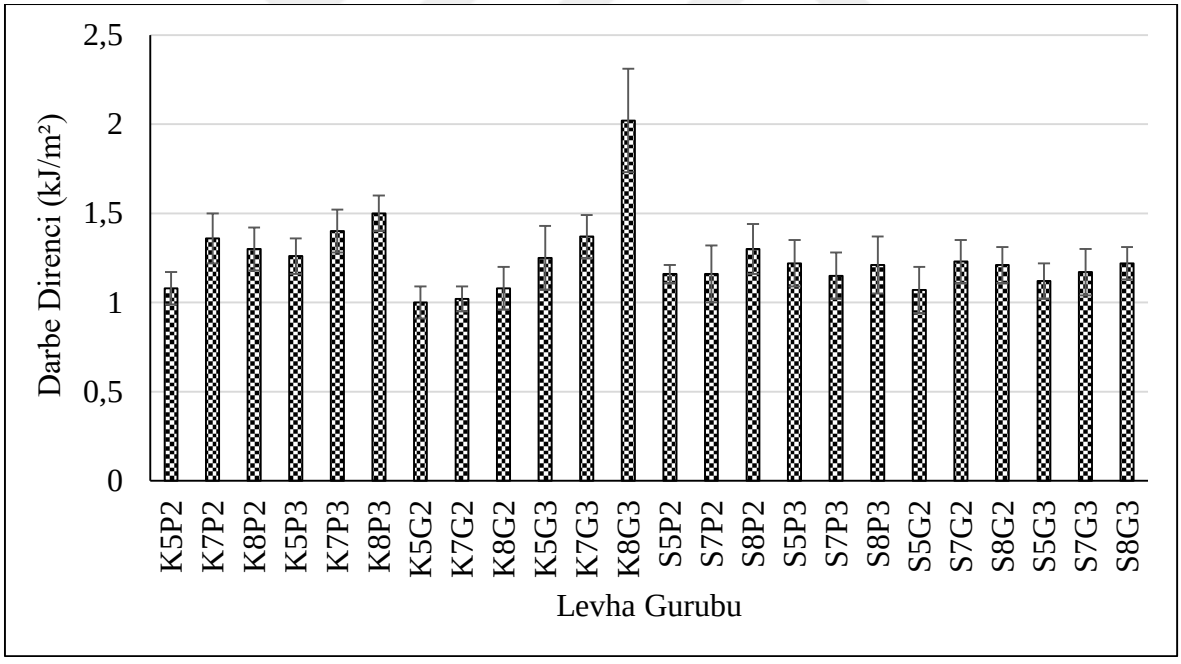
ODPK’ların eğilmede elastikiyet modülüne ağaç türünün etkisi araştırılmıştır (Şekil 96). Tez kapsamında kullanılan %50-50 ve %70-30 karışım oranlarında, 20 günlük inkübasyon süresi uygulandığında, kavak odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK’ların eğilmede elastikiyet modülü, sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilenlerinkinden daha yüksek, %80-20 karışım oranında ise, sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK’ların eğilmede elastikiyet modülü kavak odun yonga/talaşlarından üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İnkübasyon süresi 30 gün olarak uygulandığında ise, bütün karışım oranlarında, kavak odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK’ların eğilmede elastikiyet modülü, sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 96. ODPK'ların eğilmede elastikiyet modülüne mantar türünün etkisi (a), ağaç türünün etkisi (b)

4.6.4.5. ODPK'ların Darbe Direncinin İrdelenmesi

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin darbe direnci değerleri belirlenmiş, elde edilen veriler Şekil 97'de verilmiştir. ODPK'ların darbe direnç değerleri 1,00 kJ/m² ila 2,02 kJ/m² arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek darbe direnci değerleri, kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80 (mantara maruz bırakılmış)-%20 (işlem görmemiş) karışımıyla üretilen K8G3 levha grubu ODPK'larda, en düşük darbe direnci değerleri ise kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50 (mantara maruz bırakılmış)-%50 (işlem görmemiş) karışımıyla üretilen S5G2 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir. Genel olarak, kavak odun talaş/yongaları kullanılarak üretilen ODPK'ların eğilme direnci değerleri sarıçam odun talaş/yongaları kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

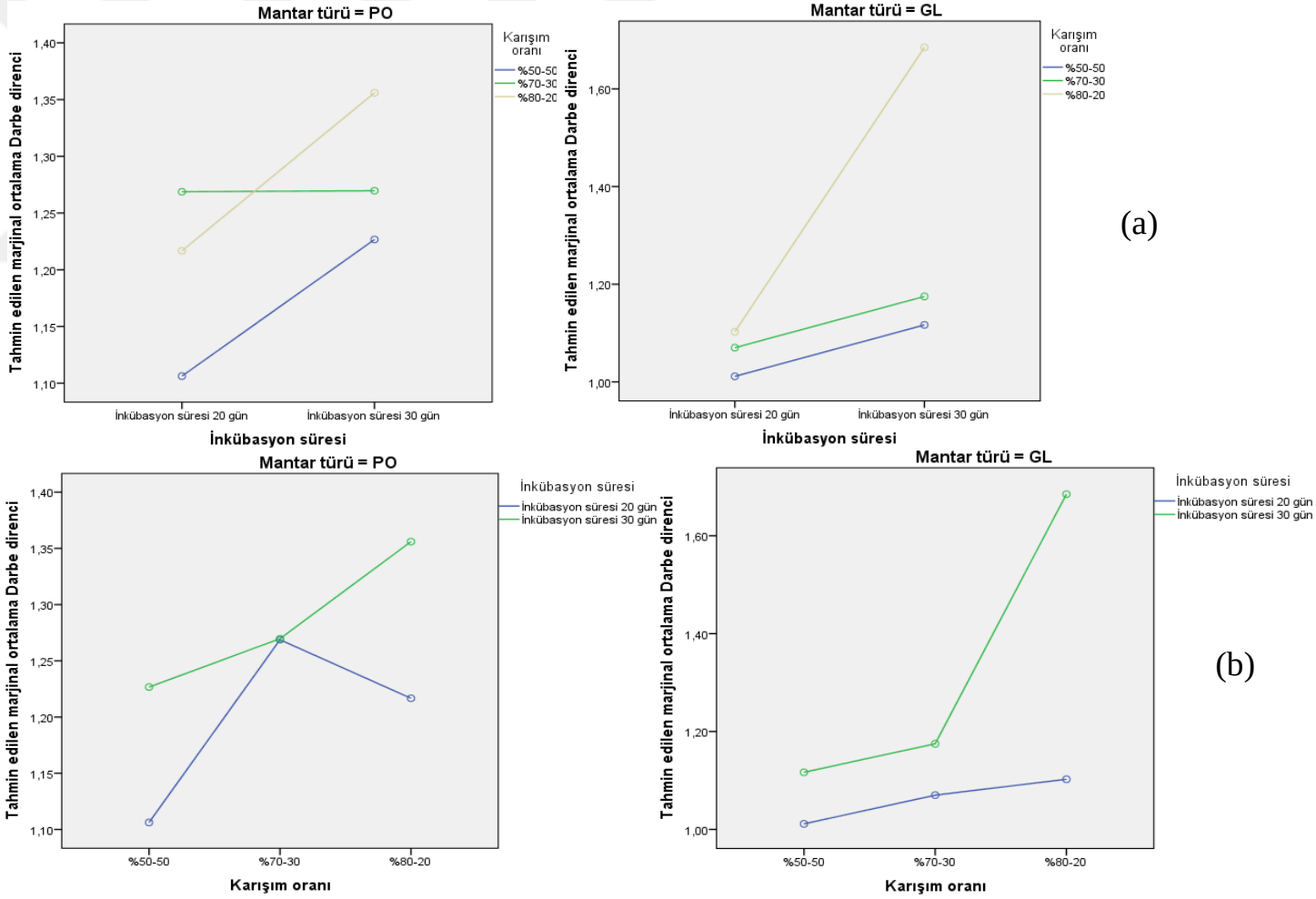


Şekil 97. ODPK'ların darbe direnci değerleri

ODPK'ların darbe direncine inkübasyon süresinin etkisi araştırılmıştır (Şekil 98), PO mantarıyla ve %50-50 ve %80-20 karışım oranlarıyla üretilen ODPK'ların darbe direnci, inkübasyon süresinin artmasıyla arttığı, %70-30 karışım oranıyla üretildiğinde ise inkübasyon süresinin ODPK'ların darbe direncine etkisinin olmadığı belirlenmiştir. GL

mantarıyla üretilen ODPK'ların darbe direnci ise bütün karışım oranlarında, inkübasyon süresinin artmasıyla arttığı tespit edilmiştir.

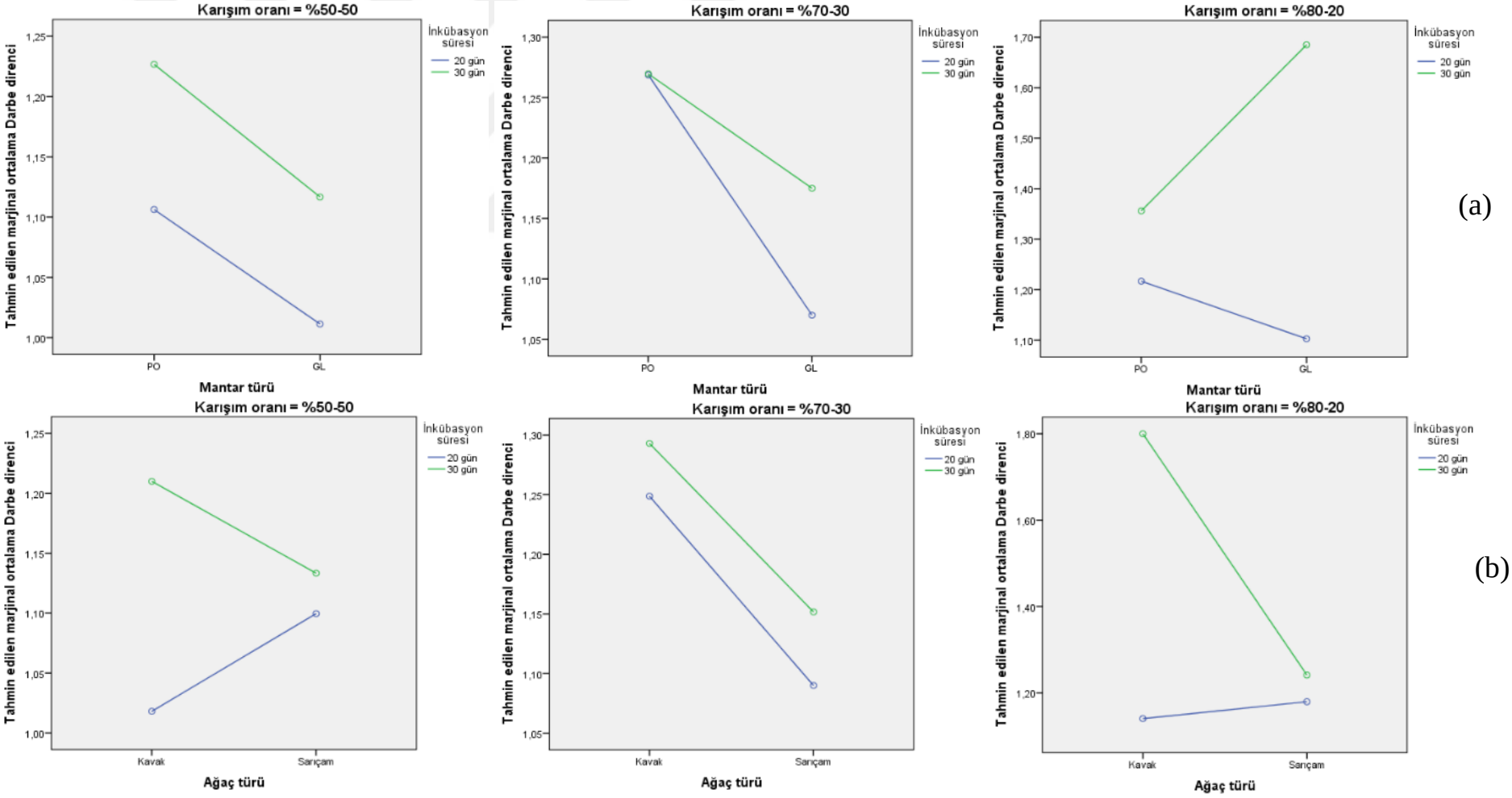
ODPK'ların darbe direncine karışım oranlarının etkisi araştırılmıştır (Şekil 98), 20 günlük inkübasyon süresinde ve PO mantarıyla üretilen ODPK'ların darbe direnci %70-30 karışım oranı kullanıldığında en yüksek değerine ulaştığı, karışımdaki inkübe edilmiş odun talaş/yonga oranı %80-20 ye çıkarıldığında darbe direncinin düştüğü tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 30 günlük inkübasyon süresinde ve PO mantarıyla üretilen ODPK'ların darbe direnci karışımdaki inkübe edilmiş odun talaş/yonga oranın/miktarının artmasıyla arttığı belirlenmiştir. GL mantarıyla üretilen ODPK'ların darbe direnci her iki inkübasyon süresinde de karışımdaki inkübe edilmiş odun talaş/yonga oranın/miktarının artmasıyla arttığı bulunmuştur.



Şekil 98. ODPK'ların darbe direncine inkübasyon süresinin etkisi (a), karışım oranının etkisi (b)

ODPK’ların darbe direncine mantar türünün etkisi araştırılmıştır (Şekil 99), %50-50 ve %70-30 karışım oranlarında, her iki inkübasyon süresi uygulanarak ve PO mantarıyla üretilen ODPK’ların darbe direnci GL mantarı kullanılarak üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, %80-20 karışım oranında ise, inkübasyon süresi 30 gün olarak uygulandığında GL mantarı kullanılarak üretilen ODPK’ların darbe direnci PO mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

ODPK’ların darbe direncine ağaç türünün etkisi araştırılmıştır (Şekil 99), karışım oranı 50-50 ve %80-20 olduğunda ve inkübasyon süresi 20 gün olarak uygulandığında, sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK’ların darbe direnci kavak odun yonga/talaşlarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu, %70-30 karışım oranında ise, kavak odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK’ların darbe direnci sarıçam odun yonga/talaşlarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

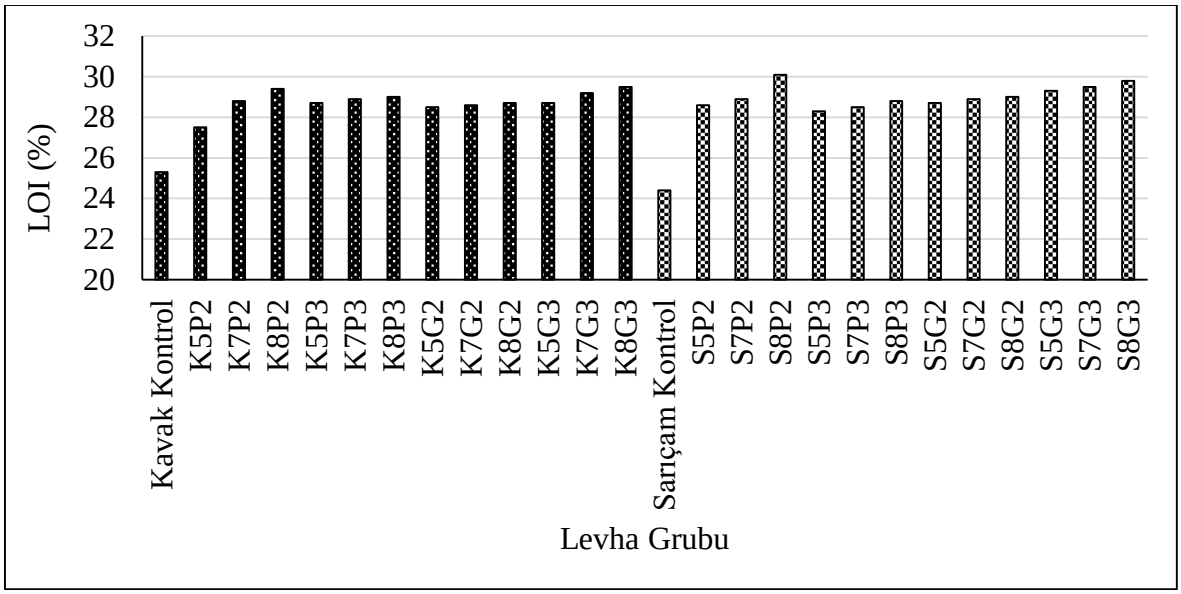


Şekil 99. ODPK'ların darbe direncine mantar türünün etkisi (a), ağaç türünün etkisi (b)

4.6.5. ODPK Termal ve Yanma Özelliklerine Ait Bulguların İrdelenmesi

4.6.5.1. ODPK Sınırlayıcı Oksijen İndeks (LOI) Testine Ait Bulguların İrdelenmesi

Elde edilen sonuçlarda mantar inkübasyon süresinin ve mantar ile muamele edilmiş odun yonga/talaş karışım oranın ODPK levhalarının LOI değerleri üzerlerine etkili olduğu tespit edilmiştir. Şekil 100'de ODPK'lerin LOI değerleri verilmiştir.



Şekil 100. ODPK, kavak ve sarıçam odun örneklerinin LOI değerleri

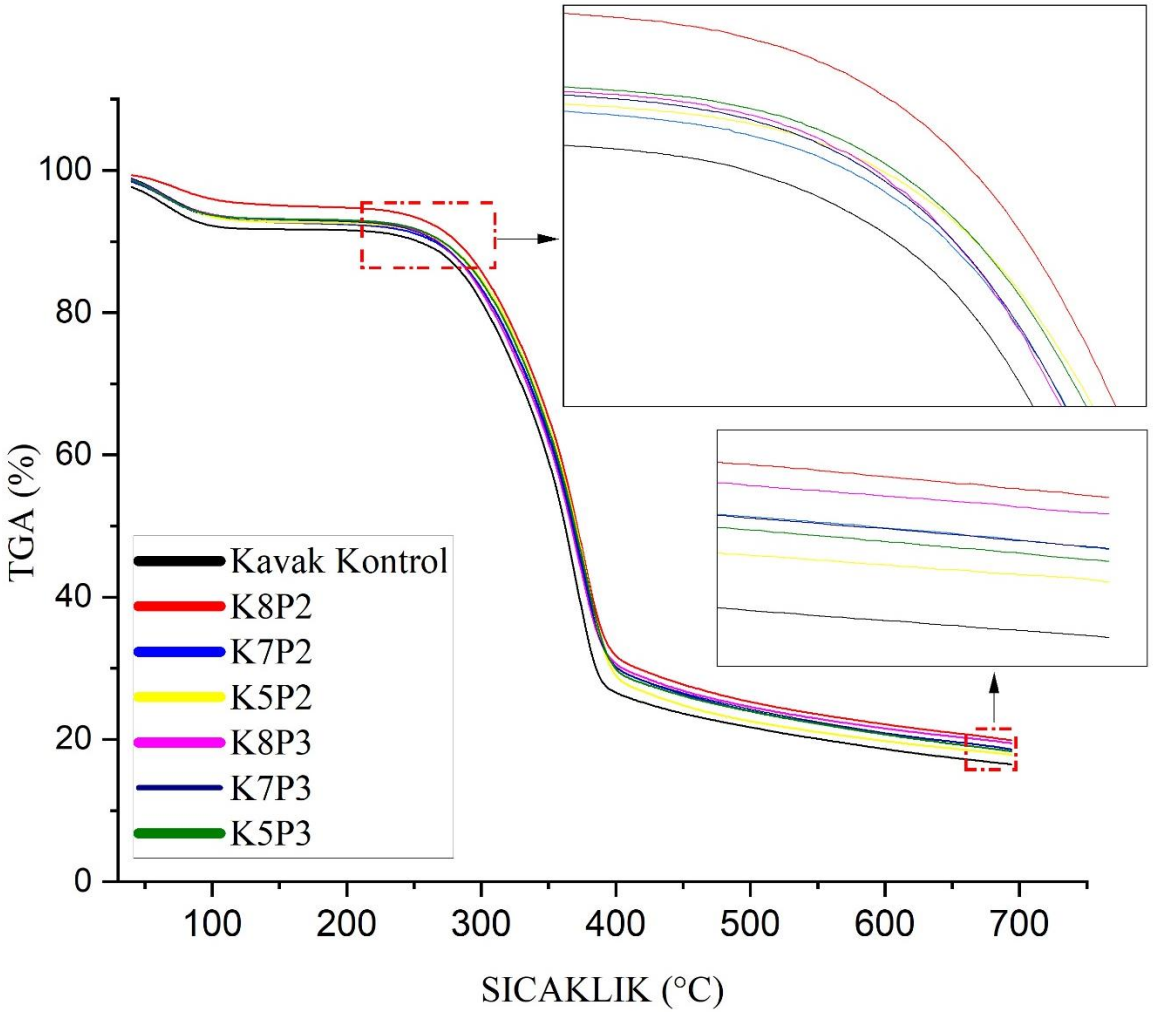
ODPK örneklerinden elde edilen sonuçlara göre LOI değerleri 27.5 ile 30.1 arasında değişmekte olup en yüksek LOI değeri S8P2 grubu ODPK levhalarında, en düşük LOI değeri ise K5P2 grubu ODPK levhalarda olduğu tespit edilmiştir. ODPK'ların LOI değerleri hem sarıçam kontrol örneklerine ve hem de kavak kontrol örneklerine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Üretilen hammaddeye bakılmaksızın inkübasyona maruz bırakılmış odun yonga/talaş oranı arttıkça ODPK'lerin LOI değerleri de arttığı tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda misel esaslı kompozitlerin yangına karşı dayanımı oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Misel bazlı kompozitlerin yanma esnasında malzeme yüzeyinde oluşan kömür tabakasının etkili olduğu düşünülmektedir (Jones vd., 2018). Kömür oluşumunun alevi ve ısıyı tolere etmekte olduğu bilinmektedir (Mouritz ve Gibson, 2007).

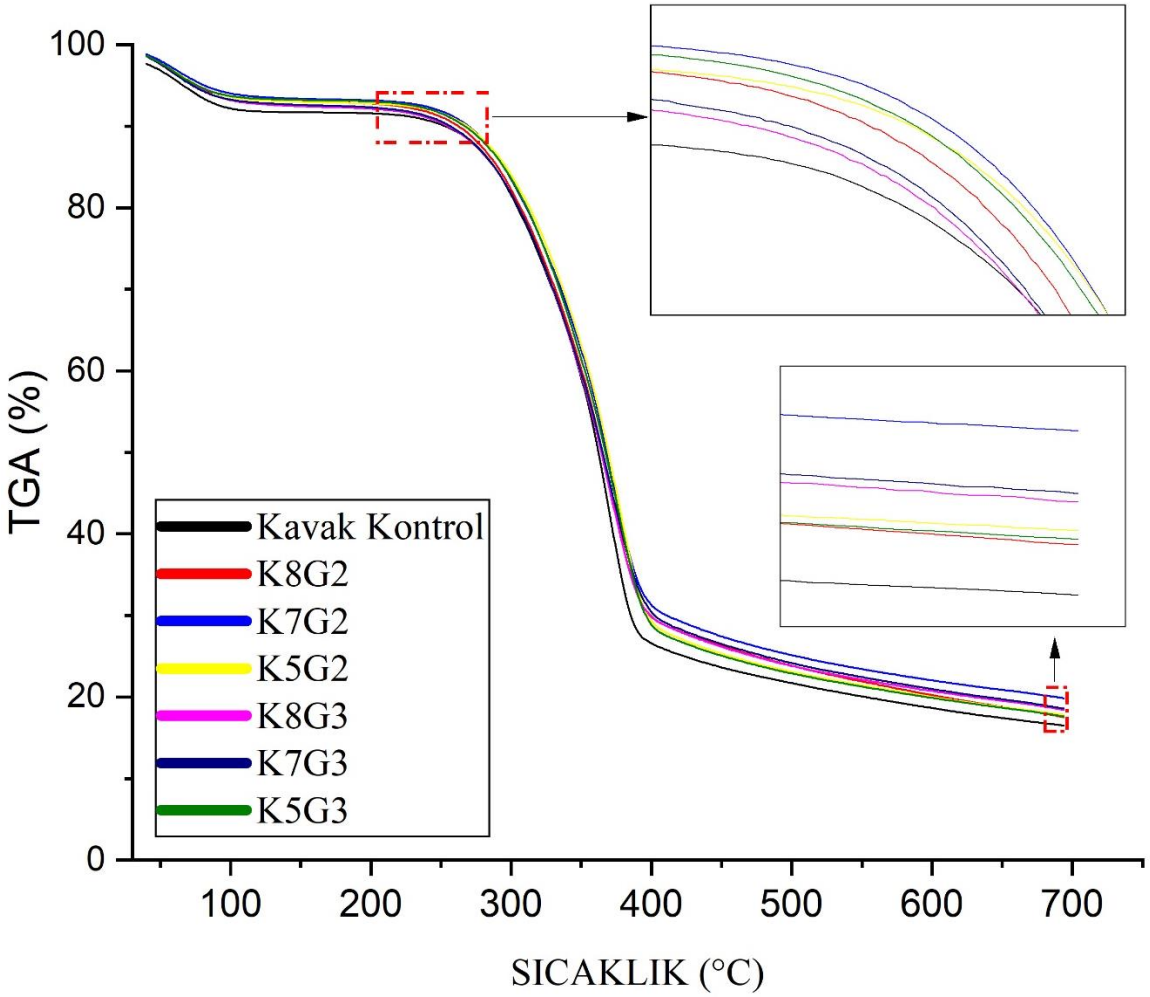
4.6.5.2. ODPK'lerin Termogravimetrik (TGA) Analizlerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Termogravimetrik analiz, karbonlu malzemelerin termal davranışlarını belirlemek için kullanılan termal analiz yöntemlerinden biri olup kullanılan sıcaklık ve zamana göre örneklerin ağırlık kayıplarını hesaplar (Mansaray ve Ghaly 1998). ODPK levha gruplarının TGA eğrilerine ilişkin elde edilen veriler sırasıyla Şekil 101, Şekil 102, Şekil 103 ve Şekil 104'de verilmiştir.

TGA eğrilerinde, başlangıçta ortam sıcaklığı ile 100 °C sıcaklık aralığında çok az bir ağırlık kaybı meydana gelir. Bunun nedeni ise odun bünyesindeki serbest ve kimyasal olarak bağlı suyun kademeli olarak buharlaşmasıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise ağırlık kayıpları artmaktadır. Çünkü lignoselülozik materyalin üç ana bileşenin (selüloz, hemiselüloz ve lignin) pirolizinden kaynaklanmaktadır. Hemiselüloz 150-350 °C, selüloz 275-350 °C ve lignin 250-500 °C sıcaklık aralığında pirolize uğramaktadırlar (Mansaray ve Ghaly 1998; Kim vd., 2004). Odun hücre çeperi bileşenlerinin bozunmaya başlaması artan sıcaklığa bağlı olarak sırasıyla hemiselüloz, selüloz ve lignin olarak gerçekleşmektedir (Jarukumjorn ve Suppakarn, 2009; Rowel, 2012).



Şekil 101. Kavak odun yongalarının PO mantarı ile 20 ve 30 gün inkübasyonu sonucunda üretilen ODPK'lerin TGA grafiği



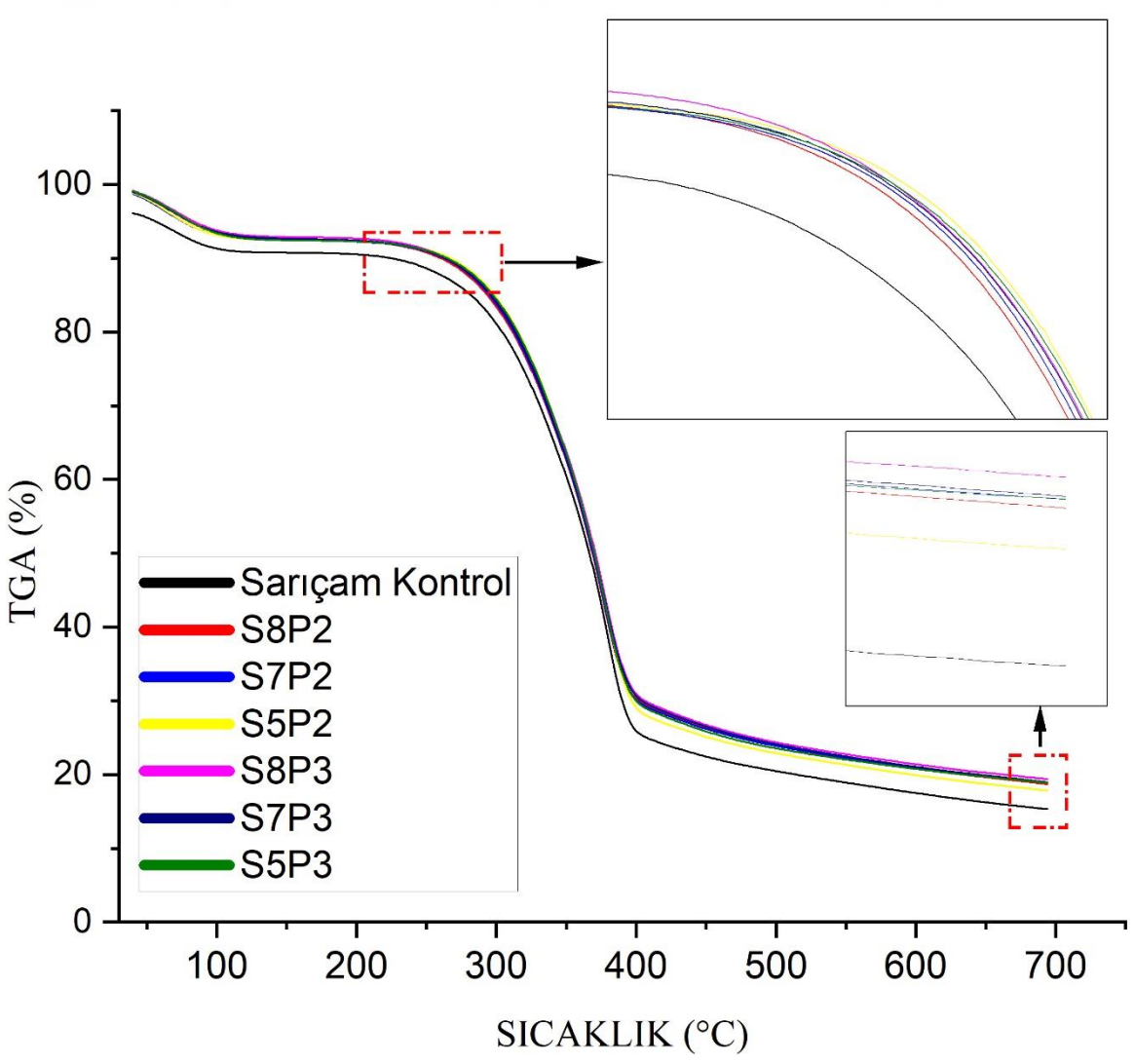
Şekil 102. Kavak odun yongalarının GL mantarı ile 20 ve 30 gün inkübasyonu sonucunda üretilen ODPK'lerin TGA grafiği

Kavak odun yongaları ile PO ve GL mantarı kullanılarak üretilen ODPK'lerin ve kavak odunu kontrol örneğinin TGA eğrileri sırasıyla Şekil 101 ve Şekil 102'de verilmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde ODPK'lerin kavak odunu kontrol örneklerine göre daha erken sıcaklıklarda termal bozunmaya başladığı belirlenmiştir. İnkübasyon süresi artıkça bozunmaya başlama sıcaklığının da azaldığı tespit edilmiştir. Termal bozunma sıcaklıkları; kavak odunu kontrol örneğinde 228.18-481.20 °C iken K8P2, K7P2, K5P2, K8P3, K7P3, K5P3 levha gruplarında 211-501.75 °C ve K8G2, K7G2, K5G2, K8G3, K7G3, K5G3 levha gruplarının 207.29- 522.71 °C olarak belirlenmiştir.

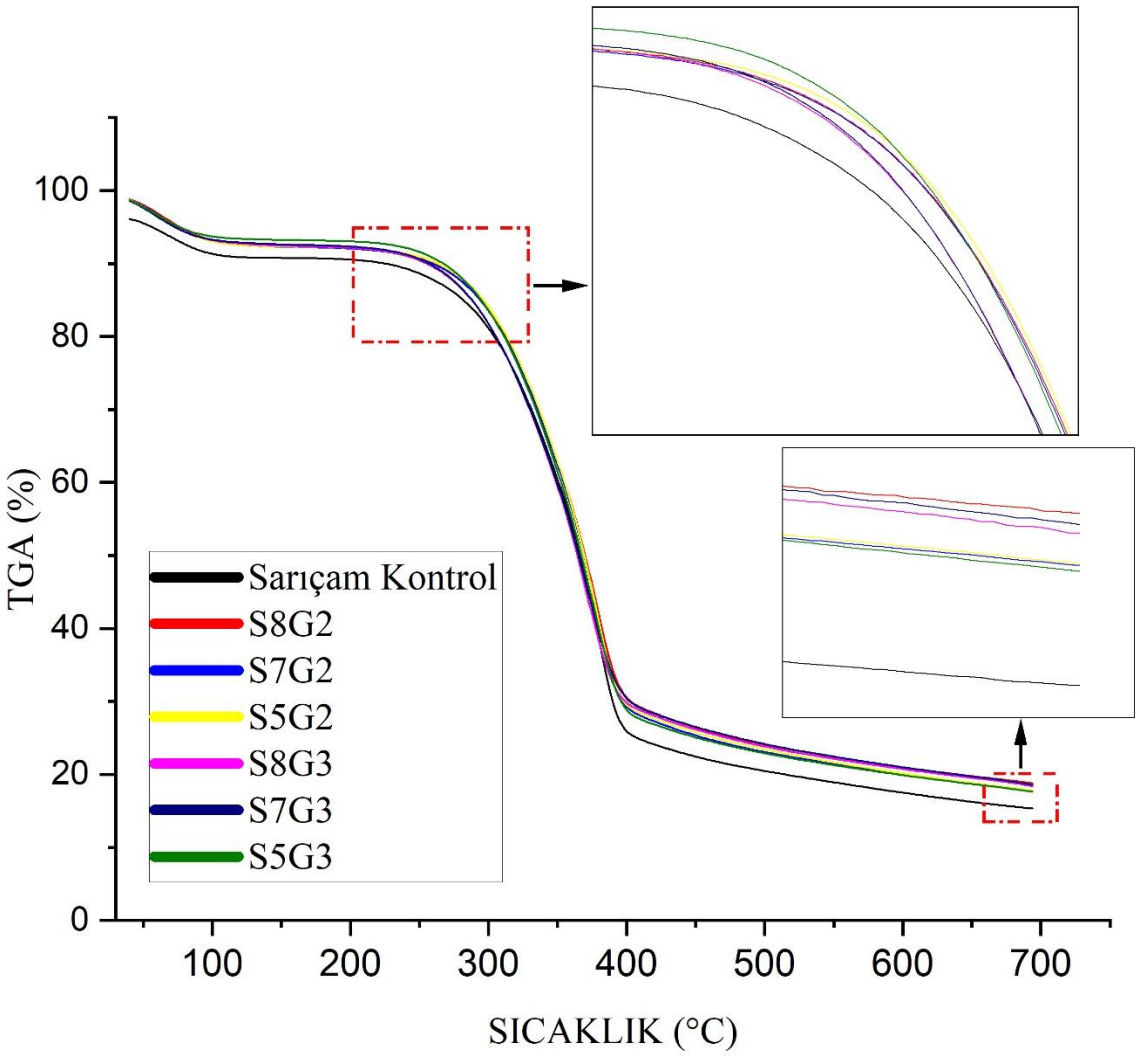
Kavak odun yongaları ile GL ve PO mantarı kullanılarak üretilen ODPK'lerin kavak odunu kontrol örneklerine göre termal bozunma sıcaklığı aralığında ağırlık kayıplarının daha az olduğu tespit edilmiştir. Ağırlık kayıpları; kavak odunu kontrol örneğinde %67.03 iken

K8P2, K7P2, K5P2, K8P3, K7P3 ve K5P3 levha gruplarının %61.67- 67.03 ve K8G2, K7G2, K5G2, K8G3, K7G3, K5G3 levha gruplarının %60.29-66.19 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Kavak odun yongaları ile GL ve PO mantarı kullanılarak üretilen ODPK'lerin kavak odunu kontrol örneklerine göre termal bozunma işlemi tamamlandıktan sonra kalıntı kütle miktarları daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kalıntı kütle miktarları; kavak odunu kontrol örneğinde %17.413 iken, K8P2, K7P2, K5P2, K8P3, K7P3, K5P3 levha gruplarının %18.68-20.91 ve K8G2, K7G2, K5G2, K8G3, K7G3, K5G3 levha gruplarının %18.67-20.87 olarak belirlenmiştir.



Şekil 103. Sarıçam odun yongalarının PO mantarı ile 20 ve 30 gün inkübasyonu sonucunda üretilen ODPK'lerin TGA grafiği



Şekil 104. Sarıçam odun yongalarının GL mantarı ile 20 ve 30 gün inkübasyonu sonucunda üretilen ODPK'lerin TGA grafiği

Sarıçam odun yongaları ile GL ve PO mantarı kullanılarak üretilen ODPK'lerin ve sarıçam odunu kontrol örneğinin TGA eğrileri sırasıyla Şekil 103 ve Şekil 104'de verilmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde ODPK'lerin sarıçam odunu kontrol örneklerine göre daha erken sıcaklıklarda termal bozunmaya başladığı belirlenmiştir. Mantar inkübasyon süresi artıkça bozunmaya başlama sıcaklığının da azaldığı tespit edilmiştir. Termal bozunma sıcaklıkları; sarıçam odunu kontrol örneği 226.57-496.19 °C iken S8P2, S7P2, S5P2, S8P3, S7P3, S5P3 levha gruplarının 215.27-522.26 °C ve S8G2, S7G2, S5G2, S8G3, S7G3, S5G3 levha gruplarının 220.26-523.95 °C olarak belirlenmiştir.

Sarıçam odun yongaları ile GL ve PO mantarı kullanılarak üretilen ODPK'ların sarıçam odunu kontrol örneklerine göre termal bozunma sıcaklığı aralığında ağırlık

kayıplarının daha az olduğu tespit edilmiştir. Ağırlık kayıpları; sarıçam odunu kontrol örneğinde % 66.80 iken S8P2, S7P2, S5P2, S8P3, S7P3 ve S5P3 levha gruplarında %65.80-66.18 ve S8G2, S7G2, S5G2, S8G3, S7G3, S5G3 levha gruplarında %65.35-66.46 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Sarıçam odun yongaları ile GL ve PO mantarı kullanılarak üretilen ODPK'lerin sarıçam odunu kontrol örneklerine göre termal bozunma işlemi tamamlandıktan sonra kalıntı kütle miktarları daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Kalıntı kütle miktarları; sarıçam odunu kontrol örneğinde %16.22 iken, S8P2, S7P2, S5P2, S8P3, S7P3, S5P3 levha grupların da %18.74-20.22 aralığında ve S8G2, S7G2, S5G2, S8G3, S7G3, S5G3 levha gruplarında %18.72-19.85 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen TGA analizi sonuçlarına benzer sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir. Sun vd. (2020) *Trametes versicolor* mantarı ile huş odunu kaplama örneklerini 8 ve 16 gün süreyle inkübe ederek Termogravimetrik analiz yapmıştır. Elde edilen TGA sonuçlarına göre hemiselülozların bozunmasından dolayı mantar ile muamele edilmiş odun kaplamalarının kontrol odun kaplama örneklerine göre daha erken termal bozunduğunu tespit etmiştir. Mantarların odun ana bileşenlerini daha küçük moleküllere indirgediğinden dolayı termal stabilitesinin bozulduğunu belirtmiştir.

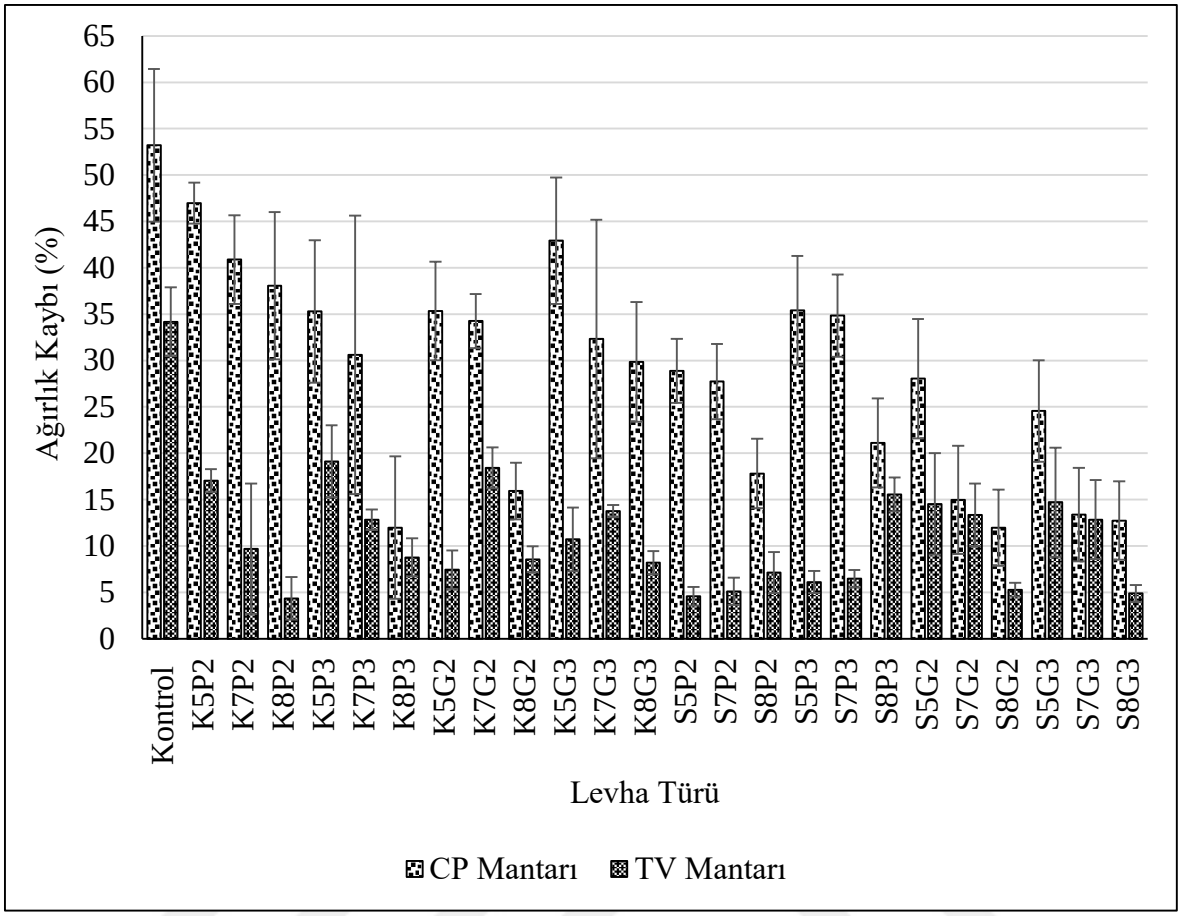
Sun vd. (2019) beyaz çürüklük mantarı, odun yongası ve selüloz nanofibrillerini farklı oranlarda karıştırarak misel esaslı kompozit malzeme üretilmiş ve Termogravimetrik analiz yapmıştır. TGA sonuçlarına göre saf mantar miselin 208 °C'de, misel esaslı kompozit malzemelerin 241.9 °C'de ve mantar ile muamele edilmemiş odun örneğinin ise 243.8 °C sıcaklıkta termal bozunmaya başladığını tespit etmiştir. TGA eğrilerinin hem kontrol grubunda hem de misel esaslı kompozit malzemede benzerlik gösterdiğini belirtilmiştir. Mantar inkübasyonunun, odun yongalarının termal stabilizasyonunu çok az etkilediğini belirtilmiştir.

Appels vd. (2019) yaptıkları çalışmada, kozla samanı, pamuk sapı ve kayın odunu yongalarını *Trametes multicolor* ve *Pleurotus ostreatus* mantarı ile 14 gün süreyle inkübe ederek misel esaslı kompozit malzeme üretmiş ve hammaddenin, mantar türünün ve inkübasyon süresinin misel esaslı kompozit malzemelerin termal özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. TGA analiz sonuçlarına göre; mantar türünün termal stabiliteye etkisinin olmadığını, hammadde ve inkübasyon süresinin ise termal stabilitesini azalttığını tespit etmişlerdir.

4.6.6. ODPK'ların Çürüklük Testinden Elde Edilen Bulguların İrdelenmesi

Tez kapsamında üretilen ODPK'lerin *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarlarına karşı çürüklük testi gerçekleştirilmiş ve ODPK'larda meydana gelen ağırlık kayıpları Şekil 105'de verilmiştir.

Kontrol sarıçam odun örneklerinde *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarları tarafından meydana getirilen ağırlık kayıpları sırasıyla %53,21 ve %34,17 olarak belirlenmiştir. Mantar çürüklük testi sonrasında elde edilen veriler incelendiğinde, ODPK'lerinde *Coniophora puteana* mantarı, *Trametes versicolor* mantarından daha fazla ağırlık kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. Kavak odun talaş/yongalarından üretilen ODPK'lerinde çürüklük mantarlarının neden olduğu ağırlık kayıpları sarıçam odun talaş/yongalarından üretilenlerinkinden daha fazla olduğu görülmüştür. Üretilen ODPK'lerin üretiminde kullanılan karışım oranlarındaki PO ve GL mantarına maruz bırakılmış odun oranının artmasıyla, çürüklük mantarları tarafından meydana getirilen ağırlık kayıplarının azaldığı görülmüştür. ODPK'lerin üretiminde kullanılan odun talaş/yongalarının mantarla aşılandıktan sonraki inkübasyon süresinin artmasıyla çürüklük testinde kullanılan mantarların neden olduğu ağırlık kayıplarının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür.



Şekil 105. ODPK'larda meydana gelen ağırlık kayıpları

EN 113 (2020) standardına göre çürüklük dayanım sınıfları tez kapsamında üretilen ODPK'ların çürüklük dayanım sınıfları Tablo 99'daki bilgiler ışığında belirlenmiştir. Buna göre tez kapsamında üretilen ODPK'ların *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarlarına karşı çürüklük dayanım sınıfları Tablo 100'de verilmiştir.

Tablo 99. EN 113 standardına göre odun çürütücü mantar saldırısının (basidiomycet mantarları) dayanıklılık sınıflarının (DC) atanması

Dayanıklılık Sınıfı	**Tanımlama**	**Medyan ağırlık kaybı (%) (AK)**
DC 1	Son derece dayanıklı	≤ 5
DC 2	Dayanıklı	>5≤10
DC 3	Orta derecede dayanıklı	>10≤15
DC 4	Biraz dayanıklı	>15≤30
DC 5	Dayanıksız	>30*

***** Herhangi bir mantar, test edilen malzemede kontrole göre daha yüksek ağırlık kaybına neden oluyorsa, DC 5 olarak da sınıflandırılmalıdır.

AK = kullanılan test mantarlarının her birine maruz kalan test numuneleri için belirlenen medyan ağırlık kayıplarının en yükseği (% olarak)

Tablo 100. ODPK'ların *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarlarına karşı EN 113 standardına göre çürüklük dayanım sınıfları

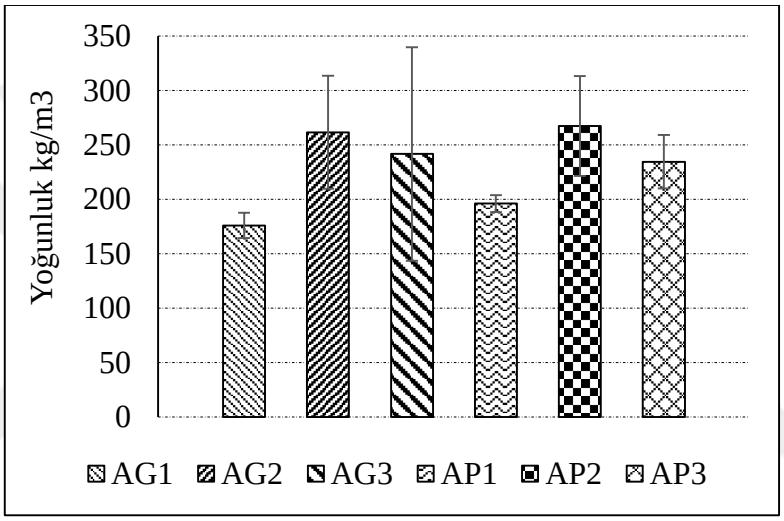
Levha Türü	**Dayanım sınıfı**	
	Coniophora puteana	***Trametes versicolor***
Kontrol	Biraz dayanıklı veya dayanıksız	Orta derecede dayanıklı
K5P2	Biraz dayanıklı veya dayanıksız	Dayanıklı
K7P2	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
K8P2	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
K5P3	Orta derecede dayanıklı	Dayanıklı
K7P3	Orta derecede dayanıklı	Dayanıklı
K5P3	Dayanıklı	Son derece dayanıklı
K5G2	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
K7G2	Orta derecede dayanıklı	Dayanıklı
K8G2	Dayanıklı	Son derece dayanıklı
K5G3	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
K7G3	Orta derecede dayanıklı	Dayanıklı
K8G3	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
S5P2	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
S7P2	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
S8P2	Dayanıklı	Son derece dayanıklı
S5P3	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
S7P3	Orta derecede dayanıklı	Son derece dayanıklı
S8P3	Dayanıklı	Dayanıklı
S5G2	Orta derecede dayanıklı	Dayanıklı
S7G2	Dayanıklı	Dayanıklı
S8G2	Dayanıklı	Son derece dayanıklı
S5G3	Dayanıklı	Dayanıklı
S7G3	Dayanıklı	Dayanıklı
S8G3	Dayanıklı	Son derece dayanıklı

Çürüklük test sonuçlarından elde edilen bulgular ışığında, ODPK'ların *Coniophora puteana* çürüklük mantarına karşı DC3, DC4 ve DC5 sınıfına girdiği belirlenmiştir. *Trametes versicolor* çürüklük mantarına karşı daha iyi performans göstermiş ve üretilen ODPK'ların DC1, DC2, DC3 ve DC4 sınıflarına girdiği tespit edilmiştir. Her ne kadar bazı varyasyonlarda elde edilen ODPK'ların "Son derece dayanıklı", "Dayanıklı" veya "Orta derecede dayanıklı" sınıfına girmesine karşın, suyla temas eden ve çürüklük riskinin yüksek olduğu yerlerde kullanılacak ise, yüksek oranda su almaları nedeniyle emprenye edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

4.7. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerinin İrdelenmesi

4.7.1. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Yoğunluk Değerlerinin İrdelenmesi

Kavak odun yongaları ve PO ve GL mantarları kullanılarak 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin yoğunluk değerleri Şekil 106'da verilmiştir.

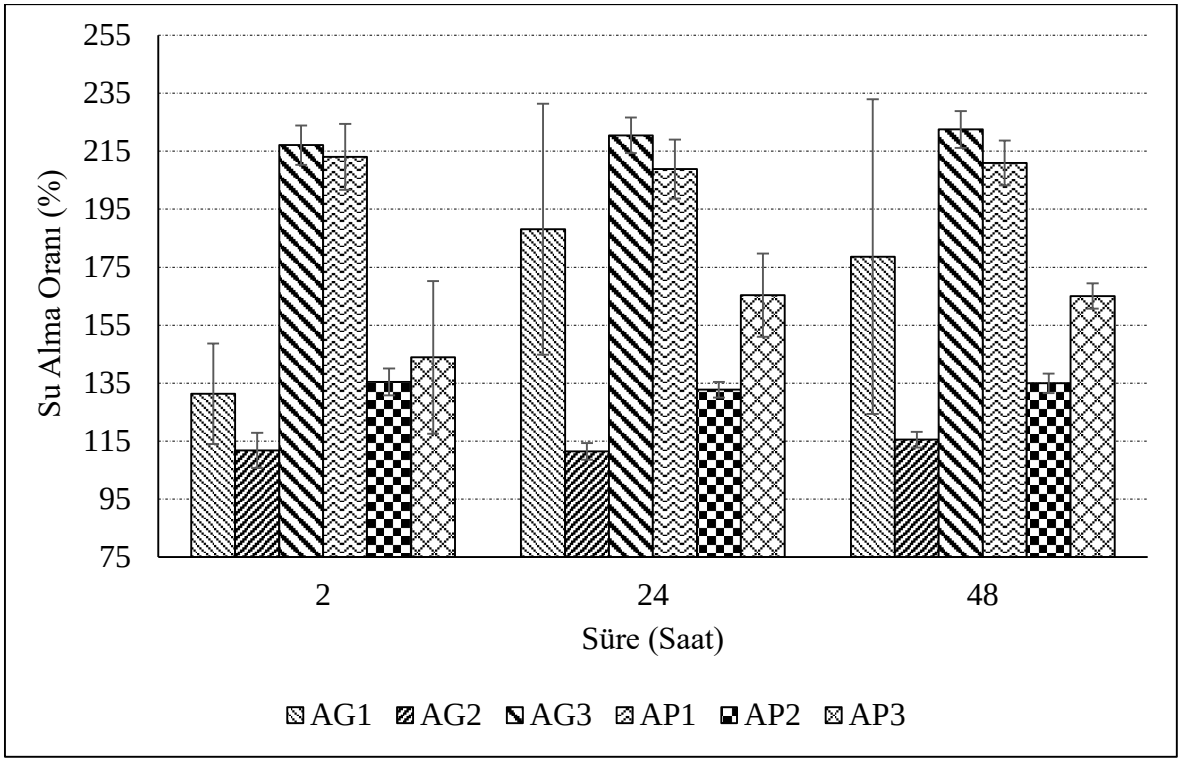


Şekil 106. Misel esaslı ambalaj malzemesinin yoğunluk değerleri

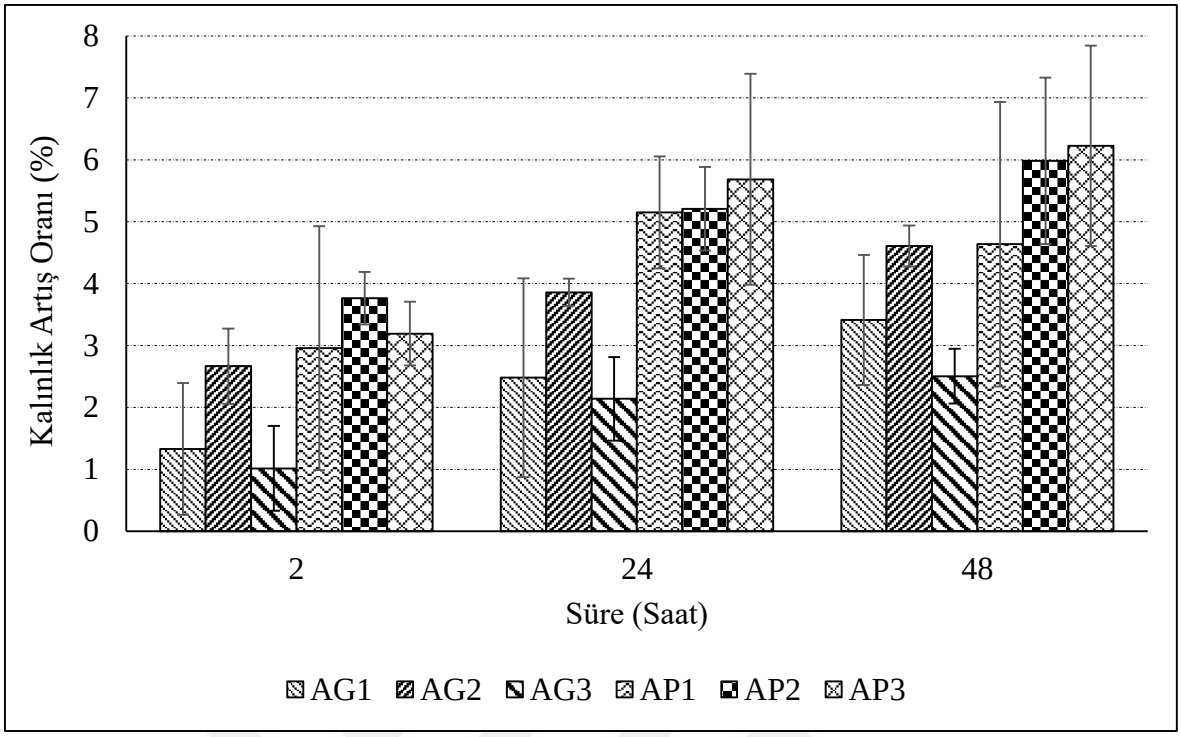
Literatürdeki bilgiler ve yapılan ön denemelerden elde edilen veriler ışığında düşük yoğunluğa sahip misel esaslı ambalaj malzemelerin mekanik özelliklerinin oldukça düşük olmasından dolayı tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin yoğunluk değerleri ortalama 230 kg/m^3 olarak hedeflenmiştir. Üretilen misel esaslı misel esaslı ambalaj malzemelerin yoğunluk değerleri 180 kg/m^3 ila 270 kg/m^3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kavak yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin (AP2) yoğunluk değerinin en yüksek, GL mantarıyla aşılanıp 10 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin (AG1) ise en düşük olduğu tespit edilmiştir.

4.7.2. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Su Alma Oranı ve Kalınlık Artışının İrdelenmesi

Üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin su alma ve kalınlık arışı oranlarını belirlemek amacıyla 2, 24 ve 48 saat süreyle su alma testine maruz bırakılmış ve elde edilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin su alma ve kalınlık artış oranları Şekil 107 ve Şekil 108'de verilmiştir.



Şekil 107. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin su alma oranları



Şekil 108. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranları

Tez kapsamında 2 farklı mantar türü ve 3 farklı inkübasyon süresinin sonunda üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin su alma oranları ilk 2 saatte hızlı bir şekilde artış göstermiş daha sonra 24 ve 48 saate kadar su alma oranı yatay bir seyir izlemiştir. Şekil 107'de de görüldüğü üzere, GL mantarı kullanılarak ve 10 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yongalarından üretilen misel esaslı ambalaj malzemesi (AG1) 48 saatin sonunda maksimum su alma oranlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. GL mantarıyla aşılanan kavak yongalarının 20 günlük inkübasyon periyodunun sonunda üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin (AG2) su alma oranlarının tez kapsamında üretilen diğer ambalaj malzemelerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Literatürde de belirtildiği üzere misel esaslı kompozit malzemelerin en önemli dezavantajlarından birisi yüksek oranda su alma oranlarına sahip olmalarıdır. Miselyum kompozitleri tipik olarak higroskopiktir ve 48-192 saat su ile temas ettiğinde ağırlıkça yaklaşık olarak %40-580 oranında arttığı birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Holt vd., 2012; López Nava vd., 2016; Appels vd., 2019; Elsacker vd. 2019; Sun vd. 2019). Misel esaslı kompozitlerin güçlü su emme afinitesi, çok sayıda erişilebilir hidroksil grubu (Zabihzadeh, 2009) içeren tipik selülozik dolgu bileşenlerinin ve fitillemeyi destekleyen hidrofilik gözenekli misel bağlayıcı ve biyolojik olarak türetilmiş dolgu fazlarının (Li vd.,

2013; Chung vd., 2011; Wei vd., 2015) sonucu olduğu bildirilmiştir. Bu tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin su alma oranlarına benzer şekilde, başka çalışmalarda da su alma oranının ilk önce hızlı daha sonra yavaş, nihayet 24 saatin sonunda tekrar hızlı bir şekilde artış gösterdiği ve malzemenin doygunluğa ulaştığında durduğu tespit edilmiştir (Appels vd., 2019).

Tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranları incelendiğinde, yüksek su alma oranlarına sahip olmalarına rağmen misel esaslı ambalaj malzemelerinin kalınlık artış oranlarının oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Bu da ambalaj malzemelerinin herhangi bir presleme işlemi uygulanmadan üretilmesinden ve nispeten yoğunluklarının düşük olmasından dolayı, ambalaj malzemelerindeki boşluk oranının yüksek olması dolayısıyla absorplanan suyun serbest su olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi mantar misel ve hüfleri su itici özellik göstermekte ve üretilen misel esaslı kompozit malzemelerin boyutsal stabilizasyonunda ve/veya ambalaj malzemelerin kalınlık artışının sınırlı olmasında rol oynamaktadır.

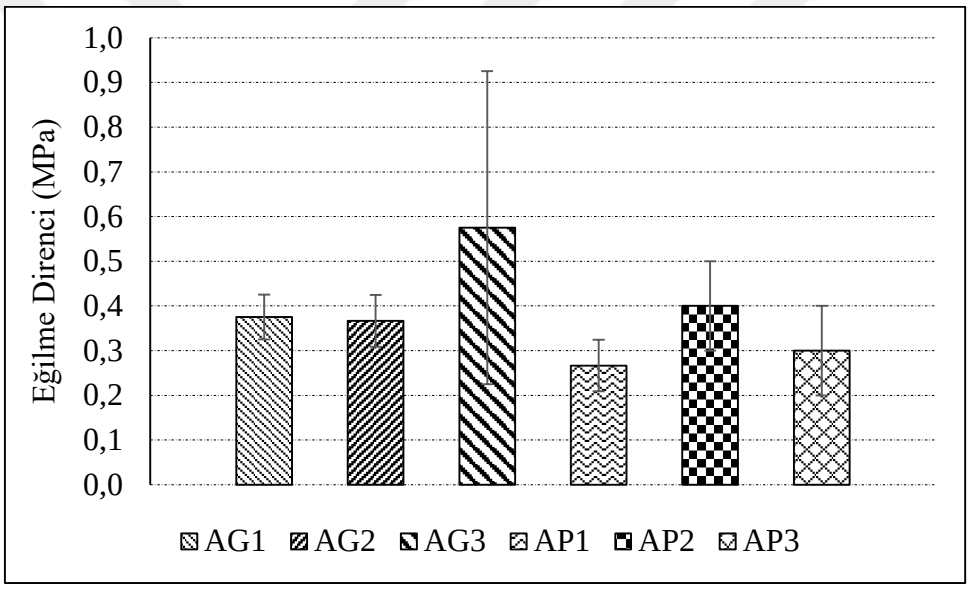
GL mantarıyla aşılanarak üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin su alma oranları PO mantarıyla üretilenlerden daha yüksek olmasına karşın kalınlık artış oranın PO mantarıyla üretilenlere oranla nispeten daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin GL mantarının kavak odun yongalarındaki hemiselülozları PO mantarına oranla daha fazla oranda tahrip etmesi dolayısıyla serbest OH gruplarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde misel esaslı kompozit malzemelerin su alma oranlarının belirlenmesine yönelik araştırmalar bulunmasına karşın, kalınlık artış oranlarına ilişkin yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin su alma ve kalınlık artış oranlarının tespiti literatürdeki söz konusu boşluğu doldurması açısından büyük önem arz etmektedir.

4.7.3. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İrdelenmesi

4.7.3.1. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülünün İrdelenmesi

Tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin eğilme dirençleri Şekil 109'da verilmiştir. GL mantarı ile 10 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odun yongalarından üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin (AG1 ve AG3) eğilme

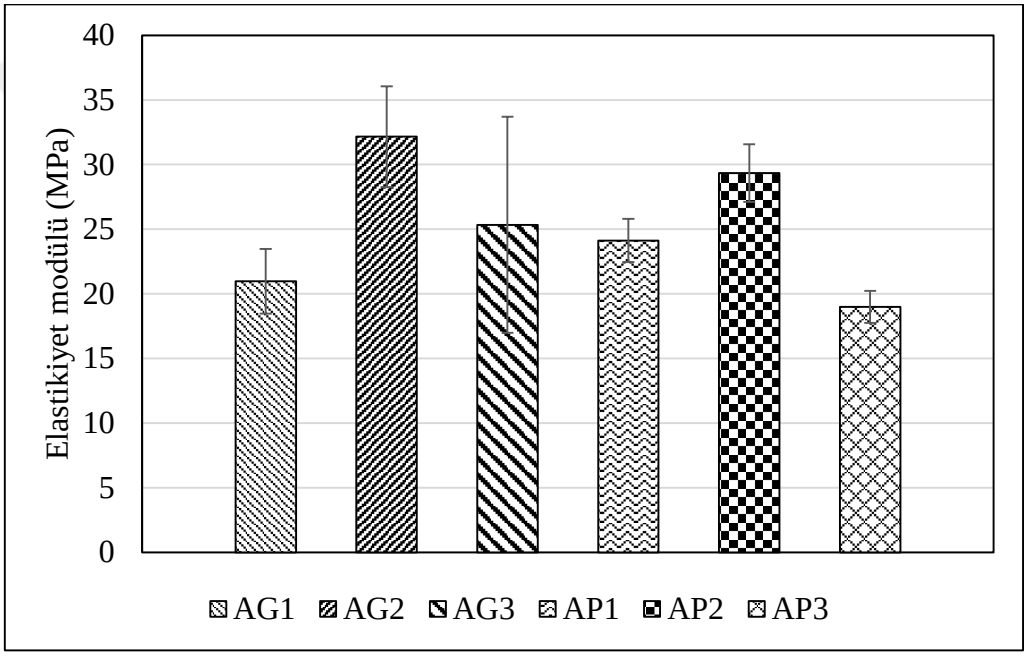
dirençleri PO mantarıyla üretilenlere (AP1 ve AP3) oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyon süresi sonunda üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin (AG3) en yüksek eğilme direnç değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyon süresi sonunda üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin (AP1) ise en düşük eğilme direnç değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. İnkübasyon süresinin artmasıyla, GL mantarı kullanılarak üretilen ambalaj malzemelerin eğilme dirençlerinin artarken PO mantarı kullanılarak üretilen ambalaj malzemelerin eğilme direnci azalmıştır. Bunun nedeni; tez kapsamında kullanılan PO mantarının GL mantarına göre daha fazla kavak yongalarının kimyasal ana bileşenlerini (lignin, hemiselüloz, selüloz) tahrip etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 109. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin eğilme dirençleri

Tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin elastikiyet modülleri Şekil 110'da verilmiştir. Üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin elastikiyet modülleri 18.99 MPa ila 32.16 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük elastikiyet modülüne sahip olan misel esaslı ambalaj malzemesi, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 günlük inkübasyon periyodundan sonra üretilen misel esaslı ambalaj malzemeleri (AP3), en yüksek elastikiyet modülüne sahip olan ise GL mantarıyla aşılanıp 20 günlük inkübasyon periyodunun sonunda üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinde (AG2) tespit edilmiştir. Her iki mantar türü içinde 20 günlük inkübasyon periyodu sonunda üretilen misel esaslı

ambalaj malzemelerin elastikiyet modülleri en yüksek olduğu görülmüştür. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin eğilme direnç değerleri PO mantarıyla üretilenlerinkine göre daha yüksek olmasına karşın, levhaların elastikiyet modüllerinde bu bariz fark görülmemiştir. Bunun nedeni, GL mantarı misellerinin yapısı ve kavak odun yongalarına sarmasındaki ağ yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin PO mantarıyla üretilenlere oranla oldukça sert/rijit olduğu gözlemlenmiştir. Bu da GL mantarıyla üretilen ambalaj malzemelerin elastikliğini/esnekliğini bir miktar sınırlandırdığı düşünülmektedir.

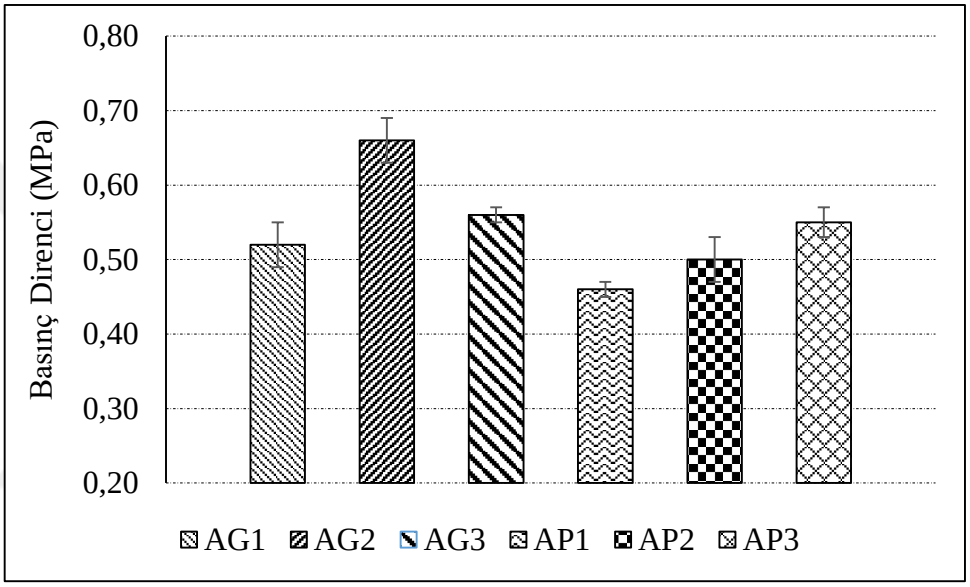


Şekil 110. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin elastikiyet modülü

4.7.3.2. Misel Esaslı Ambalaj Basınç Direncinin İrdelenmesi

Misel esaslı ambalaj malzemelerinin basınç direnci değerlerine ilişkin elde edilen bulgular Şekil 111'de verilmiştir. Tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin basınç direnci değerleri en düşük 0.46 MPa, en yüksek 0.66 MPa olarak bulunmuştur. GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin basınç direnç değerleri PO mantarı kullanılarak üretilenlere oranla bir miktar daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İnkübasyon süresinin artmasıyla birlikte misel esaslı ambalaj malzemelerin basınç direnci değerleri düşüş göstermiştir. Tez kapsamında üretilen misel esaslı ambalaj

malzemelerin eğilme direnci ve elastikiyet modülüne ilişkin yapılan değerlendirmede de belirtildiği üzere, GL mantarı kullanılarak üretilen ambalaj malzemelerin formunun PO mantarıyla üretilenlere oranla daha rijit/sert olması nedeniyle GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının basınç direnç değerlerinin daha yüksek çıktığı düşünülmektedir. İnkübasyon süresinin artmasıyla birlikte kavak odun yongalarının kimyasal ana bileşenlerinde mantarların neden olduğu tahribat nedeniyle ambalaj malzemelerin basınç direnç değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir.

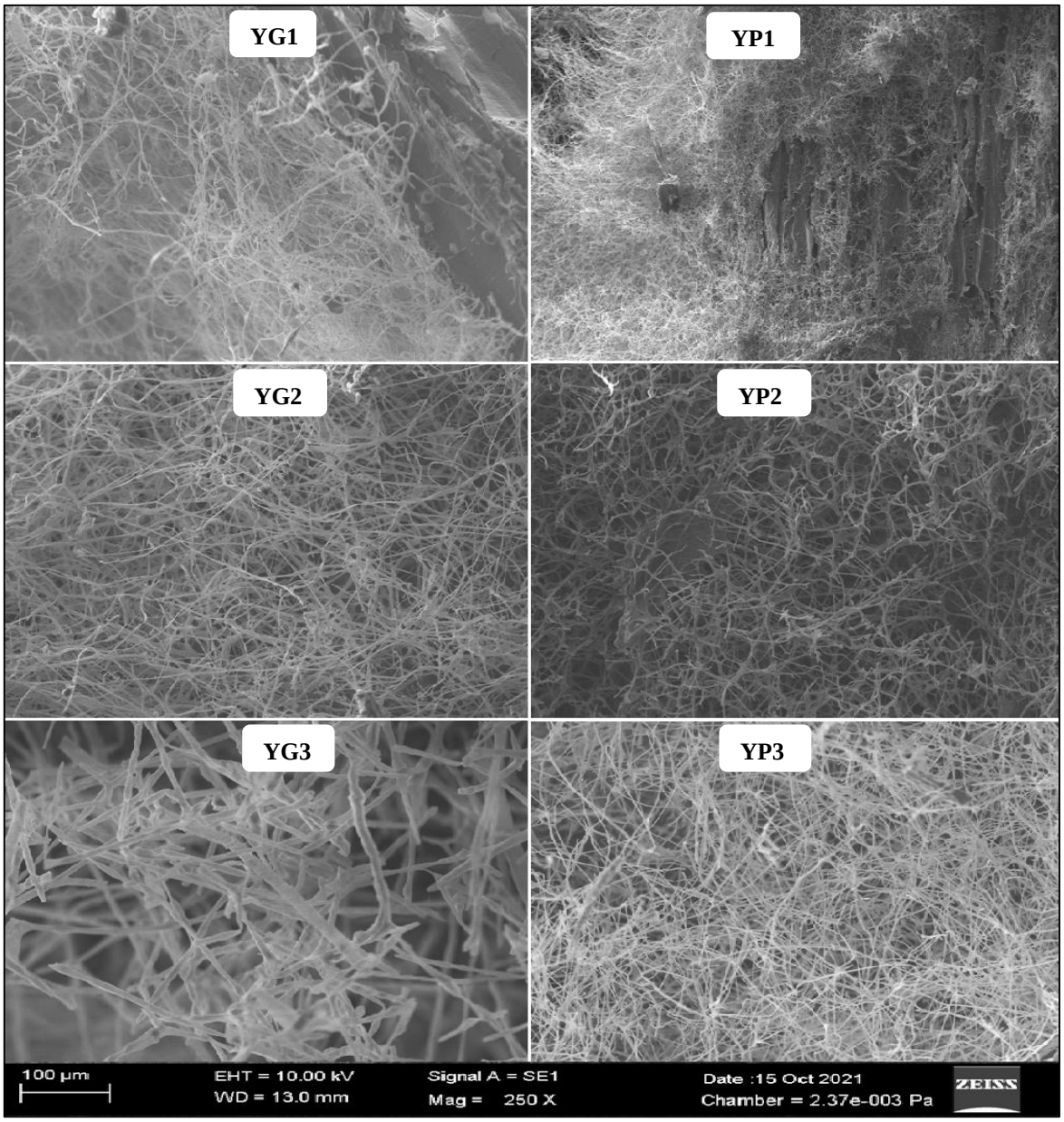


Şekil 111. Misel esaslı ambalaj malzemelerinin basınç direnci

4.8. Morfolojik Özelliklere (SEM) Ait Bulguların İrdelenmesi

4.8.1. Misel Esaslı Yalıtım Levhalarının SEM Görüntülerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Tez kapsamında GL ve PO mantarı ile aşılanan ve 10, 20 ve 30 günlük sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapından üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının SEM görüntüleri Şekil 112'de verilmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri incelendiğinde GL ve PO mantarları ile inkübasyon süresi arttıkça misel esaslı yalıtım malzemesindeki misel ağ yapısının ve yoğunluğunun da arttığı tespit edilmiştir.

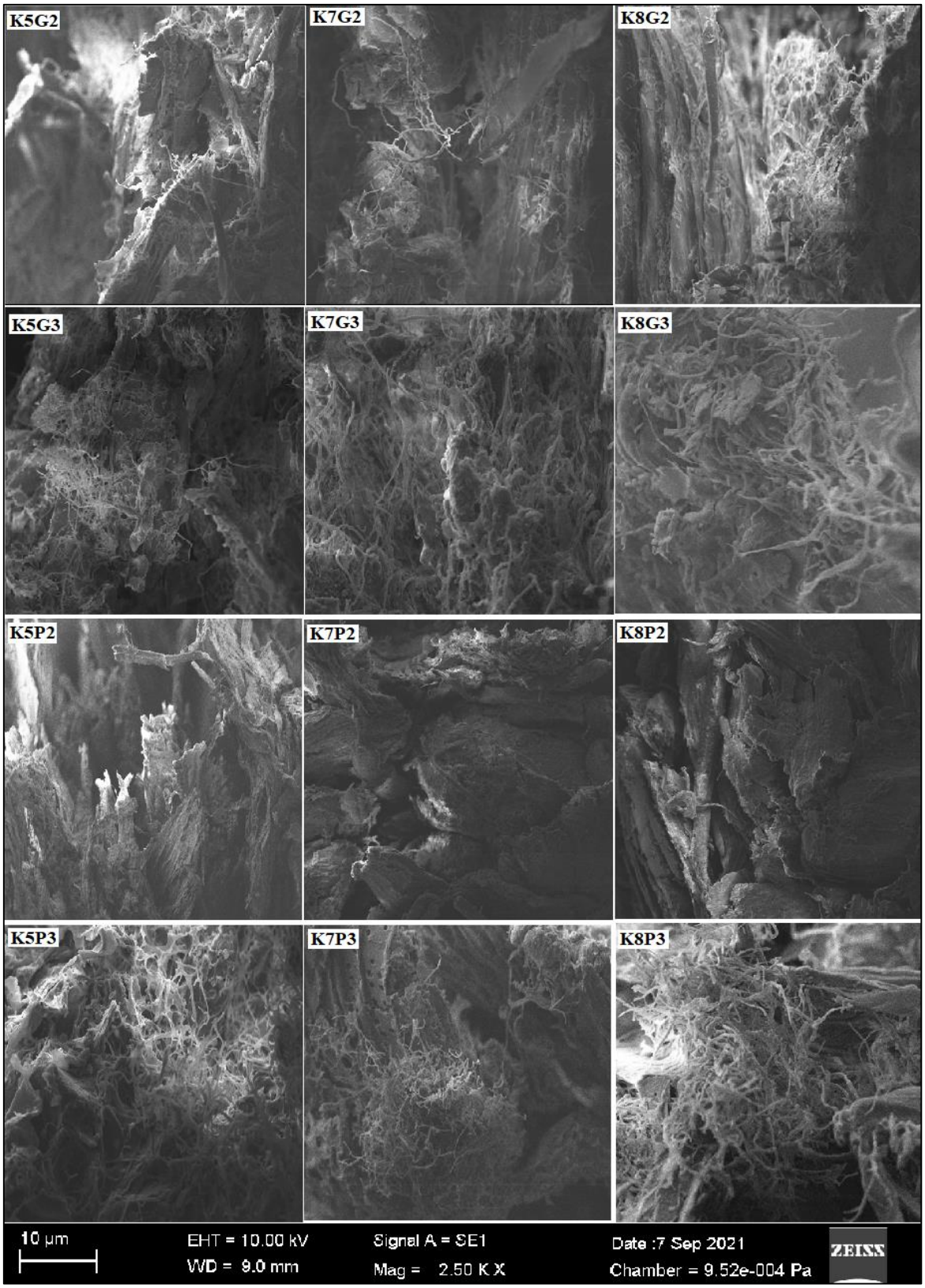


Şekil 112. Misel esaslı yalıtım levhalarına ait SEM görüntüleri

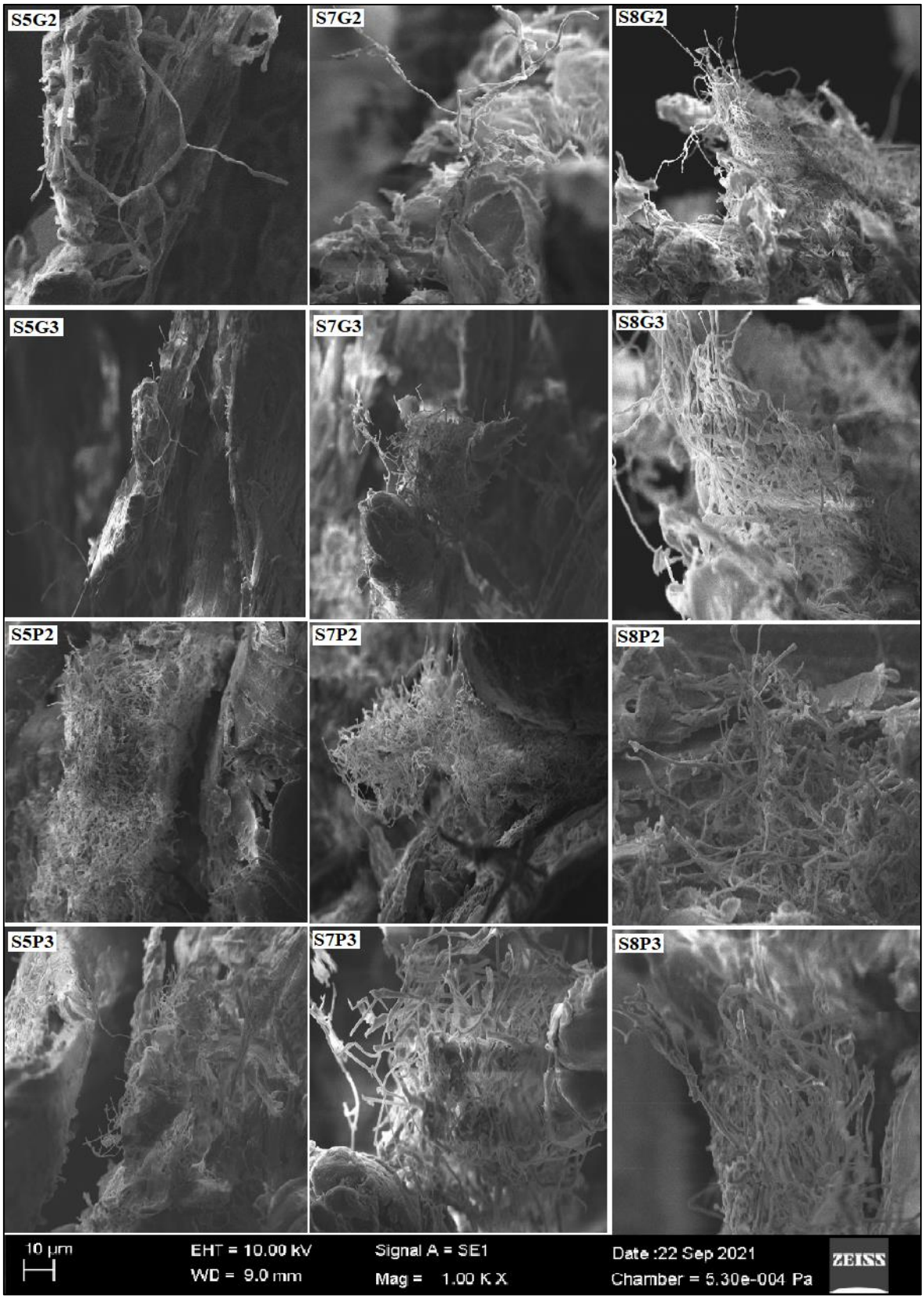
4.8.2. ODPK'lerin SEM Görüntülerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Tez kapsamında GL ve PO mantarları ile aşılanan 20 ve 30 günlük süreyle inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunu ve sarıçam odunu yonga/talaşlarından üretilen ODPK'lerine ait SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 113 ve Şekil 114'de verilmiştir. Elde edilen hem sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilmiş ODPK'lerin SEM görüntüleri hem de kavak odun yonga/talaşlarından üretilmiş ODPK'lerin SEM görüntüleri incelendiğinde miseller küçük parçalar halinde veya K5P2, K7P2 ve K8P2 levha grubunda nadir olarak

gözlenmektedir. Bunun sebebi ise ODPK üretim aşamasında örneklerin Willey değirmeninde öğütülmesinden dolayı misel ağ yapısının bozulduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte inkübasyon süresi arttıkça misel ağ yapısının arttığı/güçlendiği SEM analizlerinde açıkça gözlemlenmiştir.



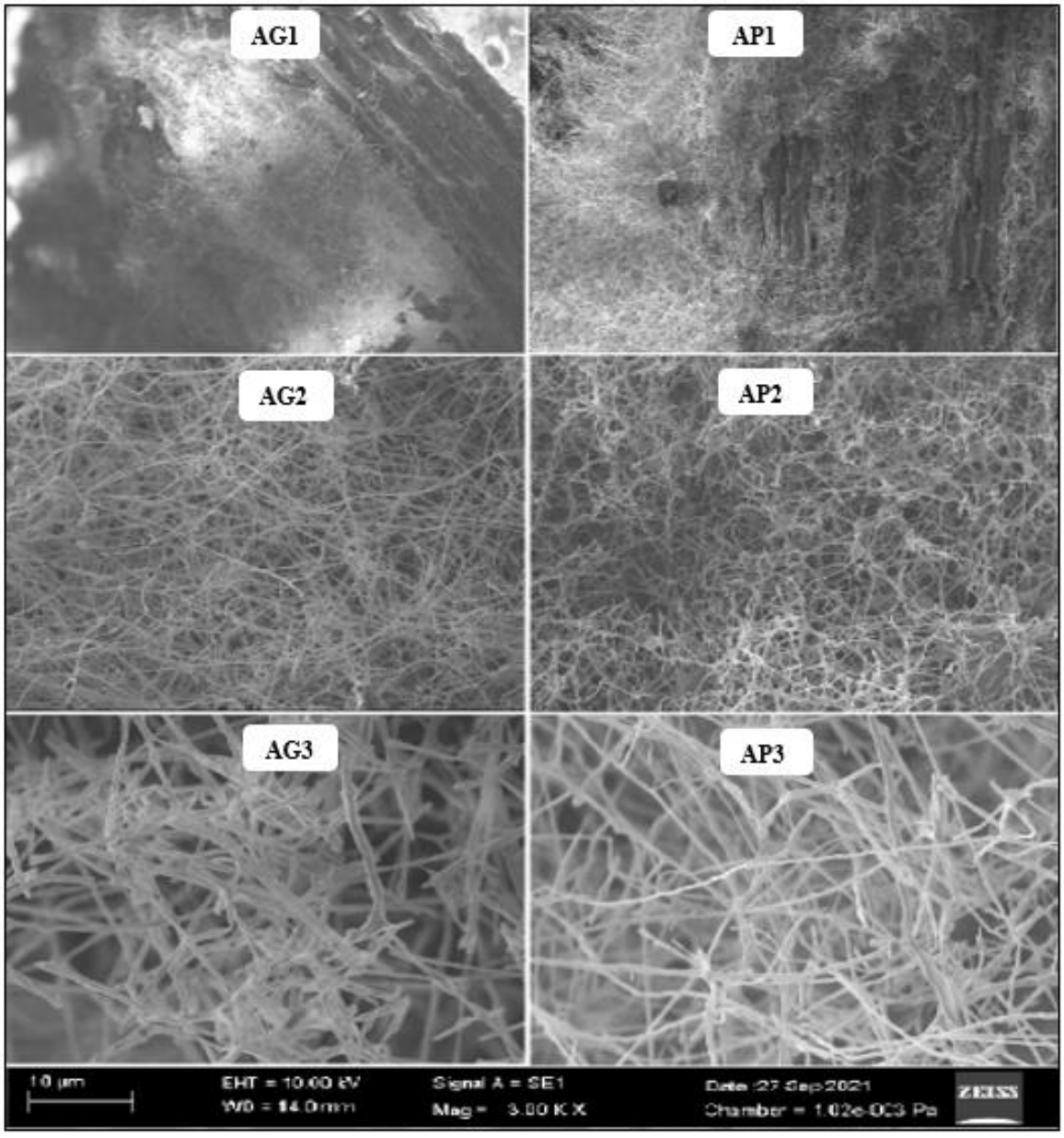
Şekil 113. Kavak odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK'lerine ait SEM görüntüsü



Şekil 114. Sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilen ODPK'lerine ait SEM görüntüsü

4.8.3. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerin SEM Görüntülerine Ait Bulguların İrdelenmesi

Tez kapsamında GL ve PO mantarları ile aşılanan 10, 20 ve 30 günlük süreyle inkübasyona maruz bırakılmış kavak odun yonga/talaşından üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerine ait SEM görüntüleri Şekil 115'de verilmiştir. Elde edilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin SEM görüntüleri incelendiğinde iki mantarı türünde de inkübasyon süresi artıkça misel yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 115. Misel esaslı ambalaj malzemelerine ait SEM görüntüleri

Bu çalışmada elde edilen SEM görüntülerine benzer sonuçlar çeşitli araştırmacılar tarafından da tespit edilmiştir. Haneef vd. (2017) selüloz ve selüloz/ /potato-dextrose besi ortamlarında *Ganoderma lucidum* ve *Pleurotus ostreatus* mantarlarının 5, 10 ve 20 gün süreyle inkübe ederek SEM görüntülerini incelemiştir. Elde edilen SEM görüntülerinde iki mantar türünde de inkübasyon süresi arttıkça ağ yapısının ve yoğunluğunun arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca iki mantar türü de selüloz besi ortamında selüloz/ /potato-dextrose besi ortamına göre daha iyi büyüme sağladığı belirtilmiştir.

Appels vd. (2019) kozla samanı, pamuk sapı ve kayın odunu yongalarını *Trametes multicolor* ve *Pleurotus ostreatus* mantarı ile 14 gün süreyle inkübe ederek misel esaslı kompozit malzeme üretmiş ve SEM analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen SEM görüntülerinde inkübasyon süresinin sonunda iki mantar türünde de mantar misellerinin besi ortamlarını yoğun bir şekilde sardığını tespit etmişlerdir.

Sun vd. (2020) *Trametes versicolor* mantarı ile huş odunu kaplama örneklerini 4, 8 ve 12 gün süreyle inkübe ederek SEM görüntülerinden faydalanarak mantar misel yoğunluğunu incelemiştir. Elde edilen SEM görüntülerine göre, inkübasyon süresi arttıkça huş odunu kaplamalarının yüzeyini mantar miselleri ile sardığını inkübasyonun 12. gününde ise kaplamaların yüzeyini tamamen kapladığını bildirmiştir.

Răut vd., (2021) *Ganoderma lucidum* mantarı ile buğday saplarının 20 ve 25 günlük inkübasyonu sonunda SEM görüntülerini incelemişlerdir. Elde edilen SEM görüntülerinde mantar misellerin ağ yapısının ve misel yoğunluğunun arttığını bildirmişlerdir.

Dias vd. (2021) *Ganoderma resinaceum* mantarı ile *Miscanthus giganteus* (Filotu) 28 gün inkübasyonu sonunda misel esaslı kompozit üretmişler ve misel esaslı kompozitin SEM görüntülerini incelemişlerdir. Elde edilen SEM görüntülerinde mantar miselleri kompozit malzemenin içindeki boşluklarda yoğun bir şekilde, *Miscanthus giganteus* liflerinin içerisinde ise az da olsa gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

5. SONUÇLAR

"Farklı beyaz çürüklük mantarları ile inkübe edilmiş lignoselülozik materyallerden biyobozunur malzemelerin üretilmesi ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi" adlı bu tez çalışmasında lignoselülozik materyaller (buğday sapı, sarıçam yongaları ve kavak yongaları) GL ve PO mantar miselleri ile farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılmıştır. Farklı süreler ile inkübasyona maruz bırakılmış lignoselülozik materyalde mantar ön işlemi sonucunda meydana gelen kimyasal yapıdaki değişimler kimyasal analizler ve FTIR analizleri ile inkübasyonun etkisi belirlenmiştir. Lignoselülozik materyaller farklı sürelerde inkübasyona maruz bırakılarak üretilen misel esaslı kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve biyolojik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemelere ait elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

5.1. Lignoselülozik Materyal Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Sonuçlar

Buğday Sapının Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Sonuçlar

- GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış buğday sapı örneklerinde, inkübasyon süresi arttıkça kontrol buğday sapı örneklerine oranla alkol/benzen çözünürlüğü, holoselüloz oranı ve lignin oranı azalmıştır.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış buğday sapının alkol/benzen çözünürlüğü kontrol buğday sapına göre en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında, en az azalış ise GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında belirlenmiştir.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış buğday sapının holoselüloz oranı kontrol buğday sapına göre en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapında belirlenmiştir.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış buğday sapının lignin oranı, en çok azalış PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle

inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında, en az azalış ise GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz kalmış buğday sapında tespit edilmiştir.

- GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış buğday sapının inkübasyon süresi arttıkça kontrol buğday sapı örneklerine göre oranla %1'lik NaOH çözünürlüğü ve α-selüloz oranı artmıştır.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış buğday sapının %1'lik NaOH çözünürlük oranındaki en çok artış GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında, en az artış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapında belirlenmiştir.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış buğday sapının α-selüloz oranındaki en çok artış GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında, en az artış ise GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış buğday sapında belirlenmiştir.

Sarıçam Odunun Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Sonuçlar

- GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış sarıçam odun örneklerinde, inkübasyon süresi arttıkça kontrol sarıçam odun örneklerine oranla alkol/benzen çözünürlüğü, holoselüloz oranı ve lignin oranı azalmıştır.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış sarıçam odunun alkol/benzen çözünürlüğü kontrol örneklerine göre en çok azalış PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış sarıçam yongaları, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam yongalarında belirlenmiştir.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış sarıçam odunun holoselüloz oranı kontrol örneklerine göre en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam yongalarında, en az azalış ise GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz kalmış sarıçam odun örneklerinde tespit edilmiştir.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış sarıçam odunun lignin oranı kontrol örneklerine göre en çok azalış PO mantarıyla aşılanmış ve 20 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odun örneklerinde, en az azalış

ise GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda belirlenmiştir.

- GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış sarıçam odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol sarıçam odunun oranla %1'lik NaOH çözünürlüğü artmıştır.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış sarıçam odunun %1'lik NaOH çözünürlük oranı kontrol örneklerine göre en çok artış PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda, en az artış ise PO mantarıyla aşılamış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz kalmış sarıçam odununda belirlenmiştir

Kavak Odunun Ana Bileşenlerinin Analizlerine Ait Sonuçlar

- GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış kavak odun örneklerinde, inkübasyon süresi arttıkça kontrol kavak odun örneklerine göre alkol/benzen çözünürlüğünün holoselüloz oranı ve lignin oranı azalmıştır.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış kavak odunun alkol/benzen çözünürlüğü kontrol kavak odun örneklerine göre en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 20 gün inkübasyonuna maruz kalmış kavak odununda belirlenmiştir.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış kavak odunun holoselüloz oranı kontrol kavak odun örneklerine göre en çok azalış GL mantarıyla aşılanmış ve 20 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda tespit edilmiştir.
- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış kavak odunun lignin oranı kontrol kavak odun örneklerine göre en çok azalış PO mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda, en az azalış ise PO mantarıyla aşılanmış ve 20 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda belirlenmiştir.
- GL ve PO mantar miselleri ile muameleye maruz bırakılmış kavak odunun inkübasyon süresi arttıkça kontrol kavak odun örneklerine oranla %1'lik NaOH çözünürlüğü artmıştır.

- 10, 20 ve 30 gün süreyle farklı mantar inkübasyonuna bırakılmış kavak odunun %1'lik NaOH çözünürlük oranı kontrol kavak odunu örneklerine göre göre en çok artış PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda, en az artış GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyonuna maruz bırakılmış kavak odununda belirlenmiştir.

5.2. Mantar İnkübasyonuna Maruz Kalan Lignoselülozik Örneklerin FTIR Spektrumlarına Ait Sonuçlar

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanmış buğday sapı, sarıçam odunu ve kavak odununu 10, 20 ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmıştır. Her bir inkübasyon süresinin sonunda buğday sapı, sarıçam odunu ve kavak odun örneklerinin FTIR analizi sonuçlarına göre 3000-2825 cm^{-1} pik aralığında deformasyon, 1770-1520 cm^{-1}, 1425-1390 cm^{-1}, 1375-1300 cm^{-1}, 896 cm^{-1} ve 800 cm^{-1} piklerinin ise ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu piklerdeki meydana gelen değişimler;

- CH_2 ve CH_3'teki asimetrik ve simetrik C-H titreşimi ifade eden 2925 ve 2855 cm^{-1} pikinin artması yeni fonksiyonel grupların ortaya çıktığının göstergesidir.
- Lipitleri (esterlerdeki C=O titreşimini yani odundaki iki karbonil grubu) ifade eden 1740 cm^{-1} pikinin artması hemiselülozların bozunmaya başladığı göstermektedir.
- Lignin yapılarındaki değişimi ifade eden 1590, 1270 ve 1230 cm^{-1} piklerinde artış gözlemlenmiştir.
- Hemiselüloz ve selüloz yapılarının bozunmaya başladığını ya da bozunduğunu ifade eden 1168 ve 896 cm^{-1} piklerinde artışlar belirlenmiştir.
- Proteinleri (lignin veya selüloz ile ilişkili absorbe edilmiş O-H, Amid I) ifade eden 1623 cm^{-1} pikinin artması lignin parçalandığını göstermektedir.
- Selüloz ve hemiselülozda CH deformasyonu sonucunda oluşan/artan ve kitin göstergesi olan 1375 cm^{-1} pikinde artış belirlenmiştir.
- Piran halka genişlemesini ifade eden 800 cm^{-1} pikinde artış gözlemlenmiştir.

5.3. Misel Esaslı Yalıtım Malzemesinin Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerine Ait Sonuçlar

Üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yoğunluk değerleri 0.131 g/cm^3 ila 0.141 g/cm^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Tez kapsamında üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranlarının oldukça fazla olduğu belirlenmiştir. PO mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım malzemelerinin GL mantarı kullanılarak üretilenlerinkine oranla daha fazla su alma oranlarına sahip oldukları tespit edilmiştir. Beklenildiği gibi yalıtım levhalarının su alma oranları ilk 1.5 saatlik periyotta hızlı bir şekilde artış göstermiş daha sonra su alma oranlarındaki artış hızı yavaşlamıştır. En fazla su alma oranı PO mantarı kullanılarak ve 10 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak üretilen YP1 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında, en düşük su alma oranı ise GL mantarı kullanılarak 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılarak üretilen YG3 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında tespit edilmiştir.

Misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranlarının çok yüksek olmasına rağmen, kalınlık artış oranları oldukça sınırlı düzeyde kaldığı ve 168 saat sonunda %4.45 ila %6.91 arasında değiştiği belirlenmiştir.

GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının eğilme direnci ve elastikiyet modülü PO mantarıyla üretilenlerinkinden her 3 inkübasyon süresinde de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek eğilme ve elastikiyet modülü GL mantarının buğday sapına aşılanıp, 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra üretilen YG2 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında olduğu tespit edilmiştir. En düşük eğilme ve elastikiyet modülü ise PO mantarının buğday sapına aşılanıp, 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra üretilen YP3 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında bulunmuştur.

GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının yüzeye dik çekme direnci PO mantarıyla üretilenlerden her 3 inkübasyon süresinde de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek yüzeye dik çekme direnci GL mantarının buğday sapına aşılanıp, 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra üretilen YG3 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında olduğu tespit edilmiştir. En düşük yüzeye dik çekme direnci ise PO mantarının buğday sapına aşılanıp, 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra üretilen YP3 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında bulunmuştur.

GL mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının basınc direnci PO mantarıyla üretilenlerden her 3 inkübasyon süresinde de daha yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek basınç değerine sahip misel esaslı yalıtım levhalarının GL mantarı kullanılarak ve 10 gün süreyle inkübasyon sonucunda üretilen YG1 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında olduğu görülmüştür.

- Misel esaslı yalıtım levhalarının termal iletkenlik katsayıları 0.0480 W/m °K ila 0.0534 W/m °K arasında değiştiği tespit edilmiştir. En düşük termal iletkenlik katsayı değeri, PO mantarıyla 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen YP2 levha grubu misel esaslı yalıtım levhasında tespit edilmiştir.
- 3 farklı inkübasyona maruz bırakılan ve 2 farklı mantar türü kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının LOI değerleri 21'den daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek LOI değeri PO mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapından üretilen YP3 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında bulunurken, en düşük LOI değerine sahip misel esaslı yalıtım levhası ise PO mantarıyla aşılanıp 10 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapından üretilmiş YP1 levha grubu olduğu belirlenmiştir.
- 3 farklı inkübasyona maruz bırakılan ve 2 farklı mantar türü kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının termal bozunması buğday sapı kontrol örneklerine göre daha düşük sıcaklıkta başladığı gözlemlenmiştir.
- 3 farklı inkübasyona maruz bırakılan ve 2 farklı mantar türü kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının termal bozuma aşamasındaki ağırlık kaybı oranlarının, inkübasyon süresi artıkça azaldığı belirlenmiştir. En yüksek ağırlık kaybı oranı GL mantarıyla aşılanmış ve 10 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapından üretilmiş YG1 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında, en düşük ağırlık kaybı oranı GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapından üretilmiş YG3 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında tespit edilmiştir.
- 3 farklı inkübasyona maruz bırakılan ve 2 farklı mantar türü kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım levhalarının termal bozuma işlemi tamamlandıktan sonra kalıntı kütle miktarı inkübasyon süresi artıkça ağırlık kaybı oranında arttığı belirlenmiştir. En yüksek kalıntı kütle miktarı GL mantarıyla aşılanmış ve 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapından üretilmiş YG3 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında, en düşük kalıntı kütle miktarı GL mantarıyla aşılanmış

ve 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapından üretilmiş YG2 levha grubu misel esaslı yalıtım levhalarında olduğu belirlenmiştir.

- Misel esaslı yalıtım levhalarının ses geçiş kaybı ve ses yutma katsayısı belirlenmiştir.

5.4. Odun Doğal Plastik Kompozitlerinin Fiziksel ve Teknolojik Özelliklerine Ait Sonuçlar

Ülkemizde ve dünyada ilk kez bu tez kapsamında odun doğan plastik kompozitler (ODPK) üretilmiştir.

Üretilen ODPK'lerin yoğunluk değerleri 0.713 g/cm^3 ila 0.872 g/cm^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

ODPK'lerin su alma oranlarının bir hayli yüksek olduğu, kavak odun yonga/talaşları kullanılarak üretilen ODPK'lerin su alma oranlarının, sarıçam odun yonga/talaşları kullanılarak üretilenlerinkinden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

ODPK'lerin kalınlık artış oranlarının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Kavak odun yonga/talaşları GL mantarıyla aşılanmış ve 30 süreyle inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra %80-20 karışım oranıyla üretilmiş K8G3 levha grubu ODPK'lerin en düşük kalınlık artış oranına sahip olduğu belirlenmiştir.

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin çekme direnci değerleri 0.42 MPa ila 2.19 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek çekme direnci, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8P3 levha grubu ODPK'larda, en düşük çekme direnci ise sarıçam odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-50 karışımıyla üretilen S5G2 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir.

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri 62.93 MPa ila 189.47 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek çekmede elastikiyet modülü, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K5P3 levha grubu ODPK'larda, en düşük çekmede elastikiyet modülü ise sarıçam odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-50 karışımıyla üretilen S5G2 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir.

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin eğilme direnci değerleri 1.05 MPa ila 4.51 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek eğilme direnci, kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8G3 levha grubu ODPK'larda, en düşük eğilme direnci ise sarıçam odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen S8P3 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir.

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin 189.15 MPa ila 529.03 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri, kavak odun yongalarının PO mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8P3 levha grubu ODPK'larda, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise sarıçam odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-50 karışımıyla üretilen S5G2 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir.

Tez kapsamında farklı varyasyonlarla üretilen odun doğal plastik kompozitlerin darbe direnci değerleri 1.00 kJ/m² ila 2.02 kJ/m² arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek darbe direnci değerleri, kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %80-20 karışımıyla üretilen K8G3 levha grubu ODPK'larda, en düşük darbe direnci değerleri ise kavak odun yongalarının GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra %50-50 karışımıyla üretilen K5G2 levha grubu ODPK'larda tespit edilmiştir.

2 farklı inkübasyona maruz bırakılan, 2 farklı mantar türü kullanılarak ve 3 farklı karışım oranıyla üretilen ODPK'lerinin LOI değerleri kavak ve sarıçam odunun kontrol gruplarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek LOI değeri PO mantarıyla aşılanmış ve 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun %80-20 karışım oranından üretilen S8P2 grubu ODPK'lerinde olduğu tespit edilmiştir. En düşük LOI değeri ise PO mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun %50-50 karışımından üretilmiş K5P2 grubu ODPK'lerinde bulunmuştur.

Kavak odun yongaları ile 2 farklı mantar türü kullanılarak 2 farklı inkübasyona maruz bırakılarak üretilen ODPK'lerin termal bozunmanın kavak odunu kontrol örneklerine göre daha düşük sıcaklıkta başladığı gözlemlenmiştir.

Kavak odun yongaları ile 2 farklı mantar türü kullanılarak 2 farklı inkübasyona maruz bırakılarak üretilen ODPK'ların kavak odunu kontrol örneklerine göre termal bozunma

sıcaklığı aralığında ağırlık kayıplarının daha az olduğu belirlenmiştir. En az ağırlık kaybı oranı GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun %80-20 karışımından üretilmiş K8G2 levha grubu ODPK'larında, en çok ağırlık kaybı oranı GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun %50-50 karışımından üretilmiş K5G3 levha grubu ODPK'larında olduğu belirlenmiştir.

Kavak odun yongaları ile 2 farklı mantar türü kullanılarak 2 farklı inkübasyona maruz bırakılarak üretilen ODPK'ların kavak odunu kontrol örneklerine göre termal bozunma işlemi tamamlandıktan sonra kalıntı kütle miktarları daha fazla olduğu belirlenmiştir. En yüksek kalıntı kütle miktarı oranı GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun %70-30 karışımından üretilmiş K7G2 levha grubu ODPK'larında, en az kalıntı kütle miktarı oranı GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış kavak odunun %50-50 karışımından üretilmiş K5G3 levha grubu ODPK'larında olduğu belirlenmiştir.

Sarıçam odun yongaları ile 2 farklı mantar türü kullanılarak 2 farklı inkübasyona maruz bırakılarak üretilen ODPK'lerin termal bozunması sarıçam odunu kontrol örneklerine göre genellikle daha erken sıcaklıkta başladığı gözlemlenmiştir.

Sarıçam odun yongaları ile 2 farklı mantar türü kullanılarak 2 farklı inkübasyona maruz bırakılarak üretilen ODPK'ların sarıçam odunu kontrol örneklerine göre termal bozunma sıcaklığı aralığında ağırlık kayıplarının daha az olduğu belirlenmiştir. En az ağırlık kaybı oranı GL mantarıyla aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun %50-50 karışımından üretilmiş S5G2 levha grubu ODPK'larında, en çok ağırlık kaybı oranı GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun %50-50 karışımından üretilmiş S5G3 levha grubu ODPK'larında olduğu belirlenmiştir.

Sarıçam odun yongaları ile 2 farklı mantar türü kullanılarak 2 farklı inkübasyona maruz bırakılarak üretilen ODPK'ların sarıçam odunu kontrol örneklerine göre termal bozunma işlemi tamamlandıktan sonra kalıntı kütle miktarları daha fazla olduğu belirlenmiştir. En yüksek kalıntı kütle miktarı GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun %50-50 karışımından üretilmiş S5P3 levha grubu ODPK'larında, en az kalıntı kütle miktarı GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılmış sarıçam odunun %50-50 karışımından üretilmiş S5G3 levha grubu ODPK'larında olduğu belirlenmiştir.

ODPK'lerin *Coniophora puteana* ve *Trametes versicolor* mantarlarına karşı çürüklük testi gerçekleştirilmiş ve çürüklük mantarlarının meydana getirmiş olduğu ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

ODPK'lerinde *Coniophora puteana* mantarı, *Trametes versicolor* mantarından daha fazla ağırlık kaybına neden olduğu tespit edilmiştir. Kavak odun talaş/yongalarından üretilen ODPK'lerinde çürüklük mantarlarının neden olduğu ağırlık kayıplarının sarıçam odun talaş/yongalarından üretilenlerinkinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Üretilen ODPK'lerin üretiminde kullanılan hem karışım oranlarındaki PO ve GL mantarına maruz bırakılmış odun oranının artmasıyla hemde inkübasyon süresinin artmasıyla çürüklük testinde kullanılan mantarların neden olduğu ağırlık kayıplarının azaldığı görülmüştür.

5.5. Misel Esaslı Ambalaj Malzemelerinin Mekanik Özelliklerine Ait Sonuçlar

Misel esaslı ambalaj malzemelerinin yoğunluk değerleri 0.18 ila 0.27 gr/cm^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kavak odun yonga/talaşlarına GL ve PO mantarı aşılanıp 20 gün süreyle inkübasyona bırakıldıktan sonra üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin yoğunluk değerlerinin en yüksek, 10 günlük inkübasyona maruz bırakıldıktan sonra üretilenlerinkinin ise en düşük olduğu belirlenmiştir.

Misel esaslı ambalaj malzemelerinin 48 saat sonunda su alma oranları %115.50 ila %210.94 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Misel esaslı ambalaj malzemelerinin su alma oranlarının yüksek olmasına karşın, 48 saat sonunda kalınlık artış oranları %2.51 ila %6.22 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Misel esaslı ambalaj malzemelerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve basınç direnci belirlenmiştir. GL mantarıyla aşılanıp 30 gün süreyle inkübasyona maruz bırakılan kavak odunu yonga/talaşlarından üretilen AG3 grubu misel esaslı ambalaj malzemelerin eğilme direnci en yüksek, PO mantarı ve 10 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen AP1 grubu misel esaslı ambalaj malzemelerinin ki ise en düşük olduğu tespit edilmiştir. Elastikiyet modülleri her iki mantarın 20 günlük inkübasyon süresinin sonunda üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinde en yüksek olduğu belirlenmiştir. GL mantarıyla üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerin basınç direnç değerleri PO mantarıyla üretilenlerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

5.6. Morfolojik Testlere Ait Sonuçlar

Işık mikroskobundaki görüntülerinde GL ve PO mantarı ile aşılanmış 10, 20 ve 30 günlük sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapı, sarıçam ve kavak odun yongalarının inkübasyon süresi arttıkça misel yoğunluğunun da arttığı tespit edilmiştir. Misel yoğunluğunun artmasından dolayı misel ağ yapısının da güçlendiği tespit edilmiştir.

SEM görüntülerinde ise GL ve PO mantarları ile aşılanan ve 10, 20 ve 30 günlük sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış buğday sapı ve kavak odun yongalarından üretilmiş misel esaslı yalıtım levhalarının ve misel esaslı ambalaj malzemelerinin inkübasyon süresi arttıkça misel esaslı malzemelerdeki misel yoğunluğunun da arttığı/güçlendiği belirlenmiştir.

GL ve PO mantarları ile aşılanan, 20 ve 30 günlük sürelerde inkübasyona maruz bırakılmış hem sarıçam odun yonga/talaşlarından hem de sarıçam odun yonga/talaşlarından üretilmiş ODPK'lerinin SEM görüntülerindeki miseller küçük parçalar halinde veya K5P2, K7P2 ve K8P2 levha grubunda nadir olarak gözlenmektedir. Bunun sebebi ise inkübasyona maruz bırakılmış yongaların ODPK üretim aşamasında Willey değirmeninde öğütülmesinden dolayı misel ağ yapısının bozulduğu veya hasar gördüğü tespit edilmiştir. Bununla birlikte, inkübasyon süresi arttıkça misel ağ yapısının arttığı/güçlendiği SEM analizlerinde açıkça gözlemlenmiştir.

6. ÖNERİLER

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte genel olarak hammadde kaynaklarına olan talep de gün geçtikçe artmaktadır. Bunun yanı sıra, son yıllarda küresel ısınma, iklim değişikliği, çevre kirliliği gibi konuların ön plana çıkmasıyla, üretilen ürünlerin çevre dostu, yenilenebilir, sürdürülebilir hammadde kaynaklarından üretilmesi ve geri dönüşümlü olması büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada odun çürütücü mantarların lignoselülozik materyaller kontrollü bozundurularak hem mantar misellerinin ağ yapısı sayesinde hem de mantar hücre çeperinin bağlanma/yapışma özelliğinden yararlanarak çevre dostu ve biyobozunabilir malzemelerin üretilmesi araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında GL ve PO beyaz çürüklük mantarları ile inkübe edilmiş lignoselülozik materyaller (buğday sapı, sarıçam odun yongası ve kavak odun yongası) kullanılarak çevre dostu ve biyobozunabilir malzemeler (yalıtım malzemesi, ambalaj malzemesi ve odun doğal plastik kompozitleri) üretilmiş ve üretilen bu malzemelerin teknolojik özellikleri belirlenmiştir.

Lignoselülozik materyallerin (buğday sapı, sarıçam odun yongası ve kavak odun yongası) ön işlemi katı inokulum beyaz çürüklük mantar miselleriyle 10, 20 ve 30 gün süreyle inkubasyona maruz bırakılmıştır. Lignoselülozik materyallerin ön işlemi sıvı inokulum beyaz çürüklük mantar miselleriyle inkube edilerek inkübasyon süresi kısaltılabilir veya mantar misel yoğunluğunun ve ağ yapısının güçlenmesinin arttışı sağlanabilir.

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanan ve farklı sürelerde (10, 20 ve 30 gün) inkübasyona maruz bırakılmış buğday saplarından üretilen misel esaslı yalıtım malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından GL mantarıyla üretilen misel esaslı yalıtım malzemelerinin PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı yalıtım malzemelerinden genellikle daha iyi/yüksek olduğu söylenebilir. Misel esaslı yalıtım levhalarının su alma oranını iyileştirmek için doğal reçine enjeksiyonu veya üst yüzey işlemleri uygulaması yapılarak su alma oranının azaltılması sağlanabilir. Teknolojik özelliklerini iyileştirmek için misel esaslı yalıtım levhalarına farklı katkı maddeleri (karbon lifleri, nano kristal selüloz ilavesi vb.) ilave edilerek teknolojik özelliklerinin iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanan ve farklı sürelerde (20 ve 30 gün) inkübasyona maruz bırakılmış kavak ve sarıçam odun yongaları kullanılarak ODPK'lerin üretilmesi

gerçekleştirilmiştir. Mevcut odun plastik kompozitlerinin teknolojik özelliklerine kıyasla bu tez çalışması kapsamında üretilen ODPK'ların teknolojik özelliklerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Teknolojik özelliklerini iyileştirmek için ODPK'lara farklı katkı maddeleri (reinforced, doğal reçinelerin ilavesi vb.) ilave edilerek teknolojik özelliklerinin iyileştirilebileceği düşünülmektedir. Bunun yanısıra, ODPK'ların üretiminde düşük oranlarda biyobozunur plastikler (PLA gibi) kullanarak, ODPK'ların direnç özellikleri iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

ODPK'lerin mantarlara karşı biyolojik dayanım performansları çürüklük testleriyle araştırılmıştır. Bununla birlikte, diğer biyotik faktörlere karşı (böcekler, deniz zararlıları, termit gibi zararlılara karşı) etkinliğinin belirlenmesi de teknolojik özellikleri iyileştirilmiş ODPK'ların kullanımının yaygınlaşmasında önemli bir rol oynayabilir.

GL ve PO mantar miselleri ile aşılanmış farklı sürelerde (10, 20 ve 30 gün) inkübasyona maruz bırakılmış kavak odun yongalarından üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından GL mantarıyla üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerinin PO mantarı kullanılarak üretilen misel esaslı ambalaj malzemelerininden genellikle daha iyi olduğu söylenebilir. Misel esaslı ambalaj malzemelerin su alma oranını iyileştirmek için doğal reçine enjeksiyonu veya üst yüzet işlemleri uygulaması yapılarak hem su alma oranı hem de fiziksel özelliklerinin iyileştirilebileceği düşünülmektedir. Teknolojik özelliklerini iyileştirmek için misel esaslı ambalaj malzemelerine farklı katkı maddeleri (karbon lifleri, nano kristal selüloz ilavesi vb.) ilave edilerek teknolojik özelliklerinin iyileştirilebileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

Abhijith, R., Ashok, A., ve Rejeesh, C. R. 2018. Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review, Materials today: proceedings, 5, 1, 2139-2145.

Akkurt, S. 2007. Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı, 552, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Allen, H. G. 2013. Analysis and design of structural sandwich panels: the commonwealth and international library: structures and solid body mechanics division, Pergamon Press, Oxford, Elsevier, U.K.,

Alongi, J., Carletto, R. A., Bosco, F., Carosio, F., Di Blasio, A., Cuttica, F. ve Malucelli, G. 2014. Caseins and hydrophobins as novel green flame retardants for cotton fabrics, Polymer degradation and stability, 99, 111-117.

Appels, F. V., Dijksterhuis, J., Lukasiewicz, C. E., Jansen, K. M., Wösten, H. A. ve Krijgsheld, P. 2018. Hydrophobin gene deletion and environmental growth conditions impact mechanical properties of mycelium by affecting the density of the material, Scientific reports, 8, 1, 1-7.

Appels, F. V., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M., Dijksterhuis, J. ve Wösten, H. A. 2019. Fabrication factors influencing mechanical, moisture-and water-related properties of mycelium-based composites, Materials & Design, 161, 64-71.

Arifin, Y. H. ve Yusuf, Y. 2013. Mycelium fibers as new resource for environmental sustainability, Procedia Engineering, 53, 504-508.

Ashby, M. F., Shercliff, H. ve Cebon, D. 2018. Materials: engineering, science, processing and design. Butterworth-Heinemann,

ASTM C518, 2003. Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA., 15.

ASTM D 81, 2017. American Society for Testing and Materials. (ASTM). 1994(Vol. 410, pp. 324-328). D-2017-81: Standard Method of Accelerated Laboratory Natural Decay Resistance for Woods, Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia.

ASTM D 618. 2013. Standard Practice for Conditioning Plastics for Testing, ASTM, West Conshohocken.

ASTM D 638, 2004. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 1037, 1996. Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 790, 2004. Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA.

ASTM D 792, 2004. Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 2863-19. 2019. Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index), ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM C 165–00. 2000. Standard Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations; ASTM International: West Conshohocken, PA.

ASTM D5334-14, 2014. Standard test method for determination of thermal conductivity of soil and soft rock by thermal needle probe procedure, West Conshohocken, PA.

ASTM C 303–02, 2002. Standard Test Method for Dimensions and Density of Preformed Block and Board-Type Thermal Insulation; ASTM International: West Conshohocken, PA.

ASTM C 203–99, 1999. Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation; ASTM International: West Conshohocken, PA.

Asdrubali, F., D'Alessandro, F.ve Schiavoni, S. 2015. A review of unconventional sustainable building insulation materials, Sustainable Materials and Technologies, 4, 1-17.

Atalla, R.H., Hackney, J.M., Uhlin, I. ve Thompson, N.S. 1993. Hemicellulose as structure regulators in the aggregation of native cellulose, International Journal of Biological Macromolecules, 15, 2, 109-112.

Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I. ve Grobman, Y. J. 2020. Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis, Journal of Cleaner Production, 246, 119037.

Ames, A. 1913. A consideration of structure in relation to genera of the Polyporaceae, Ann. Mycol., 11, 211-253.

Averous, L.ve Boquillon, N. 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviors, Carbohydr Polym, 56, 2, 111-122.

Awwad, E., Mabsout, M., Hamad, B., Farran, M. T.ve Khatib, H. 2012. Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers, Construction and Building Materials, 35, 710-717.

Babrauskas, V.ve Fires, Q. 1997. Why was the fire so big. HHR: the role of heat release rate in described fires, Fire Arson Investing, 47, 54-57.

Bainbridge, D. A. 1986. High-performance low-cost buildings of straw, Agriculture, Ecosystems & Environment, 16, 3-4, 281-284.

Bajwa, D. S., Holt, G. A., Bajwa, S. G., Duke, S. E. ve McIntyre, G. 2017. Enhancement of termite (Reticulitermes flavipes L.) resistance in mycelium reinforced biofiber-composites, Industrial Crops and Products, 107, 420-426.

Bajpai, P., Bajpai, P. K., Akhtar, M. ve Jauhari, M. B. 2001. Biokraft pulping of eucalyptus with selected lignin-degrading fungi, Journal of Pulp and Paper Science, 27, 7, 235-239.

Bajpai, P., Mishra, S. P., Mishra, O. P., Kumar, S. A. N. J. A. Y., Bajpai, P. K. ve Singh, S. A. R. J. U. 2004. Biochemical pulping of wheat straw, TAPPI Journal, 3, 3-6.

Ballagh, K.O. 1996. Acoustical properties of wool, Applied Acoustics, 48, 2, 101-120.

Bamba, Y., Ogawa, Y., Saito, T., Berglund, L. A.ve Isogai, A. 2017. Estimating the strength of single chitin nanofibrils via sonication-induced fragmentation, Biomacromolecules, 18, 12, 4405-4410.

Bansal, V., Ahmad, A. ve Sastry, M. 2006. Fungus-mediated biotransformation of amorphous silica in rice husk to nanocrystalline silica, Journal of the American Chemical Society, 128, 43, 14059-14066.

Bartnicki-Garcia, S. 1968. Cell wall chemistry, morphogenesis, and taxonomy of fungi, Annual Reviews in Microbiology, 22, 1, 87-108.

Bayer, E. ve McIntyre, G. 2012. Substrate composition and method for growing mycological materials, U.S. Patent Application No. 13/492,230.

Bayer, E. ve McIntyre, G. R. 2016. Method for growing mycological materials, U.S. Patent No. 9,394,512. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Bell, L. H. ve Bell, D. H. 2017. Industrial noise control: Fundamentals and applications, CRC Press. Marcel Dekker, N.Y.

Berardi, U. ve Iannace, G. 2015. Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications, Building and Environment, 94, 840-852.

Beyatlı, Y. 1996. Biyoteknoloji ve Biyoprotein Üretimi. Kükem Derneği Bilimsel Yayınları, Ankara, 54-59.

Bostancı, Ş. 1987. Kağıt Hamuru Üretim ve Ağartma Teknolojisi, K.T.Ü. Basımevi, No:114, Orman Fakültesi Yayın No:13, Trabzon, 258.

Bhuvaneshwari, S., Hettiarachchi, H. ve Meegoda, J. N. 2019. Crop residue burning in India: policy challenges and potential solutions, International Journal of Environmental Research and Public Health, 16, 5, 832.

Bonus Wooler, Ses Yalıtım Klavuzu, Erişim: http://www.bonusyalitim.com.tr/sites/1/upload/files/bonus_wooler_ses_yalitim_kilavuzu-758.pdf, 10 Aralık 2021

Bodirlau, R., Teaca, C. A. ve Spiridon, I. 2008. Chemical modification of beech wood: Effect on thermal stability, BioResources, 3, 3, 789-800.

Boonstra, M. J. ve Tjeerdsma, B. 2006. Chemical analysis of heat-treated softwoods, Holz als Roh-und Werkstoff, 64, 3, 204.

Browning B. L. 1967. Methods of Wood Chemistry, Vol. 1, John Wiley and Sons Inc., New York, USA.

Brüel ve Kjaer, 2006. Transmission Loss Tube Kit (50Hz - 6.4 kHz) - Type 4206 Tüp modeli kullanım klavuzu, Daninarka.

Bruscato, C., Malvessi, E., Brandalise, R. N. ve Camassola, M. 2019. High performance of macrofungi in the production of mycelium-based biofoams using sawdust-sustainable technology for waste reduction, Journal of Cleaner Production, 234, 225-232.

Butterfield, B., Chapman, K., Christie, L. ve Dickson, A. 1992. Ultrastructural characteristics of failure surfaces in medium density fiberboard, Forest Products Journal (USA).

Bultman, J. D., Chen, S. L. ve Schloman Jr, W. W. 1998. Anti-termitic efficacy of the resin and rubber in fractionator overheads from a guayule extraction process, Industrial Crops and Products, 8, 2, 133-143.

Buschow, K. J. (Ed.). 2001. Encyclopedia of materials: science and technology (Vol. 1). Elsevier.

BSTB. 2012. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2013-2016. T.C Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Genel Müdürlüğü.

Carvalho, L. M. ve Costa, C. A. 1998. Modeling and simulation of the hot-pressing process in the production of medium density fiberboard (MDF), Chemical Engineering Communications, 170, 1, 1-21.

Cam yünü, erişim: http://www.izocam.com.tr/f1-camyunu.html. 03 Ekim 2016.

Camere, S. ve Karana, E. 2018. Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice, Journal of Cleaner Production, 186, 570-584.

Castagnede, B., Aknine, A., Brouard, B. ve Tarnow, V. 2000. Effects of compression on the sound absorption of fibrous materials, Applied Acoustics, 61, 2, 173-182.

Chand, N. ve Fahim, M. 2020. Tribology of natural fiber polymer composites, Woodhead publishing.

Chen, H.T., Funaoka, M. ve Lai, Y.-Z.1997. Attempts to understand the nature of phenolic and etherified components of wood lignin, Wood Science and Technology, 31, 6, 433-440.

Choudhury, A. K. R. 2017. Principles of textile finishing. UK. Woodhead Publishing.

Corner E.J.H. 1953. The construction of polypores, Phytomorphology 3, 3, 152–167.

Collet, F. ve Pretot, S. 2014. "Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content, Construction and Building Materials, 65, 612-619.

Crawford, R.J. 2001. Plastic Engineering, Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition), Polymers, Ed. Meyers, R. A., Academic Press, 457-474.

Demiryürek, O. ve Aydemir, H. 2017. Sound Absorbing Properties of Roller Blind Curtain Fabrics, Industrial Textiles, 47, 1, 3–19.

Dempsey, J. M. 1975. Hemp Fiber Crops. Univ. Presses of Florida, Gainesville, Florida, USA.

DIN 4768, 1990. Determination of values surface roughness parameters R_a, R_b, R_{max} using electrical contact (stylus), institute für Norming, DIN Standard.

Defonseka, C. 2014. Introduction to polymeric composites with rice hulls. Smithers Rapra.

Dai, G., Wolff, H., Neugebauer, M., Härtig, F., Pohlenz, F. ve Danzebrink, H. U. 2007. Calibration of microscale standards using multisensor techniques, May, Bremen/Germany, Bildiriler Kitabı:1, 242-5.

Dias, T., Monaragala, R., Needham, P. ve Lay, E. 2007. Analysis of sound absorption of tuck spacer fabrics to reduce automotive noise, Measurement Science and Technology, 18, 2657–2666.

Duchesne, I. ve Daniel, G., 2000. Changes in surface ultrastructure of Norway spruce fibres during kraft pulping - Visualisation by field-emission-SEM, Nordic Pulp and Paper Research Journal, 15,1, 54-61.

Duchesne, I., Hult, E-L., Molin, U., Danial, G., Iversen, T. ve Lennholm, H. 2001. The influence of hemicellulose on fibril aggregation of kraft pulp fibres as revealed by FE-SEM and CP/MAS C-NMR, Cellulose, 8, 103-111.

Eastwood D. C, Floudas D., Binder M., Majcherczyk A., Schneider P., Aerts A., Asiegbu F. O., Baker S. E., Barry K., Bendiksby M., Blumentritt M., Coutinho P. M., Culle D., de Vries R. P., Gathman A., Goodell B., Henrissat B., Ihrmark K., Kauserud H., Kohler A., LaButti K., Lapidus A., Lavin J. L., Lee Y. H., Lindquist E., Lilly W., Lucas S., Morin E., Murat C., Oguiza J. A., Park J., Pisabarro A. G., Riley R., Rosling A., Salamov A., Schmidt O., Schmutz J., Skrede I., Stenlid J., Wiebenga A., Xie X., Kues U., Hibbett D. S., Hoffmeister D., Hogberg N., Martin F., Grigoriev I. V. ve Watkinson S. C. 2011. The plant cell wall-decomposing machinery underlies the functional diversity of forest fungi. Science, 333: 762–765.

Ek, M., Gellerstedt, G.ve Henriksson, G. (Eds.). 2009. Wood chemistry and biotechnology, Vol. 1, Walter de Gruyter. p. 123, Stockholm, Sweden

Elsacker, E., Vandelook, S., Brancart, J., Peeters, E. ve De Laet, L. 2019. Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates, PLoS One, 14, 7, e0213954.

EN 717-1. 2004. Wood-based panels - determination of formaldehyde release - part 1: formaldehyde emission by the chamber method, Turkish Standard Institution, Ankara, Turkey.

EN B. 310, 1993. Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, Turkish Standard Institution, Ankara, Turkey.

EN, T. 317. 1999. Particleboards and fibreboards–Determination of swelling in thickness after immersion in water, Turkish Standard Institution, Ankara, Turkey.

EN, T. 319. 1999. Particleboards and fiberboards - Determination of internal bonding strength, Turkish Standards, Ankara-Turkey.

EN, T. 323. 1999 Wood based panels-Determination of density, TSE, Ankara.

Erol, M., Kocatepe, S, ve Paşayev, N. 2018. The Effect of Thickness and Density to Acoustic Parameters for Fabric Reinforced Composite Structures Produced from Rachis Material, 1. International Technological Sciences and Design Symposium. Giresun/Turkey, Bildiriler Kitabı:1309-1318.

Erol M. 2019. Tüy materyalinden ses yalıtım amaçlı çok katmanlı yapıların geliştirilmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Eroğlu, H. ve Usta, M. 2000. Liflevha Üretim Teknolojisi, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.

Erdem, S. ve Arıoğlu, N. 2016. Polimer Çatı Malzemelerinin Yangın Karşısında Davranışlarının İrdelenmesi, 8. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Haziran, Fındıklı/İstanbul, Bildiriler Kitabı:133-144.

Eriksson K. E., Blanchette R. A. ve Ander P. 1990. Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components, p. 406. Springer, Berlin-Heidelberg-New York.

Eriksson T., Stals I., Coll´en A., Tjerneld F., Claeyssens M., St albrand H. ve Brumer H. 2004. Heterogeneity of homologously expressed *Hypocrea jecorina* (*Trichoderma reesei*) Cel7B catalytic module. Eur J Biochem, 271, 1266–1276.

Geldermans, B., Tenpierik, M. ve Luscuere, P. 2019. Circular and flexible indoor partitioninga design conceptualization of innovative materials and value chains, Buildings, 9, 9, 194.

Gezer, E. D., Yildiz, U. C., Yildiz, S. ve Temiz, A. 2005. Use of Common Reed (*Phragmites communis* Trin.) as raw material in the cultivation of Pleurotus ostreatus, 5. International Conference on Mushroom Products, Shanghai, Çin, Bildiri Kitabı 12: 258-263.

Ghazvinian, A., Farrokhsiar, P., Vieira, F., Pecchia, J. ve Gursoy, B. 2019. Mycelium-based bio-composites for architecture: assessing the effects of cultivation factors on compressive strength, Architecture in the Age of the 4th Industrial Revolution - Proceedings of the 37th eCAADe and 23rd SIGraDi Conference - Volume 2, University of Porto, September, Porto, Portugal, Bildiriler Kitabı: 505-514.

Gilwee, W. 1975. Fire retardant materials in aviation. In Proceedings of the 4th Annual Plastics Symposium, Vol. 29.

Guillebeau, L. P., Hinkle, N. ve Roberts, P. 2008. Summary of losses from insect damage and cost of control in Georgia 2006. University of Georgia.

Güller, B. 2001. Odun kompozitleri, Turkish Journal of Forestry, 2, 135-160.

Gümüşkaya, E., ve Usta, M. 2002. Crystalline structure properties of bleached and unbleached wheat straw (*Triticum aestivum* L.) soda-oxygen pulp, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 26, 5, 247-252.

Güleç T., Kaymakcı A., Akbaş S. ve Tufan M. 2012. Türkiye'de Orman Endüstri Atıklarının ve Tarımsal Atıkların Yönetimi ve Çözüm Önerileri, Tüketim Toplumu ve Çevre Sempozyumu. Karabük Üniversitesi, 564-574.

Green, D. W., Winandy, J. E. ve Kretschmann, D. E. 1999. Mechanical properties of wood. Wood handbook: wood as an engineering material, Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General technical report FPL; GTR-113: 4.1-4.45.

Griffin, D. H. 1996. Fungal physiology. John Wiley & Sons, New York.

Grimm, D. ve Wösten, H. A. 2018. Mushroom cultivation in the circular economy. Applied Microbiology and Biotechnology, 102, 18, 7795-7803.

Gnanavel, G., Mohana Jeya Valli, V.P., Thirumarimurugan, M. ve Kannadasan, T. 2012. Degradation of plastics using microorganism, International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences, 1, 2277-5005.

Gordon, J. E. 1988. The New Science of Strong Materials (or Why You Don't Fall Through the Floor) (2nd ed.). Princeton University Press, Princeton, NJ.

Gosselink, R. J. A. 2011. Lignin as a renewable aromatic resource for the chemical industry, University of Twente, Enschede, Holland.

Farina, A. ve Torelli, A. 1997. Measurement of the sound absorption coefficient of materials with a new sound intensity technique, In Audio Engineering Society Convention 102. Audio Engineering Society.

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P. ve Sain, M. 2012. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010, Progress in Polymer Science, 37, 11, 1552-1596.

FAO, 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rice Market Monitor.

Fazli Wan Nawawi, W. M., Lee, K. Y., Kontturi, E., Murphy, R. J. ve Bismarck, A. 2019. Chitin nanopaper from mushroom extract: natural composite of nanofibers and glucan from a single biobased source, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 7, 7, 6492-6496.

Fengel, D. 1970. Ultrastructural behaviour of cell wall polysaccharides. TAPPI, 53, 3, 497-503.

Feinberg, D. R., Jones, B. C., Little, A. C., Burt, D. M. ve Perrett, D. I. 2005. Manipulations of fundamental and formant frequencies influence the attractiveness of human male voices, Animal Behaviour, 69, 3, 561-568.

Ferraz, A., Rodríguez, J., Freer, J. ve Baeza, J. 2000. Formic acid/acetone-organosolv pulping of white-rotted Pinus radiata softwood, Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology, 75, 12, 1190-1196.

Ferraz, A., Baeza, J., Rodriguez, J. ve Freer, J. 2000b. Estimating the chemical composition of biodegraded pine and eucalyptus wood by DRIFT spectroscopy and multivariate analysis, Bioresource Technology, 74, 3, 201-212.

Ferraz, A., Córdova, A. M. ve Machuca, A. 2003. Wood biodegradation and enzyme production by Ceriporiopsis subvermispora during solid-state fermentation of Eucalyptus grandis, Enzyme and Microbial Technology, 32, 1, 59-65.

Frey-Wyssling, A., Grieshaber, E. ve Mühlethaler, K. 1963. Origin of spherosomes in plant cells, Journal of Ultrastructure Research, 8, 5-6, 506-516.

Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., ve Athanassiou, A. 2017. Advanced Materials from Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties, Scientific reports,7.

Han J. S. ve Rowell J. S. 1997. Chemical composition of agro-based fibers, Chapter 5, Paper and Composites from Agrobased Resources, eds. R. M. Rowell, R. A. Young and J. K. Rowell, CRC Press, 83-134.

Hatakka, A. 1994. Lignin-Modifying Enzymes from Selected White Rot Fungi: Production and Role in Lignin Degradation, FEMS Microbiol Rev., 13, 125-135

He, J., Cheng, C. M., Su, D. G. ve Zhong, M. F. 2014. Study on the mechanical properties of the latex-mycelium composite, In Applied Mechanics and Materials, 507, 415-420.

Hemond, C. J. 1983. Engineering acoustics and noise control. Prentice Hall. NJ.

Holt, G. A., Mcintyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J. D., ve Pelletier, M. G. 2012. Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packaging material: Evaluation study of select blends of cotton byproducts, Journal of Biobased Materials and Bioenergy,6, 4, 431-439.

Housseinpour, R., Latibari, A. J., Farnood, R., Fatehi, P. ve Sepiddehdam, S. J. 2010. Fiber morphology and chemical composition of rapeseed (Brassica napus) stems, IAWA Journal, 31, 4, 457-464.

Hong, B. W. 1984. Dynamic viscoelasticity of hot-pressed wood, Journal of the Korean Wood Science and Technology, 12, 4, 3-10.

Holik, H. (Ed.). 2006. Handbook of paper and board. John Wiley & Sons. Weinheim Germany.

Hshieh, F. Y. 1998. Shielding effects of silica-ash layer on the combustion of silicones and their possible applications on the fire retardancy of organic polymers, Fire and Materials, 22, 2, 69-76.

Hubert EE. 1931. An Outline of Forest Pathology, p. 543. John Wiley & Sons, New York, UK.

International Agency for Research on Cancer (IARC). 2004. Overall evaluations on carcinogenicity to humans, In: As evaluated in IARC monographs, vol. 1. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.

ISO/DIS Standard 10534. 2004. Acoustics Determination of Sound Absorption coefficient and Impedance or Admittance by The Impedance Tube Method"– International Standard Organization; Switzerland.

ISO 2470, 2001. Paper, board and pulps-measurement of diffuse blue reflectance factor (brightness)

Iwata, S., Lee, J. W., Okada, K., Lee, J. K., Iwata, M., Rasmussen, B. ve Jap, B. K. 1998. Complete structure of the 11-subunit bovine mitochondrial cytochrome bc1 complex, Science, 281, 5373, 64-71.

Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L. ve Picu, R. C. 2017.Morphology and mechanics of fungal mycelium, Scientific Reports, 7, 1, 1-12.

Islam, M. R., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L. ve Picu, R. C. 2018. Mechanical behavior of mycelium-based particulate composites, Journal of Materials Science, 53, 24, 16371-16382.

Iqbal, Mohammad S., Jamshed A., Shazia S., Abdul K., Andreas K., Thomas H. ve Muhammad S. 2011. Thermal studies of plant carbohydrate polymer hydrogels, Carbohydrate Polymers, 86, 4, 1775-1783.

İsmail, M. S. ve Waliuddin, A. M. 1996. Effect of rice husk ash on high strength concrete, Construction and building materials, 10,7, 521-526.

İstek , A., Özlusoylu, İ. ve Onat, S.M., 2017. Formaldehyde Emission Problems and Solution Recommendations for Wood Composite Panels, International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'17). December, Konya, Turkey, Bildiriler Kitabı: 82.

Jerman, M., Keppert, M., Výborný, J. ve Černý, R. 2013. Hygric, thermal and durability properties of autoclaved aerated concrete, Construction and Building Materials, 41, 352-359.

Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F. ve John, S. 2017a. Mycelium composites: A review of engineering characteristics and growth kinetics, Journal of Bionanoscience, 11, 4, 241-257.

Jones, M., Bhat, T., Wang, C., Moinuddin, K. ve John, S.2017b. Thermal degradation and fire reaction properties of mycelium composites, In Proceedings of the 21st International Conference on Composite Materials, Xi'an, China, Bildiriler Kitabı: 20-25.

Jones, M., Bhat, T., Huynh, T., Kandare, E., Yuen, R., Wang, C. H. ve John, S. 2018a. Waste-derived low-cost mycelium composite construction materials with improved fire safety, Fire and Materials, 42,7, 816-825.

Jones, M. 2018b. Influencers of environmental sustainability success at festivals. In The Routledge Handbook of Festivals (pp. 71-80). Routledge.

Jones, M., Bhat, T., Kandare, E., Thomas, A., Joseph, P., Dekiwadia, C. ve Wang, C. H. 2018c. Thermal degradation and fire properties of fungal mycelium and mycelium-biomass composite materials, Scientific Reports, 8, 1, 1-10.

Jones, M., Weiland, K., Kujundzic, M., Theiner, J., Kählig, H., Kontturi, E. ve Mautner, A. 2019a. Waste-derived low-cost mycelium nanopapers with tunable mechanical and surface properties, Biomacromolecules, 20, 9, 3513-3523.

Jones, M. P., Lawrie, A. C., Huynh, T. T., Morrison, P. D., Mautner, A., Bismarck, A. ve John, S. 2019b. Agricultural by-product suitability for the production of chitinous composites and nanofibers utilising *Trametes versicolor* and *Polyporus brumalis* mycelial growth, Process Biochemistry, 80, 95-102.

Jones, M., Mautner, A., Luenco, S., Bismarck, A. ve John, S. 2020. Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review, Materials & Design, 187, 108397.

Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., Bucinell, R. ve Tudryn, G. 2017. Manufacturing of biocomposite sandwich structures using mycelium-bound cores and preforms, Journal of Manufacturing Processes, 28, 50-59.

Jiang, L., Walczyk, D., McIntyre, G., Bucinell, R. ve Li, B. 2019. Bioresin infused then cured mycelium-based sandwich-structure biocomposites: resin transfer molding (RTM) process, flexural properties, and simulation, Journal of Cleaner Production, 207, 123-135.

Kadoya, K., Matsunaga, N.ve Nagashima, A. 1985. Viscosity and thermal conductivity of dry air in the gaseous phase, Journal of Physical and Chemical Reference Data, 14,4, 947-970.

Kalaycıoğlu, H. 2012. Yongalevha Endüstrisi Basılmamış Ders Notları, K.T.Ü. Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon.

Karakuş K. 2008. Üniversitemizdeki polietilen ve polipropilen atıkların polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Fen Bilimleri Ünstitüsü, Kahramanmaraş, 90.

Karana, E., Blauwhoff, D., Hultink, E. J.ve Camere, S. 2018. When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials, International Journal of Design, 12, 2.

Kartal, S. N.ve Green Iii, F. 2003. Decay and termite resistance of medium density fiberboard (MDF) made from different wood species, International Biodeterioration & Biodegradation, 51, 1, 29-35.

Kavanagh, K. (Ed.). 2017. Fungi: biology and applications, Third Edition, John Wiley & Sons. p. 416.

Kırcı, H. 2014. Kağıt hamuru endüstrisi ders notları, 5. Baskı, KTÜ Orman Fakültesi Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı, Trabzon.

Kim, S. ve Holtzapple, M. T. 2006. Effect of structural features on enzyme digestibility of corn stover, Bioresource Technology, 97, 4, 583-591.

Kim, J. K. ve Pal, K. 2010. Recent advances in the processing of wood-plastic composites, Springer Science and Business Media, London-New York, 184.

Kim, B.ve Christensen, R. M. 2000. Basic two-dimensional core types for sandwich structures, International Journal of Mechanical Sciences, 42, 4, 657-676.

Kirk, T. K.ve Farrell, R. L. 1987. Enzymatic" combustion": the microbial degradation of lignin, Annual Reviews in Microbiology, 41, 1, 465-501.

Klemm D., Phillip B., Heinze T., Heinze U. ve Wagenknetch W. 1998. Comprehensive cellulose chemistry, Wiley, Weinheim, 1, 1-7.

Kocatepe, S., Erol, M., Paşayev, N. 2018. Statistical Analysis of Effects of Production Parameters of Sound Insulation Materials Produced from Chicken Feather Fibers on Acoustic Properties, 1. International Technological Sciences And Design Symposium. June, Giresun/Turkey, Bildiriler Kitabı: 1319-1333.

Koizumi, T., Tsujiuchi, N. ve Adachi, A. 2002. The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers, High Performance Structures and Composites, 59, 157-166.

Ko, K. S.ve Jung, H. S. 1999. Molecular phylogeny of Trametes and related genera. Antonie van Leeuwenhoek, 75, 3, 191-199.

Koizumi, A., Arai, Y., Tanikawa, N.ve Oikawa, T. 2002. Synthetic Analysis of the Household Attribute and the Waste Reduction Act Focusing on Domestic Refuse, Environmental Systems Research, 30, 1-8.

Kubicek, C. P. (Ed.). 2012. Fungi and lignocellulosic biomass. John Wiley & Sons. USA.

Küçük, M. ve Korkmaz, Y. 2012. The effect of physical parameters on sound absorption properties of natural fiber mixed nonwoven composites, Textile Research Journal, 82, 20, 2043-2053.

Kymäläinen, H. R.ve Sjöberg, A. M. 2008. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations, Building and Environment, 43, 7, 1261-1269.

Lampman, S. 2003. Characterization and Failure Analysis of Plastics, ASM International, Materials Park, OH., 485.

Lecellier, A., Mounier, J., Gaydou, V., Castrec, L., Barbier, G., Ablain, W.ve Sockalingum, G. D. 2014. Differentiation and identification of filamentous fungi by high-throughput FTIR spectroscopic analysis of mycelia, International Journal of Food Microbiology, 168, 32-41.

Lazdovica, K., Kampars, V., Liepina, L.ve Vilka, M. 2017. Comparative study on thermal pyrolysis of buckwheat and wheat straws by using TGA-FTIR and Py-GC/MS methods, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 124, 1-15.

Lee, Y. E. ve Joo, C.W. 2004. Sound absorption properties of thermally bonded nonwovens based on composing fibers and production parameters, Journal of Applied Polymer Science**,** 92, 2295–2302.

Lelivelt, R. J. J. 2015. The mechanical possibilities of mycelium materials. Eindhoven University of Technology (TU/e), 82.

Li, Z. J., Shukla, V., Wenger, K., Fordyce, A., Pedersen, A. G. ve Marten, M. 2002. Estimation of hyphal tensile strength in production-scale *Aspergillus oryzae* fungal fermentations, Biotechnology and Bioengineering, 77, 6, 601-613.

Liu, J.ve Chow, W. K. 2014. Study on flashover in small residential units with an open kitchen by nonlinear Dynamics, 10th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Orlando, FL.

Li, M. M., Pan, H. C., Huang, S. L.ve Scholz, M. 2013. Controlled experimental study on removing diesel oil spillages using agricultural waste products, Chemical Engineering & Technology, 36, 4, 673-680.

Liu, R., Li, X., Long, L., Sheng, Y., Xu, J. ve Wang, Y. 2020. Improvement of mechanical properties of mycelium/cotton stalk composites by water immersion, Composite Interfaces, 27, 10, 953-966.

López Nava, J. A., Méndez González, J., Ruelas Chacón, X. ve Nájera Luna, J. A. 2016. Assessment of Edible Fungi and Films Bio-Based Material Simulating Expanded Polystyrene, Materials and Manufacturing Processes, 31, 8, 1085-1090.

Logan, J. W. M. ve Buckley, D. S. 1991. Subterranean termite control in buildings. The chemistry of wood preservation (R. Thompson ed.), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 294-305.

Lundell T. K., M¨akel¨aMR, Hild´en K. 2010. Lignin-modifying enzymes in filamentous basidiomycetes: ecological, functional and phylogenetic review. J Basic Microbiol, 50, 1-16.

Gordon, J.E. 1988. The New Science of Strong Materials (or Why You Don’t Fall Through the Floor) (2nd ed.). Princeton University Press, Princeton, NJ.

Madurwar M. V., Ralegaonkar, R. V. and Mandavgane, S. A. 2013. Application of agro-waste for sustainable construction materials: a review, Construction and Building Materials. 38, 1, 872-878.

Mardones, L., Gomide, J. L., Freer, J., Ferraz, A.ve Rodríguez, J. 2006. Kraft pulping of Eucalyptus nitens wood chips biotreated by *Ceriporiopsis subvermispora*, Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology, 81, 4, 608-613.

Mart´ınez A. T., Speranza M., Ruiz-Due˜nas F. J., Ferreira P., Camarero S., Guill´en F., Mart´ınez M. J., Guti´errez A. ve del R´ıo J. C. 2005. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin, Int Microbiol 8, 195–204.

Mengeloglu, F., Karakus, K. 2008. Polymer-Composites from Recycled High Density Polyethylene and Waste Lignocellulosic Materials, Fresenius Environmental Bulletin. 17, 2, 211-217.

Mengeloğlu, F. ve Alma, M.H. 2002. Buğday Saplarının Kompozit Levha Üretiminde Kullanılması, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 2, 37-48.

Meyer, K. H. ve Misch, L. 1937. Positions des atomes dans le nouveau modele spatial de la cellulose, Helvetica Chimica Acta, 20, 1, 232-244.

MEB. 2011. Ambalaj Malzemeleri, T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 5.

Mendonça, R., Guerra, A.ve Ferraz, A. 2002. Delignification of *Pinus taeda* wood chips treated with *Ceriporiopsis subvermispora* for preparing high-yield kraft pulps, Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology, 77, 4, 411-418.

Michniewicz, J., Biliaderis, G. G.ve Bushuk, W. 1992. Effect of added pentosans on some properties of wheat bread, Food Chemistry, 43, 4, 251-257.

Monahan, J.ve Powell, J. C. 2011. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework, Energy and Buildings, 43, 1, 179-188.

McIntyre, G., Poetzsch, A., Van Hook, S.ve Flagg, D. 2012. Method for producing a composite material, US Patent, 20.

Mouritz, A. P., Mathys, Z.ve Gibson, A. G. 2006. Heat release of polymer composites in fire, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 37, 7, 1040-1054.

Mouritz, A. P.ve Gibson, A. G. 2007. Fire properties of polymer composite materials, Vol. 143. Springer Science & Business Media. Berlin, Germany.

Mokhothu, T. H.ve John, M. J. 2017. Bio-based coatings for reducing water sorption in natural fibre reinforced composites, Scientific Reports, 7, 1, 1-8.

Mohebby, B. 2005. Attenuated total reflection infrared spectroscopy of white-rot decayed beech wood, International Biodeterioration & Biodegradation, 55, 4, 247-251.

Moore, J. A. 1978. Sound transmission-loss characteristics of three-layer composite wall constructions, The Journal of the Acoustical Society of America, 63, S1, S8-S8.

Nawawi, W. M., Jones, M., Murphy, R. J., Lee, K. Y., Kontturi, E.ve Bismarck, A. 2019. Nanomaterials derived from fungal sources-is it the new hype? Biomacromolecules, 21, 1, 30-55.

Paşayev, N, Erol, M. 2018. Acoustical properties of sandwich structures developed from chicken feather rachis material. Chapter 11. Innovative approaches in engineering, 117-130.

Papadopoulos, A. M. 2005. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments, Energy and Buildings, 37, 1, 77-86.

Papagianni, M. 2004. Fungal morphology and metabolite production in submerged mycelial processes. Biotechnology Advances 22, 189–259.

Pandey, K. K.ve Pitman, A. J. 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi, International Biodeterioration & Biodegradation, 52, 3, 151-160.

Paulino, A. T., Simionato, J. I., Garcia, J. C. ve Nozaki, J. 2006. Characterization of chitosan and chitin produced from silkworm crysalides, Carbohydrate Polymers, 64, 1, 98-103.

Prasad, C. S., Maiti, K. N.ve Venugopal, R. 2001. Effect of rice husk ash in whiteware compositions, Ceramics International, 27, 6, 629-635.

Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Bayer, E., ve McIntyre, G. 2013. An evaluation study of mycelium based acoustic absorbers grown on agricultural by-product substrates, Industrial Crops and Products, 51, 480-485.

Pelletier, M. G., Holt, G. A., Wanjura, J. D., Greetham, L., McIntyre, G., Bayer, E.ve Kaplan-Bie, J. 2019. Acoustic evaluation of mycological biopolymer, an all-natural closed cell foam alternative, Industrial Crops and Products, 139, 111533.

Pegler, D. N. 1996. Hyphal analysis of basidiomata, Mycological Research, 100, 2, 129-142.

Pigman, W. (Ed.). 2012. The Carbohydrates: Chemistry and Biochemistry Physiology. Elsevier. Amsterdam, Netherlands,

Pheng, L.S. and Hou, L.S. 2019. The Economy and the Construction Industry, Construction Quality and the Economy, Springer, Berlin, Germany.

Pierre Jr, R. L. S., Maguire, D. J.ve Automotive, C. S. 2004. The impact of A-weighting sound pressure level measurements during the evaluation of noise exposure, In Conference NOISE-CON, July, Baltimore/Maryland, Bildiriler Kitabı:12-14.

Principia P., 2002. Natural & Wood Fiber Composites, The Principiam Newsletter, 1, 1.

Pruteanu, M. 2010. Investigations regarding the thermal conductivity of straw, Buletinul Institutului Politehnic din lasi. Sectia Constructii, Arhitectura, 56, 3, 9.

Pongrácz, P., Molnár, C. ve Miklósi, Á. 2006. Acoustic parameters of dog barks carry emotional information for humans, Applied Animal Behaviour Science, 100, 3-4, 228-240.

Ren, M. ve Jacobsen, F. 1993. A method of measuring the dynamic flow resistance and reactance of porous materials, Applied Acoustics, 39, 4, 265-276.

Rinaudo, M. 2006. Chitin and chitosan: Properties and applications, Progress in Polymer Science, 31,7, 603-632.

Rowell, R. M. 2005. 14 Chemical Modification of Wood. Handbook of wood chemistry and wood composites, 381.

Rojas, J., Bedoya, M. ve Ciro, Y. 2015. Current trends in the production of cellulose nanoparticles and nanocomposites for biomedical applications, Cellulose-Fundamental Aspects and Current Trends, 193-228.

Roylance, D. 2000. Stresses in beams, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

Rozli, Z.ve Zulkarnain, Z. 2010. Noise control using coconut coir fiber sound absorber with porous layer backing and perforated panel, American Journal of Applied Sciences, 7, 2, 260-264.

Ryvarden, L. 1991. Genera of polypores: nomenclature and taxonomy, Synopsis fungi, No 5, Lubrecht & Cramer Ltd, p. 363, Fungi flora, Oslo, Sweden.

Saraçoğlu N. 2008. Modern Enerji Ormancılığı-Ormanlardan Biyokütle Enerji Üretimi ve Çözümlemeler, Orman Genel Müdürlüğü. Ankara.

Sartori, I. ve Hestnes, A. G. 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article, Energy and Buildings, 39, 3, 249-257.

Sandberg, U. 2003. The multi-coincidence peak around 1000 Hz in tyre/road noise spectra, Euronoise Naples, 89, 1-8, 2019.

Schwanninger, M. J. C. R., Rodrigues, J. C., Pereira, H. ve Hinterstoisser, B. 2004. Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose, Vibrational Spectroscopy, 36, 1, 23-40.

Seddeq, H.S. 2009. Factors influencing acoustic performance of sound absorptive materials, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3, 4, 4610-4617.

Srivastava, S., Kumar, R.ve Singh, V. P. 2013. Wood decaying fungi. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbücken, Germany

Shoshani, Y.Z. ve Wilding, M.A. 1991. Effect of pile parameters on the noise absorption capacity of tufted carpet, Textile Research Journal, 61, 12, 736-742.

Shakir, M. A., Azahari, B., Yusup, Y., Yhaya, M. F., Salehabadi, A. ve Ahmad, M. I. 2020. Preparation and Characterization of Mycelium as a Bio-Matrix in Fabrication of Bio-Composite, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 65, 2, 253-263.

Soltani, P. ve Zerrebini, M. 2012. The analysis of acoustical characteristics and sound absorption coefficient of woven fabrics, Textile Research Journal, 82, 9, 875-882.

Shahani, F., Soltani, P. ve Zarrebini, M. 2013. Sound absorptıon characterıstıcs of needled non oven fabrıcs, The International Istanbul Textile Congress, May/Turkey, Bildiri Kitabı: 1-5.

Siracusa, V. Rocculi, P. Romani, S. Rosa, M.D. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review, Trends in Food Science & Technology, 19, 12, 634-643.

Sirel Ş. 1998. Ses Yalıtımı. https://www.yalitim.net/yayin/372/ses-yalitimi_10614.html#.YqSu6KhByUk, 16 Aralık 2021

Sisti, L., Gioia, C., Totaro, G., Verstichel, S., Cartabia, M., Camere, S. ve Celli, A. 2021. Valorization of wheat bran agro-industrial byproduct as an upgrading filler for mycelium-based composite materials, Industrial Crops and Products, 170, 113742.

Sjöström, E. 1993. Wood chemistry. Fundamentals and applications, Academic Press, San Diego, California, USA.

Sorvari, J., Sjöström, E., Klemola, A. ve Laine, J.E. 1986. Chemical characterization of wood constituents, especially lignin, in fractions separated from middle lamella and secondary wall of Norway spruce, Wood Science and Technology, 20, 35-51.

Sombatsompop, N. ve Chaochanchaikul, K. 2004. Effect of moisture content on mechanical properties, thermal and structural stability and extrudate texture of poly (vinyl chloride)/wood sawdust composites, Polymer International, 53, 9, 1210-1218.

Sorathia, U., Lyon, R., Ohlemiller, T. ve Grenier, A. 1997. A review of fire test methods and criteria for composites, SAMPE Journal (USA), 33, 4, 23-31.

Soh, E., Chew, Z. Y., Saeidi, N., Javadian, A., Hebel, D. ve Le Ferrand, H. 2020. Development of an extrudable paste to build mycelium-bound composites, Materials & Design, 195, 109058.

Soydaş, H.İ. 2007. Taşıtlarda Gürültü Sebeblerinin Tespiti ve Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, 80.

Stanciu, M. D., Curtu, I., Cosereanu C., Lica, D. ve Nastac, S. 2012. Research regarding acoustical properties of recycled composites, 8th International DAAAM Baltic Conference Industrial Engineering, April, Tallinn/Estonia Bildiriler Kitabı: 19-21.

Stamm, A. J. 1964. Wood and cellulose science. Wood and cellulose science, New York

Stamets, P. 2005. Mycelium running: how mushrooms can help save the World, Random House Digital, Inc.

Stocks, S. M. ve Thomas, C. R. 2001a. Strength of mid-logarithmic and stationary phase *Saccharopolyspora erythraea* hyphae during a batch fermentation in defined nitrate-limited medium, Biotechnology and Bioengineering, 73, 5, 370-378.

Stocks, S. M. ve Thomas, C. R. 2001b. Viability, strength, and fragmentation of *Saccharopolyspora erythraea* in submerged fermentation, Biotechnology and Bioengineering, 75, 6, 702-709.

Sun, F., Banks-Lee, P. ve Peng, H. 1993. Sound absorption in an anisotropic periodically layered fluid-saturated porous medium, Applied Acoustics, 39, 1-2, 65-76.

Sun, W., Tajvidi, M., Hunt, C. G., McIntyre, G. ve Gardner, D. J. 2019. Fully bio-based hybrid composites made of wood, fungal mycelium and cellulose nanofibrils, Scientific Reports, 9, 1, 1-12.

Sun, W., Tajvidi, M., Howell, C. ve Hunt, C. G. 2020. Functionality of Surface Mycelium Interfaces in Wood Bonding, ACS Applied Materials & Interfaces, 12, 51, 57431-57440.

Sun, W. (2021). Understanding the Adhesion Mechanism in Mycelium-Assisted Wood Bonding, Doctor of Philosophy (PhD) Theses, https://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/3404, 30.05.2022.

OWAcoustic, Building Acoustic, (Web page: http://www.owa.de/docs/pdf/ backup/12_900_TR_acoustics.pdf, 2 January 2017.

Owren, M. J., Berkowitz, M.ve Bachorowski, J. A. 2007. Listeners judge talker sex more efficiently from male than from female vowels, Perception & Psychophysics, 69, 6, 930-941.

Öktem, E., Sadıkoğlu, Y. ve Taşkın, O. 1975. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Artvin Lif Levha Fabrikası Odun Hammaddesinin Portatif Yongalama Makinalarıyla Sağlanması Hakkında Rapor.

Özmen, N., Çetin, N. S., Narlıoğlu, N., Çavuş, V. ve Altuntaş, E. 2014. MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi, SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 15, 65-71.

TAPPI T 204 cm-97. 1997. Solvent extractives of wood and pulp, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.

TAPPI T 212 om-02. 2002. One percent NaOH solubility of wood and pulp, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.

TAPPI T 222 om-02. 2002. Acid-insoluble lignin in wood and pulp, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.

TAPPI T 257 cm-02. 2002. Sampling and preparing wood for analysis, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.

Tascan, M. ve Vaughn, E.A. 2008. Effects of total surface area and fabric density on the acoustical behavior of needle punched nonwoven fabrics, Textile Research Journal, 78, 4, 289-296.

Tascan, M., Vaughn, E.A., Stevens, K.A. ve Brown, P.J. 2011. Effects of total surface area and fabric density on the acoustical behavior of traditional thermal-bonded highloft nonwoven fabrics, The Journal of the Textile Institute, 102, 9, 746-751.

Tabarsa, T., Khanjanzadeh, H. ve Pirayesh, H. 2011. Manufacturing of Wood-Plastic Composite from Completely Recycled Materials, In Key Engineering Materials, 471, 62-66.

Telli, A. 2011. Pet Şişe Geri Dönüşüm Pes ile Klasik Pes Liflerinden Üretilen İplik ve Kumaş Özelliklerinin Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 119.

Tharanathan R.N. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future, Trends Food Sci Technol, 14, 3, 71-78.

Thakur V.K., Siṅgha, A.S. 2013. Biomass-based Biocomposites, Smithers Rapra Technology Ltd., Shropshire, U.K.

Theng, D., Arbat, G., Delgado-Aguilar, M., Vilaseca, F., Ngo, B. ve Mutjé, P. 2015. All-lignocellulosic fiberboard from corn biomass and cellulose nanofibers, Industrial Crops and Products, 76, 166-173.

Thormark, C. 2002. A low energy building in a life cycle - its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, Building and Environment, 37, 4, 429-435.

Travaglini, S., Noble, J., Ross, P. G. ve Dharan, C. K. H. 2013. Mycology matrix composites, In Annual technical conference, September, Red Hook/New York, Bildiriler Kitabı: 9-11.

Travaglini, S., Dharan, C. ve Ross, P. G. 2014. Mycology matrix sandwich composites flexural characterization, In Annual technical conference, January, Lancaster/ Pennsylvania, Bildiriler Kitabı: 8-10.

Tunçgenç, M. 2004. Boya Teknolojisine Giriş. Akzo Nobel Kemipol A.Ş., İzmir.

Turan, O. 2005. Mekanik Tesisatta Gürültü ve Titreşim Yalıtımı, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi. Sayı 39, 9 Eylül 2021.

Tun, M. M., Juchelkova, D., Win, M. M., Thu, A. M. ve Puchor, T. 2019. Biomass energy: An overview of biomass sources, energy potential, and management in Southeast Asian countries, Resources, 8, 2, 81.

Tudryn, G. J., Smith, L. C., Freitag, J., Bucinell, R. ve Schadler, L. S. 2018. Processing and morphology impact on mechanical properties of fungal based biopolymer composites, Journal of Polymers and the Environment, 26, 4, 1473-1483.

Tozluoğlu A 2007. Kraft, biyo-kraft, biyo-kraft-AQ, biyo-polisülfür ve biyo-kraft-sodyum borhidrür metotları ile kızılçamdan (Pinus brutia Ten.) kağıt hamuru üretimi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bolu, 154.

Tokoh, C., Takabe, K., Fujita, M.ve Saiki, H. 1998. Cellulose synthesized by Acetobacter xylinum in the presence of acetyl glucomannan, Cellulose, 5, 4, 249-261.

Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R.ve Gül, R. 2004. The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete, Cement and concrete research, 34, 5, 845-848.

URL-1. Wood Products, ahsap-lifli-levha, http://www.woodproducts.fi/tr/content/. 16 Aralık 2021.

URL-2. Camsan Poyraz, Camsan Poyraz MDF, http://www.camsanpoyraz.com/tr/21428. 16 Aralık 2021.

URL-3. http://www.dos-san.com.tr/products/14/ mdf teknik özellikleri_15.html. 16 Aralık 2021.

URL-4. http://www.mobilyatzi.com/ mdf en kaliteli mobilya malzemesi mi. 16 Aralık 2021.

URL-5. Ecovative Design LLC, Mycocomposite - Mycelium-bound Agricultural Byproducts, http://www.ecovativedesign.com. 17 Aralık 2021.

URL-6. https://www.mycote.ch/biobo 2019, MycoTech, Eco Binderless Board. 17 Aralık 2021.

URL-7. Dell Inc, Green Packaging & Shipping. mushroom-packaging 2016, http://www.dell.com/learn/us/en/uscorp1/ corp-comm/. 21 Haziran 2021.

URL-8. E. Gosden, Ikea plans mushroom-based packaging as eco-friendly replacement for polystyrene, http://www.telegraph.co.uk/news/earth/business/andecology/recycling/12172439/ Ikea-plans-mushroom-based- packaging-as-eco-friendly-replacement- for-polystyrene. html 2016. 12 Ağustos 2019.

URL-9. J. Austin, Mycotectural Polyominoes http://www.zero1.org/exhibitions/about-pp 2013. 17 Temmuz 2019.

URL-10. http://designandviolence.moma.org/ mycotecture-phil-ross/ 2014, Superflux, Mycotecture (Phil Ross). 17 Temmuz 2019.

URL-11. A. Rajagopal, Behind the Living's 100% Organic Pavilion for MoMA PS1, https:// www.metropolismag.com/technology/behind-livings-100-organic-pavilionmoma- ps1/ 2014. 5 Ağustos 2019.

URL-12. A. Fisher, Industrial-strength fungus http://content.time.com/time/magazine/article/ 0,9171,1957474,00.html 2010. 12 Ağustos 2019.

URL-13., https://www.mycoworks.com/ 2019, MycoWorks. 8 Ocak 2021

URL-14. https://www.krown.bio/ 2019, Krown Design, Beautiful Products with Fungus and Biomass. 24 Aralık 2021.

URL-15., https://www.corpuscoli.com/ 2019, Officina Corpuscoli, Materials. 24 Aralık 2021.

URL-16. U Delft, Mycelium-based Materials for Product Design, https://www.tudelft.nl/ en/ide/research/research-labs/emerging-materials-lab/environmentally-sensitivematerials/ mycelium-based-materials-for-product-design/ 2019. 24 Aralık 2021.

URL-17. T. Huynh, M. Jones, Scientists create new building material out of fungus, rice and glass", https://theconversation.com/scientists-create-new-building-material-outof-fungus-rice-and-glass-98153 2018. 24 Aralık 2021.

URL-18. Utrecht University. Research through design. mycelium-design 2019" https://www.uu.nl/en/research/microbiology. 24 Aralık 2021.

URL-19. MatWeb. Flexural Strength Testing of Plastics http://www.matweb.com/reference/ flexuralstrength.aspx 2018. 24 Aralık 2021.

URL-20. https://www.yanmazsungerankara.com/ses-yalitim-malzemeleri/heraklite-ahsap-yunu.html. . 24 Aralık 2021.

Wan, Y., Chen, W., Yang, J., Bei, J., Wang, S. 2003. Biodegradable poly(l-lactide)-poly(ethylene glycol) multiblock copolymer: synthesis and evaluation of cell affinity, Biomaterials, 24, 2195-2203.

Webster, J.ve Weber, R. 2007. Introduction to fungi. Cambridge university press.

Wall, K., Walker, P., Gross, C., White, C. ve Mander, T. 2012. Development and testing of a prototype straw bale house, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials, 165, 6, 377-384.

Wei, L., Liang, S. ve McDonald, A. G. 2015. Thermophysical properties and biodegradation behavior of green composites made from polyhydroxybutyrate and potato peel waste fermentation residue, Industrial Crops and Products, 69, 91-103.

Weiland, K., Jones, M., Fortea-Verdejo, M., Mautner, A., Bismarck, A. ve John, S. 2019. Waste-derived nanocellulose-chitin hybrid materials with tunable physical properties, Twenty-Second International Conference On Composite Materials (ICCM22) August, Melbourne/Australia, Bildiriler Kitabı: 4750-4756.

Wescott, J. M., ve Frihart, C. R. 2004. Competitive soybean flour/phenol-formaldehyde adhesives for oriented strandboard, 38th International Wood Composites Symposium, April, Washington/USA, Bildiriler Kitabı: 199-206.

Wise L. E. ve Jahn E. C. 1952. Wood Chemistry, 2nd Edition. Vol 1-2, Reinhold Publication Co, New York, U.S.A, 1330.

Widsten, P., Tuominen, S., Qvintus-Leino, P.ve Laine, J. E. 2004. The influence of high defibration temperature on the properties of medium-density fiberboard (MDF) made from laccase-treated softwood fibers, Wood Science and Technology, 38, 7, 521-528.

Wu, J., Zhang, X., Wan, J., Ma, F., Tang, Y., ve Zhang, X. 2011. Production of fiberboard using corn stalk pretreated with white-rot fungus Trametes hirsute by hot pressing without adhesive, Bioresource Technology, 102, 24, 11258-11261.

Wong, Y. J., Arumugasamy, S. K.ve Mustapha, K. B. 2019. Development of a computational predictive model for the nonlinear in-plane compressive response of sandwich panels with bio-foam, Composite Structures, 212, 423-433.

Wösten, H., Krijgsheld, P., Montalti, M., Läkk, H. ve Summerer, L. 2018. Growing fungi structures in space. Noordwijk, The Netherlands.

Wösten, H. A. 2019. Filamentous fungi for the production of enzymes, chemicals and materials, Current Opinion in Biotechnology, 59, 65-70.

Vaaler, D.A.G. 2008. ield-Increasing Additives ın Kraft Pulping: Effect on Carbohydrate Retention, Composition and Handsheet Properties. Ph. D. Thesis, Department of Chemical Engineering, Faculty of Natural Sciences and Technology, Norwegian University of Science and Technology, Norwegian, 169.

Vega, K. Ve Kalkum, M. 2012. Chitin, chitinase responses, and invasive fungal infections. International Journal of Microbiology, 920459–920459.

Vieira M.G.A., Altenhofen da Silva M., Oliveira dos Santos L. ve Beppu M. M. 2011. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review, European Polymer Journal, 47, 3, 254-263.

Vinson, J. R. 2018. The behavior of sandwich structures of isotropic and composite materials, Routledge. Oxford, U.K.

Villalba L L, Scott G M ve Schroeder L R 2000. An Update on Bio-kraft Pulping, ESPRA Research Report, 113, 21-28.

Villalba, L. L., Scott, G. M. ve Schroeder, L. R. 2006. Modification of loblolly pine chips with *Ceriporiopsis subvermispora* Part 1: Effect of fungal treatment, Journal of Wood Chemistry and Technology, 26, 4, 339-348.

Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H.ve Zheng, C. 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis, Fuel, 86, 12-13, 1781-1788.

Yang, Z., Zhang, F., Still, B., White, M., ve Amstislavski, P. 2017. Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam, Journal of Materials in Civil Engineering, 29, 7, 04017030.

Yıldız, Ü. C. 2022. https://avesis.ktu.edu.tr/yildiz/dokumanlar. 04 Şubat 2022

Zabihzadeh, S. M. 2010. Water uptake and flexural properties of natural filler/HDPE composites, BioResources, 5, 1, 316-232.

Zafirova, K., Uzunovich R. 1998. Some investigations of sound absorption properties of upholstery textile materials, Tekstilna Industrija, 46, 1-2, 19-22.

Zent, A., Long, J.T. 2007. Automotive sound absorbing material survey results, SAE Technical Paper, 25,1-7.

Zhao, Q., Zhang, B., Quan, H., Yam, R. C., Yuen, R. K. ve Li, R. K. 2009. Flame retardancy of rice husk-filled high-density polyethylene ecocomposites, Composites Science and Technology, 69, 15-16, 2675-2681.

Zhu, B. C., Henderson, G., Chen, F., Fei, H. ve Laine, R. A. 2001. Evaluation of vetiver oil and seven insect-active essential oils against the Formosan subterranean termite, Journal of Chemical Ecology, 27, 8, 1617-1625.

Ziegler, A. R., Bajwa, S. G., Holt, G. A., McIntyre, G., ve Bajwa, D. S. 2016. Evaluation of Physico-Mechanical Properties of Mycelium Reinforced Green Biocomposites Made from Cellulosic Fibers, Applied Engineering in Agriculture. 32, 6, 931-938.

Xing, Y., Brewer, M., El-Gharabawy, H., Griffith, G. ve Jones, P. 2018. Growing and testing mycelium bricks as building insulation materials, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 121, 2, 022032.

Xia, X. C., Chen, X. W., Zhang, Z., Chen, X., Zhao, W. M., Liao, B. ve Hur, B. 2013. Effects of porosity and pore size on the compressive properties of closed-cell Mg alloy foam, Journal of Magnesium and Alloys, 1, 4, 330-335.

ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimini Büyüknacar Gücük Obası İlkokulunda, Orta öğrenimini Pazarcık Yatılı İlköğretim Bölge Okulunda ve lise öğrenimini Kahramanmaraş lisesinde tamamladı. 2012 yılında Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü`nden mezun oldu. 2014 yılında Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisansını tamamladı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalına araştırma görevlisi olarak atandı. 2019 yılında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Pamukova MYO, Kâğıtçılık Programına Öğretim Görevlisi olarak atandı. Doktora Tezi ise 118O145 koduyla TÜBİTAK Projesi olarak desteklenmiştir. 1 adet TÜBİTAK Projesinde bursiyer ve 1 adet TÜBİTAK COST Projesinde bursiyer olarak görev aldı. 3 adet Yükseköğretim Kurumları tarafından destekli bilimsel araştırma projelerinde araştırmacı olarak görev aldı. SCI, SSCI, AHCI ve SCI-Exp indekslerine giren Uluslararası dergilerde basılmış 8 adet makalesi bulunmaktadır. Uluslararası Hakemli Kongre ve Sempozyumların Bildiri Kitaplarında yer alan 12 adet bildirisi bulunmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.