

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MULTİ-FONKSİYONEL BAZI BİLEŞİKLERİN ODUN KORUMADA SİNERJİK ETKİLERİNİN  
BELİRLENMESİ VE ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYONU**

**DOKTORA TEZİ**

**AYŞENUR GÜRGEN**

**AĞUSTOS 2021  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MULTİ-FONKSİYONEL BAZI BİLEŞİKLERİN ODUN KORUMADA SİNERJİK  
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYONU**

**Ayşenur GÜRGEN**

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 / 07 / 2021**

**Tezin Savunma Tarihi : 18 / 08 / 2021**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sibel YILDIZ**

**Trabzon 2021**

## ÖNSÖZ

“Multi-Fonksiyonel Bazı Bileşiklerin Odun Korumada Sinerjik Etkilerinin Belirlenmesi ve Çok Amaçlı Optimizasyonu” isimli bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Anabilim Dalı, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Programında Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tezin güven ortamında hazırlanmasını sağlayan; başta Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK’e, tüm gazilerimize, şehitlerimize ve bütün kolluk kuvveti personeline minnettar olduğumu bildirmek isterim.

Bu tez çalışmasının planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve oluşumunda engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her türlü desteğiyle yanımda olan ve çalışmalarına yön veren danışman hocam Prof. Dr. Sibel YILDIZ’a ve ailesine teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmam boyunca çalışmamın farklı aşamalarında desteklerini gördüğüm Dr. Ceyhun KILIÇ’a, Ömer KERİMOĞLU’na, Doç. Dr. Derya USTAÖMER’e, Doç. Dr. Özlem ÖZGENÇ’E, Doç. Dr. Ahmet CAN’a, Doç. Dr. Zehra CAN’a, Öğr. Gör. Uğur ARAS’a, Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU’na teşekkür ederim.

Bu çalışma K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından FDK-2019-8030 kodlu proje ile desteklenmiştir. Maddi desteklerinden dolayı KTÜ BAP birimine çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışma TUBİTAK 2214-A Doktora Sırası Bursu ile desteklenmiştir. Tez çalışmamın ikinci bölümünü İtalya’nın Floransa şehrindeki IVALSA biriminde yapabildiğim için TUBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı’na ve İtalya’daki danışmanım Dr. Sabrina PALANTİ’ye çok teşekkür ederim.

Tez çalışmasının en başından en sonuna kadar bütün aşamalarında yanımda bulunan ve yardımcı olan sevgili eşim Samet GÜRGEN’e bu yoğun ve uzun süreçte gösterdiği tüm emek ve sabır için, hayatımıza kattığı enerji ve güzellik için ise oğlumuz Göktuğ Uraz GÜRGEN’e minnettar olduğumu bildirmek isterim.

Maddi ve manevi desteklerini tüm hayatım boyunca esirgemeyen, bu konuma gelmem için sonsuz özveride bulunan sevgili anne-babama özellikle de ‘doktor’ unvanı aldığımı görmeyi en çok hak eden ve en çok isteyen ama üç yıldır yokluğuna hala bir türlü alışamadığım canım babam Mustafa YILMAZ’a en kalbi şükranlarımı sunarım.

Ayşenur GÜRGEN

Trabzon 2021

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Multi-Fonksiyonel Bazı Bileşiklerin Odun Korumada Sinerjik Etkilerinin Belirlenmesi ve Çok Amaçlı Optimizasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Sibel YILDIZ’ın 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. 18/08/2021

Ayşenur GÜRGEN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	XIII
SUMMARY.....	XIV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
TABLolar DİZİNİ.....	XX
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XXIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.1.1. Problem Tanımlaması.....	4
1.1.2. Tezin Amacı .....	5
1.1.3. Çalışmanın Hipotezi .....	7
1.2. Odunun Temel Yapısı.....	7
1.2.1. Odunun Makroskopik ve Mikroskopik Yapısı .....	10
1.3. Odunun Doğal Dayanımı.....	12
1.4. Odunun Bozunmasına Neden Olan Faktörler.....	14
1.4.1. Odunun Biyolojik Bozunması .....	15
1.4.1.1. Bakteriler .....	15
1.4.1.2. Mantarlar .....	15
1.4.1.2.1. Beyaz Çürüklük .....	16
1.4.1.2.2. Esmer Çürüklük.....	16
1.4.1.2.3. Yumuşak Çürüklük.....	16
1.4.1.3. Böcekler.....	16
1.4.1.4. Termitler .....	17
1.4.1.5. Deniz Zararlıları .....	18
1.4.2. Odunun Fiziksel Bozunması.....	19
1.4.2.1. Yanma.....	19

1.4.2.2.	Aşınma.....	19
1.4.2.3.	Hava Şartları.....	19
1.4.3.	Odunun Kimyasal Bozunması.....	20
1.5.	Odun Korumanın Gerekçesi ve Önemi.....	20
1.6.	Emprenyenin Tarihçesi.....	21
1.6.1.	Türkiye’de Emprenye Endüstrisinin Durumu.....	22
1.6.2.	Odun Korumanın Geçmişten Günümüze Kronolojisi.....	22
1.7.	Odun Korumada Yeni Yaklaşımlar.....	23
1.7.1.	Odun Korumada Multifonksiyonel Bileşikler.....	24
1.7.1.1.	Yapay Antioksidanlar.....	25
1.7.1.2.	GRAS Bileşikleri.....	27
1.7.1.3.	Nano-Oksitler.....	28
1.8.	Sinerjik Etki.....	29
1.9.	Emprenye İşleminde, Yapay Antioksidanlar, GRAS Bileşikleri ve Nano-Oksit Kullanılarak Yapılmış Çalışmalar.....	30
1.10.	Tez Kapsamında Kullanılan Modelleme ve Optimizasyon Yöntemleriyle İlgili Genel Bilgiler.....	48
1.10.1.	Modelleme.....	48
1.10.1.1.	Çoklu Doğrusal Regresyon.....	48
1.10.1.2.	Yapay Sinir Ağları (YSA).....	52
1.10.1.2.1.	Giriş.....	52
1.10.1.2.2.	YSA Eğitiminde Önemli Konular.....	60
1.10.2.	Optimizasyon.....	66
1.10.2.1.	Giriş.....	66
1.10.2.1.1.	Pareto Baskınlığı.....	69
1.10.2.1.2.	Pareto Optimal.....	69
1.10.2.1.3.	Pareto Optimal Set.....	69
1.10.2.1.4.	Pareto Optimal Yüzey.....	70
1.10.2.2.	Karınca Aslanı Algoritması.....	70
1.10.2.2.1.	Çok Amaçlı Karınca Aslanı Algoritması.....	75
1.11.	Odun Korumada Yapay Zekâ Tekniklerinin Kullanıldığı Çalışmalar.....	77
1.12.	Maliyet Analizi.....	78
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	80
2.1.	Çalışma deseni.....	80

2.1.1.	Ağaç Malzeme .....	82
2.1.1.1.	Sarıçam .....	82
2.1.1.2.	Kayın .....	82
2.1.2.	Yapay Antioksidanlar .....	82
2.1.2.1.	Eritorbik Asit .....	83
2.1.2.2.	Etoksikuin .....	84
2.1.2.3.	Potasyum Disülfid .....	84
2.1.2.4.	Sodyum Askorbat .....	84
2.1.2.5.	Sodyum Eritorbat .....	84
2.1.2.6.	Tersinir-Bütül Hidrokinon (TBHQ) .....	85
2.1.3.	GRAS Bileşikleri .....	85
2.1.3.1.	Dehidroasetik Asit .....	86
2.1.3.2.	Sorbik Asit .....	86
2.1.3.3.	Sodyum Benzoat .....	87
2.1.4.	Nano-Oksitler .....	87
2.1.4.1.	MgO .....	88
2.1.4.2.	CeO <sub>2</sub> .....	88
2.1.4.3.	ZnO .....	88
2.1.4.4.	SiO <sub>2</sub> .....	88
2.1.4.5.	TiO <sub>2</sub> .....	89
2.2.	Araştırma Yöntemi .....	89
2.2.1.	Birinci Bölüm .....	89
2.2.1.1.	Örnek Ağaçların Seçimi ve Deney Örneklerinin Hazırlanması .....	90
2.2.1.2.	Odun Örneklerinin Anatomik Yapısının Belirlenmesi .....	90
2.2.1.2.1.	Preparatların Hazırlanması .....	90
2.2.1.2.2.	Anatomik Ölçümlerin Alınması .....	91
2.2.1.3.	Çalışılan Odun Örneklerinin Tam Kuru ve Hava Kuru Özgül Ağırlık Değerleri .....	91
2.2.1.3.1.	Tam Kuru Özgül Ağırlık .....	91
2.2.1.3.2.	Hava Kuru Özgül Ağırlık .....	92
2.2.1.4.	Çalışılan Kimyasalların Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi .....	92
2.2.1.4.1.	Emprenye Çözeltilerinin Anti-Fungal Aktivitelerinin Belirlenmesi .....	92
2.2.1.4.2.	Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi .....	94

2.2.1.4.2.1.	FRAP Yöntemi .....	94
2.2.1.4.3.	Emprenye Çözeltilerinin pH Değerleri.....	94
2.2.1.5.	Emprenye Çözeltilerinin Hazırlanması .....	95
2.2.1.6.	Emprenye Koşulları.....	95
2.2.1.7.	Emprenyeden Sonra Yapılan Fiziksel Test Yöntemleri .....	96
2.2.1.7.1.	Tam Kuru Özgül Ağırlık Değişiminin Belirlenmesi .....	96
2.2.1.7.2.	Su Alma Oranı ve Su İtici Etkinlik Değerlerinin Belirlenmesi .....	96
2.2.1.7.3.	Hacimsel Genişleme Özelliklerinin Tespiti.....	97
2.2.1.7.4.	Renk Ölçümü Analizi .....	98
2.2.1.8.	Biyolojik Test Yöntemleri.....	99
2.2.1.8.1.	Mantar Çürüklük Testi.....	99
2.2.1.9.	Mekanik Test Yöntemleri.....	100
2.2.1.9.1.	Liflere Paralel Basınç Direnci .....	100
2.2.1.10.	Yanma Özellikleri.....	101
2.2.1.10.1.	Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi.....	101
2.2.1.11.	Yüzey Kimyası Analizi .....	101
2.2.1.11.1.	Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopi (FTIR).....	102
2.2.1.12.	Yüzey Morfolojisi Analizi.....	102
2.2.1.12.1.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi.....	102
2.2.2.	İkinci Bölüm .....	102
2.2.2.1.	Çalışılan Üç Farklı Kimyasal Gruptan Optimum Olanların Seçilmesi .....	103
2.2.2.2.	Seçilen Kimyasallarla Odun Örneklerinin Emprenyesi.....	103
2.2.2.3.	Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Yüzey Kimyası Analizi.....	104
2.2.2.4.	Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Biyolojik Analizi .....	104
2.2.2.4.1.	Böcek Testi.....	104
2.2.2.4.2.	Termit Testi .....	105
2.2.2.4.3.	Mantar Çürüklük Testi.....	108
2.2.2.4.4.	Sinerjik Etkinin Hesaplanması .....	108
2.2.3.	Üçüncü Bölüm.....	109
2.2.3.1.	Üçüncü Bölüm Örnekleri İçin Emprenye Deseninin Oluşturulması .....	109
2.2.3.2.	Üçüncü Bölüm Örneklerinin Bazı Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi .....	109
2.2.3.3.	Elde Edilen Verilerin Modellenmesi ve Optimizasyonunun Yapılması .....	110



2.2.3.3.1.	Modelleme .....	110
2.2.3.3.1.1.	Regresyon Analizi .....	110
2.2.3.3.1.2.	YSA .....	111
2.2.3.3.2.	Optimizasyon.....	114
2.2.4.	Maliyet Analizi .....	116
2.2.5.	İstatistiksel Analiz .....	117
3.	BULGULAR .....	118
3.1.	Birinci Bölüm .....	118
3.1.1.	Emprenye Öncesi Çalışılan Odun Örneklerine Ait Anatomik Bulgular .....	118
3.1.1.1.	Sarıçam Odununa Ait Anatomik Bulgular .....	118
3.1.1.2.	Kayın Odununa Ait Anatomik Bulgular.....	118
3.1.2.	Çalışılan Odunların Emprenye Öncesi Özgül Ağırlık Değerlerine Ait Bulgular .....	119
3.1.3.	Çalışılan Kimyasallara Ait Bulgular.....	120
3.1.3.1.	Kimyasalların Anti-Fungal Aktivitelerine Ait Bulgular.....	120
3.1.3.2.	Kimyasalların Antioksidan Kapasitelerine Ait Bulgular.....	121
3.1.3.3.	Kimyasalların pH Değerlerine Ait Bulgular.....	123
3.1.4.	Sarıçam Odunun Retensiyon Değerlerine Ait Bulgular .....	124
3.1.5.	Emprenye Çözeltilerinin Emprenye Öncesi ve Sonrası pH Değerlerine Ait Bulgular .....	125
3.1.6.	Emprenyeli Odun Örneklerinin Fiziksel Test Performanslarına Ait Bulgular .....	126
3.1.6.1.	Sarıçam Odunu Örneklerinin Tam Kuru Özgül Ağırlık Değerlerine Ait Bulgular .....	126
3.1.6.2.	Emprenyeli Sarıçam Odunu Örneklerinin Su Alma ve Su İticilik Oranlarına Ait Bulgular .....	127
3.1.6.3.	Emprenye Edilen Sarıçam Odunu Örneklerinin Hacimsel Genişleme Değerlerine Ait Bulgular .....	131
3.1.6.4.	Sarıçam Odunu Örneklerinin Renk Ölçümlerine Ait Bulgular .....	133
3.1.7.	Biyolojik Performans Değerlerine Ait Bulgular.....	135
3.1.7.1.	Emprenyeli Sarıçam Odunu Örneklerinin Mantar Çürüklük Testine Ait Bulgular .....	135
3.1.8.	Mekanik Performans Değerlerine Ait Bulgular.....	137
3.1.8.1.	Emprenyeli Sarıçam Odunu Örneklerinin Liflere Paralel Basınç Direnci Değerlerine Ait Bulgular .....	137
3.1.9.	Yanma Özelliklerine Ait Bulgular.....	138

3.1.9.1.	Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testine Ait Bulgular .....	138
3.1.10.	Yüzey Kimyası Analizine Ait Bulgular.....	139
3.1.10.1.	Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR).....	139
3.1.11.	Yüzey Morfolojisine Ait Bulgular.....	139
3.1.11.1.	SEM Görüntüleri .....	139
3.2.	İkinci Bölüm .....	140
3.2.1.	Çalışılan Üç Farklı Kimyasal Grubun Her Birinden En Etkili Birer Kimyasalın Seçilmesi.....	140
3.2.2.	Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Yüzey Kimyası Analizine Ait Bulgular .....	141
3.2.3.	Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Biyolojik Testlerine Ait Bulgular .....	141
3.2.3.1.	Böcek Testi.....	141
3.2.3.2.	Termit Testi .....	142
3.2.3.3.	Mantar Testi.....	145
3.2.4.	Sinerjik Etkinin Hesaplanması .....	148
3.3.	Üçüncü Bölüm.....	149
3.3.1.	Emprenye Deseninin Oluşturulması.....	149
3.3.2.	Retensiyon Değerlerine Ait Bulgular .....	150
3.3.3.	Fiziksel Testlere Ait Bulgular.....	152
3.3.3.1.	Su Alma Oranlarına Ait Bulgular.....	152
3.3.4.	Mekanik Testlere Ait Bulgular .....	154
3.3.4.1.	Liflere Paralel Basınç Direnci Testine Ait Bulgular .....	154
3.3.5.	Biyolojik Testlere Ait Bulgular .....	156
3.3.5.1.	Mantar Çürüklük Testine Ait Bulgular.....	156
3.3.6.	Modelleme ve Optimizasyon.....	158
3.3.6.1.	Modelleme .....	158
3.3.6.1.1.	Çoklu Doğrusal Regresyon.....	158
3.3.6.1.2.	YSA .....	161
3.3.6.2.	Optimizasyon.....	165
4.	İRDELEME .....	169
4.1.	Birinci Bölüm .....	169
4.1.1.	Çalışılan Odun Örneklerinin Bazı Özellikleri .....	169
4.1.1.1.	Sarıçam Odunu Örneklerinin Anatomik Yapısının İncelenmesi.....	169

4.1.1.2.	Kayın Odunu Örneklerinin Anatomik Yapısının İncelenmesi .....	171
4.1.1.3.	Sarıçam ve Kayın Odunu Örneklerinin Tam Kuru ve Hava Kuru Haldeki Özgül Ağırlık Değerleri .....	173
4.1.2.	Çalışılan Kimyasalların Bazı Özellikleri .....	174
4.1.2.1.	Emprenye Çözeltilerinin Anti-Fungal Aktiviteleri .....	174
4.1.2.2.	Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi .....	178
4.1.2.3.	Emprenye Çözeltilerinin pH Değerleri .....	179
4.1.3.	Retensiyon Değerleri .....	180
4.1.4.	Emprenye Çözeltilerinin Emprenye Sonrası pH Değerlerindeki Değişim ....	182
4.1.5.	Emprenye Sonrası Yapılan Bazı Fiziksel Testler .....	183
4.1.5.1.	Tam Kuru Özgül Ağırlık Değişimi .....	183
4.1.5.2.	Su Alma Oranı ve Su İtici Etkinlik Değerleri .....	184
4.1.5.3.	Hacimsel Genişleme Özellikleri .....	187
4.1.5.4.	Renk Değişimi .....	188
4.1.6.	Emprenye Edilen Sarıçam Odunu Örneklerinde Mantar Çürüklük Testi .....	191
4.1.7.	Emprenye Edilen Sarıçam Odunu Örneklerinde Liflere Paralel Basınç Direnci (LPBD) Testi .....	193
4.1.8.	Emprenye Edilen Odun Örneklerinin Yanma Özellikleri .....	195
4.1.8.1.	Limit Oksijen İndeksi (LOI) .....	195
4.1.9.	Yüzey Kimyası Analizi .....	199
4.1.9.1.	Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) .....	199
4.1.10.	Yüzey Morfolojisi Analizi .....	210
4.1.10.1.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi .....	210
4.2.	İkinci Bölüm .....	216
4.2.1.	Çalışılan Üç Farklı Kimyasal Grubun Her Birinden Birer Kimyasalın Seçilmesi .....	216
4.2.2.	Seçilen Kimyasallar ve Onların Kombinasyonlarıyla Emprenye Edilen Örneklerin Performans Analizleri .....	219
4.2.3.	Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Yüzey Kimyası Analizleri .....	220
4.2.4.	Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Biyolojik Performansı .....	222
4.2.4.1.	Böcek Testi .....	222
4.2.4.2.	Termit Testi .....	224
4.2.4.3.	Mantar Çürüklük Testi .....	228
4.2.4.4.	Sinerjik Etkinin Hesaplanması .....	229

4.3.	Üçüncü Bölüm.....	232
4.3.1.	Üçüncü Bölüm Örneklerinin Emprenye Deseninin Oluşturulması .....	232
4.3.2.	Üçüncü Bölüm Örneklerinin Bazı Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Performansları.....	234
4.3.2.1.	Su Alma Oranı .....	234
4.3.2.2.	Liflere Paralel Basınç Direnci .....	236
4.3.2.3.	Mantar Çürüklük Testi.....	239
4.3.3.	Elde Edilen Verilerin Modellenmesi ve Optimizasyonunun Yapılması .....	241
4.3.3.1.	Modelleme .....	241
4.3.3.1.1.	Çoklu Regresyon .....	241
4.3.3.1.2.	YSA .....	244
4.3.3.2.	Optimizasyon.....	250
5.	SONUÇLAR.....	271
6.	ÖNERİLER .....	284
7.	KAYNAKLAR.....	288
	ÖZGEÇMİŞ	

Doktora Tezi

ÖZET

MULTİ-FONKSİYONEL BAZI BİLEŞİKLERİN ODUN KORUMADA SİNERJİK  
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYONU

Ayşenur GÜRGEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Sibel YILDIZ  
2021, 307 Sayfa

Bu çalışmada; multi-fonksiyonel bazı bileşiklerin (yapay antioksidanlar, GRAS bileşikleri ve nano-oksitler) odun korumada sinerjik etkilerinin belirlenmesi, elde edilen verilerin modellenmesi ve optimizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma üç ana bölüme ayrılarak yürütülmüştür. Elde edilen önemli bulgular/sonuçlar da yine üç ana başlık altında incelenmiştir. İlk bölümde sadece sarıçam odunu örnekleriyle 14 farklı kimyasal kullanılarak emprenye işlemi uygulanmış ve daha sonra odunların fiziksel, kimyasal, biyolojik testleri yapılarak ve maliyet göz önünde bulundurularak her 3 gruptan en uygun kimyasallar seçilmiştir. İkinci bölümde seçilen kimyasalların %1,0'lik konsantrasyonlarının tekli, ikili ve üçlü varyasyonları ile sarıçam ve kayın örnekleri emprenye edilmiş ve odunların biyolojik testleri yapılarak sinerjik etki araştırılmıştır. Üçüncü bölümde ise seçilen kimyasalların iki farklı konsantrasyonu (%0,5 ve %1,0) kullanılarak tekli, ikili ve üçlü varyasyonların olduğu emprenye çözeltileri hazırlanmış ve sarıçam ve kayın örnekleri emprenye edilmiştir. Emprenye işleminden sonra odunların fiziksel, biyolojik ve mekanik bazı testlerinden elde edilen veriler çoklu regresyon ve yapay sinir ağları metotlarıyla modellenmiş ve en iyi modeller seçilmiştir. Seçilen en iyi modeller karınca aslanı algoritması kullanılarak belirlenen 8 farklı amaç fonksiyonuna göre optimize edilmiştir. Üç bölümden oluşan çalışma sonrası, yapay zeka metotlarının odun koruma endüstrisinde zaman, kimyasal ve emek tasarrufu sağlayarak kullanılabilirliği ortaya koyulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** GRAS bileşikleri, emprenye, modelleme, nano-oksit, sinerjik etki, yapay antioksidan, çok amaçlı optimizasyon

Doctoral Thesis

SUMMARY

DETERMINATION OF SYNERGISTIC EFFECTS AND MULTI OBJECTIVE  
OPTIMIZATION OF SOME MULTI-FUNCTIONAL COMPOUNDS IN WOOD  
PROTECTION

Ayşenur GÜRGEN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Forest Industry Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Sibel YILDIZ  
2021, 307 Pages

In this study, it was aimed to determine the synergistic effects of some multi-functional compounds (artificial antioxidants, GRAS compounds and nano-oxides) in wood protection, to model and optimize the obtained data. For this purpose, the study was carried out by dividing into three main parts. The important findings/results obtained were also examined under three main headings. In the first part, the impregnation process was applied using 14 different chemicals with only Scotch pine wood samples, and then the most suitable chemicals were selected from each of the 3 groups by making physical, chemical and biological tests of the woods and considering the cost. In the second part, single, double and triple variations of 1.0% concentrations of the selected chemicals and scotch pine and beech samples were impregnated and the synergistic effect was investigated by making biological tests of the woods. In the third part, impregnation solutions with single, double and triple variations were prepared using two different concentrations (0.5% and 1.0%) of the selected chemicals, and Scotch pine and beech samples were impregnated. The data obtained from some physical, biological and mechanical tests of woods after impregnation were modeled with multiple regression and artificial neural network methods and the best models were selected. The selected best models were optimized according to 8 different objective functions determined using the ant lion algorithm. After the study consisting of three parts, the usability of artificial intelligence methods in the wood protection industry by saving time, chemicals and labor has been revealed.

**Key Words:** GRAS compound, impregnation, modeling, nano-oxide, synergistic effect, artificial antioxidant, multi objective optimization

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Hücre çeperinin enine görünüşü.....	7
Şekil 2. Hücre çeperi tabakaları.....	8
Şekil 3. Hücre çeperinin çeşitli tabakalarında fibrillerin gidiş yönleri.....	9
Şekil 4. Selülozun kimyasal formülü.....	10
Şekil 5. Odunun makroskopik yapısı ve mikroskopik yapısı.....	11
Şekil 6. Odunun dayanıklılığını etkileyen faktörler.....	14
Şekil 7. Odunun bozunmasına neden olan faktörler.....	15
Şekil 8. Biyolojik sinir ağı ve YSA.....	52
Şekil 9. Çok girdili nöron yapısı.....	55
Şekil 10. Çok katmanlı ağ yapısı.....	56
Şekil 11. Çok katmanlı ağın kısaltılmış gösterimi.....	57
Şekil 12. Sigmoid (a) ve hiperbolik tanjant (b) fonksiyonlarının doyumluk ve dinamik aralıklarının gösterimi.....	61
Şekil 13. YSA çıktıları ve hedefler arasındaki regresyon örneği.....	65
Şekil 14. Koni şeklindeki çukurlar ve avlanma süreci.....	71
Şekil 15. Bir karıncanın tuzak etrafındaki rastgele yürüyüşü.....	73
Şekil 16. Karınca aslanı algoritmasının sözde kodu.....	75
Şekil 17. Çok Amaçlı Karınca Aslanı Algoritmasının sözde kodu.....	77
Şekil 18. Örneklere deliklerin açılması.....	104
Şekil 19. X ışını verilen odun örneklerinin incelenmesi.....	105
Şekil 20. Çalışmada kullanılan termitler.....	106
Şekil 21. Termit testi örnekleri.....	108
Şekil 22. Su alma oranı için YSA modeli.....	112
Şekil 23. Liflere paralel basınç direnci için YSA modeli.....	112
Şekil 24. Ağırlık kaybı için YSA modeli.....	113
Şekil 25. Emprenyesiz sarıçam odunundan alınan preparat görüntüleri.....	170
Şekil 26. Sarıçam odunu örneklerinin anatomik ölçümleri.....	170
Şekil 27. Emprenyesiz kayın odunundan alınan preparat görüntüleri.....	172

Şekil 28. Kayın odunu örneklerinin anatomik ölçümleri .....	172
Şekil 29. Sarıçam ve kayın odunu örneklerinin tam ve hava kurusu haldeki özgül ağırlık değerleri.....	173
Şekil 30. Çözeltilerin anti-fungal aktiviteleri .....	174
Şekil 31. Kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltilerinin.....	178
Şekil 32. Kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltilerinin pH değerleri.....	180
Şekil 33. Sarıçam odunu örneklerine ait retensiyon değerleri.....	181
Şekil 34. Emprenye çözeltilerinin emprenye sonrası pH değerlerindeki değişim.....	182
Şekil 35. Sarıçam odunu örneklerinde tam kuru özgül ağırlık değişimi .....	183
Şekil 36. Test edilen sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası su alma oranları .....	184
Şekil 37. Emprenye edilmiş örneklerin su itici özellik değerleri .....	186
Şekil 38. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin hacimsel genişleme miktarları...	187
Şekil 39. Emprenye sonrası sarıçam odunu örneklerinde meydana gelen renk .....	189
Şekil 40. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası .....	191
Şekil 41. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinde LPBD değerleri.....	193
Şekil 42. Test edilen örneklerin LOI değerleri .....	195
Şekil 43. 3 farklı sodyum tuzuyla işlem görmüş odun örneklerinin LOI değerleri.....	197
Şekil 44. Eritorbik asit ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	200
Şekil 45. Etoksikuin ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği.....	200
Şekil 46. Potasyum disülfid ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği.....	201
Şekil 47. Sodyum askorbat ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	201
Şekil 48. Sodyum eritorbat ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	202
Şekil 49. TBHQ ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	202
Şekil 50. Test edilen tüm yapay antioksidanlarla emprenye edilen örneklerin FTIR grafiği .....	203
Şekil 51. Dehidroasetik asit ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	204
Şekil 52. Sorbik asit ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği.....	204
Şekil 53. Sodyum benzoat ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	205
Şekil 54. Tüm GRAS bileşikleriyle emprenye edilen örneklerin FTIR grafiği.....	205
Şekil 55. MgO ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	206
Şekil 56. CeO <sub>2</sub> ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	207
Şekil 57. ZnO ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği.....	207
Şekil 58. SiO <sub>2</sub> ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	208
Şekil 59. TiO <sub>2</sub> ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği .....	208



Şekil 60. Test edilen tüm nano-oksitlerle emprenye edilen örneklerin FTIR grafiği .....	209
Şekil 61. Eritorbik asit ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri .....	210
Şekil 62. Etoksikuin ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri.....	210
Şekil 63. Potasyum disülfid ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri.....	211
Şekil 64. Sodyum askorbat ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri .....	211
Şekil 65. Sodyum eritorbat ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri .....	211
Şekil 66. TBHQ ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri .....	212
Şekil 67. Dehidroasetik asit ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri ....	212
Şekil 68. Sorbik asit ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri.....	212
Şekil 69. Sodyum benzoat ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri .....	213
Şekil 70. MgO ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri.....	213
Şekil 71. CeO <sub>2</sub> ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri .....	214
Şekil 72. ZnO ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri.....	214
Şekil 73. SiO <sub>2</sub> ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri .....	214
Şekil 74. TiO <sub>2</sub> ile emprenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri .....	215
Şekil 75. Sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafiği .....	220
Şekil 76. Kayın odunu örneklerinin FTIR grafiği .....	221
Şekil 77. Yağlar ve %5 borik asit ile emprenye edilen sarıçam ve kayın odunu örneklerine ait FTIR spektrumu .....	222
Şekil 78. Sarıçam odunu örneklerinin böcek testi sonuçları .....	223
Şekil 79. Sarıçam odunu örneklerinin termit testi sonuçları .....	225
Şekil 80. Kayın odunu örneklerinin termit testi sonuçları.....	225
Şekil 81. Sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerleri.....	228
Şekil 82. Kayın odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerleri .....	229
Şekil 83. Sarıçam odunu örneklerinde sinerjik etki hesaplaması .....	230
Şekil 84. Kayın odunu örnekleri için sinerjik etki hesaplaması .....	230
Şekil 85. Sarıçam odunu örneklerinin 336. saatteki su alma oranları .....	235
Şekil 86. Kayın odunu örneklerinin 336. saatteki su alma oranları.....	235
Şekil 87. Devi ve Maji, (2012)'nin çalışmasındaki su alma oranları .....	236
Şekil 88. Sarıçam odunu örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerleri .....	237
Şekil 89. Kayın örneklerinin LPBD değerleri .....	237
Şekil 90. Sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı .....	239
Şekil 91. Kayın örneklerinin ağırlık kaybı .....	240

Şekil 92. Su alma oranı modellerinin standart hata, R ve $R^2$ değerleri .....	242
Şekil 93. LPBD değerleri modellerinin standart hata, R ve $R^2$ değerleri .....	243
Şekil 94. Ağırlık kaybı modellerinin standart hata, R ve $R^2$ değerleri .....	244
Şekil 95. Kayın örneklerinin su alma oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi.....	245
Şekil 96. Sarıçam örneklerinin su alma oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi .....	245
Şekil 97. Su alma oranını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin MSE ve R değerleri .....	246
Şekil 98. Kayın için liflere paralel basınç direncini tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi .....	247
Şekil 99. Sarıçam için liflere paralel basınç direncini tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi .....	247
Şekil 100. Liflere paralel basınç direncini tahmin için geliştirilen YSA modellerinin MSE ve R değerleri.....	248
Şekil 101. Kayın örneklerinin ağırlık kaybı oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi .....	249
Şekil 102. Sarıçam örnekleri ağırlık kaybı oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi .....	249
Şekil 103. Ağırlık kaybını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin MSE ve R değerleri .....	250
Şekil 104. Kayın için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey .....	251
Şekil 105. Kayın için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set .....	251
Şekil 106. Kayın için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey .....	252
Şekil 107. Kayın için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set .....	253
Şekil 108. Kayın için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey .....	254
Şekil 109. Kayın için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set .....	254
Şekil 110. Kayın için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey .....	255
Şekil 111. Kayın için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set .....	256
Şekil 112. Kayın için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey .....	257
Şekil 113. Kayın için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set .....	257
Şekil 114. Kayın için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey .....	258
Şekil 115. Kayın için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set .....	259
Şekil 116. Sarıçam için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey..	261
Şekil 117. Sarıçam için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set.....	261
Şekil 118. Sarıçam için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey..	262

Şekil 119. Sarıçam için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set.....	263
Şekil 120. Sarıçam için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey..	264
Şekil 121. Sarıçam için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set.....	264
Şekil 122. Sarıçam için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey..	265
Şekil 123. Sarıçam için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set.....	266
Şekil 124. Sarıçam için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey..	267
Şekil 125. Sarıçam için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set.....	267
Şekil 126. Sarıçam için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey..	268
Şekil 127. Sarıçam için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set.....	269



## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ağaç türlerinin dayanıklılık sınıfı kategorileri.....	12
Tablo 2. Bazı yerli ve tropik ağaçların dayanıklılık sınıfları.....	13
Tablo 3. Odun koruma madde ve yöntemlerinin gelişimine ilişkin kronolojisi.....	23
Tablo 4. Literatürde nano-malzemeler ile yapılmış bazı çalışmalar .....	45
Tablo 5. Aktivasyon fonksiyonları .....	54
Tablo 6. Faaliyet düzeyleri ve kullanılan örnek maliyet etkenleri .....	79
Tablo 7. Çalışma deseni.....	81
Tablo 8. Çalışmada kullanılan yapay antioksidanların bazı özellikleri.....	83
Tablo 9. Çalışmada kullanılan GRAS bileşiklerinin bazı özellikleri .....	86
Tablo 10. Çalışmada kullanılan nano-oksitlerin bazı özellikleri.....	87
Tablo 11. FRAP yöntemi için deney şartları .....	94
Tablo 12. Çalışılan tüm kimyasallar ve uygun çözücülerini .....	95
Tablo 13. EN-350-1 (1996) standardı dayanıklılık sınıfı belirleme değerleri.....	100
Tablo 14. İkinci bölümde çalışılan emprenye grupları ve açıklamaları .....	103
Tablo 15. Termit testi sonrası görsel değerlendirme .....	107
Tablo 16. YSA modellerinde kullanılan parametreler.....	113
Tablo 17. Yapılan optimizasyon çalışmaları .....	115
Tablo 18. Karar değişkenleri ve limit değerleri.....	115
Tablo 19. Algoritma parametreleri .....	115
Tablo 20. Sarıçam odununa ait anatomik bulgular .....	118
Tablo 21. Kayın odununa ait anatomik bulgular .....	119
Tablo 22. Sarıçam ve kayın odununa ait özgül ağırlık değerleri.....	119
Tablo 23. Çalışılan kimyasalların anti-fungal aktiviteleri .....	120
Tablo 24. Çözeltilerin antifungal değerlerine ait BVA sonuçları.....	121
Tablo 25. Çalışılan kimyasalların antioksidan özelliği .....	122
Tablo 26. Çalışılan kimyasalların antioksidan değerlerine ait BVA sonuçları .....	123
Tablo 27. Çalışılan kimyasalların pH değerleri.....	123
Tablo 28. % 1,0 konsantrasyonda emprenye edilen sarıçam odunu örneklerine ait retensiyon değerleri .....	124

Tablo 29. %1,0 konsantrasyonda emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin retensiyon değerlerine ait BVA sonuçları.....	125
Tablo 30. Emprenye öncesi (ES) ve emprenye sonrası (ES) emprenye çözeltilerinin pH değerleri.....	125
Tablo 31. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye öncesi (EÖ) ve emprenye sonrası (ES) tam kuru özgül ağırlık değerleri.....	126
Tablo 32. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye öncesi ve sonrası tam kuru özgül ağırlık değerlerinin BVA sonuçları.....	127
Tablo 33. Sarıçam odunu örneklerinin su alma oranlarına ait bulgular .....	128
Tablo 34. Sarıçam odunu örneklerinin su alma oranlarına ait BVA sonuçları.....	129
Tablo 35. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin su iticilik oranlarına ait bulgular .....	130
Tablo 36. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin su iticilik oranlarına ait BVA sonuçları.....	131
Tablo 37. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası hacimsel genişleme değerleri .	132
Tablo 38. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası hacimsel genişleme değerlerine ait BVA sonuçları .....	133
Tablo 39. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin renk değişimlerine ait bulgular .....	134
Tablo 40. Renk değişim değerlerinin BVA sonuçları .....	135
Tablo 41. Mantar çürüklük testi sonrası emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerleri.....	135
Tablo 42. Mantar çürüklük testi sonrası emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerlerinin BVA sonuçları .....	136
Tablo 43. Emprenyeli sarıçam odun örneklerine ait LPBD değerleri .....	137
Tablo 44. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin LPBD değerlerinin BVA sonuçları...	138
Tablo 45. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinde limit oksijen indeksine ait bulgular ..	138
Tablo 46. Birinci bölümde deney örneklerine uygulanan test sonuçlarının karşılaştırılması .....	140
Tablo 47. İkinci Bölümde çalışmak üzere tercih edilen kimyasallar .....	141
Tablo 48. Sarıçam odunu örneklerinin böcek testi sonuçları .....	142
Tablo 49. Sarıçam örneklerinin termit test sonuçları .....	143
Tablo 50. Sarıçam örneklerinin termit testi değerlerine ait BVA sonuçları .....	144
Tablo 51. Kayın odunu örneklerinin termit test sonuçları.....	144
Tablo 52. Kayın odunun örneklerinin termit testi değerlerine ait BVA sonuçları .....	145
Tablo 53. Sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük test sonuçları.....	146
Tablo 54. Sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testi değerlerine ait BVA sonuçları.....	146

Tablo 55. Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük test sonuçları .....	147
Tablo 56. Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük testi değerlerine ait BVA sonuçları .....	147
Tablo 57. Sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testine ilişkin sinerjik etki hesaplaması .....	148
Tablo 58. Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük testine ilişkin sinerjik etki hesaplaması .....	148
Tablo 59. Hazırlanan emprenye deseni .....	150
Tablo 60. Hazırlanan emprenye maddelerinin retensiyon miktarları .....	151
Tablo 61. Üçüncü bölüm örneklerinin su alma oranına ait bulgular .....	152
Tablo 62. Sarıçam ve kayın örneklerinin su alma oranlarına ait BVA sonuçları .....	153
Tablo 63. Üçüncü bölüm örneklerinin liflere paralel basınç direncine ait bulgular .....	154
Tablo 64. Sarıçam ve kayın örneklerinin LPBD değerlerine ait BVA sonuçları .....	155
Tablo 65. Üçüncü bölüm örneklerinin mantar çürüklük testi sonuçlarına ait bulgular .....	156
Tablo 66. Sarıçam ve kayın örneklerinin ağırlık kaybı değerlerine ait BVA sonuçları ....	157
Tablo 67. Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait su alma deney sonuçları, regresyon tahminleri ve hata değerleri.....	158
Tablo 68. Kayın ve sarıçama ait liflere paralel basınç direnç sonuçları, regresyon tahminleri ve hata değerleri.....	159
Tablo 69. Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait ağırlık kaybı deney sonuçları, regresyon tahminleri ve hata oranları .....	160
Tablo 70. Regresyon modellerinin performans göstergeleri .....	161
Tablo 71. Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait su alma deney sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri.....	162
Tablo 72. Kayın ve sarıçama ait liflere paralel basınç direnç sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri.....	163
Tablo 73. Kayın ve sarıçama ait ağırlık kaybı deney sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri .....	164
Tablo 74. Su alma oranını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin performansı.....	165
Tablo 75. Liflere paralel basınç direncini tahmin için geliştirilen YSA modellerinin performansı .....	165
Tablo 76. Ağırlık kaybını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin performansı .....	165
Tablo 77. Optimizasyon çalışmalarındaki amaç fonksiyonları ve önem ağırlıkları .....	166
Tablo 78. Kayın için iki amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar .....	167
Tablo 79. Kayın için üç amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar .....	167
Tablo 80. Kayın için dört amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar .....	167
Tablo 81. Sarıçam için iki amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar ....	168

Tablo 82. Kayın için üç amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar .....	168
Tablo 83. Kayın için dört amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar .....	168
Tablo 84. $\Delta E$ toplam renk değişim aralığı .....	190
Tablo 85. IR spektrumlarının absorpsiyon pikleri ve fonksiyonları .....	199
Tablo 86. Çalışılan kimyasalların performanslarının ve maliyetlerinin karşılaştırılması .	217
Tablo 87. Seçilen kimyasallar ve kombinasyonlarıyla hazırlanan emprenye deseni .....	219
Tablo 88. Üçüncü bölüm emprenye deseni .....	232
Tablo 89. Kayın için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	252
Tablo 90. Kayın için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	253
Tablo 91. Kayın için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	254
Tablo 92. Kayın için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	256
Tablo 93. Kayın için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	257
Tablo 94. Kayın için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	259
Tablo 95. Kayın için 7 ve 8 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim.....	260
Tablo 96. Sarıçam için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	262
Tablo 97. Sarıçam için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	263
Tablo 98. Sarıçam için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	265
Tablo 99. Sarıçam için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	266
Tablo 100. Sarıçam için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	268
Tablo 101. Sarıçam için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	269
Tablo 102. Sarıçam için 7 ve 8 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim .....	270

## SEMBOLLER DİZİNİ

<b>ABD:</b>	Amerika Birleşik Devletleri
<b>ACC:</b>	Asit/Bakır/Krom
<b>ACA:</b>	Amonyak/Bakır/Arsenik
<b>ALO:</b>	Karınca Aslanı Algoritması
<b>BHA:</b>	Bütillenmiş Hidroksianizol
<b>BHT:</b>	Bütillenmiş Hidroksitoluen
<b>CCA:</b>	Bakır/Krom/Arsenik
<b>CCB:</b>	Bakır/Krom/Bor
<b>BVA:</b>	Basit Varyans Analizi
<b>FA:</b>	Furfuril Alkol
<b>FTIR:</b>	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
<b>FRAP:</b>	Demir (III) İyonu İndirgeyici Antioksidan Güç Yöntemi
<b>FQPA:</b>	Gıda Kalitesi Koruma Yasası
<b>GRAS:</b>	Genelde Güvenilir Olarak Anlaşılan
<b>LOI:</b>	Limit Oksijen İndeksi
<b>LPBD:</b>	Liflere Paralel Basınç Direnci
<b>MA:</b>	Malt Agar
<b>MOALO:</b>	Çok Amaçlı Karınca Aslanı Algoritması
<b>NP:</b>	Nano Partikül
<b>PCP:</b>	Pentaklorfenol
<b>PG:</b>	Propil Gallat
<b>SEM:</b>	Taramalı Elektron Mikroskopu
<b>TBHQ:</b>	Ter-Bütül Hidrokinon
<b>TCDD:</b>	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İdaresi
<b>TG:</b>	Termogravimetrik Analiz
<b>XRD:</b>	X-ışını kırınımı
<b>USEPA:</b>	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
<b>VOC:</b>	Uçucu Organik Madde
<b>YSA:</b>	Yapay Sinir Ağları



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Ahşap, ağaçların ve diğer odunsu bitkilerin gövdelerinde ve köklerinde bulunan ve biyopolimerlerle (selüloz, hemiselüloz ve lignin) birlikte terpenoidler, reçine ve yağ asitleri, pektin, proteinler gibi bazı küçük bileşenlerden oluşan sert, lifli yapıda organik bir dokudur (Rowell, 2012; Sjöström ve Alén, 2013). Plastik, cam ve metal gibi onlarca yıldır topluma hizmet eden malzemelerden ayrı olarak çok önemli temel yapı malzemesidir. Antik çağda, alet yapımında ve inşaat kerestesi olarak kullanılagelen ahşap günümüzde farklı birçok türevi ile hayatın hemen hemen her alanında görülebilmektedir. Çünkü yaygın kullanılabilirliği, yenilenebilir doğal kaynak oluşu, göze hoş ve estetik gelmesi, mekanik dayanıma sahip olması, nispeten düşük maliyeti, kolay işlenmesi ahşabı çeşitli uygulamalar için tercih edilen bir malzeme haline getirmektedir. Kâğıt, kâğıt hamuru yapımının yanı sıra enerji üretiminde hammadde olarak değerlendirilen çok çeşitli kullanım yerlerine sahiptir (Hazarika ve Maji, 2014). Bu tip geleneksel kullanımlarının yanı sıra, ahşap plastik kompozitleri için dolgu maddesi olarak (Bledzki vd., 1998; Niska ve Sanadi, 2008; Müller vd., 2012) ve biyo-yakıt üretimi için hammadde kaynağı olarak da kullanılabilmektedir (Ragauskas vd., 2006; Kumar vd., 2009).

Kuşkusuz ahşap, yüksek performanslı, mükemmel bir mühendislik malzemesidir. Ancak göz ardı edilemeyecek bazı dezavantajları da vardır. Nemli ortamlarda boyut stabilizasyonu sorunu (çalışma), özellikle yüksek mntikalarda ultraviyole (UV) radyasyonundan olumsuz etkilenmesi, yanabilmesi, böcekler, mantarlar ve diğer organizmaların neden olduğu biyolojik bozulmaya karşı düşük direnci bu dezavantajlardan bazılarıdır. Bu nedenle ahşabın son kullanım yerindeki servis ömrünü uzatmak için koruyucu bir takım ön işlemlerden geçirilmesi çok önemlidir. Kreozot (yağ bazlı), pentaklorofenol (solvent bazlı) ve kromatlı bakır arsenat veya bakır-krom-arsenik (CCA-su bazlı) gibi ilk geliştirilen klasik ahşap koruyucular, tahrip edici organizmalara karşı ahşabı büyük ölçüde korumuştur (Nicholas, 1982; Leightley, 2003; Schultz vd., 2007). Fakat özellikle kreozot ve pentaklorofenol kullanımı Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) bazı bölgelerinde önemli derecelerde sınırlandırılmıştır ayrıca birçok Avrupa ülkesinde bu kimyasalların kullanımına izin verilmemektedir (Schultz vd., 2007). 1990'ların sonlarında ahşap

koruyucularda ağır metallerin kullanılması ve hizmet ömürleri tamamlandıktan sonra bunların bertaraf edilmesi sırasında olabilecek emüsyonlarla ilgili endişeler artmıştır (Freeman vd., 2003). Sonuç olarak, Avrupa ve Asya ülkelerinin çoğunda ahşap koruma için CCA kullanımı önemli ölçüde azaltılmış ve CCA ile işlenmiş ahşap yalnızca ABD'de endüstriyel uygulamalarla sınırlandırılmıştır (Green ve Clausen, 2005; Schultz vd., 2007). Bakır-N-sikloheksildiazenyum dioksit (Cu-HDO) gibi krom ve bor bazlı koruyucular içermeyen azoller, alkali bakır kuaterner amonyum (ACQ), bakır azoller gibi CCA ikameleri ise (Schultz ve Nicholas, 2003; Hughes, 2004; Schultz vd., 2007) ahşap malzemedan yüksek yıkanma oranlarından dolayı daha da sorunludurlar (Humar vd., 2005; Temiz vd., 2006; Pankras vd., 2012). Ayrıca, bu formülasyonlar genellikle CCA'dan daha pahalıdır ve küf mantarlarına karşı daha az dirençlidir (Barnes, 2008). Bu nedenle, bahsi geçen sorunları azaltmak, özellikle çevresel kaygıları gidermek adına daha düşük maliyetli ve geleneksel ahşap koruyuculara oranla daha çevre dostu alternatifler aranmaktadır (Mahr, 2013).

Geleneksel olarak, doğal ekstraktlar tarih boyunca odun koruma amaçlı kullanılmışlardır. Odunu yıkımlayıcı mantar ve böceklerle karşı doğal bitki özleri, kimyasal içermeyen ahşap koruyucular geliştirmek bakımından potansiyel bir yaklaşım olmuştur (Sen vd., 2002; Kartal vd., 2004; Goktas vd., 2007). Bazı doğal ekstraktlar tanen içerdiğinden veya biyotik ajanlara karşı toksik etkileri olduğundan, ahşap veya ahşap-kökenli malzemeleri tahrip eden organizmalara karşı koruma sağlamak için tercih edilmektedirler (Schultz ve Nicholas, 2000). Tüm bunlarla birlikte yağlar, ziftler ve bitkisel ekstraktların temin edilme zorluğu vardır dolayısıyla sürdürülebilirliği daha azdır, ekonomik olarak elverişsiz olabilmektedirler ve bitkisel ekstraktların odundan yıkanmaları gibi birçok dezavantajları da vardır (González-Laredo vd., 2015).

Doğal ekstraktların dezavantajları sürdürülebilir bir pazar için bertaraf edilene dek odun koruma alanında kimyasalların kullanımına devam edileceği bir gerçektir. Bu durumda da sadece hedeflenen organizmaya karşı aktivite gösteren, hedeflenmeyen canlılara toksik etki göstermeyen, daha ucuz, daha çevreci kimyasalların arayışı (örneğin tarımda ya da tekstil sanayiinde kullanılan bir takım koruyucu kimyasallar) devam edecektir. Bu anlamda, gıdalarda kullanılan koruyucu bileşiklerin odun koruma alanında kullanım olanaklarının araştırılması sıralanan beklentileri karşılamak adına alternatif çözüm arayışlarından biri olarak değerlendirilebilir.

Nanoteknoloji, yeni özelliklere sahip nanomalzemeler yaratarak ahşap koruma endüstrisini etkileme potansiyeline sahiptir. Bu nanomalzemelerin küçük miktarlarını

kaplama veya emprenye formülasyonlarına entegre etmek, mevcut ahşap özelliklerinin korunmasına ve yenilerinin kullanılmasına yardımcı olabilir. Ancak, gelişmekte olan bir pazarı sürdürülebilir kılmak için teknolojinin çevresel ve sağlık yönlerini dikkate almak şarttır (Fufa ve Hovde, 2010). Ayrıca nano-malzemeler diğer odun koruyuculara göre nispeten daha pahalıdır. İstenilen koruma düzeyini ahşabın doğal/üstün özelliklerini değiştirmeden/düşürmeden, maliyetinin azaltılması için birtakım kimyasallarla entegre edilmesi de gerekir ki bu da yeni bir bakış açısıdır ve bu alanda birçok çalışma yapılmasını gerektirir. Ayrıca sadece sinerjik etkinin var olup olmadığını belirlemek yetmez. Hangi konsantrasyonlarda daha etkili sonuçların alındığını ortaya koyan optimum çözümleri de üretmek gerekir. Böylelikle hem alandaki araştırmacılar hem de sanayiye daha faydalı yaklaşımlar sunulmuş olur.

Bütün bu bilgiler ışığında, bu tez çalışması; diğer kimyasallara kıyasla daha zararsız olan yapay antioksidanlar, genellikle güvenilir olarak kabul edilen katkı maddeleri (generally regarded as safe-GRAS bileşikleri) ve nano-oksitlerin ikili ya da üçlü kombinasyonlarının hazırlandığı çözeltilerin odun korumada sinerjik etki yaratıp yaratmayacağı ve çalışılan parametreler için hangi kombinasyonun en etkili sonucu verdiği sorularını cevaplamak için hazırlanmıştır.

Oldukça geniş kapsamlı bir araştırma olduğundan, çalışma, üç bölüme ayrılmıştır:

Birinci bölümde, 3 farklı multifonksiyonel kimyasal grubundan toplam 14 kimyasalın antifungal özellikleri belirlenerek, çalışılacak konsantrasyonlar belirlenmiştir. Daha sonra seçilen konsantrasyondaki solüsyonların pH ve antioksidan özellikleri tespit edilmiştir. Ardından bu kimyasallarla emprenye edilen odunların bazı fiziksel, mekanik, biyolojik ve yanma özellikleri ile yüzey kimyası ve yüzey morfolojisi araştırılmıştır.

İkinci bölümde, yapılan tüm analizler sonrası her 3 gruptan maliyet özellikleri de dikkate alınarak ve çalışılan kimyasalın tüm deneylerdeki performansları göz önünde bulundurularak birer kimyasal seçilmiş ve tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlardan oluşan 7 grupluk bir emprenye deseni oluşturulmuştur., Bu grupların biyolojik testleri ve yüzey kimyası analizleri yapılmış ve son olarak mantar çürüklük testi performanslarına bakılarak sinerjik etki hesaplamaları yapılmıştır.

Üçüncü bölümde ise sinerjik etki amaçlı çalışan kimyasalların konsantrasyonları değiştirilerek 26 grupluk bir emprenye deseni oluşturulmuş ve bu desendeki grupların bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik performansları belirlenmiş, elde edilen verilerin modellenmesi ve optimizasyonu yapay zeka metotları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 1.1.1. Problem Tanımlaması

Geleneksel ahşap koruma yöntemlerinin pek çoğunda, toksik olduğu düşünülen, insan sağlığına ve çevreye zarar verebilecek kimyasallar kullanılır (Singh ve Singh, 2012). Klasik ahşap koruma kavramı, ‘toksikite’ ilkesine dayanmaktadır. Arsenik, krom, bakır ve kalay tuzları, krezot gibi toksik organik kimyasallarla birlikte kullanılmıştır. Ahşap, bu kimyasallarla çeşitli çözücüler kullanılarak farklı konsantrasyonlarda empenye edilmiş ve bu da ahşap malzemeyi uzun vadede mantar saldırılarına karşı daha etkili hale getirmiştir. Ne yazık ki bu kimyasallar insanlar ve diğer yaşam formları için de toksiktir (Rowell, 2006). Geleneksel ahşap koruma sistemlerinin etkinliğinin, kullanılan ürünlerin biyosidal etkisinden kaynaklandığı, ancak sonuç olarak çevreyi kirlettiği bilinmektedir. Bu tür malzemelerin kullanımıyla ilgili risklere ek olarak, ahşabın ticari ömrünün sonunda imha edilmesinden kaynaklanan sorunlara ilişkin artan bir endişe de vardır. Dolayısıyla insanlar ve çevre için toksik olmayan, etkili mantar/böcek önleyici kimyasallar geliştirmek gerekmektedir. Bu bağlamda insanlara ve çevreye çok az veya hiç toksisitesi olmayan alternatif koruma yöntemleri geliştirmek üzere yoğun, küresel çabalar sarf edilmektedir (Dias ve Barreiros, 2017).

Ahşap koruma maliyetini düşürmek için bir başka yaklaşım, sinerjistik bir formülasyon sağlamaktır. Bunun için iki veya daha fazla aktif bileşiği birleştirmek gerekmektedir. İki veya daha fazla biyositin birleştirilmesinin faydaları uzun zamandır bilinmektedir. Oluşan sinerjistik etkiyle birlikte çeşitli ahşap yıkımlayıcı organizmalara karşı etkinliğin arttığını ortaya koyan çalışmalar mevcuttur (Hwang vd., 2007).

Bu tez çalışmasının çıkış noktası geleneksel ahşap koruma yöntemlerine kıyasla insanlara ve çevreye çok az veya hiç toksisitesi olmayan alternatif bir koruma yöntemi geliştirmek ve bunu da birkaç multifonksiyonel bileşiğin birlikte kullanımı (varsa sinerjik etkiyle) ile başarmaktır. Yanı sıra kullanılacak kimyasalların hangi konsantrasyonlarda optimum sonuçları verdiğini modelleme ve optimizasyonunu yapay zeka yöntemleri vasıtasıyla belirlemeye çalışmaktır.

### 1.1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı multi-fonksiyonel bileşiklerin odun korumadaki etkinliğini araştırmak ve seçilen kimyasallar arasında herhangi bir sinerjik etkinin var olup olmadığını belirlemektir.

Üç bölüme ayrılan çalışma kapsamında ulaşılmak istenen hedefler şunlardır.

#### 1. bölüm için;

1- 3 farklı multifonksiyonel kimyasal grubundan toplam 14 kimyasalın antifungal özelliklerinin belirlenmesi ve elde edilen sonuçlara göre çalışılacak konsantrasyonların tespit edilmesi. Ardından seçilen konsantrasyondaki solüsyonların bazı özelliklerinin (antioksidan ve pH) araştırılması.

2- Seçilen konsantrasyonda empenye edilen sarıçam odunların bazı fiziksel, mekanik, biyolojik ve yanma özellikleri ile yüzey kimyası ve yüzey morfolojisi bakımından değerlendirilmesi.

#### 2. bölüm için;

1- Yapılan tüm analizler sonrası her 3 gruptan maliyetler de dikkate alınmak kaydıyla ve çalışılan kimyasalların tüm deneylerdeki performansları göz önünde bulundurulmak üzere birer kimyasal seçilmesi.

2- Tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlardan oluşan 7 grupluk bir empenye deseni oluşturulması ve bu gruplarla empenye edilen sarıçam ve kayın örneklerinin biyolojik testlerinin ve yüzey kimyası analizinin yapılması ve mantar çürüklük testi performanslarına bakılarak sinerjik etki değerlerinin hesaplanması.

#### 3. bölüm için;

1- Sinerjik etki amaçlı çalışılan kimyasalların konsantrasyonları değiştirilerek 26 grupluk bir empenye deseni oluşturulması.

2- Bu desendeki gruplarla empenye edilen sarıçam ve kayın odunu örneklerinin bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik performanslarının belirlenmesi.

3- Elde edilen verilerin modellenmesi.

4- Elde edilen en iyi modelin optimizasyonunun yapılması.

5- Her iki ağaç türü için (sarıçam, kayın) amaç fonksiyonlarına en çok uyan empenye grubunun belirlenmesi.

Birinci bölümün 1. hedefinde konu edilen 14 farklı kimyasal; 3 farklı konsantrasyonda (%0,5, %1,0 ve %1,5) antifungal özellikler açısından test edilmiştir. Esmer

çürüklük mantarı *Coniophora puteana* kullanarak agar ortamında (odun kullanılmadan) gerçekleştirilen deneyden elde edilen sonuçlara göre çalışılacak konsantrasyonlar belirlenmiş ve seçilen konsantrasyonlardaki çözeltilerin antioksidan özellikleri ve pH değerleri belirlenmiştir.

Birinci bölümün 2. hedefinde; seçilen konsantrasyonda 14 farklı kimyasal ile sarıçam odun örnekleri emprenye edilmiştir ve bu odunların bazı fiziksel (emprenye sonrası tam kuru yoğunluk, su alma oranı ve su itici etkinlik değerleri, hacimsel genişleme özellikleri ve renk değişimi), mekanik (liflere paralel basınç direnci), biyolojik (mantar çürüklük testi) ve yanma özellikleri (LOI testi) ile yüzey kimyası (FTIR) ve yüzey morforolojisi (SEM) özellikleri belirlenmiştir.

İkinci bölümün 1. hedefinde anlatıldığı şekliyle gerçekleştirilen tüm analizler sonrası her 3 gruptan maliyetler ve çalışılan kimyasalın tüm deneylerdeki performansları da göz önünde bulundurularak birer kimyasal seçilmiştir.

İkinci bölümün 2. hedefinde seçilen 3 kimyasalın tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlarından oluşan 7 grupluk bir emprenye deseni oluşturulmuş, sarıçam ve kayın örnekleri emprenye edilmiştir. Emprenye edilen örneklerde biyolojik testler (böcek testi, termit testi ve mantar çürüklük testi) ve yüzey kimyası (FTIR) analizleri yapılmış ve mantar çürüklük testi performanslarına bakılarak sinerjik etki hesaplanmıştır.

Üçüncü bölümün 1. hedefinde sinerjik etki amaçlı çalışan kimyasalların konsantrasyonları değiştirilerek tekli, ikili ve üçlü kombinasyonların oluşturduğu 26 grupluk bir emprenye deseni daha oluşturulmuştur.

Üçüncü bölümün 2. hedefinde sarıçam ve kayın örnekleri hazırlanan desene göre emprenye edilmiş ve bu odunların bazı fiziksel (su alma oranı), mekanik (liflere paralel basınç) ve biyolojik performansları (mantar çürüklük testi) belirlenmiştir.

Üçüncü bölümün 3. hedefinde elde edilen veriler hem çoklu regresyon ile hem de yapay sinir ağları metoduyla modellenmiş ve en iyi model seçilmiştir. Modelleme sırasında giriş parametresi olarak her üç grupta seçilen bileşiklerle hazırlanan emprenye solüsyonunun 2 farklı konsantrasyonu girilmiş, çıkış parametresi olarak ise su alma oranı, liflere paralel basınç direnci, mantar çürüklük testi sonuçları kullanılmıştır.

Üçüncü bölümün 4. hedefinde elde edilen en iyi modeller (sarıçam ve kayın içi ayrı ayrı olmak üzere) karınca aslanı algoritması kullanılarak pareto çözümler bulunmuştur.

Üçüncü bölümün 5. hedefinde ise her iki ağaç türü için amaç fonksiyonuna en çok pareto çözümler sunulmuş ve bunların arasından bazıları seçilmiştir.

Üç temel bölüm ve bu bölümlerin alt başlıkları halinde sıralanan hedefler materyal yöntem bölümünde ayrıntılı bir şekilde özetlenmiştir.

### 1.1.3. Çalışmanın Hipotezi

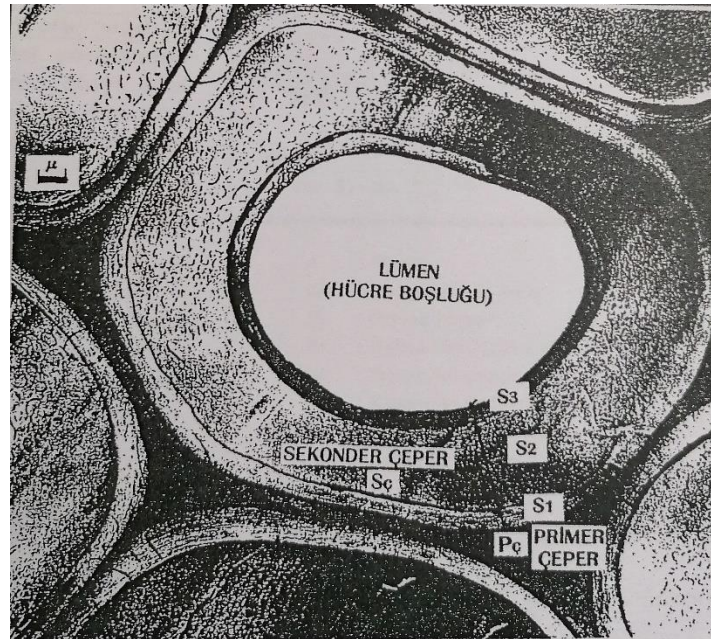
Bu çalışmanın hipotezi aşağıda verilmiştir.

$H_0 =$  Seçilen multifonksiyonel bileşiklerin odun korumada sinerjik etkisi vardır.

$H_0 \neq$  Seçilen multifonksiyonel bileşiklerin odun korumada sinerjik etkisi yoktur.

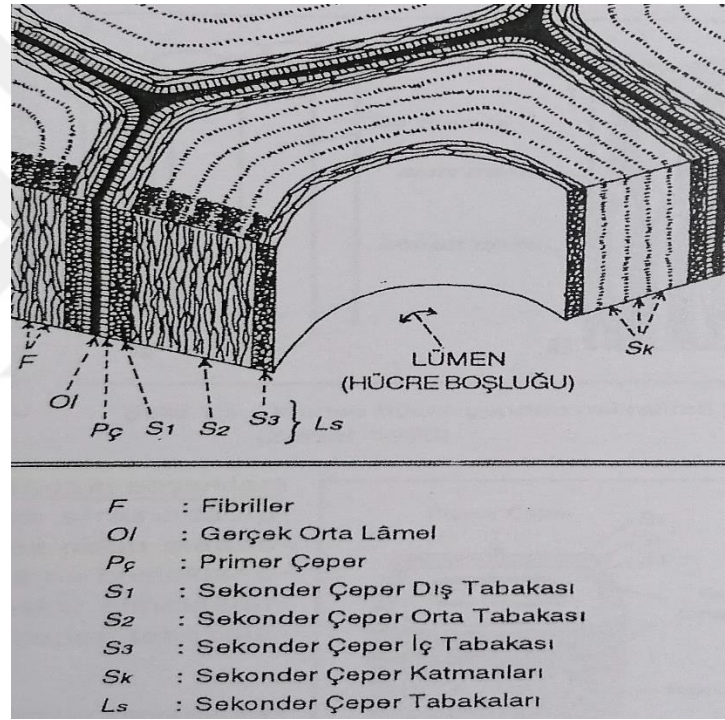
## 1.2. Odunun Temel Yapısı

Odun, hücre adı verilen birimlerden oluşur. Her odunsu hücre bir diğerine yapıştırıcı madde niteliğindeki gerçek orta lamel tabakası ile bağlıdır. Odunsu hücrede belirli kalınlıkta bir hücre çeperi ile bu çeperin sınırladığı bir hücre boşluğu (lümen) vardır (Şekil 1). Canlı hücrelerin lümenlerinde protoplazma bulunur (Örs ve Keskin, 2001)



Şekil 1. Hücre çeperinin enine görünüşü (Panshin ve Carl, 1980).

Aynı görevi gören hücre toplulukları dokuları meydana getirirler. Odunda görevleri birbirinden farklı iletim, destekleme, depolama veya beslenme olmak üzere üç çeşit doku oluşmaktadır. Hücre bölünmesi ile meydana gelen bir hücre ince bir primer çeper ile kuşatılmıştır. Odunsu hücre son şeklini ve boyutlarını aldıktan sonra protoplazma faaliyeti ile primer çeper tabakası üzerinde sekonder çeper tabakası oluşturularak hücre çeperi kalınlaşmaya başlar. Bitişik iki hücreyi birbirine yapıştıran gerçek orta lamel ile bu tabakanın her iki yanında bulunan iki hücreye ait primer hücre çeperlerinden meydana gelen tabakaya birleşik orta lamel denmektedir (Örs ve Keskin, 2001). Hücre çeperi tabakaları Şekil 2’de gösterilmiştir.

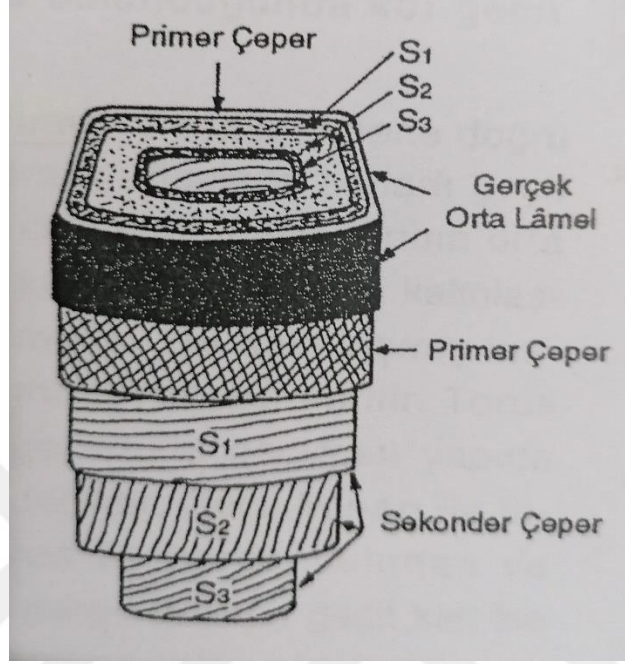


Şekil 2. Hücre çeperi tabakaları (Rochette, 1964).

Odunun primer çeperi ve orta lameli lignin, selüloz ve hemiselülozdan meydana gelmektedir. Bu çeper birincil hücre çeperi olup ince ve uzayabilen bir yapıdadır. Sekonder çeper ise kendi içinde üç katmana ayrılmakta ve primer çepere en yakın olan  $S_1$  tabakasının yarısını lignin oluşturmaktadır. Diğer yarısı ise hemiselüloz ve selülozdur. Bu kısımları oluşturan fibril açıları odunun dayanımında önemli yere sahiptirler.  $S_1$  tabakasının fibril açısı yaklaşık  $50-70^\circ$ ’dir.  $S_2$  tabakası hücrede en geniş tabakadır ve en fazla selüloz bu tabakada bulunur. Bu tabakada fibril açısı  $10-30^\circ$ ’dir.  $S_3$  tabakası ise en ince tabaka olup açısı  $50-$

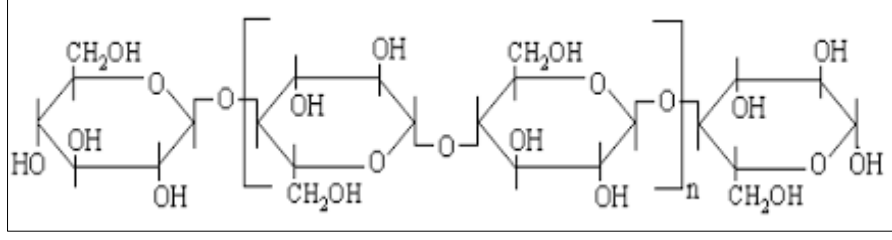


90 °'dir (Hafizoğlu, 1982). Hücre çeperinin çeşitli tabakalarında fibrillerin gidiş yönleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Hücre çeperinin çeşitli tabakalarında fibrillerin gidiş yönleri (Berkel, 1970).

Odun, selüloz, hemiselüloz ve ligninin yanı sıra çeşitli ekstraktif maddelerin belirli oranlarından oluşan polimer yapıda bir malzemedir (Rowell, 1990). Bu oranlar odun türüne göre değişmekle birlikte yaklaşık olarak %50 selüloz, %20-35 hemiselüloz, %16-33 lignin olarak literatürde yer almaktadır (Hafizoğlu, 1987). Selüloz molekülü çok sayıda glukoz anhidritlerden oluşmakta ve bu moleküllerin diziliminin lifler yönünde yer alması odun-su ilişkileri anlamında çok büyük bir önem arz etmektedir. Şöyle ki; bir selüloz molekülünün yapısında yaklaşık 10.000 glukoz anhidrit birimi vardır. Her glukoz anhidrit biriminde üç adet, serbest halde bulunan OH<sup>-</sup> serbest hidrolik grupları mevcuttur. Bu birimler son derece higroskopik olup suyu kendine bünyesine bağlama yeteneğine sahiptir (Berkel, 1970; Örs, 1986). Selülozun kimyasal formülü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Selülozun kimyasal formülü

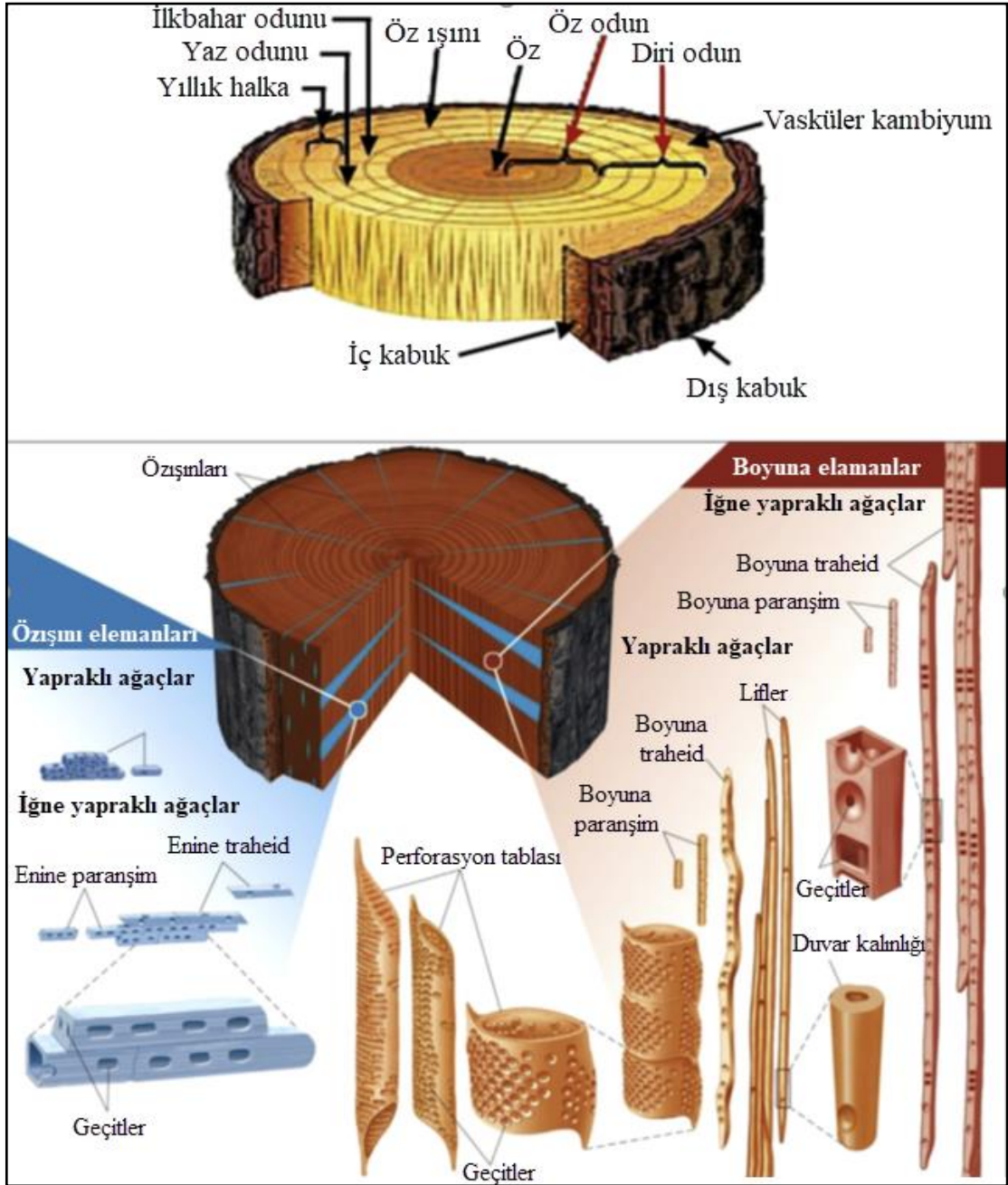
Selüloz molekülleri, düzenli ve düzensiz olarak ardınca dizilim gösteren bölümlerden oluşur. Selüloz moleküllerinin tek yönlü ve birbirine sıkıca bağlandığı kısımlar kristal kısım olarak adlandırılmaktadır. Kristal kısımlardaki düzensizlikler bir araya gelerek amorf bir yapı oluşturur (Berkel, 1970; Örs, 1986).

### 1.2.1. Odunun Makroskopik ve Mikroskopik Yapısı

Odunun makroskopik yapısı dışardan göz ya da lup (10x) yardımı ile görülebilen yapısal özellikleri ile renk, koku, tad, parlaklık ve lif yapısı gibi fiziksel karakteristikleridir. Gövdenin dış tarafında besi suyu iletimi ve gıda maddesi depo etme görevi gören, canlı hücrelerin oluşturduğu açık renkli kısma diri odun denir. Ağaçta çap artımı ilerledikçe, belirli bir yaştan sonra, öze yakın yıllık halkalardaki dokular besi suyu iletimi ve gıda maddesi depo etme görevini yapamazlar. Gövdenin iç kısmında özü kuşatan ve ölü dokulardan oluşan bu iç odun kısmı yalnızca mekanik destek görevi görür. Bu görev değişimi, fizyolojik, yapısal ve kimyasal değişimlerle birlikte meydana gelir. Ölü hücrelerden ibaret olan bu iç odun, diri oduna göre daha koyu renkli ve rutubet oranı düşük ise öz odun, diri odundan renk farkı yok ise olgun odun adını alır (Örs ve Keskin, 2001).

Öz ışınları, paransim hücrelerden oluşur ve özden kabuğa doğru uzanır. İlkbaharda oluşan daha gevşek dokulu, ince çeperli ve geniş lümenli hücrelerden oluşan kısmın yoğunluğu daha az, hava boşluğu daha fazla ve rengi daha açıktır. Yıllık halkaların bu kısmına ilkbahar odunu denir. Vejetasyon döneminde, daha sonra oluşan kalın çeperli ve dar lümenli hücrelerden oluşan kısım ise yaz odunu adını alır. Yaz odunu sık dokulu olup daha yoğun ve rengi daha koyudur. Her yıl vejetasyon döneminde kambiyum, iç tarafa doğru bölünerek öz etrafında yıllık odun halkaları oluşturur. Çap artımı (sekonder kalınlaşma) ile her yıl üst üste yerleşen odun tabakaları paraboloid şeklinde ağaç gövdesini meydana getirir (Örs ve Keskin, 2001). Odunun makroskopik yapısı ve mikroskopik yapısı Şekil 5'te gösterilmiştir.

İğne yapraklı ağaçların ksilem dokusu hücre tipleri bakımından, geniş yapraklı ağaçlara göre çok daha basit yapılıdır. İlkbahar odunu traheidleri ve öz ışını traheidleri iletim görevini, yaz odunu traheidleri ve basınç odunu traheidleri destek görevini, öz ışını paranzimleri, boyuna paranzimler ve epitel hücreler ise depolama görevini üstlenmişlerdir (Erdin ve Bozkurt, 2013).



Şekil 5. Oduunun makroskopik yapısı (üstte) ve mikroskopik yapısı (altta) (Patachia ve Croitoru, 2016).

Yapraklı ağaçlar ile iğne yapraklı ağaçların anatomik yapıları arasında önemli farklılıklar görülmektedir. Öncelikle yapraklı ağaçlar daha karmaşık bir yapıya sahip olup strüktürlerinde fazla sayıda hücre tipi bulunur. Hücrelerin büyüklükleri, şekilleri ve yıllık halka içerisindeki düzenleri de farklıdır. En büyük farklılık yapraklı ağaçlarda trahelerin bulunmasıdır. Yapraklı ağaçlarda traheler ve traheidler iletim görevini, lifler destekleme görevini, öz ışını paranzimleri, boyuna paranzimleri ise depolama görevini görürler (Erdin ve Bozkurt, 2013)

### 1.3. Odunun Doğal Dayanımı

Herhangi bir ağaç türü odununun biyolojik, fiziksel ve kimyasal faktörlere karşı koyma süresine ağaç malzemenin doğal halde dayanıklılığı denilmektedir (Yıldız, 2005).

Tablo 1’de gösterildiği gibi ağaç türleri doğal halde dayanmaları bakımından genellikle beş ayrı grupta toplanabilir.

Tablo 1. Ağaç türlerinin dayanıklılık sınıfı kategorileri (Yıldız, 2005).

Dayanıklılık Sınıfı	Dayanma Süresi	Ağırlık kaybı
<b>A-</b> Çok Dayanıklı	25 yıl ve daha fazla	%0 veya çok az
<b>B-</b> Dayanıklı	15-25 yıl arası	%0-5 arası
<b>C-</b> Orta derece dayanıklı	10-15 yıl arası	%5-10 arası
<b>D-</b> Az dayanıklı	5-10 yıl arası	%10-30 arası
<b>E-</b> Dayanıksız	5 yıldan az	%30’dan fazla

- Dayanıksız ağaçlardan elde edilen malzemeler empenye edilmeden kullanılmazlar.
- Az dayanıklı ağaçlardan elde edilen malzemelerin kullanım yerinde herhangi bir rutubet tehlikesi varsa, daima empenye edilmeleri gerekmektedir.
- Orta derecede dayanıklı ağaçlardan elde edilen malzeme empenye edilmeden toprakla temas edilen kullanım yerlerinde hiçbir zaman kullanılmamalıdır. Ancak kısa süreli olarak rutubetli şartlarda bulunabilirler
- Dayanıklı ağaçlardan elde edilen malzemeler toprak ve su ile temas etmeyen, üstü açık yerlerde kullanılabilir, fakat çürüme riskinin yüksek olduğu bölgelerde empenye edilmeleri gerekmektedir.

- Çok dayanıklı ağaçlardan elde edilen malzemeler toprakla temas edilen yerlerde ve su içinde kullanılabilir (Yıldız, 2005).

Bazı yerli ve tropik ağaçların dayanıklılık sınıfları Tablo 2’de verilmiştir. Ağaçların doğal dayanımlarını bilmek ve kullanım yerine göre koruma önlemi almak, hizmet süresi ve kalitesi bakımından çok önemlidir.

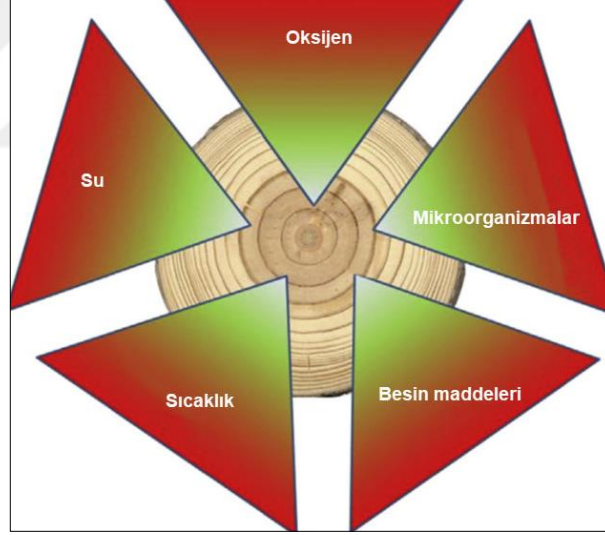
Tablo 2. Bazı yerli ve tropik ağaçların dayanıklılık sınıfları (Yıldız, 2005).

Dayanıklılık Sınıf	E Dayanısız	D Az dayanıklı	C Orta Derece Dayanıklı	B Dayanıklı	A Çok dayanıklı
<b>İğne Yapraklı Ağaçlar (İYA)</b>	-	Çam (Y) Göknar(Y) Ladin (Y) Hemlock Parana çamı Radiata çamı (T)	Servi (Y) Melez Duglas Göknarı Agathis (T)	Ardıç (Y) Porsuk (Y) Sedir (Y) Boylu Mazı	-
<b>Yapraklı Ağaçlar (YA)</b>	Akçağaç(Y) Atkestanesi (Y) Dişbudak (Y) Gürgen (Y) Huş (Y) Ihlamur (Y) Kavak (Y) Kayın (Y) Kızılağaç (Y) Söğüt (Y) Balsa (T) Bombax (T) Cedrela (T) Ceiba (T) Ilomba (T) Ramin (T)	Dut (Y) Karaağaç (Y) Kırmızı Meşeler (Y) Abura (T) Afara (T) Avodire (T) Hickory Jelutong (T) Mengkulang (T) Obeche (T) Okoume (T) Sterculia (T) Techitola (T)	Ceviz (Y) Afrika maunu (T) Anisoptera (T) Ayan (T) Coigue (T) Dibetou (T) Keruing (T) Kosipo (T) Meranti, Dark (T) Okwen (T) Saapele (T) Seraya (T) Tiama (T)	Kestane (Y) Ak Meşeler (Y) Agba (T) Dahoma (T) Frmire (T) Guarea (T) İdigbo (T) Karri (T) Kempas (T) Kotibe (T) Mahun (T) Niangon (T) Utile (T)	Afromosia (T) Afzelia (T) Angelique (T) Azobe (T) Greenheart (T) Iroko (T) Ironbark (T) Jarrah (T) Kapur (T) Makore (T) Mansonia (T) Muhuhu (T) Opepe (T) Paduk (T) Pyinkado (T) Pelesenk (T) Tik (T)

Y: Yerli, T: Tropik

Odunun kısımlarından diri odunun doğal bir dayanımının olmadığı ve öz odununun doğal dayanıklı olduğu bilinmektedir. Ekstraktif maddeler, öz odunu bölgesinde canlı hücreler olarak üretilip yaşamayan öz odun formuna geçerler. Depo ve paranzim hücreleri içinde bir takım reaksiyonla birlikte şeker ve nişasta gibi çeşitli biyositlerden oluşan yeni öz odun kimyasallarına dönüşürler, diri odun ölür ve dayanıklı öz odun haline gelir (Scheffer ve Morrell, 1998). Odun ekstraktiflerinin öncü maddeleri özellikle kabukta oluşan tanenler, antifungal özellik gösteren flavonoidler (Reyes-Chilpa vd., 1995; Reyes-Chilpa vd., 1998; Carrillo-Parra vd., 2011; Sundararaj vd., 2015); doğal dayanıklılık ve genelde termitlere karşı toksik özellik gösteren kinanlar ve doğal dayanıklılık sağlayan ve antifungal özellik gösteren stilbenlerdir (Nascimento vd., 2013).

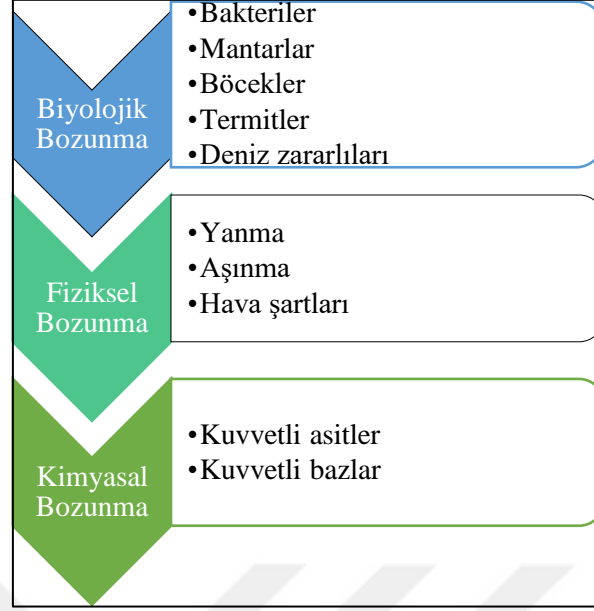
Odunun doğal dayanıklılığı, oksijen, su, sıcaklık, besin maddeleri ve mikroorganizmalar gibi faktörlerden etkilenmektedir. Odun dayanıklılığını etkileyen faktörler Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Odunun dayanıklılığını etkileyen faktörler (Patachia ve Croitoru, 2016).

#### 1.4. Odunun Bozunmasına Neden Olan Faktörler

Odunun bozunmasına neden olan faktörler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Odunun bozunmasına neden olan faktörler

#### 1.4.1. Odunun Biyolojik Bozunması

##### 1.4.1.1. Bakteriler

Bakteriler, çok farklı ortamlara maruz kalmış odunlar üzerinde yaygın olarak bulunmakta ve degradasyon yapan ve yapmayan türler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Degradasyon yapan bakterilerin bir kısmı yalnızca geçit zarlarını degrade ederken diğerleri aktif olarak odun hücre çeperinin lignoselülozik yapısında tahribat yapmaktadır (Sivrikaya, 2003).

##### 1.4.1.2. Mantarlar

Mantarlar, şu ana kadar yapılarıdaki en yaygın bozulma etkenleridir (Mankowski ve Morrell, 2000). Mantar saldırısı riski üç bölümde göz önüne alınabilir: küf oluşumunu kolaylaştıran kısa süreli ıslatma, kuru ahşapta uzun yıllar hayatta kalabilen çürüme mantarlarının kolonizasyonuna izin veren orta süreli ıslatma ve ahşabı bozunduran çürüklük mantarlarının girişine izin veren uzun süreli nem girişi (Wang vd., 2018). Ahşap malzemedeki çürüme oranları tipik olarak rutubet, sıcaklık ve ağaç türlerinin bir fonksiyonudur. Birçok çürüklük mantarı ahşap malzemeye istila etme yeteneğine sahiptir

ancak kolonileşme en çok ahşap özelliklerinden ve nemden etkilenir (Duncan ve Deverall, 1964). Odunda oluşan çürüklükler en geniş anlamda aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

#### 1.4.1.2.1. Beyaz Çürüklük

I. Tip Beyaz Çürüklük: Tüm hücre çeperi bileşenleri, fakat başlangıçta hemiselüloz ve lignin özellikle tahrip edilir (*Phellinus pini*, *Heterobasidion annosum*).

II. Tip Beyaz Çürüklük: Tüm hücre çeperi bileşenleri bütün çürüklük aşamalarında eşit oranda tahrip edilir (*Trametes versicolor*, *Irpex lacteus*) (Yıldız, 2000).

#### 1.4.1.2.2. Esmer Çürüklük

Öncelikle hücre çeperi karbonhidratları tahrip edilir, geriye modifiye edilmiş lignin kalır (*Coniophora puteana*, *Gloeophyllum sepiarium*, *Serpula lacrymans*) (Yıldız, 2000).

#### 1.4.1.2.3. Yumuşak Çürüklük

Tip I: Özellikle S<sub>2</sub> tabakasında bulunan hücre çeperi karbonhidratları tahrip edilir ve uzunlamasına oyuklar oluşturulur.

Tip II: Yapraklı ağaçlarda hücre boşluğundan hücre çeperi, iğne yapraklı ağaçlarda S<sub>2</sub> tabakası adeta kemirilerek yine özellikle S<sub>2</sub> tabakasında bulunan hücre çeperi karbonhidratları tahrip edilir (*Chaetomium globosum*, *Alternaria alternata*) (Yıldız, 2000).

#### 1.4.1.3. Böcekler

Ahşap yapılara zarar veren böcekler odunu besin maddesi olarak sindiren böcekler ve odunu barınak olarak kullanan böcekler olarak iki gruba ayrılabilir (Amburgey, 2008). Termitler ve odun delici böceklerin larvaları gibi odun sindirici böcekler ahşabı yaşam döngüsünün tamamı veya bir kısmı için gıda kaynağı olarak kullanırlar (Jones ve Eggleton, 2010).

Besin maddeleri seçimine özelliklerine göre odunu tahrip eden böcekler genel olarak şu şekildedir. Taze haldeki odunu yiyen böceklere primer böcekler, kuru haldeki oduna arız olan böceklere sekonder böcekler, çürük odunlara arız olan böceklere ise tersiyer böcekler denilmektedir. Tersane böceği *Hylecoetus dermestoides*, parke veya diri odun böceği *Lyctus*



linearis, ev teke böceği *Hylotrupes bajulus* oduna zarar veren böceklerden bazılarıdır (Yıldız, 2000).

*Hylotrupes bajulus* (L.), Cerambycidae ailesindedir ve bu büyük böcek ailesinin oduna zarar veren tek üyesidir. *Hylotrupes* larvaları için tercih edilen ahşap nemi %15-25'tir (Amburgey, 2008). Bir yapıdaki risk derecesi muhtemelen ilgili ağaç türlerine bağlı olacaktır. Örneğin, yüksek diri odun oranına sahip güney çamı, daha yüksek öz odun seviyelerine sahip olan Douglas göknarına oranla bu tür hasara karşı çok daha fazla duyarlı olabilir (Wang vd., 2018).

Bu böcek türü Cerambycidae familyasından ahşap ve ahşap yapıyı tahrip eden en önemli böceklerden biridir (Chiappini vd., 2010). *H. bajulus* genellikle çam, köknar ve ladin gibi iğne yapraklı ağaçlara saldırır. Öte yandan, *H. bajulus*'un geniş yapraklı ağaç türlerinden sekoya, meşe, kül, kavak ve akasya üzerinde hasara neden olabileceği bildirilmiştir. İlk aşamalarda, *H. bajulus*, diri odunlara saldırır ve daha sonra öz odunlara nüfuz eder. Larva gelişimi diri odunlarda öz odunlardan daha hızlı gerçekleşir (Goodell vd., 2008). *H. bajulus*, Türkiye de dahil olmak üzere tüm dünyaya yaygın olarak dağılmıştır (Yalçın vd., 2018). Türkiye'de Marmara, İç Anadolu, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde dağılmaktadır. Kiriş, lambri, parke, torna, merdiven kapısı ve çeşitli mobilya malzemeleri ve müzik aletleri gibi binaların ahşap bölümlerinde önemli hasarlar yaratır (Kaygın, 2007). Bu böceğin larva evreleri, binalarda yaygın olarak kullanılan iğne yapraklı kereste üzerinde önemli hasara neden olur. Doğadaki çevresel koşullar altında, larva gelişimi 10 yıl veya daha uzun sürebilir, ancak optimal şartlar altında larva gelişme süresi yaklaşık iki yıldır (Robinson ve Cannon, 1979). Larva gelişimi en çok sıcaklık, bağıl nem, odun nem içeriği ve odun besinlerinden (özellikle proteinler ve diğer azot içeren bileşikler) etkilenir (Berry, 1972; Nerg vd., 2004)

#### 1.4.1.4. Termitler

Ahşap malzemeye saldırabilecek en önemli iki termit grubu yeraltı termitleri ve kuru odun termitleridir. Yeraltı ve kuru odun termitlerinin her ikisi de Kuzey Amerika'da bulunur. Bu iki grup arasında, yeraltı termitleri en tahrip edicidir ve ABD'deki geniş dağılımları onları toplu kereste kullanımı için kritik öneme sahip bir böcek haline getirmektedir. Yeraltı termit işçileri topraktan rasgele beslenirler ve genellikle bina yapıldıktan sonra zemin yuvalarından girerek binalarda koloniler oluştururlar. Kuru odun termitleri (Kalotermitidae) düşük

rutubetli odun içinde yuva yaparlar. Bu termitlerin kolonileri genellikle yeraltı termitlerinden daha küçüktür, ancak kuru odun termitleri önemli ölçüde yerel hasara neden olabilir, çünkü tespit edilmeleri çok zordur (Wang vd., 2018).

Yeraltı termitleri (Rhinotermitidae) son derece agresif olabilir, işlenmemiş ahşaba saldırmak ve ahşap içinde yukarı doğru göç etmek için temeldeki çatlaklardan yararlanabilirler. Toplu ahşap yapılarıdaki termit saldırısı özellikle sorunlu olabilir, çünkü bir tür müdahaleci denetim olmadan tespit edilmesi zor olacaktır. Odun koruma teknikleri, termit yoğunluğu olan bölgelerde inşa edilen yapıların performansı için gerekli olacaktır (Morris, 2000).

Yeraltı termitleri, ekolojik ve ekonomik açıdan önemli ahşaba zarar veren böceklerden biridir ve dünya çapında yıllık olarak 22 milyar dolardan fazla ahşap yapıları zarar vermektedir (Rust ve Su, 2012). *Reticulitermes* cinsi termitler Avrupa'da en bol bulunanlardır (Clément vd., 2001). Termit biyolojisinin temel özellikleri, sosyal böcekler olarak evrimleşmeleriyle bağlantılıdır (Husseneder vd., 2003). Yeraltı termitleri çoğunlukla toprakta yaşar ve yiyecek arama aktiviteleri ahşap yapıları yayıldığı zaman önemli derecede zararları olur (Su ve Scheffrahn, 2000). Beslendikleri ahşaptan veya yuvalandıkları topraktan olsun, sabit bir nem kaynağına sahip olmalıdırlar (Clausen, 2010). Yeraltı termitleri, ahşaba giden barınak tüpleri inşa ederek tüpler üzerinde hareket eder ve burada hasar işçi termitler tarafından başlatılır (Ibach, 2005; Gascón-Garrido vd., 2017)

#### 1.4.1.5. Deniz Zararlıları

Deniz ortamında kullanılan ahşap malzeme mikroorganizmalar ve deniz canlıları tarafından degrade edilmektedir. Mikroorganizmalar deniz ortamında ağaç malzemenin yüzeyini çürütmelerine karşın esas tahribatı odun delici organizmalar yapmaktadır. Odun delici organizmalar yumuşakçalar ve kabuklular olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Yumuşakçalar grubuna giren önemli odun zararlısı organizmalar Teredinid'ler ve Pholad'lardır. Odun delici kabukluların en önemli cinsleri ise *Limnoria*, *Sphaeroma* ve *Chelura*'dır. Odun delici organizmaların yayılışını etkileyen en önemli faktörler, deniz suyu sıcaklığı ve tuzluluk oranıdır (Sivrikaya, 2004).

## **1.4.2. Odunun Fiziksel Bozunması**

### **1.4.2.1. Yanma**

Ahşap, sürdürülebilir, estetik, çevreye zarar vermeyen yapı malzemelerinden biridir. Hem konut hem de konut dışı inşaatlardaki uygulamalar için ahşap ve ahşap esaslı ürün kullanımı giderek artmaktadır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıklarda ahşap yanıcıdır. Kademeli olarak ısıtıldığında, yapısında değişiklikler meydana gelmeye başlar ve bu değişiklikler sıcaklığın artışıyla daha da artar. Yanma sırasında önce hemiselüloz (180-350 °C), ardından selüloz (275-350 °C) ve lignin (250-500 °C) bozunur (Kim vd., 2006). Ligninin termal stabilitesinin, yoğun şekilde çapraz bağlı yapısı ve yüksek moleküler ağırlığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Yang vd., 2006; Lowden ve Hull, 2013).

### **1.4.2.2. Aşınma**

Rüzgâr, şiddetli yağışlar gibi çeşitli doğa olayları; kuşlar, karıncalar ve çeşitli hayvanlar tarafından ya da insanlar tarafından verilen zararlar sürekli olarak ahşap malzemeyi aşındırmaktadır. Bu aşınma, yavaş yavaş ve uzunca bir süreçte gerçekleşiyor olsa da malzeme yüzeyinde bir erozyona yola açmaktadır (Bozkurt, 2008).

### **1.4.2.3. Hava Şartları**

Yeterince korunmadan dış hava koşullarına maruz kalan ahşap, bazı kimyasal ve fiziksel değişimlere uğramaktadır. Havada bulunan gazlar, güneş ışığı, yağmur, ıslanma ve kurumanın birbirini takip etmesi gibi faktörlerle oluşan renk kaybı; çatlama sonucu meydana gelen elyaf kaybı ve tahrip olmuş yüzeyin yavaş yavaş aşınması hava koşullarının olumsuz etkilerinden bazılarıdır. Bu etkiler sonucu aşınmış malzeme, diğer risklere karşı daha zayıf hale gelmektedir (Bozkurt, 2008).

### 1.4.3. Odunun Kimyasal Bozunması

Ahşap, çeşitli çevresel faktörlerle kimyasal bozunmaya uğrayabilmektedir. Bunun nedeni, asit ya da alkali çevre koşulları ya da ahşabın kendi içinde meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlardır (Bozkurt, 2008).

Asit ve alkali çevre koşullarının ahşap üzerindeki olumsuz etkisi değişik yollarla gerçekleşmektedir. Asit, polisakkaritlerdeki glikozidik bağları parçalamakta ve hidrolize etmektedir. Önce hemiselüloz bozunmakta, sonra selüloz molekülleri monomer halinde ana zincirden kopmaktadır. Bu bozunma, selüloz ve hemiselülozca daha zengin olan kapalı tohumlularda daha kolay gerçekleşmektedir. Özetle, asitler ahşabı kolay kırılır hale getirmektedir (Ridout, 2000).

### 1.5. Odun Korumanın Gerekçesi ve Önemi

Bazı ağaç türlerinin mikroorganizmalar ve böceklerden kaynaklanan bozunmaya karşı doğal direnci vardır, ancak bunların miktarı yeterli değildir veya pazarın talebini karşılayacak kadar hızlı büyüyemezler (Lebow, 2010). Doğal direnç, ağaçta oluşan ve doğal olarak öz odunda biriken maddeler sayesinde oluşur. Korumanın yanı sıra öz odunun renginden de bu maddeler sorumludur (Lepage vd., 2017). Genel olarak, ağaç türlerin öz odunu dayanıklıdır (Richardson, 2002), ancak tüm türlerin diri odunu çürümeye karşı çok hassastır (Lepage vd., 2017). Daha koyu renkli veya özgül ağırlığı daha yüksek olan türler, genel olarak daha yüksek doğal dayanıklı olanlardır. Ancak, gerçekte, tüm biyolojik bozulma etkenlerine karşı doğal dirence sahip bir odun yoktur (Richardson, 2002). Odun koruma yaklaşımı, bu çıkmaza bir çözümdür. Odun koruma bilimi, çürümeye karşı direnci ve dayanıklılığı artırmak için koruyucu olarak adlandırılan toksik veya itici/uzaklaştırıcı maddelerin ahşaba nüfuz ettirilmesidir (Lepage vd., 2017). Koruyucu işlemler ahşabın hizmet ömrünü uzatabilir, yenileme maliyetlerini azaltabilir ve orman kaynaklarının verimli kullanımına izin verebilir. Böylece ahşap ürünler çürüklük yapan mantarların, zararlı böceklerin veya oyucu deniz organizmalarının saldırılarına karşı korunabilir (Lebow, 2010; Borges vd., 2018)

## 1.6. Emprenyenin Tarihçesi

Emprenye, çeşitli yöntemlerle ahşap malzemeye değişik kimyasal maddelerin emdirilmesi işlemidir. Emprenye işlemi, odun koruma sürecinde bir 'an'dır (Yıldız, 2005).

1657'de Alman kimyager Johann Glauber, önce ağaç malzemeyi yakmak suretiyle kömürleştirmiş, sonra bunun üzerine katran sürmüştü, daha sonra da odunun destilasyonu sırasında elde edilen pirolignotik aside batırarak bir odun koruma yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntem 1630 yılından itibaren başlayan tarihsel süreçte ilk araştırılan ve uygulamaya koyulan yöntemdir. Daha sonraki 150 yıllık süreçte ağaç malzemenin emprenyesi için o zamana kadar bilinen bütün yağlar, tutkallar, reçineler, kauçuk, tuzlar, katran yağları ve çeşitli endüstriyel atıklar bu amaçla denenmiştir (Yıldız, 2005).

1831'de Fransız Jean Robert Breant ağaç malzemeyi kapalı bir kapta basınç uygulamak suretiyle emprenye etme yöntemini ortaya koymuştur. Bu yöntemde önce vakum yapılmakta, daha sonra basınç altında emprenye maddesi ağaç malzeme içerisine enjekte edilmektedir (Yıldız, 2005).

Bu tarihten sonra on yıl içinde etkileri günümüze kadar uzanan ve en az 100 yılı aşan uzun süreyle kullanılan üç yöntem daha bulunmuştur. Bunlardan birincisi, 1832 yılında Almanya'da John Howard Kyan tarafından bulunmuştur. Yöntemde cıva klorür ( $HgCl_2$ ) çözeltisinde demiryolu traverslerinin emprenye edilmesi söz konusudur (Yıldız, 2005).

İkinci yöntem olarak, 1838 yılında John Bethell artık bugünün modern emprenye tekniğinin temeli olan, kapalı silindirik kap içerisindeki ağaç malzemeye dışarıdan basınç verilerek uygulanan emprenye yöntemini ortaya koymuştur ve bu arada kreozotun emprenye maddesi olarak kullanılması da önemli bir aşama olmuştur. Bu yöntemde bugünün dolu hücre yönteminin temeli olan başlangıç vakumunu takiben yüksek basınç aşaması ve sonra son vakum aşaması bulunmaktaydı. Yöntemin uygulanmasında 10-14  $kp/cm^2$  lik bir basınç tatbik edilmiştir. Çok kısa sürede yöntem geniş bir uygulama alanı bulmuş ve Bethell yöntemi olarak anılmaya başlamıştır (Yıldız, 2005).

Üçüncü yöntem ise William Burnett tarafından geliştirilmiştir. Uygulamada, ağaç malzemenin daldırma yöntemiyle çinko klorür ( $ZnCl_2$ ) ile emprenye edilmesi söz konusudur. Daha sonraları, 1847 yılında yine Burnett bu yöntemi kapalı kaplarda basınç yöntemi uygulamak şeklinde geliştirmiş ve Londra'da bu yöntemi kullanan bir tesis kurarak seri üretime geçmiştir. Böylece, 1906 yılına kadarki sürede emprenye endüstrisi dolu hücre yöntemine, boş hücre yöntemine ve yaş haldeki, ağaç malzemenin muamele edilmesini

sağlayan çeşitli yöntemlere sahip bulunmaktaydı. Dolayısıyla, bugünün emprenye endüstrisinin temeli o yıllarda atılmıştır (Yıldız, 2005).

### **1.6.1. Türkiye’de Emprenye Endüstrisinin Durumu**

Türkiye’de Cumhuriyetin kuruluşundan sonra, özellikle 1915 yılında Kalkık/Denizli’de travers takoz emprenyesi için; 1931 yılında da Derince-İZMİT’te travers emprenyesi için kurulan tesislerin hizmete girmesiyle gerçek anlamda bir emprenye endüstrisi oluşmaya başlamıştır. Bu tesislerin sahibi Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İdaresi (TCDD)’dir. İzmit’teki fabrika Alman firması Borsig tarafından, TCDD bünyesinde kullanılan travers, direk ve diğer yardımcı donatıların kreozotla emprenye edilmesi amacıyla kurulmuştur (Yıldız, 2005).

İlk kurulan bu fabrikalardan sonra, ülkemizde uzunca bir süre yeni emprenye fabrikası kurulmamıştır. 1964 yılından itibaren artan emprenyeli ağaç malzeme ihtiyacına karşılık, özel sektör emprenye endüstrisini tanımaya ve bu alanda yatırım yapmaya başlamıştır. O dönemde özellikle suda çözünen tuz tipindeki emprenye maddelerinin güncelliğinin artmasıyla, ülkemizde özel sektör tarafından emprenye fabrikalarının kurulmasıyla 2000 yılında ülkemizde vakum/basınç yöntemiyle çalışan toplam emprenye tesisi sayısı 20’ye ulaşmıştır (Yıldız, 2005). Bakır, (2008)’in yapmış olduğu çalışmaya göre Türkiye’de faaliyette toplam 73 işletme ile vardır. Çalışmanın 13 yıl önce yapıldığı göz önüne alınırsa bugün emprenye tesislerinin ahşaba olan talebin artmasıyla birlikte daha da fazla sayıda olduğunu söylemek mümkündür.

### **1.6.2. Odun Korumanın Geçmişten Günümüze Kronolojisi**

Odun koruma endüstrisinin günümüze doğru gelişimi Tablo 3’te verilen kronolojiye göre gerçekleşmiştir.

Tablo 3. Odun koruma madde ve yöntemlerinin gelişimine ilişkin kronolojisi (Yıldız, 2005).

Yıllar	Odun koruma madde ve yöntemleri
1681	Kreozot
1838	Bethell yöntemi (dolu hücre)
1902	Rüping yöntemi (boş hücre)
1906	Lowry yöntemi (boş hücre)
1928	Asit/Bakır/Krom (ACC)
1931	Pentaklorfenol (PCP)
1933	Bakır/Krom/Arsenik (CCA)
1939	Amonyak/Bakır/Arsenik (ACA)
1950'li yıllar	Borlu bileşiklerle batırma ve difüzyon yöntemleri
1960'lı yıllar	Organik çözücülü emprenye maddeleriyle vakum yöntemleri
1980'li yıllar	Alkali amonyum bileşikleri
1990'lı yıllar	Arseniksiz, kromlu ve bakırlı bileşikler
2000'li yıllar	Doğal maddeler, modifikasyon ve ısıl işlem yöntemleri, arsenik/krom içermeyen daha çevre dostu emprenye maddeleri (bor bileşikleri)

Tablo 3'te görüldüğü üzere son yıllarda günümüz emprenye endüstrisinde artık doğal maddeler, insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyen emprenye maddeleri kullanılmak istenmektedir. Bu maddeler arasında araştırılanlardan bazıları yapay antioksidanlar, genel olarak güvenilir zararsız kabul edilen (GRAS-Generally Recognised As Safe-) bileşikleri ve nano-oksitlerdir.

### 1.7. Odun Korumada Yeni Yaklaşımlar

Zehirli kimyasalların kullanımını önlemek, düşük çevresel etkili ajanlara ve sürdürülebilir ilkelere dayalı yeni teknolojiler geliştirmek, ahşap koruma alanında her zaman geçerli bir husustur. Bu beklentiler altında, ABD'de küf gelişimi nedeniyle iç ortam hava kalitesiyle ilgili kaygılar önemli ölçüde artmıştır. Nemli havadaki su buharı, ahşap malzemede çürüklük mantarlarının büyümesi için yeterli şartları her zaman sağlamaz, ancak küf oluşumuna izin verir (Highley, 1999). Nem kaynaklarının belirlenmesi ve kontrol edilmesi ve ıslanan yapı bileşenlerinin hızla kuruması, mantar gelişimini ve böcek istilasını sınırlandıracak veya önleyecektir. En iyi nem yönetimi uygulamaları bile nihai nemin girmesini engelleyemediğinden, iç/dış mekân kullanımına uygun koruyucular gerekir. Kullanılan koruyucuların toksik olmayan, uçucu olmayan, çevre dostu, kullanımı güvenli ve

çözünürlüğü düşük olmalıdır (Zabel ve Morrell, 2012). İç mekanlarda kullanılması amaçlanan mantar öldürücüler, hiçbir memeliye karşı toksisite göstermemeli, kokusuz olmalı ve uçucu organik madde (VOC-Volatile Organic Compound) yaymamalıdır. Bu kriterlerden birini veya birkaçını karşılayan bileşiklerin sınıfları; asitleri, fenolik bileşikleri (antioksidanlar), ilaçları, ticari ve deneysel ahşap koruyucuları, gıda koruyucuları ve bitki esansiyel yağları içerir (Clausen ve Yang, 2007)

Araştırmacılar artan tüm çevresel kaygılardan dolayı daha çevreci odun koruma maddelerinin kullanılabilirliğini irdeleyen yoğun çalışmalar yapmaktadırlar. Turan, (2019) tamamen çevre ve insan sağlığına zararsız bir malzeme olan keratin maddesinin ahşap koruyucu olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Araştırma sonucunda keratin maddesinin ahşap yüzeylerde UV dayanımına karşı zayıf olduğunu ve antimikrobiyal aktivite göstermediğini fakat keratinin uygulandığı ahşap örneklerde su alma oranlarının en az 7 kat azaldığını, mantar testlerinde test örneklerinin ağırlık kaybının %50 oranında düştüğünü, genişleme ve daralma testlerinde ise olumlu etkiler gözlemlendiğini bildirmiştir. Araştırmacı, keratinin ahşap yüzeylerde bir koruyucu olarak değerlendirilebileceğine vurgu yapmıştır.

Son on yılda bilimsel topluluğun dikkatini çeken diğer gelecek vaat eden yaklaşımlar ise hücre duvarının silika (SiO<sub>2</sub>), titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>), çinko oksit (ZnO) ve diğerleri de dahil olmak üzere inorganik nano bileşikler ile emprenye etmektir. Bu katkı maddeleri, muamele edilmiş ahşabın fotostabilitesini, alev geciktiriciliğini, su iticiliğini ve mekanik özelliklerini arttırmaktadır (Clausen, 2007; Mahltig vd., 2008; Kong vd., 2017). Çeşitli elementlerin nano partikülleri, yeni nesil ahşap koruma kimyasallarının geliştirilmesinde önemli olabilir, çünkü su alma ve boyutsal stabilite gibi daha iyi fiziksel özellikler yanında çeşitli faktörler tarafından bozulmaya karşı daha iyi koruma gösterebilirler (Blee ve Matisons, 2008; Terzi vd., 2016a).

### **1.7.1. Odun Korumada Multifonksiyonel Bileşikler**

Odun korumada pek çok multifonksiyonel bileşiğin kullanım olanakları araştırılmaktadır fakat bu çalışma kapsamında teze konu edilen yapay antioksidanlara, GRAS bileşiklerine ve nano-oksitlere değinilecektir.



### 1.7.1.1. Yapay Antioksidanlar

Odun selülozun doğal yapısı sebebiyle serbest radikallere sahiptir. Serbest radikaller, dış orbitalinde paylaşılmamış bir elektron taşıyan bileşiklerdir. Ömürleri çok kısa olan ve kararsız bir yapı gösteren bu tanecikler, etrafındaki moleküllerle etkileşime girerek elektron almaya çalışır ve bir an önce kararlı hale ulaşmak ister. Serbest radikaller tarafından başlatılan birçok oksidatif işlemi içeren reaksiyonlar sonucu ahşap makromolekülleri bozunmaya uğrar. Serbest radikallerin neden olduğu oksidasyonları önleyen, serbest radikalleri yakalama ve stabilize etme yeteneğine sahip maddelere “antioksidan” adı verilir (Elliott, 1999; Koca ve Karadeniz, 2003).

Antioksidanlar, diğer bileşiklerin oksidasyonunu önleyen maddelerdir. Oksidasyonun klasik tanımlarından biri, bir element veya bileşiğin oksijen ile kombinasyonudur. Fransızca ‘oxidier’ kelimesinden gelmektedir. Oksit kelimesi, her ikisi de Fransız kimyagerler olan Guyton de Morveau ve Antoine Lavoisier tarafından 1787’de oksijen ve asitten türetilmiştir (Embuscado, 2015).

Oksitlenebilir bir substratın oksidasyonunu önemli ölçüde geciktiren veya önleyen, düşük konsantrasyonlardaki maddeler olan antioksidanlar, özellikle gıda kalitesinin korunmasında ve insan sağlığının korunmasında hayati bir rol oynar (Sehwag ve Das, 2013).

Antioksidanlar doğal veya sentetik olabilir. Gıdalarda kullanım için onay almış sentetik antioksidanlar arasında bütillenmiş hidroksianizol (BHA), bütillenmiş hidroksitoluen (BHT), propil gallat (PG), oktil gallat, dodesil gallat, etoksikuin, askorbilpalmitat ve üçüncül bütül hidrokinon (TBHQ) yer alır (André vd., 2010). Tokoferoller, tokotrienoller, askorbik asit, sitrik asit, karotenoidler ve enzimatik antioksidanlar, gıdalara yaygın olarak eklenen doğal antioksidanlardır (Finley vd., 2011; Eça vd., 2014). Farklı olsa da tüm gıda antioksidan gruplarının aynı ortak amacı, yiyecekleri değiştirmeden, tat veya renk vermeden mümkün olan en uzun süre muhafaza etmektir. (Carocho vd., 2018). Sentetik katkı maddeleri, bu endüstrinin revaçta ürünleri olmasına rağmen tüketiciler doğal muadillerine yönelmeye başlamıştır.

Yapay antioksidanlar çoğunlukla güvenli kabul edilir, ancak birçoğunun olumsuz ve potansiyel olarak yaşamı tehdit eden yan etkileri vardır. Nitratlar, yutulduktan sonra, özellikle bebeklerde bilinç kaybına ve ölüme neden olabilecek bir madde olan methemoglobin üretmek için hemoglobin ile reaksiyona girebilen nitritlere dönüştürülür. Midedeki proteinler nitritlerle reaksiyona girer ve kanserojen maddeler olan nitrosaminler

üretir. Araştırmacılar, gıdalardaki artan nitrat seviyeleri ile Alzheimer, Parkinson ve Tip 2 diyabetten artan ölümler arasında önemli bir bağlantı olduğunu bildirmişlerdir. Monosodyum glutamat (MSG) içeren yiyeceklerin tüketilmesinden sonra baş ağrısı, terleme, ciltte kızarıklık, bulantı ve halsizlik ortaya çıkabildiğini raporlamışlardır. (Anand ve Sati, 2013). Tüketilmesi halinde insan sağlığına zararlı olabilecek bu yapay antioksidanların, odun korumada kullanımı dikkat çekicidir.

Alkolsüz içecekler mevzuatına göre gıdada kullanılan en yaygın koruyucular arasında benzoik asit ve sodyum, kalsiyum ve potasyum (izin verilen maksimum konsantrasyon 0.05 g/100 mL), sorbik asit ve sodyum, potasyum ve kalsiyum (maksimum izin verilen konsantrasyon 0.08 g/100 mL) ve күkürt dioksit bulunmaktadır (maksimum izin verilen konsantrasyon 0.004 g/100 mL) (Silva vd., 2016). Gıda koruma endüstrisi için düşük miktarlarda kullanılan bu 'etkili' maddelerin odun koruma endüstrisinde çok daha yüksek konsantrasyonlarda kullanılabilir ve etkili bulunması halinde 'gıdalarda istenmeyen' söz konusu kimyasallar için yeni bir kullanım alanı sağlanmış olabilir.

Clausen ve Yang, (2003) farklı konsantrasyonlardaki bazı odun koruyucu ve yiyecek koruyucu kimyasalları başlangıçta %2,0 malt agar (MA) üzerinde küf mantarlarına karşı engelleyici özellikler açısından araştırmıştır. MA üzerinde test edilen küf mantarlarını inhibe eden birçok bileşik, minimum inhibisyon konsantrasyonlarından daha yüksek konsantrasyonlarda kurutulmamış güney çamı üzerinde küf oluşumunu büyük ölçüde inhibe edememiştir. Daha sonra, bileşikler kurutulmamış güney çamı örneklerinde taranmıştır. Kurutulmamış ahşap malzeme üzerindeki etkilerini görmek için odun örnekleri kimyasallarının değişen konsantrasyonlarındaki çözeltilerine ASTM D4445'e göre 15 saniye daldırılmıştır. Daha sonra ahşap malzemelerin üzerine *Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus niger* ve *Trichoderma viride* sporları sıkılmıştır. 4 haftalık bir inkübasyonun ardından, küf büyümesini temsil etmek üzere sonuçlar, 0-5 arasında derecelendirilmiştir. 0'dan 1'e kadar olan derecelendirme derecesi, başarılı bir küf inhibisyonunun göstergesi olarak alınmıştır. Odun koruyucuları için en iyi genel ortalama derecelendirmeler, tüm test mantarlarını yüksek oranda inhibe eden %5 Bor-A-plus veya Cu<sup>+</sup> ile işlem görmüş odun örneklerinde görülmüştür. Yüksek konsantrasyonlarda etanolamin (%10) ve thujaplicin (%10) tüm test mantarlarını inhibe etmiştir. Çam reçinesi (%50) sadece *P. chrysogenum*'u inhibe etmiştir. Test edilen gıda koruyucularından %5 konsantrasyondaki sodyum benzoat ve potasyum sorbat bütün test mantarlarını inhibe ederken, kalsiyum propiyonat *A. niger*'i seçici olarak inhibe etmiştir. Vorikonazol (2,5 mg/mL), tiyabendazol (25 mg/mL) ve

mikonazol (20 mg/mL) gibi farmasötik antifungaller küf oluşumunu engelleyememiş fakat bütün diğer azol türevleri test mantarlarını kurutulmamış çam üzerinde tamamen inhibe etmiştir. Nistatin (10.000 birim/mL) sadece *A. niger*'i inhibe etmiştir. Araştırmacılar, yaptıkları araştırma sonrası, etkili kimyasalların kombinasyonunun, ahşap esaslı yapı malzemelerini küf oluşumundan uzun süre korunmasını sağlamak için bir strateji olarak düşünülmesi gerektiğini vurgulamıştır.

### 1.7.1.2. GRAS Bileşikleri

Organik ve inorganik tuzlar, Gıda Kalitesi Koruma Yasası (FQPA) uyarınca Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından GRAS (Generally Recognized as Safe- Genel Olarak Güvenilir Kabul Edilen) olarak sınıflandırılan gıda katkı maddeleri veya maddeler kategorisine ait olan "kimyasal araçlar" olarak kabul edilir (Arslan, 2015)

Günümüzde, hasat sonrası hastalıkları kontrol etmek için dünya çapında farkındalık çalışmaları başlatılmış, GRAS kimyasallarına daha fazla odaklanılmıştır. Genellikle gıda endüstrisinde kullanılan bu kimyasallar ucuzdurlar, tüketiciler tarafından toksik olmayan ve etkili konsantrasyonlarda küçük çevresel etkiye sahip olan tüketiciler tarafından kolayca kabul edilebilirler ve kullanılırlar (Sivakumar vd., 2002; Nigro vd., 2006). Çeşitli GRAS bileşikleri, bir dizi fitopatogenik mantara karşı aktif antimikrobiyal maddeler içerebilmektedir. Özellikle, sodyum bikarbonat ve kalsiyum klorür ile hasat sonrası uygulamalar, meyve ve sebzelerin hasat sonrası parçalarını kontrol etmenin güvenli ve etkili bir alternatif aracı olarak önerilmiştir (Biggs, 1999; Gowda vd., 2004; Ratnayake vd., 2009)

Bu bileşikler, Avrupa ve Kuzey Amerika'da koruyucu olarak kısıtlama olmaksızın kullanılan yaygın gıda katkı maddeleridir (Venditti vd., 2005).

Chittenden vd., (2007), odun koruma alanında kitosan ile GRAS (Genel Olarak Güvenilir Kabul Edilen) bileşiklerini ve bunların kombinasyon halinde etkinliğini araştırmışlardır. İki mavi renklenme mantarı *Sphaeropsis sapinea* ve *Leptographium procerum*'a karşı in vitro testler yapmışlardır. Besin ortamı üzerinde yapılan analizler sonucu, sodyum benzoat, potasyum sorbat ve askorbik asit gibi test edilen GRAS bileşiklerinin bazılarının, her iki test mantarına karşı da kitosan ile kombine edildiğinde sinerjik bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte, etkinlik derecesinin kullanılan konsantrasyona ve test edilen türe göre değiştiğini bildirmişlerdir. Bu çalışma, bu

tarz güvenli maddelerin odun koruma alanında yaygınlaşacağı anlamına gelebilir. Tez kapsamında yapılmak istenilen çalışma da aynı amaca hizmet etmektedir.

### 1.7.1.3. Nano-Oksitler

Nanoteknoloji, bilim ve teknoloji çalışmalarının pek çok alanını kapsayan, umut verici yenilikçi, çaprazlama moleküler teknolojisidir (Dağlıoğlu ve Yılmaz, 2018). Daha geniş bir ifadeyle, nanoteknoloji, yapıları nedeniyle temelde yeni özellik ve fonksiyonlara sahip 1 ila 100 nanometre büyüklüğünde partikül kullanan malzeme, cihaz ve sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Siegel vd., 1999). Nanobilim, nanometre düzeyindeki (0,1-100 nm çapında) materyallerle ilgilenir ve anlamaya çalışır. Nanoteknoloji, maddenin nano seviyede sentezlenmesine, değiştirilmesine katkı sağlar. Nano malzemeler; 100 nm'nin altında, en az bir boyuta sahip malzemelerdir. Nanoteknoloji çalışmaları, geleneksel malzemelerin temel kimyasal ve fiziksel özelliklerinin değiştirilmesine imkân sağlar. Malzemelerin boyutlarının nanometre düzeyine indirgenmesiyle optik, elektrik ve mekanik özelliklere sahip yeni yeni ürünler oluşur. Diğer yandan, nanomalzemelerin toksik kalıntıları, insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere sahip olabilir. Nanopartiküllerin (NP'lerin) olası toksisitesi ve davranış biçimleri, parçacık sayısı, yükü, boyut ve boyut dağılımı, kimya ve reaktivitesi, yüzey alanı, yapı ve şekli ile agregasyon durumu ve elemental kompozisyonu gibi değişik etmenlerden etkilenebilir (Chau vd., 2007; Pal vd., 2007; Tiede vd., 2008).

Nanoteknoloji, benzersiz davranışa farklı özelliklere, daha geniş yüzey alanına sahip nanopartikülleri sentezlemek için çeşitli teknikler kullanır (Usmani vd., 2017). Bu tür özel özelliklere ve ayırt edici davranışa sahip nanopartiküller, herhangi bir sistemin biyolojik, fiziko-kimyasal, elektriksel ve mekanik işlevini büyük ölçüde etkileyebilir (Mukhopadhyay, 2014). Son yıllarda nanoteknoloji, tıp, biyomedikal, tarım, otomobil, elektronik, ilaç dağıtımı, paketleme, kozmetik, yeşil kimya ve çeşitli biyomühendislik alanlarına geniş katkı sağlamıştır (Saratale vd., 2018; Sharmila vd., 2019).

Çinko gibi metallerin nanopreparasyonları, element metalin özelliklerinden tamamen farklı benzersiz özelliklere sahip olabilir. Metallerin nanopreparasyonları, ahşap koruma uygulamalarındaki performanslarını artırabilecek boyut, yük ve dispersiyon özellikleri gibi birçok özelliği değiştirir (Clausen, 2007). Nanometre boyutunda metal parçacıklarının hazırlanması, esasen eşit dağılmış bir katmanda metalin etkili yüzey alanını

arttırır. Parçacık boyutu, odun pencere geçitinden (<10.000 nm) veya kenarlı geçitlerin açıklığından (400 ila 600 nm) daha küçükse, tam penetrasyon ve düzgün dağılım beklenir (Freeman ve McIntyre, 2008).

Nano bazlı işlemler, kolay nüfuz etme ve dağıtma, dağılma kararlılığı ve düşük viskozite özellikleri nedeniyle, geleneksel ahşap işlemlerinden daha iyi performansa sahip odun ürünleri sağlar. Bu işlemler, ahşap görünümünü etkilemeden çizilme ve aşınma direncini, UV radyasyonunun tıkanmasını, yangın özelliklerine reaksiyonunu ve higroskopik özelliklerini iyileştirebilir. Nanoparçacıklar, "yarı atomik boyutu" nedeniyle işlemde geçirilen ahşap katmanlara daha kolay ve daha derin nüfuz ederek basınçlı emprenye ihtiyacını azaltır veya asgari penetrasyon gereksinimlerini karşılamak için gereken emprenye süresini en azından potansiyel olarak kısaltır. Buna ek olarak, daha derin hücre duvarı penetrasyonu sağlar. Tersine, daha küçük parçacıklar (<5 nm), ahşap yüzeyden fiziksel olarak yıkanmaya daha hassastır (Weitz vd., 2015)

Nano oksitler (TiO<sub>2</sub>, ZnO, SiO<sub>2</sub> ve CeO<sub>2</sub> gibi), metal nanoparçacıklar (Ag ve diğerleri gibi) ve nano killeri içeren çeşitli nano malzemeler, ahşap modifikasyonunda saf formlarında veya farklı katkı maddeleri ile kombinasyon halinde kullanılmıştır. Ahşabı korumak için geliştirilen farklı ahşap işleme yöntemleri, yapı ve inşaat malzemesi olarak kullanılan ahşap için yeni fırsatlar da sağlar. Nanoteknoloji ağaç işleme alanına geniş çapta entegre olmasına rağmen, son zamanlarda nanomalzemelerin potansiyel sağlık ve çevresel riskleri ile ilgili artan eleştiriler ve tartışmalar vardır. Fakat etkinlikleri de birçok çalışmayla kanıtlanan bu kimyasalların daha zararsız kimyasallarla kombine edilmesi odun koruma endüstrisi için yenilikçi bir yaklaşım olacaktır.

### **1.8. Sinerjik Etki**

İki etkenin beraberce olan etkisinin, her ikisinin tek başına olan etkileri toplamından daha fazla olmasına 'sinerjik etki' denilmektedir. Son yıllarda araştırmacılar, filmlerin ve kaplamaların özelliklerini iyileştirmek, kaplanmış ürünün kalitesini, işlenmesini ve bütünlüğünü daha da geliştirmek için antioksidan, antimikrobiyal, nutrasötik etki, tatlandırıcı bileşikler ve diğer bazı katkı maddeleri içeren matris maddelerine biyolojik bileşikler eklemektedirler (Nair vd., 2018). Bu ekleme işlemi ile sinerjik etki sağlanması durumunda çalışılan ürünün korunması, dağıtımı ve ticarileştirilmesi üzerine olumlu kazanımlar elde edilmektedir (García vd., 2017; Arroyo vd., 2020).

Organik monomerler/polimerlerle inorganik metal oksiti birleştirme yoluyla yapılan ahşap modifikasyonu, masif ahşaba dayalı katma değerli ürünlere yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Hibrit ahşap/inorganik polimer kompozitler, yeni fonksiyonel nanokompozit malzemeler kategorisine girer. İnorganik bileşen, organik polimer ve ahşap bileşenler arasındaki fiziksel veya kimyasal etkileşimlerden kaynaklanan sinerjik etkiler, gelişmiş termal, mekanik ve boyutsal kararlılık gibi özellikler üretmiştir (Li vd., 2010; Devi vd., 2013).

Nano-biçimli metal ve metal oksit, nano olmayan boyutlarına kıyasla göre birçok avantaja sahiptir. Son derece küçük boyut, toplam etkili yüzey alanını artırır ve bu da reaktiviteyi ve etkililiği artırır (Nair vd., 2017). Bundan dolayı, ahşap koruyucu olarak metallerin ve metal oksitlerin nano formlarını içeren formülasyonlara ve kaplamalara, sahip oldukları özellikleri iyileştirmek için nanomalzemeleri dahil eden yeni formülasyonlar geliştiren çalışmalar yapılmaktadır (Kartal vd., 2009; Auclair vd., 2011).

Sadece biyolojik zararlılara karşı değil ahşabın diğer özelliklerini iyileştirmek için de farklı kimyasalların sinerjik etkisinden faydalanılarak yapılan birçok çalışma mevcuttur. Örneğin, Qu vd., (2019)'in yaptığı bir çalışmada, ahşabın yanma özelliklerini iyileştirmek için odun örnekleri, ısıtma işlemiyle birlikte alüminyum sülfat-sodyum silikat sinerjistik emprenyesinden faydalanılarak ön işlemden geçirilmiştir. Ön işlemden önce ve sonra odun ağırlıkları belirlenmiş, termogravimetrik ve diferansiyel termogravimetrik analizler, taramalı elektron mikroskobu ve Fourier-transform kızılötesi spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, ısıtma işlemiyle birlikte alüminyum-silikon sinerjistik emprenyesinin termal bozunma yoluyla enerji tüketimini azaltabileceğini göstermiştir. Bu prosedür ahşabın termal stabilitesini iyileştirmiştir. Ayrıca, kombine işlem, alüminyum sülfat-sodyum silikat modifikasyon reaktiflerinin emprenye edilmesinin neden olduğu artan duman salımı sorununu çözmüştür.

### **1.9. Emprenye İşleminde, Yapay Antioksidanlar, GRAS Bileşikleri ve Nano-Oksit Kullanılarak Yapılmış Çalışmalar**

Colby (1967), 'Herbisit Kombinasyonlarının Sinerjik ve Antagonistik Cevaplarının Hesaplanması' adlı çalışmayı yapmıştır. Gözlenen cevap beklenenden daha büyük olduğunda, kombinasyon sinerjiktir; beklenenden az olduğunda, karşıttır (antagonistik). Fakat, araştırmacı herbisit kombinasyonları için cevapların tahmininde matematik

formüllerini kullanmada pratik sınırlamalar olduğunu, burada açıklanan yöntemlerin yaklaşık sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Schultz ve Nicholas (2002), ‘Organik biyositlerin antioksidanlar ve metal süpürücü ile kombinasyonuna dayalı çevre dostu odun koruyucuların geliştirilmesi’ başlıklı çalışmayı yapmışlardır. Ağaç ekstraktlarının, en az üç farklı mekanizmayla, yani fungusit, serbest radikal temizleyiciler/antioksidanlar ve metal kenetleme maddeleri ile öz odunu ağaçlarını korumalarının öngörülebilir olduğunu bildirmişlerdir. İki farklı ağaç türü ve çürüklük mantarı kullanan kısa süreli laboratuvar testlerinde, çeşitli antioksidanlar ve/veya metal kenetleme maddeleri ile farklı organik mantar ilaçlarının kombinasyonu, tek başına organik biyosit ile karşılaştırıldığında daha iyi bir aktivite göstermiştir. Bir biyosit ve antioksidan kombinasyonu ile muamele edilen ve 30 ay boyunca dış hava koşullarına maruz bırakılan açık alan testindeki odun örnekleri hem çürük mantarlarına hem de termitlere karşı gelişmiş koruma sağlamıştır. Bir organik biyosit ile metal kenetleme ve/veya antioksidan katkı maddelerinin kombinasyonunun, biyolojik öldürücülere karşı daha iyi koruma sağladığı ve buna bağlı olarak daha çevre dostu ahşap koruyucu sistemlerin geliştirilmesinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışmasında, bahsi geçen ahşap koruyucu sistemlerin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

Bakhsous vd. (2006), ‘Antioksidan, 2-HPNO ve propikonazol arasındaki sinerjiye dayalı yeni ahşap koruma formülasyonlarının araştırılması’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Mantarların ahşabı bozundurma mekanizmasının kısmen, serbest radikal ve hidroperoksit gibi birçok oksitleyici ajan içeren oksidatif reaksiyonlar yoluyla gerçekleşen karmaşık bir olgu olduğunu bildirmişlerdir. Yeni ve çevreye daha zararsız koruyucu sistemler geliştirmek için, propikonazol ve farklı stabilizasyon mekanizmalarına sahip antioksidan karışımları, olası biyolojik bozulmayı önlemek için biyosit miktarını azaltmaya olanak sağlayan sinerjileri tespit etmek için araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, antioksidanın doğasının potansiyel sinerjiler üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Bu tez çalışmasında daha farklı kimyasallarla çalışılacak olup bunlara bir de nano-oksitler eklenmiştir.

Clausen ve Yang (2007), ‘Odunun küf, çürüme ve termitlerden çok bileşenli biyosit sistemleri ile korunması’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Selüloz esaslı yapı malzemelerinin üzerinde küf oluşumunu kontrol etmek için biyositler geliştirilmesi gerektiğini savunmuşlardır. Buna göre, kapalı alan uygulamaları için tasarlanan biyositlerin toksik olmayan, uçucu olmayan, kokusuz, hipoalerjenik ve yüksek nem koşullarında uzun vadeli

koruma sağlayabilen nitelikte olması gerektiğini bildirmişlerdir. %0,1 azol veya %0,5 thajaplicin ile takviye edilmiş borat bazlı çok bileşenli sistemlerin, iki esmer-çürük mantar *Postia plasenta* ve *Gloeophyllum trabeum*; beyaz çürük mantarı *Coriolus versicolor*; üç küf mantarı *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* ve *Trichoderma viride*; ve yeraltı termiti *Reticulitermes flavipes*'a karşı iyi performans gösterdiklerini bildirmişlerdir. İç uygulamalar için borat bazlı çok bileşenli biyosit sistemlerinin çürüklük mantarlarından, küf mantarlarından ve termitlerden ahşabı koruyabileceği ve bu çalışmada thiabendazole içeren sistemin diğer biyositlere göre daha düşük düzeyde bir koruma sağladığı sonucuna varılmıştır. Küf inhibisyonunda borat baz ve vorikonazol arasında sinerji gözlenmiştir. Bu tez çalışmasında çalışılan maddeler arasında sinerjik etki olup olmadığı, kombinasyonlara bir de nano-oksitler eklenerek araştırılmıştır.

Clausen ve Yang (2007), 'Çok bileşenli biyositlerin UC2 uygulamalarında ağacı/odunu mantarlardan ve böceklerden koruması' adlı çalışmayı yapmışlardır. İç mekân uygulamalarında ahşabı korumak için sinerjik biyositlerin geliştirilmesinin, kapalı alanlarda küflerin yakın zamandaki artışından dolayı özellikle ilgi çekici olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar çevre güvenliği ve insan sağlığı açısından zararsız kimyasalların kullanımının önemini vurgulamışlardır. Ne yazık ki hem mantarlar hem de insanlar ökaryotik canlılar oldukları için insanlarla aynı ortamda mantar gelişimini güvenli bir şekilde kontrol etmenin zor olduğunu çünkü mantar metabolit inhibitörlerinin, insanlar için toksik olmasının muhtemel olduğunu bildirmişlerdir (Clausen ve Yang, 2005). Bazen, bilinen mantar veya böcek önleyicilerinin kombinasyonlar halinde kullanıldıklarında sinerjik etkiye sahip olduklarını yani birleştirilmiş formülasyonlarının yüksek konsantrasyonlarda tek tek bileşenlerden daha etkili olduğunu savunmuşlardır. Bu tez çalışmasında da sözü edilen araştırmacıların savunduğu sinerjik etki araştırılmıştır.

Clausen vd. (2010), 'Nano-çinko oksit ile emprenye edilen ahşabın hava koşullarına dayanıklılığı ve yıkanma direnci' adlı çalışmayı yapmışlardır. Nano-çinko oksit (nano-ZnO) dispersiyonları ile vakum işlemine tabi tutulmuş güney çamı örneklerini, yıkanma direnci ve UV koruması açısından değerlendirmişlerdir. Laboratuvar ortamındaki yıkanma testinde, 13 kg/m<sup>3</sup>'lük en yüksek retensiyonda bile, nano-ZnO ile muamele edilmiş numunelerin hiçbirinde neredeyse hiç sızıntı meydana gelmemiştir. Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda nano-ZnO ile muamele edilen örnekler, 12 ay açık havaya maruz bırakıldıklarında %58-65 oranları arasında degradasyon göstermiştir. 12 aylık maruziyetten sonra kontrol örneklerine oranla UV hasarı belirgin şekilde azalmıştır. Tüm numunelerde,



grileşme belirgin şekilde azalmıştır. %2,5 veya daha yüksek konsantrasyonda nano-çinko oksit ile muamele edilen örnekler, 12 ay açık havaya maruz bırakıldıktan sonra emprenye edilmemiş güney çamına kıyasla su emilimine önemli bir direnç göstermişlerdir. Araştırmacılar, odunun yıkanmaya, su alma oranına ve UV hasarına karşı direnç kazandırmak üzere nano-çinko oksidin yeni ahşap koruyucu formülasyonlarda kullanılabileceği sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında, nano-ZnO çözeltileri ile emprenye edilen örnekler başka testlere de tabi tutulmuş ve sonuçlar literatüre sunulmuştur.

Rezai vd. (2011), 'Beyaz çürüklüğe karşı nano gümüş ile ahşap koruma' başlıklı çalışmayı yapmışlardır. Bu araştırma, nano gümüş ile muamele edilen kavakların beyaz çürüklüğe karşı dayanımının araştırılması amacıyla yapılmıştır. Test numuneleri, nano gümüşlerin 0, 200 ve 400 ppm'lik 3 farklı muamele seviyesinde, modifiye edilmiş batırma yöntemi ile emprenye edilmiştir. DIN 52176 ve B.S.838:1961 standardına göre muamele edilen test ve kontrol örnekler, 14 hafta boyunca (22 °C, %75 bağıl nem ortamında) *Coriolus versicolor* mantarına maruz bırakılmıştır. Bu süre zarfında örneklerdeki ağırlık kaybı, basınç dayanımı ve şok direnci ölçülmüştür. Sonuçlar, muamele edilmiş nano gümüşün doğal dayanıklılık üzerindeki etkisinin pozitif olduğunu göstermiştir. Findlay (1967), sınıflandırmasına göre kavak odunu örneklerinin 'tamamen dayanıksız' sınıfından 'az dayanıklı' sınıfa yükseldiğini bildirmişlerdir. Nano-malzemelerin odun korumada etkinliğinin yapıldığı bu çalışmada sadece nano gümüş bakılmış olup herhangi bir sinerjik etki araştırması yoktur. Bu tez çalışmasında sinerjik etki de araştırılmıştır.

Weitz vd. (2011), 'CuO nanopartiküllerini ahşap koruyucu olarak kullanma potansiyeli' adlı çalışmayı yapmışlardır. Ağacın korunması için nano-bakır partikülleri kullanma potansiyelini, *Gloeophyllum trabeum* ve *Trametes versicolor* çürükçül mantarlarına karşı mini agar ve toprak-blok testleri kullanılarak araştırmışlardır. Nano-bakır, *G. trabeuma* karşı *T. versicolor*'dan daha etkili bulmuşlardır. Sonuçların, nano-bakırın bir ahşap koruma maddesi potansiyeline sahip olduğunu ortaya koyduğunu ancak bu maddenin özelliklerini anlamak için çok daha fazla araştırma yapılması gerektiğini bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında nano-oksitlerin odundaki etkisi üzerinde daha detaylı bilgiler literatüre sunulmuştur.

Németh vd. (2013), 'Ahşaba arız olan mantarlara karşı bir ajan olarak nano-çinko' adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışmada, %0,220 ve %0,055'lik çinko nanopartiküllerle emprenye edilmiş ladin, kayın, kavak ve çam odunu örneklerinin, çinko toleranslı bir

organizmaya *Poria placenta* kahverengi çürük mantarına karşı direncini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, nano-çinkonun ladin, kayın ve kavakta kahverengi çürümeyi engellediğini göstermiştir. Anti-fungal aktivite, koruyucu maddenin konsantrasyonu ile orantılı ve iğne yapraklı ağaçlarda yapraklı ağaçlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. İğne yapraklı ağaç numuneleri, yapraklı ağaç numunelerine göre daha yüksek retensiyon miktarına sahip olmasına rağmen, nano-çinko çözeltisi, yine de her iki grup için ağırlık kaybı yüzdesinde azalma sağlamıştır. Araştırmacılar, genel olarak, çinko nanopartiküllerinin, *Poria placenta* mantarından kaynaklanan çürümelere karşı uygun özelliklere sahip olduğunu hem iğne yapraklı hem de yapraklı ağaçlar için iyi bir performans gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında nano-çinko çözeltisinin başka mantarlara karşı etkisi de araştırılmıştır.

Rassam vd. (2012), ‘Kombine nanogümüş-higrotermal muamelenin ahşap özelliklerine etkisi üzerine etkisi’ adlı bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, İran kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ve ithal Rus ladini (*Picea abies*) odun örnekleri bir emprenye tankında 20 dakika süreyle 0.25 Mpa’lık basınç altında nanogümüş çözeltisi (400 ppm) ile emprenye edilmiştir. Higrotermal muamele, 120, 150 ve 180 °C sıcaklıklarda 1, 3 ve 5 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Bir grup örnek sadece higrotermal olarak muamele edilmiş ve kontrol olarak kabul edilmiştir. Örneklerin, 24 saat suya batırıldıktan sonra hacimsel şişme değerleri, eğilme direnci, şok direnci ve liflere paralel basınç direnci değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar higrotermal ısısının artmasıyla hacimsel şişme ve mekanik özelliklerin azaldığını göstermiştir. Muamele süresinin mekanik özelliklerde anlamlı bir etkisi olmamıştır. Ayrıca nanogümüş çözeltisiyle emprenye edilen ve 180 °C’de muamele edilen ahşap numunelerde, mekanik özelliklerde belirgin bir düşüş olmaksızın hacimsel şişme değerlerinin kontrollerden daha düşük olduğu bulunmuştur. Genel olarak, mekanik özelliklerde fazla azalma olmaksızın daha iyi boyutsal stabilite elde etmek açısından higrotermal arıtmanın yüksek sıcaklıkta (180 °C) gerçekleştirilebilir olduğunu bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında ısı işlem olmaksızın nano-oksitlerin oduna olan etkileri ortaya koyulmuştur.

Trăistaru vd. (2013), ‘Ahşap malzemenin konsolidasyonunda kullanılan Paraloid B72 kimyasalına katkı maddesi olarak nano-çinko oksit etkisinin değerlendirilmesine yönelik SEM-EDX, su emme ve ıslanabilirlik çalışmaları’ adlı araştırmayı yapmışlardır. Bu araştırmada, Paraloid B72'nin ZnO nano katkı maddeleri ile stabil konsolidasyon çözümlerini formüle etmeyi ve bu katkı maddelerinin penetrasyon yollarını, konsolidasyon malzemesinin ahşaba tutunması ve işlenmiş ahşabın su emme davranışı üzerindeki etkisini

belirlemeyi amaçlamışlardır. Deneyle kavak odunu (*Populus tremula*) örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Nano-ZnO ilavesi, konsolidasyon maddesinin ahşap yapı içine alımını ve tutulmasını hafifçe arttırmış ve hidrofobik yüzeylerin oluşmasına katkı sağlamıştır. Bununla birlikte, nano-ZnO katkı maddelerinin su emilimine etkisi kesin bulunmamıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu, bir EDX Dedektörü araştırmasıyla birleştirildiğinde, traheler, lifler ve geçitlerde hem konsolidasyon maddesinin hem de nano-ZnO'nun varlığının ve penetresyonunun olduğu kanıtlanmıştır. Bu tez çalışmasında başka nano-oksitlerin de odun içindeki dağılımı incelenmiştir.

Akhtari vd. (2013), 'Beyaz çürük mantarına maruz kalan Paulownia odunun spektroskopisi üzerine bazı metal nanopartiküllerin etkisi' adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışmada, nano-gümüş, nano-bakır ve nano-çinko oksit ile muamele edilen Paulownia (*Paulownia fortunei*) odununun beyaz çürük mantarına (*Coriolus versicolor*) karşı direnci araştırılmıştır. Ahşap örnekler, 10 ila 80 nm arasında değişen partikül boyutlarına sahip 400 ppm sulu nanopartikül süspansiyonu ile emprenye edilmiştir. Tüm formülasyonlar için 0,14 kg/m<sup>3</sup>'lük bir retensiyon miktarı elde edilmiştir. Sonuçlar, nano-gümüş, nano-bakır ve nano-çinko, örneklerinin ağırlık kaybının %28'den %2'ye düştüğünü, muamele edilen Paulownia'nın, *C. versicolor*'a karşı çürüme direncini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Bu tez çalışmasında sarıçam ağaç türü kullanarak benzer deneyler yapılmış ve literatüre eklenmiştir.

Afrouzi vd. (2013), 'Yapay dış ortam testinin nano-çinko oksit ile emprenye edilmiş ahşap üzerindeki etkisi' adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada nano çinko oksit ile emprenye edilmiş kavak ağacının (*Populus deltoides*) renk değişimine karşı direnci araştırılmıştır. Bu amaçla numuneler, dolu hücre yöntemi ile %0,5, 0,75 ve 1,0 olmak üzere üç farklı konsantrasyonda nano-çinko oksit ile emprenye edilmiştir. Daha sonra numuneler, 200, 400 ve 600 saatlik yapay yaşlandırma sürecine tabi tutulmuştur. Her aşamada testin tamamlanmasıyla birlikte, spektrofotometre kullanılarak numunelerdeki renk değişimi ( $\Delta E$ ) miktarı ölçülmüştür. Sonuçlar, nano-çinko oksit ile muamele edilen numunelerin renk değişikliği miktarının, muamele edilmemiş olandan daha az olduğunu göstermiştir. Konsantrasyonun artmasıyla renk değişiklikleri azalmış ve en iyi sonuçlar %1,5'lik konsantrasyonlarla emprenye edilen numunelerde gözlenmiştir. Zaman içerisinde tüm örneklerde kahverengileşme meydana gelmiştir. Bu test sonuçlarından sonra nano-çinko oksidin önemli bir malzeme olarak kullanılabilceği, dış ortamda ahşabın korunmasında diğer malzemelerle ayrıştırılabileceği veya birleştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu tez

çalışmasında seçilen nano-oksit başka malzemelerle de birleştirilmiş ve performansları araştırılmıştır.

Akhtari vd. (2013), ‘Nano ve mikronize parçacıkların ahşap koruyucu olarak termit kontrolüne etkisi’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Yer altı termitlerinin, ahşap yapı ürünlerinin biyolojik olarak parçalanmasında önemli bir faktör olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmada mikronize bakır, çinko oksit ve bunların karışımı ile muamele edilmiş ahşabın performansı, laboratuvar ortamında yeraltı termitlerine karşı test edilmiştir. Test edilen formülasyonların tümü, termitlerin neden olduğu odun bozunumunun kontrolünde etkili olmuştur; bakır, çinkodan ve mikronize bakır, amin bakırından biraz daha etkili bulunmuştur. Bu tez çalışmasında farklı bir nano-oksit ile muamalenin termit kontrolünde kullanım olanakları araştırılmıştır.

Soltani vd. (2013), ‘Nano-çinko oksit ile empenye edilen kayın ağacının su itici etkisi ve boyut stabilitesi’ adlı araştırmayı yapmışlardır. Bu çalışmanın amacı, çinko oksit nanopartiküllerinin (nano-ZnO) kayın ağacının su iticiliği ve boyutsal kararlılığı üzerindeki etkisini ölçmektir. Kayın ağacı blokları, modifiye edilmiş bir daldırma yöntemi kullanılarak dört işlem seviyesinde (0, 10.000, 20.000 ve 40.000 ppm) bir nano-ZnO çözeltisi ile muamele edilmiştir. Ayrıca, 60 ve 120 °C’de bir ısıl işlem gerçekleştirilmiştir. Numunelerin empenyesinden sonra, su emme, hacimsel şişme, su iticilik etkinliği ve şişme önleyici etkinlik, ıslatma süresinden sonraki 24 saat içinde belirlenmiştir. Sonuçlar, ahşap modifikasyonu için kullanılan nano-ZnO’nun boyutsal kararlılığını büyük ölçüde geliştirdiğini ve ahşabın higroskopikliğini azalttığını göstermiştir. Ek olarak, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopi (FTIR) analizi, nano-ZnO ile ahşabın kimyasal bileşenleri arasında güçlü bir etkileşim olduğunu göstermiştir. Isıl işlem ise, nano-ZnO’nun etkilerini iyileştirmiştir. Bu tez çalışmasında ise farklı nano-oksitlerin su alma ve hacimsel şişme özellikleri incelenmiş, yanı sıra FTIR analiziyle çalışılan nano-oksitler ile odun arasındaki etkileşim ortaya koyulmuştur.

Ragaei ve Sabry (2014), ‘Böcek zehri kontrolünde nano teknoloji’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Nanoteknolojinin, disiplinler arası araştırma için umut verici bir alan olduğunu; böcek öldürücüler, ilaçlar, elektronik ve tarım gibi çeşitli alanlarda geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu bildirmişlerdir. Nanoteknolojinin potansiyel kullanımları ve faydalarının çok fazla olduğunu; bunlara böcek zararlılarının nanomalzeme esaslı insektisit formülasyonları yoluyla yönetiminin de dahil olduğunu belirtmişlerdir. Tarımda kullanılan entegre zararlı yönetimi gibi geleneksel stratejilerin yetersiz olduğunu ve

kimyasal zirai mücadele ilaçlarının uygulanmasının, toprak verimliliğinin azalması dışında hayvan ve insanlar üzerinde de olumsuz etkilere neden olduğunu savunmuşlardır. Bu nedenle, nanoteknolojinin doğaya zarar vermeden tarla böceği zararlılarının yönetimi için yeşil ve verimli alternatifler sağlayacağını bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında nano-oksitlerin yapay antioksidanlarla ve GRAS bileşikleriyle karışımının etkisi de araştırılmıştır.

Marzbani ve Mohammadnia-afrouzi (2014), 'Nano-titanyum dioksit ile işlenmiş ahşabın yıkanma ve çürüme direncinin araştırılması' adlı araştırmayı yapmışlardır. Bu çalışmanın amacı, nano-titanyum dioksit (nano-TiO<sub>2</sub>) ile işlenmiş ahşabın yıkanma ve çürüme direncini değerlendirmektir. Bu amaçla, pamuk ağacı (*Populus deltoides*) diri odunu 19 mm'lik küpler halinde kesilmiş ve 20 °C'de ve %65 bağıl nemde kondisyonlanmıştır. Nanomateryal %1,0, 2,0 ve 4,0 olmak üzere üç farklı konsantrasyonda süspansiyon olarak hazırlanmış ve ahşap örnekler AWWA E10-08 (2008) standardına göre dolu hücre yöntemi ile emprenye edilmiştir. Yıkanma ve çürüklük direnci testleri sırasıyla AWWA E11-06 (2008) ve ASTM D 1413 (2007) standart yöntemlerine göre gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, tüm nano-TiO<sub>2</sub> ile muamele edilmiş numuneler için yıkanan miktarının düşük olduğunu ve zamanla azaldığını ve test süresinin sonunda (6 gün) tüm konsantrasyonlarda yaklaşık olarak hiçbir yıkanmanın olmadığını göstermiştir. Ek olarak, nano-TiO<sub>2</sub> ile muamele edilen numuneler, muamele edilmeyen numunelere kıyasla mantar çürümesine karşı yüksek dirence sahip bulunmuş ve artan nanomateryal konsantrasyonu ile ağırlık kaybının önemli ölçüde azaldığı kaydedilmiştir. Minimum ağırlık kaybı, %4 nano-TiO<sub>2</sub> ile emprenye edilen numunelerde tespit edilmiştir. Bu nedenle araştırmacılar titanyum dioksit nanopartikülünün, ıslak alanlara yerleştirilen ve mantar çürüklüğüne maruz kalan ahşap yapıları korumak için kullanılabilir olduğunu vurgulamışlardır. Bu tez çalışmasında odundan yıkanmadığı ispatlanan nano-TiO<sub>2</sub> çözeltisinin sarıçam odunu üzerindeki etkileri, çeşitli performans testleriyle birlikte araştırılmıştır.

Dong vd. (2015), 'Furfuril alkol ve nano-SiO<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ahşabın tutuşabilirliği ve fiziksel-mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi' adlı araştırmayı yapmışlardır. Ahşap polimer nanokompozitler, hızlı büyüyen kavak ağacında partikül fazı olarak nano-SiO<sub>2</sub> kullanılarak furfuril alkolün (FA) yerinde polimerizasyonu yoluyla hazırlanmıştır. Farklı miktarlarda nano-SiO<sub>2</sub>, bir FA su çözeltisi ile karıştırılmış, ahşaba nüfuz ettirilmiş ve daha sonra yerinde polimerizasyonu indüklemek için fırında ısı uygulanmıştır. Boyutsal kararlılık, hidrofobik özellikler, yüzey sertliği, basınç dayanımı ve esneklik modülü gibi ahşabın fiziksel-mekanik özellikleri, furfurilasyon ile önemli ölçüde

iyileştirilmiştir. Nano-SiO<sub>2</sub> ilavesi, FA ile işlenmiş ahşapta kopma modülünün azalmasını sağlamıştır. Taramalı elektron mikroskobu ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi, nano-SiO<sub>2</sub>'nin kavak ağacında tutunduğunu ve FA ile hücre duvarına sabitlendiğini göstermiştir. Temas açısı analizi, FA ve %0,5-1,0 nanopartiküllerin ahşap yüzeyinin hidrofobik özelliğini birlikte etkilediğini göstermiştir. Ek olarak, koni kalorimetre sonuçlarıyla, %2,0'lik nano-SiO<sub>2</sub> ilavesinin muamele edilmiş ahşabın yanıcılığını ve termal stabilitesini iyileştirmede net olarak etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Bu tez çalışmasında, nano-SiO<sub>2</sub>'nin sarıçam odun örneklerindeki etkisi araştırılmıştır.

Harandi vd. (2015), 'Nano TiO<sub>2</sub> ve Nano-ZnO ile UV koruma amaçlı muamele edilen örneklerde renk ve yapısal değişikliklerin değerlendirilmesi' adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada Nano-TiO<sub>2</sub> ve Nano-ZnO dispersiyonları ile %1 ve %2 olmak üzere iki dozda emprenye edilmiş kavak ağacı örnekleri incelenmiştir. Numuneler, UV-B ışınmasının hızlandırılmış yaşlandırması altına yerleştirilerek test edilmiştir. Yapısal değişiklikler spektro-kolorimetre ve ATR-FTIR spektroskopi uygulamasıyla araştırılmıştır. Sonuçlar, Nano-TiO<sub>2</sub>'nin %1'lik çözeltisinin UV ışınlarına karşı çok az koruma sağladığını göstermiştir. Nanopartikül dozunun artırılması, bölgedeki kristallik indeksini ve amorf selüloz bozunmasını artırmıştır. Nano-ZnO ile işleme tabi tutulması, ahşapta lignin ve polisakkaritlerin bozulmasını azaltmış ve nanopartiküllerin dozunu artırarak UV ışınlarına karşı koruma sağlamıştır. Her iki nanopartiküldeki artış, koyulaşmaların ve toplam renk farkının ( $\Delta E$ ) azalmasını sağlamıştır. Nano-ZnO ile işleme tabi tutulan numunelerin, Nano-TiO<sub>2</sub> ile işleme tabi tutulandan daha az renk farkına sahip olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, çinko oksit nanopartiküllerinin ahşabı UV ışınlarına karşı korumada titanyum dioksite göre daha iyi olduğu kanaatine varılmıştır. Bu tez çalışmasında, Nano-TiO<sub>2</sub> ve Nano-ZnO ile emprenye edilmiş odun örneklerinin performans testleri karşılaştırılmalı olarak literatüre sunulmuştur.

Reinprecht vd. (2015), 'Akrilik reçine ile çinko oksit nanopartiküllerinin kombinasyonunun ıhlamur odununda çürüklüğü engellemesi' isimli makalelerinde nano-ZnO'nun hem tek başına hem de etilmetakrilat-metilakrilat kopolimeri ile *Tilia cordata* modifikasyonunda kullanılması durumunda, çürüklük mantarları *Trametes versicolor* ve *Coniophora puteana*'ya karşı anti-fungal etkisini bulduklarını raporlamışlardır.

Terzi vd. (2016b), 'Ahşapta mantar çürümesinin, küf oluşumunun ve termit saldırısının önlenmesinde çeşitli nano partiküllerin rolü ve hava koşullarına ve su iticiliğine etkileri' adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışmada, ZnO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> ve SnO<sub>2</sub> nano

parçacıkları ile vakum ortamında empenye edilmiş sarıçam odununun çürüme, küf mantarları ve yer altı termitlerine karşı direnci değerlendirilmiştir. Odun örneklerinin yıkanma ve su alma özellikleri de incelenmiştir. Odundan yıkanma özelliği açısından, yalnızca nano-ZnO etkili bulunurken, diğer bileşiklerin %60'ın üzerinde oranla odundan yıkandığı tespit edilmiştir. Ahşap örneklerindeki küf gelişimi, nano-ZnO ve nano-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile muamele edilenlerde önemli ölçüde inhibe edilmiştir. Petri kaplarında yapılan deneylerde, tüm küf mantarları nano-ZnO ve nano-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tarafından inhibe edilmiştir; ancak nano-SnO<sub>2</sub> sadece *Trichoderma harzianum*'un büyümesini inhibe etmiştir. Esmer çürüklük mantarı saldırısından kaynaklanan ağırlık kayıpları, nano-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dışında, test edilen diğer tüm nano bileşikler tarafından önemli ölçüde engellenmiştir. Beyaz çürüklük mantarı testlerinde önemli ölçüde daha yüksek ağırlık kayıpları elde edilmiştir; bu mantara karşı yalnızca nano-CuO ve nano-SnO<sub>2</sub> etkili olmuştur. Nano-CuO ve nano-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile empenye edilmiş numunelerde uygun termit direnci oluşmuştur. Nano-ZnO, su alım oranını azaltmada biraz etkili bulunmuştur. Bu tez çalışmasında nano-CeO da araştırılmış ve elde edilen sonuçlar çalışılan diğer nano-oksitler ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Muhçu (2015), 'Ahşap konservasyon ve konsolidasyonunda nano partiküller' adlı yüksek lisans tez çalışmasında Paraloid B72 konsolidant maddesinin nano partiküllerin odundan yıkanmasını engellediğini, nano-ZnO, nano-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve nano-CuO ile işlem gören örneklerde biyolojik performans, su absorpsiyonu ve boyutsal stabilizasyon özelliklerinin, yalnızca nano-TiO<sub>2</sub> ve yalnızca nano-CeO<sub>2</sub> ile işlem gören örneklere göre daha yüksek performans gösterdiğini bildirmiştir. Sadece Paraloid B72 ile işlem gören örneklerde mantar bozunmasının daha fazla meydana geldiğini ve Paraloid B72 konsolidant maddesinin yıkanmış olduğu örneklerde dayanıklılık özelliklerinde artış olduğunu belirtmiştir. Paraloid B72 konsolidant maddesinin nano partiküllerle işlem gören örneklere uygulanması ile odun örneklerinde daha iyi bir biyolojik performans görüldüğü raporlanmıştır. Bu tez kapsamında konsolidant malzemesi kullanılmadan 5 farklı nano-oksit ile çalışılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Taghiyari vd. (2015), 'Isıl işlem uygulanmış Paulownia odununun hava ve sıvı geçirgenliği üzerine nanogümüş ve nano çinko oksit partüküllerinin etkileri' adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu araştırmada, gümüş ve çinko oksit nano parçacıklarının sulu dispersiyonu ile muamele edilen ve *T. versicolor*'a maruz bırakılan Paulownia ahşabının hava ve sıvı geçirgenliği özellikleri incelenmiştir. Numuneler ayrıca 100 ve 150 °C'de ısıyla muamele edilmiş ve kontrol numuneleri ile karşılaştırılmışlardır. Geçirgenlik değerleri, numunelerin

nem içeriği %12 olduğunda ölçülmüştür. Sonuçlar nano gümüş veya nano çinko ile emprenye edildikten sonra hava geçirgenliğinde belirgin bir artış olduğunu göstermiştir. Geçirgenlikteki artışın, emprenye tankındaki yüksek basınç altında tilozların kırılmasından kaynaklandığını bildirmişelerdir. Bununla birlikte, mantar maruziyetinden sonra tüm geçirgenlikte önemli düşüşler gözlenmiştir. Azalışın, lümenler boyunca hiflerin büyümesi ve birikimi ile sıvı transferi yolunu engellemesinden kaynaklı olduğu, 150 °C'de hem ısıtma işleminin hem de çinko oksit ile emprenyenin mantarın büyümesini önemli derecede inhibe ettiği ve bunun sonucunda da odun örneklerindeki ağırlık kaybının azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada da sadece nano-malzemelerin etkisi incelenmiş olup herhangi bir sinerjik etki araştırması söz konusu değildir. Bu tez çalışmasında bu etkinin var olup olmadığı da incelenmiş olacaktır.

Croitoru vd. (2015), 'Taşıyıcı olarak etil metilimidazolyum klorür kullanılarak inorganik bileşikler ile yeni bir ahşap emprenye yöntemi' adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada, titanyum dioksit, wolfram trioksit ve kalsiyum metasilikat gibi inorganik bileşiklerle, çözücü taşıyıcı olarak alkilimidazolyum iyonik sıvı kullanılmış ve ahşap yüzeylerin emprenye edilmesine yönelik yeni bir yöntem sunulmuştur. Bahsedilen bileşiklerin, ahşap yüzeyine dağılabilir ve emprenye edilmemiş örneklere kıyasla ahşapta daha yüksek boyutsal stabilite ve daha yüksek Brinell sertlik sağlayan düzgün bir kaplama oluşturabilecekleri bildirilmiştir. Önerilen emprenye yönteminin ana avantajı, uçucu organik bileşiklerden kaçınarak çevre dostu iyonik bir sıvının kullanılmasıdır. Ek olarak, işlem daha hızlı olduğundan ve önemli ölçüde daha düşük sıcaklıklar gerektirdiğinden zaman ve enerji tasarrufu sağlamaktadır (geleneksel emprenye işlemlerinde 100–200 °C'ye kıyasla 40 °C). Bu tez çalışmasında, yeni bir emprenye metodu sunulmamış fakat geleneksel emprenye işlemiyle çalışılan farklı kimyasalların bireysel ve sinerjik performans sonuçları verilmiştir.

Nazari ve Hosseinihashemi (2017), 'Organik biyosit, metal çelatlayıcı ve antioksidan maddelerin karışımlarının beyazı çürük mantarlarına karşı sinerjik etkilerinin laboratuvar ortamında incelenmesi' adlı çalışmayı yapmışlardır. Araştırmacılar, üç organik biyositin (propiconazole, tebuconazole ve chlorothalonil), bireysel ve metal etilendiamin tetra asetik asit (EDTA) ve farklı konsantrasyonlarda (50, 150, 250, 350 ve 450 ppm) antioksidan bütül hidroksi toluen (BHT) ile olan karışımlarını beyaz çürüklük mantarı *Trametes versicolor*'a karşı araştırmışlardır. Testleri in vitro olarak, malt özü agarı kullanılarak yapmışlardır. İlk önce, ayrı ayrı farklı formülasyon ve konsantrasyonlarda koruyucu çözeltileri hazırlayıp ardından sulu karışımları hazırlamışlardır. Klorothalonil biyositin kendi başına mantar



büyümesi üzerinde herhangi bir inhibisyon etkisi yaratmadığını, fakat propiconazol ve tebuconazol biyositleri ile karışımlarının farklı konsantrasyonlarda mantara karşı kuvvetli bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Propiconazol biyositi ile EDTA arasında 450 ppm gibi yüksek konsantrasyonda sinerjistik bir etkinin olduğunu, ancak diğer çözeltilerle kombinasyon halinde iken sinerjistik etkiye rastlanmadığını raporlamışlardır. Ayrıca tebuconazol ve klorothalonil biyositleri arasında diğer koruyucu çözeltilerle sinerjistik bir etki bulunmadığını bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında, yapay antioksidanlar, GRAS bileşikleri ve nano-oksitlerin sinerjik etkiye sahip olup olmadığı araştırılmıştır.

Yu vd. (2017), 'ACQ ile mualeme edilmiş güney çamının nano-SiO<sub>2</sub>/wax ile boyutsal stabilitesinin geliştirilmesi' adlı araştırmayı yapmışlardır. Güney sarı çamı (*Pinus* sp.) odun küpleri, nano-SiO<sub>2</sub> çözeltisi ve farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış amin bakır kuarterner (ACQ)/wax (%0,5, %2,5 ve %5,0 wax) çözeltileri ile vakum ortamında emprenye edilmiştir. Wax konsantrasyonu ve nano-SiO<sub>2</sub> ilavesinin odunun su alma oranı, hava kurusu rutubetteki daralma ve boyutsal şişme kararlılıkları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, nano-SiO<sub>2</sub> ile modifiye edilmiş, ACQ ile emprenye edilmiş ahşabın en iyi stabilitesinin ancak %2,5'e eşit wax ilavesi oranıyla elde edilebileceğini göstermiştir. Hem wax hem de nano-SiO<sub>2</sub>, ahşabın boyutsal kararlılığını korumada yararlı olabilecekleri yönünde raporlanmışlardır. Bu tez çalışmasında herhangi bir ilave olmaksızın sadece nano-oksitlerin su içerisinde hazırlanmış çözeltilerinin odun üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

He vd. (2017), 'Silika sol ve K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>'ün ahşabın alev geciktirici ve termal özellikleri üzerindeki sinerjik etkisi' adlı çalışmayı yapmışlardır. Ahşap için alev geciktirici olarak silika sol (SiO<sub>2</sub> sol) ve K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> kullanılmıştır. SiO<sub>2</sub> sol ve K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>'ün ahşabın alev geciktirici, yıkanma direnci ve termal özellikleri üzerindeki sinerjik etkisi araştırılmıştır. Limit oksijen indeksi sonuçları, çift batırma tekniği kullanılarak K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> sol ile muamele edilen odun numunesinin alev geciktiriciliğini ve yıkanma direncini önemli derecede artırdığını ortaya koymuştur. Termal analiz sonuçları, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> sol un sinerjik etkisinin, kömürleşme aşamasında odun numunesinin bozulmasını etkili bir şekilde uzattığını ve kömür kalıntısının stabilitesini iyileştirdiğini göstermiştir. Bu nedenle, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> sol kombinasyonunun, ahşap için umut verici bir alev geciktirici sistem olduğunu kanıtladığını bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında da sinerjik etki araştırılması başka test yöntemleriyle araştırılmıştır.

Moya vd. (2017), 'NPsAg-etilen glikol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) ile sentezlenen gümüş nanopartiküllerin tropikal ağaç türlerinde esmer çürüklük ve beyaz çürüklük mantarları

üzerindeki etkisi' adlı araştırmayı yapmışlardır. Çalışmada, basınçlı emprenye yoluyla uygulanan 50 ppm konsantrasyonundaki nano gümüş çözeltilisinin çalışılan tropikal ağaçlarda (*Acacia magnium*, *Cedrela odorata* ve *Vochysia guatemalensis*) beyaz çürüklük mantarı *Trametes versicolor*'a karşı etkinliği araştırılmıştır. Yapılan mantar çürüklük testinde tüm odun türlerindeki ağırlık kaybının kontrol örneklerinde %25-50 arasında iken, emprenyeli örneklerdeki ağırlık kaybının %5,0'in altında olduğu saptanmıştır. Bu tez çalışmasında da nano-oksitlerin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kayıpları ortaya koyulmuştur.

Nosal ve Reinprecht (2018), 'Ahşap endüstrisinde gümüş ve çinko oksit nanoparçacıklarının hazırlanması ve uygulanması' adlı derleme çalışmasını yapmışlardır. Gümüş ve çinko oksit nanopartiküllerinin, sağlık ve çevre üzerinde daha düşük etkileri olan bazı geleneksel ahşap koruyucuların yerine kullanılabilirlerini bildirmişlerdir. Ayrıca, bu metalik nanopartiküllerin üretimi, reaktifler ve stabilizatörler olarak kullanılan zararlı kimyasal maddeler, doğal özütlerden elde edilen proteinler, enzimler veya amino asitler gibi biyomoleküller ile değiştirildiğinde çevre dostu olma eğiliminde olduğuna vurgu yapmışlardır. Dahası, gümüş ve çinko oksit nanopartiküllerinin, ahşabı halihazırda düşük konsantrasyonlarda bozucu dış etkilere karşı koruma kabiliyetiyle karakterize edildiğini ve bu yeteneğin, metalik nanopartikül üretiminin ekolojik biçiminde bile değişmeden kaldığını bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında kimyasal olarak üretilen nano-oksitlerin odun korumadaki kullanım olanakları araştırılmıştır. Daha ileriki ekolojik sentezler için referans bir kaynak olabileceği düşünülmektedir.

Bak ve Németh (2018), 'Farklı nanopartikül işlemlerinin ahşabın çürüme direncine etkisi' adlı araştırmayı yapmışlardır. Araştırmada, beş farklı nanopartikülün (çinko oksit, çinko borat, gümüş, bakır ve bakır borat), farklı konsantrasyonlardaki etkinliği, *Coniophora puteana* ve *Coriolus versicolor* mantarlarına karşı gösterdikleri performansla değerlendirilmiştir. Testler iki farklı ağaç türü (kayın ve çam) kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca nanopartiküllerin yıkanmaya karşı direncini araştırmak için de testler yapılmıştır. Genel olarak, incelenen nanopartiküllerin esmer ve beyaz çürük mantarlarına karşı etkinlikleri farklı sonuçlar vermiştir. Araştırılan mantarlardan biri, bazı durumlarda (çinko oksit, gümüş nanoküpler ve bakır) nanopartiküllere tolerans göstermiştir. En etkili nanopartikül borat içeren varyasyonlarda tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yalnızca çinko oksit, bakır ve gümüş nanopartiküller, yıkanmaya karşı yüksek bir direnç göstermiştir. Ayrıca, bakır nanopartiküller, daha yüksek konsantrasyonlarda daha etkili bulunmuştur. Bu

tez çalışmasında nano-okisitlerin etkinliği sadece mantar çürüklük testinde değil farklı testlerle de ortaya koyulmuştur.

Favarim ve Leite (2018), ‘Çam odununda yangın geciktiricilik ve UV koruması açısından ZnO nanopartiküllerinin performansı’ adlı araştırmayı yapmışlardır. Bu çalışmada, çinko oksit (ZnO) nanopartiküllerinin çam ağacının ateşe ve UV radyasyonuna karşı direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır. ZnO nanopartikülleri, sulu çinko nitrattan proteik bir sol-jel yöntemi ile hazırlanmıştır. Kurutulmuş örnekler, ağırlıkça %1 odun miktarında sulu bir ZnO nanopartikül çözeltisine daldırma yöntemiyle emprenyeye edilmiştir. Örnekler yangın geciktirmeyi test etmek için açık aleve, UV direncini test etmek için ise yüksek basınçlı bir UV lambasının etkisine maruz bırakılmışlardır. Sonuçlar, ZnO nanopartikülleri ile emprenyeden sonra yangın geciktirmede ve UV radyasyon direncinde bir iyileşme göstermiştir. Bu tez çalışmasında ZnO’den başka 4 farklı nano-oksitin de yanma testleri yapılmış ve karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Holy (2018), ‘Odun korumada nano-bileşiklerin etkisi’ adlı yüksek lisans tez çalışmasını yapmıştır. Çalışmada magnezyum oksit, çinko oksit, alüminyum oksit, titanyum oksit bileşiklerinin %0,5’lik konsantrasyonunu kullanmıştır. Nano-oksitler hem su alımını azaltmış hem de yanma özelliklerini kontrol örneğine kıyasla iyileştirmiştir. Ayrıca esmer çürüklük mantarı *Coniophora puteana*’ya karşı kontrol örneklerine kıyasla daha düşük ağırlık kaybı elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında daha yüksek konsantrasyonda (%1,0) hazırlanan nano-oksitler ile emprenyeye edilen örneklerin performansları ortaya koyulmuştur.

Dizman Tomak vd. (2018), ‘Tanen içeren kaplamaların ahşabın hava koşullarına dayanıklılığına etkisi: Çinko ve seryum oksit nanopartiküller ile kombinasyonu’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada, çinko ve seryum oksit nanopartikülleri ile kombine edilmiş tanen içeren kaplamanın, yapay hava koşullarından sonra sarıçam odununun renk, parlaklık, yüzey pürüzlülüğü ve makroskopik değişiklikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 3 farklı tanen türü, çeşitli konsantrasyonlarda valeks, mimoza ve çam, 2 metal oksit, nano çinko ve seryum oksit ve su bazlı şeffaf kaplama kullanılmıştır. Ticari olarak temin edilebilen nano ahşap kaplama, referans kimyasal olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, ahşap yüzeylerin koyu renge döndüğünü, ilk parlaklığını yitirdiğini ve 1512 saat hava koşullarından sonra daha pürüzlü hale geldiğini göstermiştir. Tanen ve nanometal oksit içeren kaplamalarla kaplanmış numuneler, referans ve kontrollere göre bozunma faktörlerine karşı daha iyi koruma sergilemiştir. İşlemler arasında, düşük konsantrasyonlu tanen ve seryum oksit seviyelerinin, yüksek konsantrasyon seviyeleri ve çinko okside kıyasla ahşap

yüzeylerin korunmasında daha etkili olduğu bulunmuştur. ZnO ile mimoza ve çam tanenleri kombinasyonları ile muamele edilen örneklerin iklimlendirme testinden sonraki değerleri ve CeO<sub>2</sub> ile valeks ve çam tanenleri kombinasyonları ile muamele edilen numunelerin test sonuçları daha iyi bulunmuştur. Böyle bir kombinasyon sistemi, doğal antioksidanların şeffaf kaplamalara eklenmesiyle pahalı inorganik nanopartiküllerin miktarının azaltılabileceğini göstermiştir. Bu tez çalışmasında da nano-oksitlere kıyasla çok daha ucuz ve çevre dostu olan yapay antioksidanlar ve GRAS bileşiklerinin kombinasyonu ve bu kombinasyonların yapılan testlerdeki performansları araştırılmıştır.

Lin vd. (2018), 'Ahşap malzemeler için nano-Ag / TiO<sub>2</sub> küf önleme maddesinin modifikasyonu ve karakterizasyonu' adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada, nano-Ag/TiO<sub>2</sub>, bir silan bağlama maddesi (caminopropiltrietoksisilan [KH-550]) ile modifiye edilmiş ve daha sonra vakumla emprenye edilmiştir. KH-550 konsantrasyonu, Ag/TiO<sub>2</sub> konsantrasyonu, reaksiyon sıcaklığı ve inkübasyon süresinin ahşap malzemeler için küf önleyici hız, yükleme miktarı ve yıkanma direnci üzerine etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, küf önleyici işlem görmüş ahşabın küf önleyici oranı, yükleme miktarı ve sabitleme oranının KH-550 modifikasyonu ile güçlendirildiğini göstermiştir. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ile karakterizasyon, modifiye nano-Ag /TiO<sub>2</sub>'nin ahşap hidroksil grupları ile verimli bir şekilde çapraz bağlandığını göstermiştir. Nano-Ag/TiO<sub>2</sub> ahşap örneklerde dayanıklı küf önleyici ajan geliştirmek için basit ve etkili bir yöntem sağlamıştır. Bu tez çalışmasında nano-oksitlerin başka kimyasal gruplarla kombinasyonunun odun koruma alanında değerlendirilebilme potansiyeli araştırılmıştır.

Uyup vd. (2019), 'Çinko oksit nanoparçacıkları ve fenolik reçine ile muamele edilen kauçuk ahşabın beyaz çürük mantarı, *Pycnopus sanguineus*'a karşı direncinin artırılması' adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışmada, farklı yüzdelerde çinko oksit (ZnO) nanopartikülleri içeren fenolik reçine veya fenol formaldehit (PF) reçinesi hazırlanmıştır. Bu formülasyonlar şu şekildedir: (1) düşük moleküler ağırlıklı fenol formaldehit reçinesi (LMwPF), (2) suda çözünmüş ağırlıkça % 1,5 nano-ZnO (ZnO/H<sub>2</sub>O) ve (3) LMwPF ve ağırlıkça % 1,5 nano ZnO (LMwPF/ZnO). Kauçuk ağacı numuneleri, vakumla emprenye edilmeden önce 60, 90 ve 120 dakika süreyle hazırlanan çözeltilerine daldırılmıştır. Muamele görmemiş kauçuk ağacı numuneleri, kontrol örneği olarak kullanılmıştır. Muamele edilen kauçuk ağacı numunelerinin beyaz çürüklük mantarına (*Pycnopus sanguineus*) karşı termal stabilite davranışı ve direnci değerlendirilmiştir. Sonuçlar, muamele edilmiş kauçuk ağacının kontrol örneklerine kıyasla daha iyi termal stabiliteye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Çürüme

direnci açısından, LMwPF ve LMwPF/ZnO ile muamele edilmiş kauçuk ağacının beyaz çürük mantarına karşı çok yüksek dirence sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, daha uzun daldırma süresinin uygulanması koşuluyla, ağırlıkça %1,5 nano-ZnO'nun kauçuk ağacına üstün dayanıklılık kazandırmada yeterli olabileceğini göstermiştir. Bu tez çalışmasında nano-oksit başka kimyasal gruplarla kombine edilmiş ve üstünlük sağlayıp sağlamadığı ortaya koyulmuştur.

Papadopoulos ve Taghiyari (2019), 'Nanoteknolojiye dayalı yenilikçi ahşap yüzey işlemleri' adlı çalışmayı yapmışlardır. Literatürde nano-malzemeler ile yapılmış bazı çalışmaları, odunda iyileşen özellik ve kullanılan materyal bazında tablolastırılmış ve literatüre sunmuşlardır (Tablo 4).

Literatürde nano-malzemeler ile yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bunlardan önemli bazıları Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. Literatürde nano-malzemeler ile yapılmış bazı çalışmalar (Papadopoulos ve Taghiyari, 2019).

İyileşen özellik	Kullanılan nanomateryal	Referans
Su alma oranı	TiO <sub>2</sub>	Ottersbach ve Anders (1999); Du vd. (2007)
	Nano silika	Nikolic vd. (2015); Bak vd. (2019)
	SiO <sub>2</sub> , ZnO, TiO <sub>2</sub>	Feng vd. (2002); Civardi vd. (2016)
	Ag nanoparçacıkları	Mantanis ve Papadopoulos (2010); Polo vd. (2011);Civardi vd. (2016)
	CuO	Civardi vd. (2015)
UV dayanımı	TiO <sub>2</sub>	Meijer (2001); Zayat vd. (2007)
	ZnO	Evans vd. (1996); Auclair vd. (2011)
	Nano silika	Zhang vd. (2013)
Yangın dayanımı	TiO <sub>2</sub>	Weichelt vd. (2010); Cristea vd. (2011)
	ZnO	Mahltig vd. (2008)
	SiO <sub>2</sub>	Teizer vd. (2012)
	Ag, TiO <sub>2</sub> , ZnO	Akhtari ve Ganjipour (2013); Thomas vd. (2015)
	ZnO, B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Zn <sub>3</sub> , CuO	Mantanis vd. (2014); Civardi vd. (2015); Reinprecht vd. (2015); Reinprecht ve Vidholdova (2017)

Tablo 4'ün devamı

Yangın dayanımı	Ag nanoparçacıkları	Polo vd. (2011); Akhtari ve Ganjipour (2013); Moya vd. (2017)
	TiO <sub>2</sub>	Gladiş vd. (2010); De Filpo vd., 2013; Goffredo vd. (2017)
Mekanik özellikler	Ag nanoparçacıkları	Bayani vd. (2019); Taghiyari vd. (2019)
	Nano silika	Salleh vd. (2013); Zhang vd. (2013)
	CuO	Civardi vd. (2016)
	Seramik nanopartiküller	Mahltig vd. (2008)

Xia vd. (2020), 'Yeni ve çevre dostu kuştüyü protein bazlı ahşap koruyucuların çoklu analizi ve karakterizasyonu' adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada, protein kaynağı olarak tüy kullanılmış ve nano taşıyıcı olarak nano-hidroksiapatit veya nano-grafen oksit içeren odun koruyucuları bakır ve bor tuzları ile birleştirilmiştir. Emprenye ve çürüme deneyi sırasında koruyucu formülasyonların işlenebilirliği, kimyasal yapı değişiklikleri, mikromorfoloji, kristallik, termal özellikleri ve ahşap hücre duvarlarının kimyasal bileşimi koruyucunun tutma oranı sırasıyla Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), elektronik mikroskopi-enerji dağıtıcı spektrometre (SEM-EDS), X-ışını ayırma (XRD), termoanaliz (TG) ve konfokal Raman mikroskobu (CRM) teknikleriyle araştırılmıştır. Sonuçlar, koruyucuların (özellikle nano taşıyıcı ile) ahşap örneklerle başarılı bir şekilde nüfuz ettiğini ve protein bazlı koruyucunun nano taşıyıcı formülasyonlarla artırılmış etkinliğini doğruladığını ortaya koymuştur. Çalışma, kombinasyon haline getirilip kullanılan üç koruyucu grubun mükemmel işlevini ispatlamıştır. Bu tez çalışmasında ise nano-oksitlerin farklı kimyasal gruplarıyla kombinasyonunun etkinlikleri ortaya koyulmuştur.

Nagarajappa vd. (2020), 'Nano çinko oksit ile kaplanmış asetillenmiş ahşabın fotostabilitesi' adlı araştırmayı yapmışlardır. Bu çalışmada, ahşabın UV stabilitesini artırmak için asetilasyonunun ve nano malzemenin ahşap yüzeylere uygulanmasının sinerjistik etkisi araştırılmıştır. Çinko oksit (ZnO) nanodispersiyonu ile kaplanmış asetillenmiş *Wrightia tinctoria* ağacının foto-stabilitesi, bu ahşap numuneleri hızlandırılmış bir yaşlandırma test cihazında UV radyasyonuna maruz bırakılarak değerlendirilmiştir.

Muamele edilmemiş ve edilmiş ahşap yüzeylerin ZnO nanodispersiyon ile kaplanması, ağaç polimerlerinin foto-renk değişimini ve bozulmasını azaltmıştır. Işık ışınlaması üzerine kimyasal olarak modifiye edilmiş ahşapta gözlemlenen ışıkla ağartma, ahşap yüzeylere nano kaplama uygulanmasıyla daha da artırılmıştır. Bu tez çalışmasında nano-oksitlerin başka kimyasal gruplarla kombinasyonu araştırılmıştır.

Liu vd. (2020), ‘Ahşabın emprenyesi için tasarlanmış nano-SiO<sub>2</sub> ile stabilize edilmiş parafin toplama emülsiyonları’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada kavak ağacını emprenye etmek için düşük dispersiyonlu SiO<sub>2</sub> nanoküreler ile stabilize edilmiş parafin toplama emülsiyonu kullanılmıştır. Emülsiyonun mikro yapısı ve depolama stabilitesi değerlendirilmiştir. Muamele edilmiş ahşabın boyutsal kararlılığı, su alım oranı, ıslanabilirliği ve termal kararlılığı da araştırılmıştır. Homojenizasyondan sonra, nano-SiO<sub>2</sub> (~ 76 nm çapında) ile stabilize edilmiş süt beyazı su içinde yağ parafin toplama emülsiyonu oluşmuş ve mükemmel depolama kararlılığı göstermiştir. Parafin toplama emülsiyonu ahşap yapıya nüfuz etmiştir. Emülsiyonla işlenmiş ahşap, orta düzeyde şişme önleme etkinliği, yüksek su direnci ve düşük ıslatılabilirlik özelliklerine sahip olmuştur. Ayrıca nano-SiO<sub>2</sub> ilavesi, işlenmiş ahşabın termal stabilitesini artırmıştır. Bu tez çalışmasında ise nano-SiO<sub>2</sub>’nin farklı kimyasal gruplarla kombinasyonu araştırılmıştır.

Xu vd. (2020), ‘Nano silika solun emprenye edilmesi ile Çin köknar ağacının mekanik, hidrofobik ve termal özelliklerinin iyileştirilmesi’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmada, ticari ölçekli nano silika (SiO<sub>2</sub>) sol ve Çin Gökknarı (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) kullanılarak ve vakum/basınç emprenye teknolojisi uygulanarak yerinde polimerizasyon yoluyla bir ahşap-SiO<sub>2</sub> kompozit malzemesi hazırlanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X-ışını kırınımı (XRD), termogravimetrik analiz (TG) ve su temas açısı, mikro yapıdaki değişiklikleri ve fiziksel ve mekanik özellikleri incelemek için kullanılmıştır. Sonuçlar, silika solun odunun hücre boşluklarına ve hücre duvarlarının yüzeyine girip dağılabildiğini göstermiştir. Bu tez çalışmasında da nano-silikanın (SiO<sub>2</sub>) sarıçam odunundaki dağılımı, odunla kimyasal bağlardaki etkileşimi araştırılmış ve farklı kimyasallarla kombinasyonunun etkileri ortaya konmuştur.

Nano-oksitlerin odun korumada değerlendirilebilmesi umut vaat edici olduğu yapılan çalışmalar ile görülmektedir. Fakat nano-oksitlerin maliyetleri yüksektir ayrıca çözücüleri farklıdır. Holy (2018), çalışmasında nano-oksitleri asetonda çözmüştür. Muhçu (2015), nano-çinkoyu etanolde, nano-kromu amonyakta, nano-sezyum ve nano-titanyumu ise

amonyakta çözmüştür. Çözücülerin fiyatı ve türü göz önüne alındığında endüstriyel anlamda uygulanmasının çok maliyetli olacağı görülmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan nano-oksitler ise su içerisinde disperse edilmiş (aktifleştirilmiş) formdadır. Herhangi bir nano-oksitin laboratuvarında aktiveleştirme işlemi için çok pahalı ekipmanlara ihtiyaç vardır fakat üretici firmadan aktiveleştirilmiş şekilde alınmış olması endüstriyel anlamda da diğer çözücülere kıyasla daha uygulanabilir olmasını sağlayabilecektir. Burada bahsi geçen nano-oksitler herhangi bir suda çözünen emprenye maddesi gibi su ile seyreltilmiştir.

Ayrıca yapılan çalışmalarla birden çok bileşiğin kullanımının sinerjik etki sayesinde bileşikler tek başına kullanılmaktan çok daha etkili sonuçlar verdiği verilen literatür bilgilerinde de görülmektedir. Yapay antioksidanlar ve onlardan daha da zararsız olan GRAS bileşikler nano-oksitlere göre daha ucuzdur fakat nano-oksitler kadar uzun ömürlü değildir. Dolayısıyla bu tarz maddelerin kombinasyonlarıyla istenilen etkideki koruma düzeyi daha ucuz maliyetlerle sağlanabilir. Bu çalışmada amaçlanan da daha çevreci, daha maliyeti düşük kombinasyonlarla istenilen performansı sağlayan en iyi kombinasyon grubunu/gruplarını bulmak ve literatüre sunmaktır.

## **1.10. Tez Kapsamında Kullanılan Modelleme ve Optimizasyon Yöntemleriyle İlgili Genel Bilgiler**

### **1.10.1. Modelleme**

#### **1.10.1.1. Çoklu Doğrusal Regresyon**

Bir problemin çıktısı olan bağımsız değişkeni, çıktıyı etkileyen bağımlı değişken veya değişkenleri kullanılarak tahmin edilmesine en basit anlamda modelleme denilmektedir. Bu amaçla kullanılan en basit yöntemlerden biri regresyon modelleridir. Eğer bir bağımlı değişken bir bağımsız değişken ile açıklanıyorsa bu durumda basit regresyon modeli kurulurken bir bağımlı değişken birden fazla bağımsız değişken parametre ile açıklanıyorsa çoklu regresyon modeli kurulmalıdır. Çalışma kapsamında, çoklu regresyon modeline geçmeden önce basit doğrusal regresyon modeli açıklanmıştır. Araştırmacılar bir problemi çözerken genellikle kısıtlı veri ile çalışmaktadır. Dolayısıyla ara değerleri tahmin eden yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Bu yöntemler genel olarak eğri uyumlama (curve fitting) yöntemleri olarak bilinmektedir. Bu yöntemlerden biri olan basit regresyon modelinin matematiksel ifadesi Denklem 1'de verilmiştir.



$$y = a_0 + a_1x + e \quad (1)$$

Burada  $a_0$  ve  $a_1$  uyumlanan doğrunun katsayıları,  $e$  de uyumlanan eğri ile veri değeri arasındaki fark ya da hatadır. Bu eşitlikten hata değeri çekilerek  $i$ . veri değeri için hata ifade Denklem 2’de gösterildiği gibi elde edilmektedir.

$$e_i = y_i - a_0 + a_1x_i \quad (2)$$

Veri setinde  $n$  tane veri noktası bulunuyorsa bu durumda hata değerleri toplamı Denklem 3’te gösterildiği gibi yazılabilmektedir.

$$\sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 + a_1x_i) \quad (3)$$

Denklem 1’de verilen modelin katsayılarının belirlenebilmesi için en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır. Toplam hatayı minimum yapmak için hata kareleri toplamının minimum olması gerekmektedir. Dolayısıyla Denklem 4’te gösterildiği gibi gerçek sonuç ile modelin ürettiği sonuçlar çıkarılarak karesi alındıktan sonra toplama yapılmalıdır.

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_{i,gerçek} - y_{i,tahmin})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 + a_1x_i)^2 \quad (4)$$

Burada  $S_r$  hata karelerinin toplamını ifade eden fonksiyondur. Dolayısıyla bu fonksiyonu minimum yapan  $a_0$  ve  $a_1$  değerlerini belirlemek, veri değerlerini en iyi temsil eden doğrusal fonksiyonu belirlemek demektir.  $S_r$  fonksiyonunu minimum yapan  $a_0$  ve  $a_1$  değerlerinin belirlenmesi için fonksiyonun  $a_0$  and  $a_1$  katsayılarına göre türevlerini sıfıra eşitlemek gerekir. Her iki katsayıya göre Denklem 5 ve Denklem 6’da gösterildiği türevler alınmaktadır.

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 + a_1x_i) \quad (5)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 + a_1 x_i) x_i \quad (6)$$

Daha sonra elde edilen ifadeler Denklem 7 ve 8'de gösterildiği gibi sıfıra eşitlenmelidir.

$$0 = \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n a_0 + \sum_{i=1}^n a_1 x_i \quad (7)$$

$$0 = \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n a_0 x_i + \sum_{i=1}^n a_1 x_i^2 \quad (8)$$

Gerekli düzenlemeler yapılırsa aşağıda gösterildiği gibi iki bilinmeyenli iki denklemden oluşan bir denklem sistemi (Denklem 9 ve 10) elde edilir.

$$n a_0 + \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) a_1 = \sum_{i=1}^n y_i \quad (9)$$

$$\left( \sum_{i=1}^n x_i \right) a_0 + \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a_1 = \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (10)$$

Sonuç olarak bu denklemler eş zamanlı çözümlerse  $a_0$  ve  $a_1$  katsayıları sırasıyla Denklem 11 ve 12'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (11)$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - a_1 \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (12)$$

Elde edilen katsayılar kullanılarak doğrusal regresyon modeli elde edilebilmektedir. Günümüz problemlerin çoğunda iki ya da daha fazla bağımsız değişken bulunmaktadır. Bu durumlarda basit regresyon modeli yerine çoklu doğrusal regresyon modeli kullanılmalıdır.

İki değişkene sahip çoklu doğrusal regresyon modeli genel olarak Denklem 13'te ifade edilmektedir.

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + e \quad (13)$$

Tekli regresyon modelinde olduğu gibi  $a_0$ ,  $a_1$  ve  $a_2$  katsayıları bulmak için hata kareleri toplamı kullanılmakta olup Denklem 14'te gösterildiğı gibi ifade edilmektedir.

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_{1,i} - a_2x_{2,i})^2 \quad (14)$$

Denklem 14'te verilen hata fonksiyonun  $a_0$ ,  $a_1$  ve  $a_2$  katsayılarına göre türevleri sırasıyla Denklem 15, 16 ve 17'de verilmiştir.

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_{1,i} - a_2x_{2,i}) \quad (15)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_{1,i} - a_2x_{2,i}) x_{1,i} \quad (16)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_{1,i} - a_2x_{2,i}) x_{2,i} \quad (17)$$

Sonuç olarak Denklem 13'te gösterilen katsayılar, kısmi türevler sıfıra eşitlenerek ve sonucu matris biçiminde ifade edilerek Denklem 18'deki gibi elde edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{1,i} & \sum_{i=1}^n x_{1,i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1,i} & \sum_{i=1}^n x_{1,i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{2,i} \\ \sum_{i=1}^n x_{2,i} & \sum_{i=1}^n x_{1,i} x_{2,i} & \sum_{i=1}^n x_{2,i}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{1,i} y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{2,i} y_i \end{bmatrix} \quad (18)$$

Yukarıdaki elde edilen iki boyutlu durum, Denklem 19'da gösterildiği gibi kolayca m boyutuna genişletilebilir.

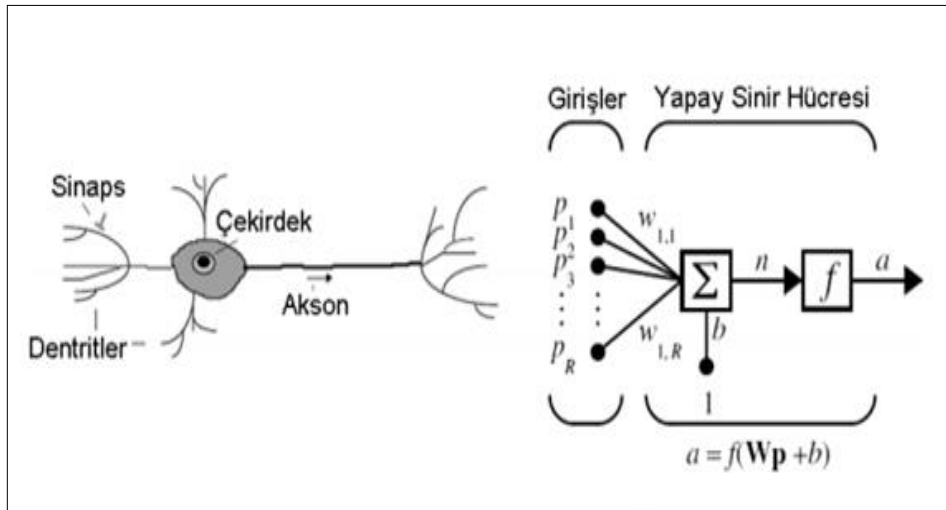
$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m + e \quad (19)$$

Böylece m tane bağımsız değişkene sahip bir problem için modeller elde edilebilmektedir.

### 1.10.1.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

#### 1.10.1.2.1. Giriş

Yapay sinir ağları (YSA), en basit tanımıyla insan beyninin öğrenme sürecini taklit eden bilgisayar sistemidir. Sağlıklı bir insanda yaklaşık olarak 10 milyar nöron (sinir hücresi) ve 60 trilyon sinaps (bağlantı noktası) olduğu düşünülmektedir. Bu milyarlarca sinir hücresinin bir araya gelmesi ile sinir sistemimiz oluşmaktadır. İnsan beyninde sinapslarda üretilen sinyallerin bilgileri, dendritler vasıtasıyla toplanarak çekirdeğe iletilmekte ve işlenen çıktı bilgileri diğer sinir hücrelerine aksonlar ile taşınmaktadır. YSA da tam olarak bu mekanizmayı kullanarak çalışmaktadır (Haykin, 1994; Beale vd., 1996). Genel olarak biyolojik sinir ağı ve YSA'nın temel elamanları Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Biyolojik sinir ağı ve YSA

Basit bilgi işlem birimlerine sahip bir yapay sinir ağı, edinilen bir bilgiyi depolayarak daha sonra kullanıma sunan ve büyük ölçüde paralel dağıtılmış bir işlemci olarak nitelendirilmektedir. Dolayısıyla bir YSA, insan beyni ile iki açıdan paralellik göstermektedir (Haykin, 1994);

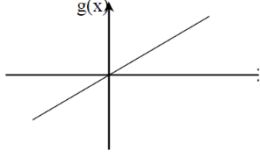
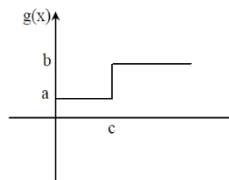
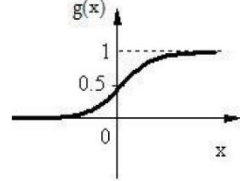
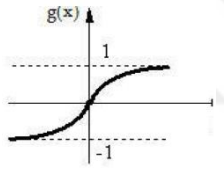
1. Bilginin dış ortamdan elde edilmesinde öğrenme süreci devreye girmektedir
2. Nöron bağlantı kuvvetleri, edinilen bilgiyi depolamak için kullanılmaktadır.

YSA, girdi, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş temel elemandan oluşmaktadır. Çevreden veya başka bir hücreden alınan bilgiler, girdi olarak tanımlanmaktadır. Ağırlıklar, mevcut bilginin hücre üzerindeki etkisini gösteren elmanlardır. Hücreye gelen bütün girdileri işleyerek net girdiyi hesaplamak için toplama fonksiyonu kullanılmaktadır. Toplama fonksiyonu için toplam, çarpım, maksimum ve minimum gibi fonksiyonlar bulunmakla beraber literatürde en yaygın olan Denklem 20'de gösterilen toplam fonksiyonudur.

$$Net = \sum_{i=1}^n X_i * W_i \quad (20)$$

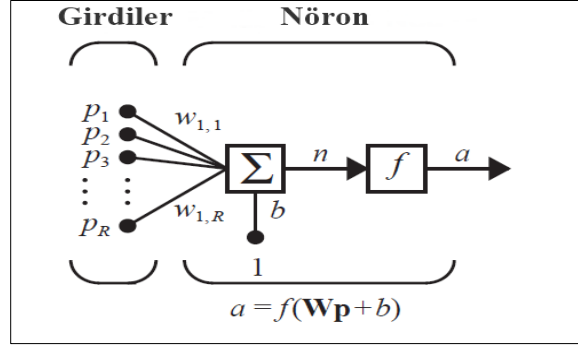
Burada  $X$  girdi değerini,  $W$  ilgili girdinin ağırlık değerini ve  $n$  girdi sayısını göstermektedir. Girdiler, ilgili ağırlıklar ile çarpılır ve tüm değerler toplanarak net girdi hesaplanır. Toplama fonksiyonundan gelen net girdi, aktivasyon fonksiyonunda işlenerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktı belirlenmektedir. Toplama fonksiyonunda olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu için de farklı alternatifler bulunmaktadır. Literatürde kullanılan bazı önemli aktivasyon fonksiyonları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonu	Matematiksel gösterim	Grafik	MATLAB Fonksiyonu
Doğrusal	$g(x) = x$		purelin
Basamak	$g(x) = \begin{cases} a, & x < c \\ b, & x \geq c \end{cases}$		hardlim
Sigmoid	$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$		logsig
Hiperbolik tanjant	$g(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$		tansig

YSA'nın son elmanı olan çıktı, aktivasyon fonksiyonu tarafından üretilen nihai çıktı değeridir. Üretilen çıktı ya dış dünyaya ya da başka bir hücreye girdi olarak gönderilebilmektedir.

YSA temel olarak gizli ve çıktı katmanları olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. Bununla beraber yalnızca doğrusal problemleri çözebilen, girdi ve çıktı katmanında oluşan basit YSA modelleri de bulunmaktadır. Fakat bu basit YSA türleri günümüz mühendislik problemlerini çözmek için yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla bir veya daha fazla gizli katmana sahip karmaşık YSA modelleri kullanılmaktadır. Çok katmanlı bir YSA modelinin parçası olan tipik çok girdili nöron yapısı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Çok girdili nöron yapısı (Beale vd., 1996).

Burada  $R$  girdi sayısı olmak üzere girdiler ( $p_1, p_2, \dots, p_R$ ) ve bias ( $b$ ) değerleri, ilgili ağırlıklarla ( $w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,R}$ ) çarpılarak toplama fonksiyonuna girmektedir. Elde edilen bu bilgi ( $n$ ), bir aktivasyon fonksiyonundan ( $f$ ) geçerek nöron çıktısı elde edilmektedir. Daha önce değinildiği gibi biyolojik nöronla tekrar ilişkilendirirsek, ağırlık ( $w$ ) bir sinaps gücüne karşılık gelmekte, hücre gövdesi toplama ve transfer fonksiyonunu içermekte ve nöron çıkışı ( $a$ ) akson üzerindeki sinyali temsil etmektedir (Beale vd., 1996). Bu süreci matematiksel olarak ifade etmek gerekirse, ilk olarak girdiler ve bias değerinin toplama işlemi Denklem 21’ de gösterildiği gibi yapılmaktadır.

$$n = p_1 w_{1,1} + p_2 w_{1,2} + \dots + p_R w_{1,R} + b \quad (21)$$

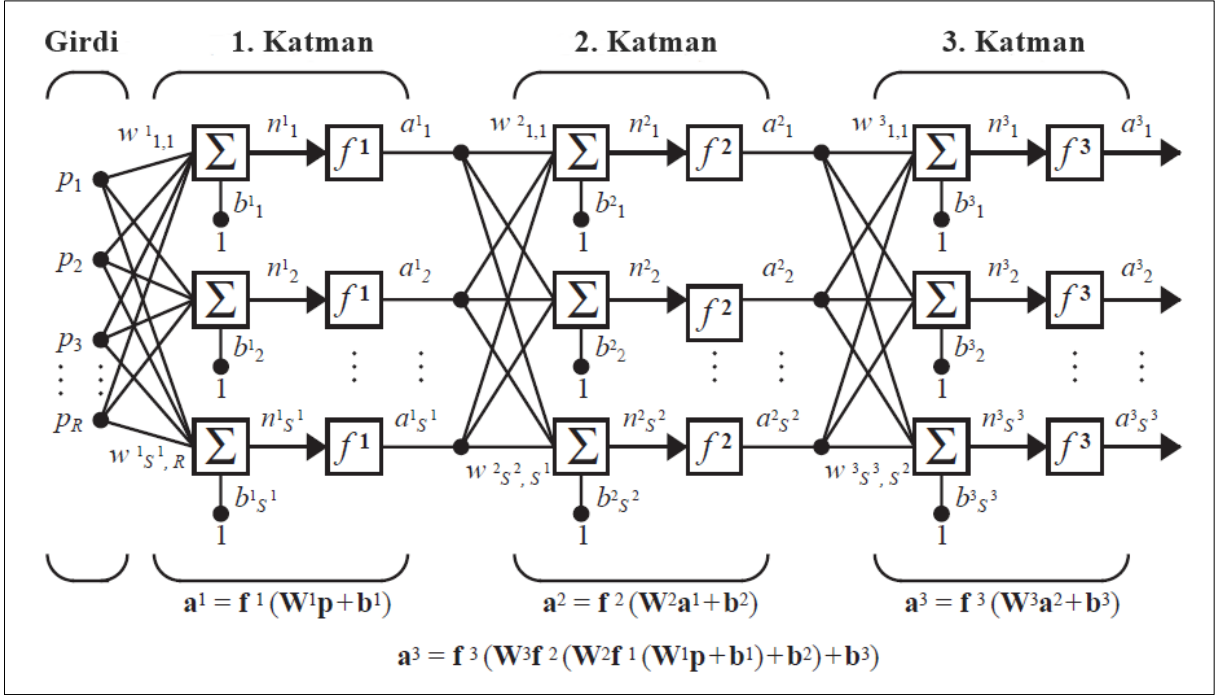
Burada tek bir nöron yapısı gösterilmiş olmasına karşın bir YSA modelinde birden fazla sayıda katman ve nöron bulunmaktadır. Dolayısıyla ifade kolaylığı açısından Hagan vd. (Beale vd., 1996) tarafından yayımlanan “*Neural Network Design*” kitabındaki notasyon sistemi kullanılmıştır. Skaler ifadeler için küçük italik harfler ( $a, b, c$ ), vektörler için küçük kalın harfler ( $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$ ) ve matrisler için büyük kalın harfler ( $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}$ ) tercih edilmiştir. Sonuç olarak Denklem 21’deki ifade aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir.

$$n = \mathbf{Wp} + b \quad (22)$$

Daha sonra elde edilen bu değer Denklem 23’te gösterildiği gibi bir aktivasyon fonksiyonunda işlenmektedir.

$$a = f(\mathbf{Wp} + b) \quad (23)$$

Daha önce değinildiği gibi günümüz mühendislik problemlerin çözümü için çok katmanlı bir ağ yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Böyle bir yapıya sahip bir YSA modeli Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Çok katmanlı ağ yapısı (Beale vd., 1996).

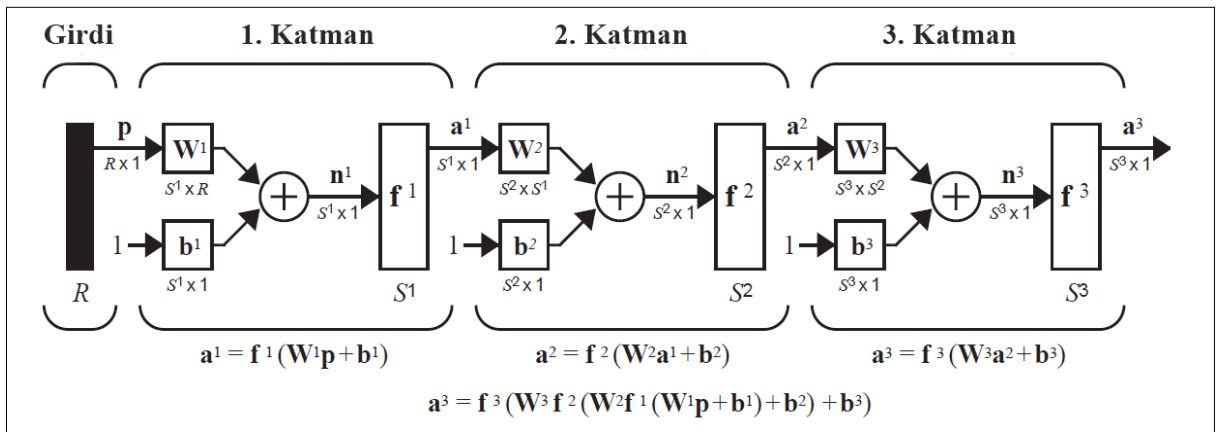
Her katmana ait ağırlık matrisi ( $\mathbf{W}$ ), bias vektörü ( $\mathbf{b}$ ), net giriş vektörü ( $\mathbf{n}$ ) ve çıkış vektörü ( $\mathbf{a}$ ) bulunmaktadır. Şekil 10'da gösterildiği gibi katmanları tanımlamak için üst simge kullanmıştır. Dolayısıyla,  $\mathbf{W}^1$  birinci katman için ağırlık matrisini gösterirken  $\mathbf{W}^2$  ikinci katman için ağırlık matrisini ifade etmektedir (Beale vd., 1996). Ayrıca, R girdi sayısını,  $S^1$  birinci katmana ait nöron sayısını,  $S^2$  ikinci katmana ait nöron sayısını ve  $S^3$  üçüncü katmana ait nöron sayısını göstermektedir. Ağ çıktısının elde edildiği son katman, çıktı katmanı olarak ifade edilirken diğer katmanlar gizli katman olarak adlandırılmaktadır. Şekil 10'da verilen ağ yapısı, iki gizli katmana (katman 1 ve 2) ve bir çıktı katmana (katman 3) sahiptir.

YSA modelinin doğru bir şekilde çalışabilmesi için temel ağ parametrelerin, ele alınan problem yapısına uygun olması gerekmektedir. Genellikle fonksiyon yaklaşım problemlerinde çıktı ve girdi nöron sayısı, sırasıyla problemin bağımlı ve bağımsız değişken sayısı ile aynı olmaktadır. Çıktı katmanında bilgilerin işleneceği transfer fonksiyonu, problem çıktı yapısına göre belirlenmektedir. Örneğin bir sınıflandırma problemi ele



alınıyorsa, basamak fonksiyonu kullanılması daha uygun olacaktır. YSA modeli kurulurken belirlenecek diğer bir önemli parametre gizli katmandaki nöron sayısıdır. Genellikle uygun nöron sayısı, problemin yapısına bağlı olarak denemeler gerçekleştirilerek tespit edilmektedir. Son olarak gizli katman sayısının belirlenmesi de gerekmektedir. Birçok problem için genellikle iki veya üç katman yeterli olmakla beraber literatürde nadiren daha fazla katmana sahip ağ yapıları da görülmektedir.

YSA'da önemli konulardan biri de ağı eğitilmesidir. Aslında bir YSA'nın eğitimi, ağda bulunan ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemidir. Bu amaç doğrultusunda bazı öğrenme algoritmaları bulunmaktadır. Çok katmanlı bir YSA'nın eğitimi için 1980'li yıllarda Geriye Yayılım Algoritması geliştirilmiş ve bu algoritma temel algoritma olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte, günümüz mühendislik problemlerinde temel Geriye Yayılım Algoritması kullanılması eğitim süresini açısından makul olmayan sonuçlar doğurmaktadır. Dolayısıyla algoritmanın yakınsama hızını arttırmak için araştırmalar yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Bu çalışmalardan en bilinenleri Konjuge Gradyan Algoritması (Conjugate Gradient Algorithm) ve Newton'un yönteminin bir varyasyonu olan Levenberg-Marquardt algoritmasının geliştirilmesidir. Bu iki öğrenme algoritması çok katmanlı YSA modellerinin eğitiminde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Literatürde özellikle Levenberg-Marquardt algoritması sıklıkla kullanılmakta olup bu algoritmanın temel adımları Beale vd. (1996) tarafından aşağıda verildiği gibi 4 adımda özetlenmiştir. Algoritmanın adımları, Şekil 10'da verilen ağ yapısının kısaltılmış hali olan Şekil 11'te gösterilen yapı üzerinden anlatılmıştır.



Şekil 11. Çok katmanlı ağı kısaltılmış gösterimi (Beale vd., 1996).

**1. Adım:** Tüm girdiler ağa sunularak karşılık gelen çıktı değerleri hesaplanır ve hatalar elde edilir (Denklem 24 ve 25).

$$\mathbf{a}^0 = \mathbf{p} \quad (24)$$

$$\mathbf{a}^{m+1} = \mathbf{f}^{m+1}(\mathbf{W}^{m+1}\mathbf{a}^m + \mathbf{b}^{m+1}) \quad m = 0, 1, \dots, M - 1 \quad (25)$$

Burada  $M$ , ağdaki toplam katman sayısını göstermektedir.  $\mathbf{a}^0$ , problemin girdilerini oluştururken  $\mathbf{a}^{m+1}$  ilgili katmana ait ( $m+1$ . katman) girdi bilgisidir. Çok katmanlı ağlarda herhangi bir katmanın çıktısı kendisinden bir sonraki katmanın girdisini oluşturma ve bu süreç son katmana kadar ilerlemektedir. Ortalama hata karesi, çok katmanlı ağların eğitimi için kullanılan performans endeksi olup eğitim veri setine ait çıktıların tümünün tüm iterasyonlar sürecinde eşit olarak kullanıldığı çoğu durumda hata kareleri toplamıyla orantılı olmaktadır. Dolayısıyla hata kareleri toplamı, hesaplama kolaylığı sağladığı için performans endeksi olarak kullanılmaktadır. Hata kareleri toplamı Denklem 26'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$F(\mathbf{x}) = \sum_{q=1}^Q (\mathbf{t}_q - \mathbf{a}_q)^T (\mathbf{t}_q - \mathbf{a}_q) = \sum_{q=1}^Q \mathbf{e}_q^T \mathbf{e}_q = \sum_{q=1}^Q \sum_{j=1}^{S^M} (e_{j,q})^2 = \sum_{i=1}^N (v_i)^2 \quad (26)$$

Burada  $Q$  veri seti sayısını,  $\mathbf{a}$  girdi değerini ve  $\mathbf{t}$  ilgili girdiye ait çıktı değerini göstermekte olup  $e_{j,q}$ ,  $q$ 'ncü girdi-çıkı çifti için hatanın  $j$ 'inci elementidir. Tüm ağırlık ve bias değerlerini içeren vektör ( $\mathbf{x}$ ) ve tüm eğitim girdilerine ait hata vektörü ( $\mathbf{v}$ ) aşağıdaki gibi (Denklem 27 ve 28) ifade edilmektedir.

$$\mathbf{x}^T = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n] = [w_{1,1}^1 \ w_{1,1}^1 \ \dots \ w_{1,1}^1 \ b_1^1 \ \dots \ b_{s^1}^1 \ w_{1,1}^2 \ \dots \ b_{s^M}^M] \quad (27)$$

$$\mathbf{v}^T = [v_1 \ v_2 \ v_3 \ \dots \ v_n] = [e_{1,1} \ e_{2,1} \ \dots \ e_{s^M,1} \ e_{1,2} \ \dots \ e_{s^M,Q}] \quad (28)$$

**2. Adım:** Jacobian matrisi hesaplanır (Denklem 29).

$$\mathbf{J}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_{1,1}^1} & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_{1,2}^1} & \cdots & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_{S^1,R}^1} & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial b_1^1} & \cdots \\ \frac{\partial e_{2,1}}{\partial w_{1,1}^1} & \frac{\partial e_{2,1}}{\partial w_{1,2}^1} & \cdots & \frac{\partial e_{2,1}}{\partial w_{S^1,R}^1} & \frac{\partial e_{2,1}}{\partial b_1^1} & \cdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \\ \frac{\partial e_{S^M,1}}{\partial w_{1,1}^1} & \frac{\partial e_{S^M,1}}{\partial w_{1,2}^1} & \cdots & \frac{\partial e_{S^M,1}}{\partial w_{S^1,R}^1} & \frac{\partial e_{S^M,1}}{\partial w b_1^1} & \cdots \\ \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_{1,1}^1} & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_{1,2}^1} & \cdots & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_{S^1,R}^1} & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial b_1^1} & \cdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \end{bmatrix} \quad (29)$$

Jacobian matrisini hesaplandıktan sonra Levenberg-Marquardt geriye yayılımı başlamaktadır. İlk olarak çıktı katmanı ( $M$ ) ve diğer katmanlar ( $m$ ) için hassasiyetler hesaplanır (Denklem 30 ve 31).

$$\tilde{\mathbf{S}}_q^M = -\dot{\mathbf{F}}^M(\mathbf{n}_q^M) \quad (30)$$

$$\tilde{\mathbf{S}}_q^m = \dot{\mathbf{F}}^m(\mathbf{n}_q^m)(\mathbf{W}^{m+1})^T \tilde{\mathbf{S}}_q^{m+1} \quad (31)$$

Daha sonra tüm girdiler için hesaplanan matrislerin bir araya getirilmesiyle toplam Marquardt duyarlılık matrisleri, Denklem 32'deki gibi elde edilmektedir.

$$\tilde{\mathbf{S}}^m = [\tilde{\mathbf{S}}_1^m \mid \tilde{\mathbf{S}}_2^m \mid \dots \mid \tilde{\mathbf{S}}_Q^m] \quad (32)$$

Ağırlık ve bias değerleri için sırasıyla Denklem 33 ve 34 kullanılarak Jacobian matrisinin elemanlarını hesaplanır.

$$[\mathbf{J}]_{h,l} = \frac{\partial v_h}{\partial x_l} = \frac{\partial e_{k,q}}{\partial w_{i,j}^m} = \frac{\partial e_{k,q}}{\partial n_{i,q}^m} \times \frac{\partial n_{i,q}^m}{\partial w_{i,j}^m} = \tilde{S}_{i,h}^m \times \frac{\partial n_{i,q}^m}{\partial w_{i,j}^m} = \tilde{S}_{i,h}^m \times a_{j,q}^{m-1} \quad (33)$$

$$[\mathbf{J}]_{h,l} = \frac{\partial v_h}{\partial x_l} = \frac{\partial e_{k,q}}{\partial b_i^m} = \frac{\partial e_{k,q}}{\partial n_{i,q}^m} \times \frac{\partial n_{i,q}^m}{\partial b_i^m} = \tilde{S}_{i,h}^m \times \frac{\partial n_{i,q}^m}{\partial b_i^m} = \tilde{S}_{i,h}^m \quad (34)$$

**3. Adım:**  $\Delta x_k$  hesaplanır (Denklem 35).

$$\Delta \mathbf{x}_k = -[\mathbf{J}^T(\mathbf{x}_k) \mathbf{J}(\mathbf{x}_k) + \mu_k \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{J}^T(\mathbf{x}_k) \mathbf{v}(x_k) \quad (35)$$

Burada  $\mu$  Marquardt parametresi,  $\mathbf{I}$  birim matrisdir.

**4. Adım:** Hata kareleri toplamı, her bir iterasyon sonunda  $x_k + \Delta x_k$  kullanarak yeniden hesaplanır. Hesaplanan yeni kareler toplamı, birinci adımda hesaplanandan daha küçükse  $\mu$  parametresi,  $\vartheta$ 'ye bölünürken daha büyük olduğu durumlarda ise  $\vartheta$  çarpılır.

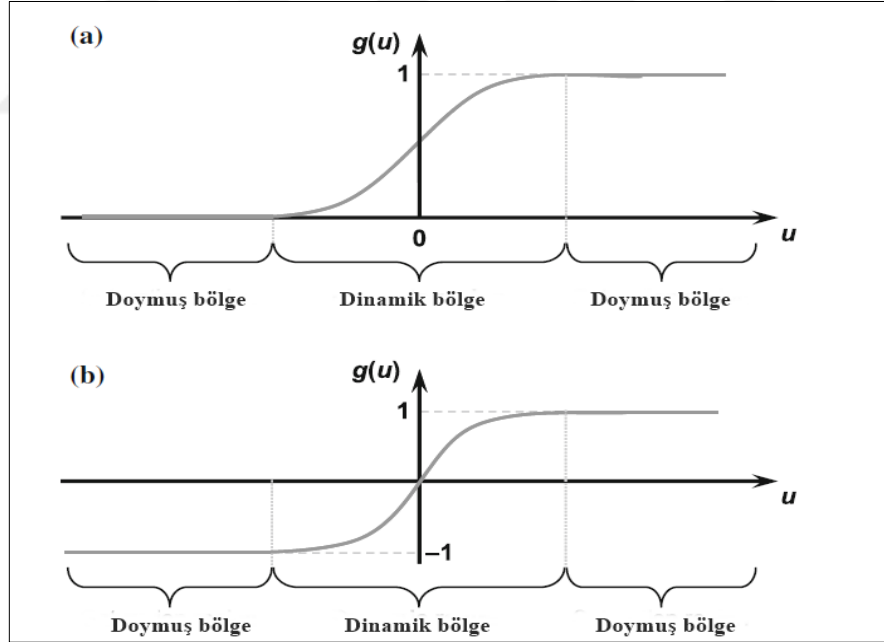
#### 1.10.1.2.2. YSA Eğitiminde Önemli Konular

Yapay sinir ağlarının eğitim işlemi; eğitim öncesi, eğitim süreci ve eğitim sonrası olmak üzere üç bölüme ayrılmakta ve her bölüm için dikkat edilmesi gereken önemli hususlar bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Ağ eğitilmeden önce gerçekleştirilmesi gereken birkaç adım vardır. Bunlar; veri seçimi, veri ön işleme ve ağ yapısının belirlenmesi olarak sıralanmaktadır. Veri seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli konu eğitim verilerinin, ağın kullanılacağı girdi uzayının tamamını kapsamasıdır. Diğer önemli bir konu da verilerin ayrılmasıdır. Eğitim seti genellikle tüm veri setinin yaklaşık %70'ini oluştururken doğrulama ve testlerin her biri yaklaşık tüm veri setinin %15'ini oluşturmalıdır. Bu setlerin her birinin tam veri setini temsil etmesi önemlidir. Verileri bölmenin en basit yöntemi, her veri kümesini tam veri kümesinden rastgele seçmektir. Veri seçimi ile ilgili son konu yeterli verinin olup olmadığıdır. Bu soruyu, özellikle ağı eğitmeden önce cevaplamak oldukça zordur. Gerekli olan veri miktarı, tahmin etmeye çalıştığımız temel fonksiyonun veya uygulamaya çalıştığımız karar sınırlarının karmaşıklığına bağlıdır. Eğer fonksiyon birçok bükülme noktasıyla çok karmaşık yapıya sahipse, bu çok miktarda veri gerektirmektedir. Fonksiyon çok düzgünse ve veriler çok gürültülü değilse veri gereksinimleri önemli ölçüde azalmaktadır. Bununla beraber, ağı eğitmeye başlamadan önce altta yatan fonksiyonun ne kadar karmaşık olduğu bilinmemektedir. Bu nedenle, YSA ile çalışma yapılırken sinir ağı eğitim süreci yinelemeli olarak yapılmalıdır. Eğitimin tamamlanmasının ardından ağın performansı analiz edilmelidir. Genellikle bu analizin sonuçları, yeterli veriye sahip olup olmadığımızı karar vermemize yardımcı olmaktadır (Beale vd., 1996).

Veri ön işleme aşamasının temel amacı, ağ eğitimini kolaylaştırmaktır. Veri ön işleme normalleştirme, doğrusal olmayan dönüşümler, özellik çıkarma, ayrık (discrete) verilerin kodlanması, eksik verilerin işlenmesi vb. adımlardan oluşmaktadır (Beale vd., 1996).

Çok katmanlı ağların gizli katmanlarında genellikle sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon, net giriş üçten büyük veya küçük olduğunda doymuş hale gelmektedir. Şekil 12’de sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlarının doymuş ve dinamik bölgeleri gösterilmiştir. Bu durum, eğitim sürecinin başında gradyan çok küçük olacağı için istenmemektedir. İlk katmanda net girdi, girdi ile ağırlık çarpımı ve bias değerinin toplamıdır. Girdi çok büyükse, transfer fonksiyonunun doymuş hale gelmesini önlemek için ağırlık küçük olmalıdır. Dolayısıyla veriler, ağa uygulamadan önce normalizasyon yapılmalıdır. Böylece, ağ ağırlıklarının küçük rasgele değerlere başlatılması, ağırlık girdi çarpımının küçük olacağını garanti etmektedir. Ayrıca, girdi değerleri normalleştirildiğinde ağırlıkların büyüklükleri, tutarlı bir anlama sahip olacaktır (Beale vd., 1996).



Şekil 12. Sigmoid (a) ve hiperbolik tanjant (b) fonksiyonlarının doymuşluk ve dinamik aralıklarının gösterimi (Da Silva vd., 2017).

Normalleştirme için iki standart yöntem vardır. İlk yöntem, Denklem 36’da gösterildiği gibi verileri standart bir aralığa (tipik olarak -1 ila 1) düşecek şekilde normalleştirir.

$$\mathbf{p}^n = 2(\mathbf{p} - \mathbf{p}^{min})./(\mathbf{p}^{mak} - \mathbf{p}^{min}) - 1 \quad (36)$$

Burada;  $\mathbf{p}^{min}$  ve  $\mathbf{p}^{mak}$  sırasıyla veri kümesindeki girdi vektörlerinin her bir elemanının minimum ve maksimum değerlerini içeren vektör,  $\mathbf{p}^n$  sonuçtaki normalleştirilmiş girdi vektörüdür ve ./ iki vektörün elemanlar arası bölünmesini temsil etmektedir.

Alternatif bir normalleştirme prosedürü, verileri belirlenen bir ortalama ve varyansa (tipik olarak 0 ve 1) sahip olacak şekilde Denklem 37 ile ayarlanmaktadır.

$$\mathbf{p}^n = 2(\mathbf{p} - \mathbf{p}^{ort})./\mathbf{p}^{std} \quad (37)$$

Burada;  $\mathbf{p}^{ort}$ , veri setindeki girdi vektörlerinin ortalamasıdır ve  $\mathbf{p}^{std}$ , girdi vektörlerinin her bir elemanının standart sapmalarını içeren vektördür. Genel olarak, normalleştirme adımı veri kümesindeki hem giriş vektörlerine hem de hedef vektörlere uygulanmaktadır (Beale vd., 1996).

Ağ eğitimi öncesindeki son adım ağ yapısının seçimidir. Ağ yapısının temel türü, çözmek istediğimiz sorunun türüne göre belirlenir. Temel ağ türü seçildikten sonra, kaç nöron ve katman kullanmak istediğimiz, ağın kaç çıkışa sahip olması gerektiği ve eğitim için ne tür bir performans fonksiyonu kullanmak istediğimiz gibi spesifik detaylara karar verilmelidir. Ağ türünü seçmenin ilk adımı çözmeye çalışılan sorunu tanımlamaktır. Temel ağ türü seçildikten sonra katman sayısı, nöron sayısı gibi parametreleri içeren ağ yapısı belirlenmektedir. Eğri uydurma veya örüntü tanıma için kullanılabilen çok katmanlı ağ durumunda, gizli katmanların sayısı problem tarafından belirlenmez ve herhangi bir sayıda gizli katman kullanmak mümkündür. Genel olarak, bir gizli katmana sahip bir ağ ile eğitime başlanmaktadır. Eğer ağ performansı yetersiz olursa katman sayısı artırılmalıdır. İki katmandan fazla gizli katman kullanmak nadir bir durumdur. Birden fazla gizli katman kullanıldığında eğitim zorlaşır ve yavaş yakınsamaya neden olabilir. Fakat çok zor problemler için birkaç gizli katmana sahip derin ağlar kullanılabilir (Beale vd., 1996).

Her katmandaki nöron sayısının belirlenmesi de diğer bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Çıktı katmanındaki nöron sayısı, hedef vektörün büyüklüğü ile aynı olmalıdır. Gizli katmanlardaki nöronların sayısı, problemin karmaşıklığı veya uygulanan karar sınırları ile belirlenmektedir. Ne yazık ki, ağı eğitmeye çalışana kadar problemin normalde ne kadar

karmaşık olduğunu bilinmemektedir. Dolayısıyla, farklı sayıda nöron denenmelidir (Beale vd., 1996).

Veriler hazırlandıktan ve ağ yapısı seçildikten sonra ağ, eğitime hazırdır. Fonksiyon yaklaşımı için kullanılan yüzlerce ağırlığa ve biasa sahip çok katmanlı ağlar için Levenberg-Marquardt algoritması genellikle en hızlı eğitim algoritmasıdır. Çok katmanlı ağlar için standart performans endeksi ortalama hata karesidir. Eğitim setindeki tüm girdilerin eşit derecede oluşma olasılığı varsa Denklem 38'deki gibi ifade edilebilmektedir.

$$F(\mathbf{x}) = \frac{1}{QS^M} \sum_{q=1}^Q (\mathbf{t}_q - \mathbf{a}_q)^T (\mathbf{t}_q - \mathbf{a}_q) \quad (38)$$

Ortalama kare hatası, en yaygın performans endeksi olmakla birlikte ortalama mutlak hata gibi farklı performans endeksleri de bulunmaktadır. Ortalama mutlak hata, genellikle veri setindeki bir veya iki büyük hataya karşı daha az duyarlıdır ve bu nedenle uç değerlere ortalama kare hata algoritmasından biraz daha dayanıklıdır (Beale vd., 1996).

Sinir ağlarının çoğu uygulaması için eğitim hatası, lineer olarak ayrılabilir bir problemi çözen perceptron ağı hariç hiçbir zaman sıfıra düşmemektedir. Bu nedenle, eğitimi ne zaman durduracağınıza karar vermek için başka kriterlere ihtiyacımız bulunmaktadır. İlk olarak hata, belirli bir sınıra ulaştığında eğitim durdurulabilir. Bununla birlikte, kabul edilebilir bir hata seviyesinin ne olduğunu bilmek genellikle zordur. En basit kriter, belirli bir iterasyondan sonra eğitimi durdurmaktır. Kaç iterasyon gerekeceğini bilmek de zor olduğundan maksimum iterasyon sayısı genellikle oldukça yüksek seçilmektedir. Bir başka durdurma kriteri de performans endeksinin gradyan normudur. Bu norm yeterince küçük bir eşığe ulaşırsa, eğitim durdurulabilir. Gradyan, performans endeksinin minimumunda sıfır olması gerektiğinden bu kriter, minimum seviyeye yaklaştığında algoritmayı durduracaktır. Ne yazık ki, çok katmanlı ağların performans yüzeyinde, eğitim normunun küçük olacağı birçok düz bölge olabilir. Bu nedenle, minimum norm için eşik çok küçük bir değere ayarlanmalıdır. Ayrıca, iterasyon başına performans endeksindeki azalma küçük olduğunda da eğitim durdurulabilir. Çok katmanlı ağların eğitimi sırasında, performans aniden düşmeden önce birkaç iterasyon için neredeyse sabit kalabilir. Dolayısıyla ağ eğitimi gerektiğinden erken sonlanarak zayıf bir modele sebep olabilmektedir. Bu sebeple, eğitim tamamlandığında, yakınsama durumunu teyit etmek için eğitim performans eğrisini kontrol edilmelidir. Son olarak, daha önce değinildiği gibi doğrulama veri setinin kullanıldığı erken

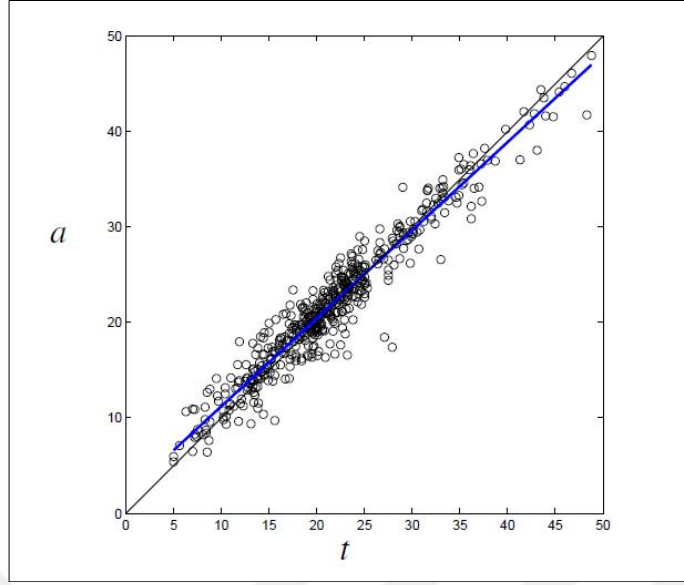
durdurma (early stopping) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde doğrulama setindeki performans, belirli sayıda iterasyon için arttığında eğitim durdurulmaktadır. Ezberlemeyi (over-fitting) önlemeye ek olarak, bu durdurma prosedürü hesaplamada da önemli bir azalma sağlamaktadır (Beale vd., 1996).

Sinir ağı eğitimi, iteratif bir süreçtir. Eğitim algoritması yakınsadıktan sonra bile eğitim sonrası analiz, ağı değiştirilmesini ve yeniden eğitilmesini önerebilmektedir. Ayrıca, performans yüzeyinin yerel minimumuna ulaşma olasılığı nedeniyle tek bir eğitim çalışması optimum performans üretmeyebilir. Dolayısıyla küresel bir minimum değere ulaşıldığından emin olmak için her potansiyel ağı, farklı başlangıç koşulunda birkaç defa yeniden eğitilerek en iyi performansı üreten ağı seçilmelidir. Genellikle beş ile on kez yeniden başlatma, küresel bir optimum üretecektir (Beale vd., 1996).

Eğitimi tamamlanmış bir sinir ağını kullanmadan önce eğitimin başarılı olup olmadığını belirlemek için ağı analiz edilmesi gerekmektedir. Eğitim sonrası analiz için birçok teknik bulunmakta ve bu teknikler uygulamaya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Burada, eğri uydurma problemleri için en yaygın olanları verilecektir.

Eğri uydurma problemlerini çözmek amacıyla eğitilmiş sinir ağlarını analiz etmek için en çok kullanılan araçlardan ilki, eğitilmiş ağı çıktıları ve karşılık gelen hedefler arasındaki regresyondur. Şekil 13'te bir örnek regresyon analizi gösterilmektedir. Mavi çizgi doğrusal regresyonu, ince siyah çizgi, mükemmel uyumu ( $a_q=t_q$ ) ve daireler veri noktalarını temsil etmektedir. Bu örnekte, mükemmel olmasa da eşleşmenin oldukça iyi olduğunu görülmektedir. Bir sonraki adım, regresyon çizgisinden çok uzaktaki veri noktalarını araştırmak olmalıdır. Örneğin,  $t=27$  ve  $a=17$  etrafında iki aykırı nokta görünmektedir. Verilerde bir sorun olup olmadığını görmek için bu noktaların araştırılması gerekmektedir. Bu kötü bir veri noktası olabilir veya diğer eğitim noktalarından uzakta olabilir. İkinci durumda, bu bölgeden daha fazla veri toplamamız gerekmektedir.





Şekil 13. YSA çıktıları ve hedefler arasındaki regresyon örneği (Beale vd., 1996).

Regresyon katsayılarını hesaplamının yanı sıra korelasyon katsayısı (R) da sıklıkla kullanılmaktadır. Bu değer, genellikle -1 ile 1 arasında değişmekle beraber sinir ağı uygulamaları için bu değer 1'e yakın olması gerekmektedir. R=1 ise, tüm veri noktaları tam olarak regresyon çizgisine düşer. R=0 ise, veriler regresyon çizgisi etrafında yoğunlaşmayacak ve rastgele dağılacaktır. Korelasyon katsayısının karesi olan determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), bazı durumlarda R yerine kullanılabilir.  $R^2$ , doğrusal regresyon tarafından hesaba katılan bir veri kümesindeki değişkenliğin oranını temsil etmektedir. Hem R hem de  $R^2$  değeri 1'e ne kadar yakın olursa ağ o kadar iyi olmaktadır (Beale vd., 1996).

Orijinal veri seti, eğitim, doğrulama ve test olmak üzere üçe ayrıldığından regresyon analizi, tüm veri kümesinin yanı sıra her alt küme için de ayrı ayrı yapılmalıdır. Alt kümeler arasındaki farklar ağın ezberleme yaptığıının göstergesi olmaktadır. Örneğin, eğitim seti iyi bir uyum gösterirken doğrulama ve test sonuçları zayıfsa, bu durum ağın ezberleme yaptığını göstermektedir. Bu durumda, sinir ağının boyutu azaltılıp yeniden eğitilmesi, sorunun çözümüne yardımcı olabilmektedir. Hem eğitim hem de doğrulama sonuçları iyi, ancak test sonuçları zayıfsa, bu genelleme kabiliyetinin zayıf olduğunu gösterebilir. Bu durumda, eğitim ve doğrulama için daha fazla veri sağlamamız gerekmektedir. Her üç veri kümesinin sonuçları zayıfsa, ağdaki nöronların sayısını veya katman sayısını artırmak gerekebilir.

Genellikle tek bir gizli katmanla başlanır. Eğer sonuçlar zayıfsa ilk olarak tek bir gizli katmandaki nöron sayısı artırılır ve ardından katman sayısını artırılır (Beale vd., 1996).

## **1.10.2. Optimizasyon**

### **1.10.2.1. Giriş**

Son yıllarda bilgisayarlar, farklı alanlardaki zorlu problemleri çözmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım, bilgisayarların problemleri çözmede ve sistemleri tasarlamada kullanılmasını içeren bir alandır. Geçmişte, bir sistemin tasarım süreci doğrudan insan müdahalesi gerektirmekteydi. Örneğin, bir tasarımcı bir roketin en uygun şeklini bulmak için önce bir prototip oluşturmalı ve ardından test etmek için bir rüzgâr tüneli kullanmalıydı. Açıkçası böyle bir tasarım yaklaşımı, çok pahalı ve zaman alıcıdır. Sistem ne kadar karmaşıksa, tüm proje için o kadar fazla zaman ve maliyet gerekmektedir. Bilgisayarların icadı, tasarım sürecini önemli ölçüde hızlandırmıştır. Bu, insanların artık tek bir prototipe bile ihtiyaç duymadan bir sistemi tasarlamak için bilgisayarları kullanabileceği anlamına gelmektedir. Bilgisayarların kullanılması sadece maliyet değil, aynı zamanda tasarım sürecinin süresini de önemli ölçüde düşürmektedir. Tasarımda bilgisayar kullanılmasının ana avantajları; yüksek hız, düşük maliyet ve yüksek güvenilirliktir. Bununla birlikte, tasarım sürecinin karmaşıklığı ve bilgisayarları kullanarak bir sistemi tasarlamak için uygun bir yaklaşım bulma ihtiyacı, temel dezavantajlar olarak karşımıza çıkmaktadır (Mirjalili vd., 2017).

Optimizasyon teknikleri, makineleri kullanarak optimum tasarımları bulmak için en iyi tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir. Genel olarak algoritmalar deterministik ve stokastik algoritmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deterministik algoritmalar, benzer başlangıç noktasına sahip belirli bir problem için aynı cevabı güvenilir bir şekilde belirleyebilmektedir. Bununla birlikte, bu davranış, deterministik optimizasyon teknikleri için bir dezavantaj olarak kabul edilebilecek yerel optimal tuzağa neden olmaktadır. Yerel optimal durgunluk, bir algoritmanın yerel çözümlerde tuzağa düşmesine ve sonuç olarak gerçek global optimumu bulunamamasına sebep olmaktadır. Gerçek problemler çok fazla sayıda yerel çözüme sahip olduğu için deterministik algoritmalar genellikle tercih edilmemektedir. Metasezgisel algoritmalar, stokastik operatörlere sahip algoritma ailesini ifade etmektedir. Rastgelelik, stokastik algoritmaların temel özelliğidir. Bu, arama

alanlarında global optimumu ararken rastgele operatörler kullandıkları anlamına gelmektedir. Bu tür tekniklerin rastgele doğası, her çalışmada benzer bir çözüm elde etmede onları güvenilir hale getirirse de yerel çözümlerden deterministik algoritmalara göre çok daha kolay kaçınabilmektedirler. Stokastik davranış ayrıca her çalışmada belirli bir problem için farklı çözümler elde edilmesiyle sonuçlanmaktadır. Bu tür yaklaşımlar, sorunları kara kutular olarak ele alır ve en uygun tasarımlara yaklaşmaktadırlar. Stokastik algoritmalarda optimizasyon süreci, belirli bir problem için bir dizi rastgele aday çözümle başlamakta ve bunları, önceden tanımlanmış adımlarla geliştirmektedir. Meta sezgisel algoritmalar birkaç kez çalıştırıldığında daha iyi bir çözüm elde etme olasılığı artmakta ve global optimuma yaklaşmaktadır.

Optimizasyon problemleri amaçlarına göre tek amaçlı ve çok amaçlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek amaçlı bir optimizasyon probleminde yalnızca bir küresel optimum değeri bulunurken, çok amaçlı bir problemde birden fazla çözüm bulunmaktadır. Tek amaçlı problemlerin çözümünde kullanılan popüler algoritmalar; Genetik Algoritma (Holland, 1992), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Kennedy ve Eberhart, 1995) ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Dorigo vd., 1991) olarak sıralanmaktadır. Bu algoritmalar birçok zorlu problemi çözebilmesine rağmen, No Free Lunch teoremi (Wolpert ve Macready, 1997) araştırmacıların yeni algoritmalar geliştirmesini teşvik etmektedir. Bu teorem, tüm optimizasyon problemlerini çözebilen tek bir algoritma olmadığını göstermektedir. Yani bir algoritma belirli bir problem için yeterli olabilirken başka bir problem için yetersiz olabilmektedir. Bu sebeple günümüzde birçok araştırmacı yeni algoritmalar önermektedir. Yakın zamanda önerilmiş algoritmalarından bazıları Gri Kurt Algoritması (Mirjalili vd., 2014), Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Karaboga ve Basturk, 2007), Ateşböceği Algoritması (Yang, 2010), Guguk Kuşu Algoritması (Rajabioun, 2011) ve Yerçekimi Arama Algoritması (Rashedi vd., 2009) olarak sıralanabilir.

Stokastik optimizasyon tekniklerini kullanan çok amaçlı optimizasyon için literatüründe iki temel yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşım için (priori yaklaşımlar) çok amaçlı bir optimizasyon probleminde, amaçlar bir araya getirilerek tek hedefli bir problem haline dönüştürülmektedir. Bir dizi ağırlık, hedeflerin ne kadar önemli olduğunu tanımlanmakta ve bu ağırlıklar bir uzman tarafından belirlenmektedir. Amaçlar ağırlıklandırıldıktan sonra, tek amaçlı bir optimizasyon algoritması ile problem kolayca çözebilmektedir. Bu tür yöntemlerin ana dezavantajları, pareto optimal setini belirlemek için bir algoritmanın birden çok çalıştırılması gerektiğidir. Ek olarak, bir uzmana danışmaya

ihtiyaç vardır ve bu yaklaşımla bazı özel pareto optimal cepheler belirlenememektedir. İkinci yaklaşım (posterior yaklaşımlar) çok amaçlı problemlerin çok amaçlı yapısını korur ve pareto optimal setini tek bir çalışmada sunabilmektedir. Ayrıca bir diğer avantaj da bu algoritmalar ile her türlü pareto cephesinin belirlenebilir olmasıdır. Ancak, daha yüksek hesaplama maliyeti ve aynı anda birden fazla amacı ele almayı gerektirirler. Literatür, bu tür yöntemlerin yaygın olarak kullanıldığını ve gerçek dünyadaki sorunları çözebildiğini göstermektedir. Literatürdeki en popüler algoritmalar; Baskın Olmayan Sıralama Genetik Algoritması (NSGA) (Deb vd., 2002) ve Çok Amaçlı Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (MOPSO) (Coello vd., 2004) olarak karşımıza çıkmaktadır.

Daha önce değinildiği gibi tek amaçlı problemlerde, tek amaç ve tek bir en iyi çözüm bulunmaktadır. Çözümlerin karşılaştırılması, tek bir amaç dikkate alındığı için kolaydır ve ilişkisel operatörler tarafından yapılmaktadır. Bu tür problemlerin doğası, optimizasyon problemlerinin aday çözümleri uygun bir şekilde karşılaştırmasına ve sonunda en iyisini bulmasına izin vermektedir. Çok amaçlı problemlerde ise çözümler birden fazla amaç (kriter) ile karşılaştırılmalıdır. Genel olarak çok amaçlı minimizasyon problem, aşağıdaki gibi (Denklem 39-42) formüle edilebilmektedir.

$$\text{Minimizasyon: } F(\vec{x}) = \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_o(\vec{x})\} \quad (39)$$

$$\text{Kısıtlar: } g_i(\vec{x}) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (40)$$

$$h_i(\vec{x}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (41)$$

$$L_i \leq x_i \leq U_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (42)$$

Burada  $\vec{x}$ , problemin değişkenlerini ( $\vec{x} = x_1, x_2, \dots, x_n$ ) içeren bir vektördür, n değişkenlerin sayısıdır, o amaç fonksiyonlarının sayısıdır, m eşitsizlik kısıtlamalarının sayısıdır, p eşitlik kısıtlamalarının sayısıdır,  $g_i$  i-inci eşitsizlik kısıtlamalarını,  $h_i$  i-inci eşitlik kısıtlamalarını belirtir ve  $[L_i, U_i]$  i-inci değişkeninin sınırlarıdır.

İlişkisel operatörler bir problemin çözümlerini birden çok amaçla karşılaştırmak için etkili değildir. 1881 yılında iki çözümün karşılaştırılması kavramları Francis Ysidro tarafından önerilmiş ve daha sonra bu kavramlar Vilfredo Pareto tarafından genişletilmiştir. Günümüzde çok amaçlı problemlerde çözümler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için

'pareto' kavramı kullanılmaktadır. Genel olarak çok amaçlı optimizasyondaki (minimizasyon) dört ana tanım aşağıdaki açıklanmıştır (Mirjalili vd., 2016).

#### 1.10.2.1.1. Pareto Baskınlığı

$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  ve  $\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_k)$  iki tane vektör olduğu varsayalım.  $\vec{x}$  vektörünün  $\vec{y}$  vektörüne baskın (dominate) olması sadece aşağıda gösterilen (Denklem 43) kurala uyması ile gerçekleşmektedir.

$$\forall i \in (1, 2, \dots, k), [f_i(x) \leq f_i(y)] \wedge [\exists i \in 1, 2, \dots, k : f_i(x) < f_i(y)] \quad (43)$$

Yani bir minimizasyon problemi için  $x$  çözümü  $y$  çözümüne baskın olması için aşağıda verilen 2 şart birlikte sağlanmalıdır.

1.  $x$  çözümündeki tüm amaç fonksiyonu değerleri,  $y$  çözümündekinden eşit veya daha düşük olmalıdır.
2.  $x$  çözümündeki en az bir amaç fonksiyonu değerleri,  $y$  çözümündekinden daha düşük olmalıdır.

Yukarıda verilen iki şart beraber sağlandığında  $x$  çözümü  $y$  çözümüne baskındır ve bir minimizasyon problemi için  $x < y$  şeklinde gösterilir.

#### 1.10.2.1.2. Pareto Optimal

$\vec{x} \in X$  çözümünün pareto-optimal olması çözüm olması için Denklem 44'teki şartı sağlaması gerekmektedir.

$$\nexists \vec{y} \in X | \vec{y} < \vec{x} \quad (44)$$

#### 1.10.2.1.3. Pareto Optimal Set

Tüm pareto-optimal çözümlerin setine aşağıdaki gibi pareto seti denir (Denklem 45).

$$PS = \{ \vec{x}, \vec{y} \in X | \nexists \vec{y} < \vec{x} \} \quad (45)$$

#### 1.10.2.1.4. Pareto Optimal Yüzey

Pareto çözüm seti için amaç fonksiyonlarının değerini içeren bir set olup Denklem 46'daki gibi ifade edilmektedir.

$$PF := (f(x_i) | \vec{x} \in PS) \quad (46)$$

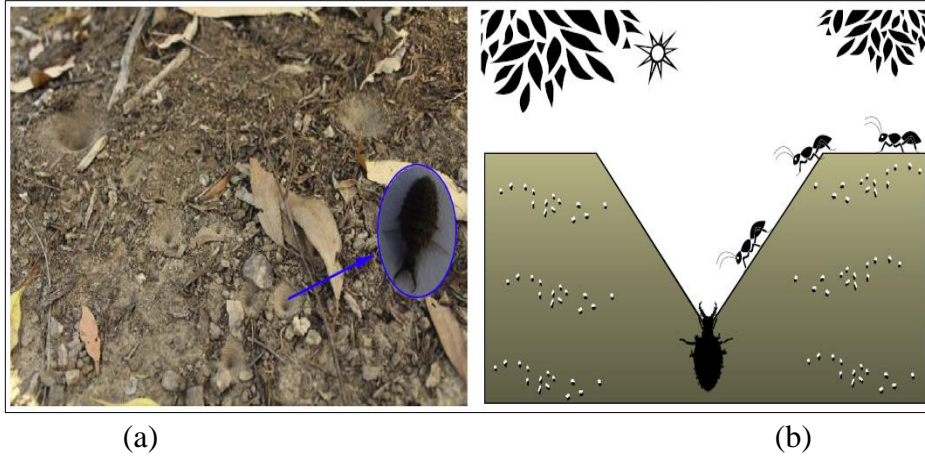
Çok amaçlı bir problemi çözmek için amaçlar arasındaki en iyi ödünleşmeyi (trade-off) temsil eden çözümler seti olan pareto optimal setinin belirlenmesi gerekmektedir. Tüm popülasyon temelli çok amaçlı algoritmaların genel çerçeveleri neredeyse aynıdır. Optimizasyon süreci, birden fazla aday çözümle başlamakta ve bu çözümler pareto baskınlık operatörü kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Optimizasyonun her adımında, baskın olmayan çözümler bir havuzda saklanır ve algoritma bunları bir sonraki iterasyonlarda geliştirmeye çalışmaktadır. Bir algoritmayı diğerinden farklı kılan şey ise baskın olmayan çözümleri geliştirmek için farklı yöntemlerin kullanılmasıdır.

Tez kapsamında yapılan çalışmada optimizasyon algoritması olarak 2017 yılında Mirjalili vd. tarafından geliştirilen çok amaçlı karınca aslanı algoritması kullanılmıştır (Mirjalili, 2017). Bu algoritma 2015 yılında Mirjalili tarafından geliştirilen tek amaçlı karınca aslanı algoritmasının genişletilmiş halidir (Mirjalili, 2015). Dolayısıyla aşağıdaki bölümlerde sırasıyla karınca aslanı algoritması ve çok amaçlı karınca aslanı algoritması sistematik bir şekilde sunulmuştur. Kullanılan bu algoritma gerek test problemleri gerekse gerçek mühendislik problemlerinde oldukça başarılı sonuçlar üretmekte ve son zamanlarda oldukça kullanılmaktadır.

#### 1.10.2.2. Karınca Aslanı Algoritması

Algoritmanın ana ilham kaynağı olan karınca aslanlarının yaşam döngüsü, larva ve yetişkin olmak üzere iki ana aşama içermektedir. Doğal ömürleri yaklaşık 3 yıl kadar sürmekte ve yaşamlarının büyük bir bölümünü larva olarak geçirmektedirler. Karınca aslanları, yetişkin hale gelmek için kozada başkalaşım geçirmekte ve yetişkinlik evresi genellikle 3-5 hafta arası sürmektedir. Larva evresini avlanmak için kullanırken, yetişkinlik evresini üreme için kullanmaktadırlar (Mirjalili, 2015).

Karınca aslanlarının isimleri en sevdikleri av olan karıncalardan gelmektedir. Bir karınca aslanı larvası, dairesel bir yol boyunca ilerlemekte ve büyük çenesiyle kum atarak kumda koni şeklinde bir çukur kazmaktadır (Griffiths, 1986; Scharf vd., 2008). Şekil 14 (a), farklı boyutlarda birkaç koni şeklindeki çukuru göstermektedir. Tuzağı kazdıktan sonra, larvalar koni dibinin altına gizlenir ve Şekil 14 (b)'de gösterildiği gibi çukurda karıncaların hapsolmesini beklemektedirler (Scharf ve Ovadia, 2006). Koninin kenarı, böceklerin tuzağın dibine kolayca düşmesi için yeterince keskindir. Karınca aslanları, bir avın tuzağa düştüğünü anladığı an onu yakalamaya çalışmaktadır. Fakat böcekler genellikle hemen yakalanmazlar ve tuzaktan kaçmaya çalışırlar. Bu durumda, karınca aslanları avı çukurun dibine kaydırmak için akıllıca çukurun kenarına doğru kum atarlar. Çeneye bir av yakalandığında ise avını toprağın altına çekerek tüketirler. Avı tükettikten sonra, karınca aslanları artıkları çukurun dışına atar ve bir sonraki av için çukurunu değiştirirler (Mirjalili, 2015).



Şekil 14. Koni şeklindeki çukurlar ve avlanma süreci (Mirjalili, 2015).

Karınca aslanı larvalarının yiyecek arama davranışı, Karınca Aslanı Algoritması (ALO) için ana ilham kaynağı olmuştur. ALO algoritması, karınca aslanı ve karıncalar arasındaki etkileşimi taklit etmektedir. Bu tür etkileşimleri modellemek için karıncaların arama alanında hareket etmeleri ve karınca aslanlarının tuzaklar kurup onları avlaması gerekmektedir. Karıncalar yiyecek ararken doğada stokastik olarak hareket ettiği için karıncaların rastgele yürüyüşü Denklem 47'de modellenmiştir.

$$X(t) = [0, \text{cunsum}(2r(t_1) - 1), \text{cunsum}(2r(t_2) - 1), \dots, \text{cunsum}(2r(t_n) - 1)] \quad (47)$$

Burada *cunsum* kümülatif toplamı,  $n$  maksimum iterasyon sayısını,  $t$  rastgele yürüyüş adımını ve  $r(t)$  aşağıdaki Denklem 48'deki gibi tanımlanan stokastik bir işlevi göstermektedir.

$$r(t) = \begin{cases} rand > 0.5 \text{ ise } 1 \\ rand \leq 0.5 \text{ ise } 0 \end{cases} \quad (48)$$

Burada,  $rand$   $[0, 1]$  aralığında üniform dağılımla üretilen rastgele bir sayıdır. Karıncalar, optimizasyonun her adımında Denklem 42'ye dayanarak rastgele yürüyüşle konumlarını güncellemektedir. Her arama alanının bir sınırı (değişken aralığı) olduğu için, Denklem 42, karıncaların konumunu güncellemek için doğrudan kullanılamamaktadır. Rastgele yürüyüşleri, arama alanı içinde tutmak için aşağıdaki Denklem 49 kullanılarak normelleştirme yapılır.

$$X_i^t = \frac{(X_i^t - a_i) \times (d_i^t - c_i^t)}{(b_i - a_i)} + c_i^t \quad (49)$$

Burada  $a_i$ ,  $i$ -inci değişkeninin minimum rastgele yürüyüşü,  $b_i$ ,  $i$ -inci değişkenin maksimum rastgele yürüyüşü,  $c_i^t$ ,  $t$ -inci itesayondaki minimum  $i$ -inci değişkeni ve  $d_i^t$ ,  $t$ -inci itesayondaki maksimum  $i$ -inci değişkeni belirtmektedir.

Daha önce değinildiği gibi karınca yürüyüşleri, karınca aslanı tuzaklarından etkilenmektedir. Bu varsayımı matematiksel olarak modellemek için Denklem 50 ve 51 önerilmiştir.

$$c_i^t = Antlion_j^t + c^t \quad (50)$$

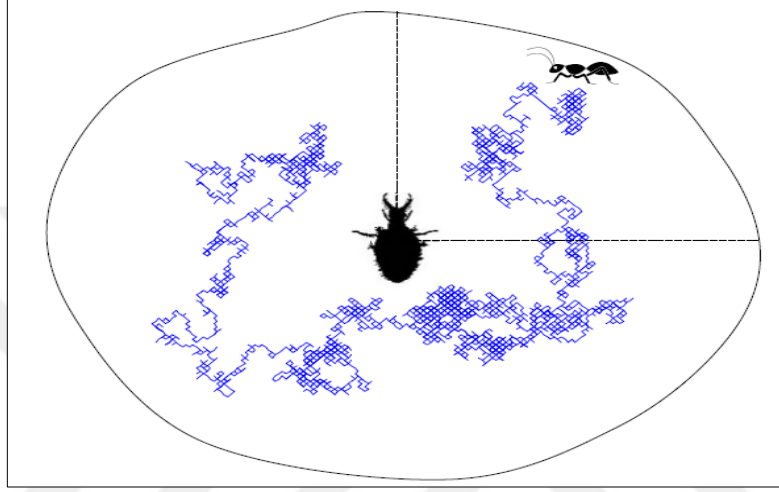
$$d_i^t = Antlion_j^t + d^t \quad (51)$$

Burada,  $c^t$ ,  $t$ . iterasyonda tüm değişkenlerin minimumunu içeren vektörü ve  $d^t$   $t$ . iterasyondaki tüm değişkenlerin maksimumunu içeren vektörü,  $c_i^t$ ,  $i$ . Karınca için tüm değişkenlerin minimumunu,  $d_i^t$ ,  $i$ . Karınca için tüm değişkenlerinin maksimumunu



göstermektedir. Ayrıca,  $Antlion_j^t$ , seçilen  $j$ . Karınca aslanlarının  $t$ . İterasyondaki konumunu belirtmektedir.

Denklem 50 ve 51, karıncaların seçilen bir karınca aslanının çevresinde  $c$  ve  $d$  vektörleriyle tanımlanan bir hiper küre içinde rastgele yürüdüklerini göstermektedir. Bu davranış, iki boyutlu bir arama uzayı için Şekil 15’te gösterilmiştir.



Şekil 15. Bir karıncanın tuzak etrafındaki rastgele yürüyüşü (Mirjalili, 2015).

Şekil 15’te gösterildiği gibi karıncaların yalnızca seçilmiş bir karınca aslanına hapsoldüğü varsayılmaktadır. ALO algoritması, optimizasyon sırasındaki uygunluklarına göre karınca aslanlarını seçmek için bir rulet çarkı operatörü kullanmaktadır. Dolayısıyla bu mekanizma, uygun karınca aslanlarının, karıncaları yakalama şansını artırmaktadır.

Karıncalar rastgele hareketleri neticesinde tuzağa düştüğünde kaçmaya çalışacağı için karınca aslanları, karıncaları aşağı doğru kaydırmaları için kum atmaktadırlar. Bu davranışı matematiksel olarak modellemek için karıncaların hiper-küre içindeki rastgele yürüdüğü yarıçap, uyarlamalı olarak azaltılmaktadır. Bu bağlamda aşağıdaki denklemler (Denklem 52 ve 53) önerilmiştir.

$$c^t = \frac{c^t}{I} \quad (52)$$

$$d^t = \frac{d^t}{I} \quad (53)$$

Burada  $c^t$ , t-inci iterasyondaki tüm değişkenlerin minimumudur ve  $d^t$ , t-inci iterasyondaki tüm değişkenlerin maksimumunu içeren vektörü belirtmektedir. Ayrıca  $I = 1 + 10^w \frac{t}{T}$  şeklinde bir oran olup,  $t$  mevcut iterasyon,  $T$  maksimum iterasyon sayısı ve  $w$  geçerli iterasyona göre Denklem 54'teki gibi tanımlanmaktadır.

$$w = \begin{cases} t > 0.10 \text{ ise } w = 2 \\ t > 0.50 \text{ ise } w = 3 \\ t > 0.75 \text{ ise } w = 4 \\ t > 0.90 \text{ ise } w = 5 \\ t > 0.95 \text{ ise } w = 6 \end{cases} \quad (54)$$

Av, bir karıncanın çukurun dibine ulaşıp karınca aslanın çenesine takılması ile son bulmaktadır. Daha sonra, karınca aslanı yeni avını yakalama şansını artırmak için konumunu avladığı karıncanın en son konumuna güncellemektedir. Bu bağlamda Denklem 55 önerilmiştir.

$$Antlion_j^t = Ant_i^t \quad \text{Eğer } f(Ant_i^t) > f(Antlion_j^t) \quad (55)$$

Burada,  $t$  mevcut iterasyon sayısını gösterirken  $Antlion_j^t$ , seçilen  $j$ . karınca aslanının  $t$ .iterasyondaki konumunu,  $Ant_i^t$   $i$ .karıncanın  $t$ .iterasyondaki konumunu göstermektedir.

Elitizm, evrimsel algoritmaların önemli bir özelliği olup optimizasyon sürecinin herhangi bir aşamasında elde edilen en iyi çözümü/çözümleri korumaktadır. Bu algortmada, her iterasyonda şimdiye kadar elde edilen en iyi karınca aslanı kaydedilmekte ve elit olarak kabul edilmektedir. Elit, en uygun karınca aslanı olduğu için, iterasyonlar sırasında tüm karıncaların hareketlerini etkileyebilmelidir. Dolayısıyla her karınca, seçilmiş bir karınca aslanı ve elit etrafında aynı anda rastgele dolaştığı varsayılmakta olup Denklem 56'da matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$Ant_i^t = \frac{R_A^t - R_E^t}{2} \quad (56)$$

Burada  $Ant_i^t$   $i$ . karıncanın  $t$ . iterasyondaki konumunu,  $R_A^t$ ,  $t$ . iterasyonda rulet tekerleği tarafından seçilen karınca aslanının etrafındaki rastgele yürüyüşü ve  $R_E^t$ ,  $t$ . iterasyonda elit karınca aslanı etrafındaki rastgele yürüyüşü göstermektedir.

Yukarıda verilen matematiksel modeller kullanılarak karınca aslanı algoritması oluşturulmaktadır. Algoritmada, karınca aslanı ve karınca matrisleri başlangıçta rasgele oluşturulmaktadır. İterasyonlar boyunca her bir karıncanın konumunu, rulet çarkı operatörü seçilen bir karınca aslanı ve elite göre güncellenmektedir. Konum güncellemesinin sınırı, ilk olarak mevcut itersayon sayısı ile orantılı olarak tanımlanmaktadır. Güncelleme pozisyonu daha sonra seçilen karınca aslanı ve elit arasında iki rastgele yürüyüşle gerçekleştirilmektedir.

Tüm karıncalar rastgele yürüdüklerinde, uygunluk fonksiyonu (amaç fonksiyonu) tarafından değerlendirilmektedir. Karıncalardan herhangi biri, diğer karınca aslanından daha uygun hale geldiğinde karıncaların pozisyonları bir sonraki itersayonda karınca aslanları için yeni pozisyon olarak kabul edilmektedir. En iyi karınca aslanı, optimizasyon sırasında bulunan elit ile karşılaştırılır ve gerekirse elit güncellenir. Bu adımlar, durdurma kriteri sağlanana kadar tekrarlı olarak devam etmektedir. Karınca aslanı algoritmasının sözde kodu Şekil 16’da verilmiştir.

1	Karınca ve karınca aslanı popülasyonunu rasgele oluştur
2	Karıncaların ve karınca aslanlarının uygunluğunu hesapla
3	En iyi karınca aslanlarını bul ve elit olarak kabul et
4	<b>while durdurma kriterini sağlayana kadar devam et</b>
5	<b>for</b> her karınca
6	Rulet tekerleğini kullanarak bir karınca aslanı seç
7	Denklem 3 ve 4’ü kullanarak $c$ ve $d$ güncelle
8	Denklem 3.5 ve 3.6’yı kullanarak $c$ ve $d$ güncelle
9	Denklem 3.1 ile Rastgele bir yürüyüş oluştur
10	Denklem 3.2 kullanarak normalleştir
11	Denklem 3.8 ile karınca konumunu güncelle
12	<b>end</b>
13	Tüm karıncaların uygunluk (objective value) değerlerini hesapla
14	Eğer daha iyi ise Denklem 3.7 kullanarak bir karınca aslanını karşılık gelen karınca ile değiştir
15	Eğer bir karınca aslanı elitten daha iyi ise eliti güncelle hesapla
16	<b>end</b>
17	<b>return</b> elit

Şekil 16. Karınca aslanı algoritmasının sözde kodu (Mirjalili, 2015).

#### 1.10.2.2.1. Çok Amaçlı Karınca Aslanı Algoritması

Çok Amaçlı Karınca Aslanı Algoritması (MOALO), ALO algoritmasının genişletilmiş bir versiyonudur. Bir önceki bölümde açıklandığı gibi ALO algoritması,

karınca aslanının avlanma mekanizmasını ve en sevdikleri av olan karıncaların onlarla etkileşimini taklit etmektedir.

Çok amaçlı problemlerde tek bir çözüm yerine çözümler kümesi sunulmaktadır. Bu çözümler ise genellikle pareto kavramı kullanılarak elde edilmektedir. Sezgisel algoritmaları kullanarak pareto optimal çözümleri bulmak ve depolamak için farklı yaklaşımlar bulunmakla beraber, bu algorithmada pareto optimal çözümlerini depolamak için bir arşiv kullanılmıştır. Bununla birlikte, yüksek çeşitlilik içeren pareto optimum çözümleri bulmak genellikle zor bir adım olarak görülmektedir. Bu zorluğun üstesinden gelmek için Çok Amaçlı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasından ilham alınmış ve bu algorithmadaki lider seçimi ve arşiv mekanizması kullanılmıştır. Bilindiği gibi arşiv için bir sınır olmalı ve dağılımı iyileştirecek şekilde arşivden çözümler seçilmelidir. Bu yaklaşımda, her bir çözümün çevresi önceden tanımlanmış bir yarıçap dikkate alınarak incelenmiştir. Daha sonra çevredeki çözümlerin sayısı sayılmakta ve dağılım ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Arşivdeki çözümlerin dağılımını iyileştirmek için iki mekanizmayı kullanılmaktadır. İlk olarak, karınca aslanları en az nüfuslu bölgeye sahip çözümlerden seçilir. Bu bağlamda, arşivde bir çözüm seçme olasılığını tanımlayan Denklem 57 kullanılır.

$$P_i = \frac{c}{N_i} \quad (57)$$

Burada c bir sabittir ve 1'den büyük olması gerekir ve  $N_i$ , i-inci çözümün yakınındaki çözümlerin sayısıdır.

İkinci olarak, arşiv dolduğunda en kalabalık çevreye sahip çözümler, yeni çözümler için arşivden kaldırılmalıdır. Bu bağlamda arşivden bir çözümün kaldırılma olasılığını tanımlayan Denklem 58 kullanılır.

$$P_i = \frac{N_i}{c} \quad (58)$$

ALO'da verilen Denklem 54, çok amaçlı problemlerin doğası gereği Denklem 59'daki gibi değiştirilmelidir.

$$Antlion_j^t = Ant_i^t \quad \text{Eğer } f(Ant_i^t) < f(Antlion_j^t) \quad (59)$$

Sonuç olarak çok amaçlı karınca aslanı algoritmasının sözde kodları Şekil 17’de gösterildiği gibi verilmektedir.

```

1  while durdurma kriterini sağlayana kadar devam et
2      for her karınca
3          Arşivden rastgele bir karınca aslanı seç
4          Rulet tekerleğini kullanarak arşivden elit seç
5          Denklem 3.5 ve 3.6’yı kullanarak  $c$  ve  $d$  güncelle
6          Denklem 3.1 ile Rastgele bir yürüyüş oluştur
7          Denklem 3.2 kullanarak normalleştir
8          Denklem 3.8 ile karınca konumunu güncelle
9      end
10     Tüm karıncaların uygunluk (objective value) değerlerini hesapla
11     Arşivi güncelle
12     if arşiv dolu ise
13         Yeni çözümler için rulet tekerleği ve Denklem 3.10 kullanarak arşivden
14         bazı
15     end
16 return arşiv

```

Şekil 17. Çok Amaçlı Karınca Aslanı Algoritmasının sözde kodu (Mirjalili, 2017).

### 1.11. Odun Korumada Yapay Zekâ Tekniklerinin Kullanıldığı Çalışmalar

Yapay zekâ uygulamaları orman endüstrisi mühendisliği disiplinde yer bulmaya başlamış olsa da odun koruma anlamında yapılmış çok az çalışmaya rastlanmıştır.

Fernandes vd., (2012) ‘Süperkritik odun emprenye işleminin modellenmesi ve optimizasyonu-basınca ve sıcaklığa odaklanma’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Çalışma basıncı ile ahşap geçirgenliğin değişimi, 313 K’de 0.6 ila 15.5 MPa arasında değişen basınçlarda araştırılmıştır. Ölçümlerin, ahşabın geçirgenliğinin basınç ile değiştiğini (15.0 MPa atmosferik koşulların yaklaşık %260 fazlası olduğundan, ahşap geçirgenliğinin %260 daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır), fakat basınçlandırma sırasında ahşabın fiziksel veya kimyasal değişikliklere uğradığını bildirmişlerdir. Ölçümlerde elde edilen veriler korelasyona tabi tutulmuş ve süperkritik emprenye sürecinin dinamik bir modeli için bir girdi kullanılmıştır. Modelin tahminleri, süperkritik ahşap emprenye tesisinde düzenli emprenye işleminin sırasında toplanan verilere kıyaslanmıştır ve modelin tahminlerinin

ölçümlerle aynı görüşte olduğu bulunmuştur. Yapay antioksidanlar, nano-oksitler ve biyositler arasında veya buna benzer bir çalışmanın sinerjik etkisinin belirlendiği ve modellendiği veya optimize edildiği örneği henüz yoktur. Dolayısıyla bu çalışma literatürde referans bir çalışma olma potansiyelindedir.

Orman endüstri disiplini içerisinde olmasa da Zhu vd. (2009) ‘Yapay sinir ağları ile karbon fiber ve TiO<sub>2</sub> sinerjik takviyeli politetrafluoroetilen kompozitlerin tribolojik özelliklerin tahmini’ adlı çalışmayı yapmışlardır. Sonuçların, farklı sürtünme koşulları altında (hafif, orta ve titiz test koşulları) gerçek test değerleri ile karşılaştırıldığında tahmin edilen verilerin iyi, kabul edilebilir olduğunu bildirmişlerdir.

Bu tarz çalışmaların yapılması ile akla gelen tüm konsantrasyonları deneme yükünden kaçınılmış olur. Belirli konsantrasyonlar üzerinden ve bunların etki ettiği özelliklerin deney sonuçları ile modellenmesiyle ara değerler de tahmin edilebilir. Ara değerlerin bulunmuş olması demek eğer hedeflenen çıktı daha az konsantrasyonda da görülüyorsa daha az madde kullanımı, daha fazla mali tasarruf, daha az çevre kirliliği demektir. Dolayısıyla yapılacak olan çalışmanın modellenmesi sonraki çalışmalar için kaynak olacak potansiyelindedir.

### **1.12. Maliyet Analizi**

Zaman-maliyet analizi, kaynak dengeleme ile proje yönetiminin önemli konularından biridir. Amacı hem zamanı hem de maliyeti optimum şekilde yönetmektir.

Projenin başlangıcından sonlandırılmasına kadar geçen sürede yapılmış olan tüm harcamalara proje maliyeti denir. Başka bir deyişle, projenin ilk evresinden başlayarak son evresine kadar yapılan masrafların tamamıdır. Bu masraflara proje aşamasındaki tüm giderler dâhildir.

Faaliyet tabanlı maliyetlendirme sistemi ise, ürünlerin işletme kaynaklarını faaliyet bazında tükettiği, dolayısı ile de endirekt giderlerin faaliyetler bazında sınıflandırılması gerektiği anlayışı ile hareket eden ve ürün ile endirekt giderler arasında sadece üretim hacmine bağlı olmaksızın çeşitli seviyelerde doğrusal ilişki kuran bir maliyet ve yönetim anlayışı olarak tanımlanabilir. Faaliyetler organizasyonların ne yaptığını açıklamaktadır, belirlenen sonuca veya ürüne ulaşmak için gerçekleştirilen faaliyetlerin temel işlevi girdileri (kaynakları) çıktıya dönüştürmektir. Faaliyet tabanlı maliyetlendirme bu amaçtan hareketle

esas maliyet hedefi olarak faaliyetler üzerine yoğunlaşan ve bu faaliyetlerin maliyetlerini diğer maliyet hedefleri için temel alan bir yapı sunar (Tablo 6).

Tablo 6. Faaliyet düzeyleri ve kullanılan örnek maliyet etkenleri

<b>Faaliyet</b>	<b>Maliyet</b>	<b>Maliyet Etkeni</b>
<b>Birim düzeyde</b>		
Makine ile ilgili	Enerji, bakım, amortisman	Makine Saati, üretim miktarları
İşçilikle ilgili	İşçilik maliyeti, malzeme	İşçilik saati, üretim miktarı
<b>Ürün düzeyinde</b>		
Kalite kontrolü	Kalite kontrol maliyetleri	Kontrol edilen birim sayısı, kalite kontrol işçiliği saati
Mamul testleri	Test araçları ve malzeme maliyeti	Test sayısı, test işçiliği saati
Stok kontrolü	Stok taşıma maliyetleri	Stoklanan parça sayısı
Ürün tasarım	Mühendis maaşları, tasarım giderleri	Harcanan iş saati, tasarım değişikliği talebi sayısı

Bu çalışmada çalışılan tüm kombinasyonların maliyet analizleri de yapılmıştır. Ayrıca optimizasyon sürecine kimyasalların maliyetleri de eklenerek amaç fonksiyonu oluşturulmuştur

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Çalışma deseni

Bu çalışma 3 bölümden oluşmaktadır.

#### 1. Bölüm:

- Üç farklı multifonksiyonel kimyasal gruptan toplam 14 kimyasalın anti-fungal özelliklerinin belirlenmesi ve çalışılacak konsantrasyonların belirlenmesi.

- Çalışılacak konsantrasyondaki çözeltilerin bazı özelliklerinin (antioksidan aktivite ve pH) belirlenmesi,

- Bu kimyasallarla empenye edilen odun örneklerinin bazı fiziksel, mekanik, biyolojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

- Örneklerin yüzey kimyası ve yüzey morforolojisi bakımından değerlendirilmesi.

#### 2. Bölüm:

- Yapılan tüm analizler sonrası çalışılan üç farklı multifonksiyonel kimyasal grup içerisinde en üstün performansı sergileyen ve nispeten daha düşük maliyete sahip olanlar arasından, her bir grubu temsilen birer kimyasalın seçilmesi.

- Seçilen kimyasalların tekli, ikili ve üçlü kombinasyonları ile toplamda 7 grupluk bir empenye deseni oluşturulması

- Bu grupların biyolojik testlerinin, yüzey kimyası analizlerinin yapılması

- Mantar çürüklük testi performans sonuçlarına bakılarak sinerjik etkinin hesaplanması.

#### 3. Bölüm:

- Sinerjik etkiye sahip olduğu düşünülen kimyasalların konsantrasyonlarının değiştirilerek 26 grupluk yeni bir empenye deseni oluşturulması.

- Bu desendeki grupların bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik performanslarının belirlenmesi.

- Elde edilen verilerin modellenmesi ve optimizasyonunun yapılması. Amaç fonksiyonuna (maliyet de dâhil edilerek) en çok uyan empenye grubunun belirlenmesi.

Bu tez kapsamında uygulanan çalışma deseni Tablo 7'de özetlenmiştir.



Tablo 7. Çalışma deseni

Bölüm	Ağaç Türü	Deney grubu	Deney Türü	Kullanılan Standart/Referans	Deney numune türü/boyutları
Birinci bölüm	Sarıçam	Çalışılan kimyasalların bazı özellikleri	Antifungal aktivite	Singh ve Tripathi (1999)	Sıvı çözelti
			Antioksidan aktivite	Benzie ve Strain (1996)	Sıvı çözelti
			pH değeri	-	Sıvı çözelti
		Emprenye yöntemi	Dolu hücre yöntemi	Bethell yöntemi	Aşağıda özetlenen boyutların hepsi
		Fiziksel test yöntemleri	Tam kuru özgül ağırlık	TS-2472 (1976)	20x20x30 (mm)
			Hava kurusu özgül ağırlık	TS-2471 (1976)	20x20x30 (mm)
			Su alma oranı	Dizman Tomak (2011)	15x30x30 (mm)
			Su itici etkinlik	Dizman Tomak (2011)	15x30x30 (mm)
			Hacimsel genişleme		15x30x30 (mm)
			Renk ölçümü (emprenye sonrası)	ISO-7724 (2003)	150x70x20 (mm)
			Mekanik test yöntemleri	Liflere paralel basınç direnci	TS 2595 (1997)
		Biyolojik test yöntemleri	Mantar çürüklük testi	EN-113 (2006)	5x12,5x25 (mm)
		Yanma testi yöntemleri	LOI testi	ASTM D2863-19 (2013)	5x10x150 (mm)
		Yüzey morfolojisi testi	SEM analizleri	-	5x5x5 (mm)
		Yüzey kimyası testi	FTIR analizi	-	15x25x50 (mm)
İkinci Bölüm	Sarıçam ve kayın	Emprenye yöntemi	Dolu hücre yöntemi	Bethell yöntemi	Aşağıda özetlenen boyutların hepsi
		Biyolojik test yöntemleri	Mantar çürüklük testi	EN 113 (2006)	15x25x50 (mm)
			Böcek testi	EN 47 (2005)	15x25x50 (mm)
			Termit testi	EN 117 (2013)	15x25x50 (mm)
Yüzey kimyası testi	FTIR analizi	-	15x25x50 (mm)		

Tablo 7'nin devamı

Üçüncü bölüm	Sarıçam ve kayın	Emprenye yöntemi	Dolu hücre yöntemi	Bethell yöntemi	Aşağıda özetlenen boyutların hepsi
		Fiziksel test yöntemleri	Su alma oranı	Dizman Tomak (2011)	15x30x30 (mm)
		Mekanik test yöntemleri	Liflere paralel basınç direnci	TS 2595 (1977)	20x20x30 (mm)
		Biyolojik test yöntemleri	Mantar çürüklük testi	EN 113 (2006)	5×12,5×25 (mm)
		Modelleme	Çoklu regresyon	-	-
			Yapay sinir ağları	-	-
		Optimizasyon	Karınca aslanı algoritması	-	-
		Maliyet analizi yöntemi	Direk ve endirek giderlerin hesaplanması	-	-

Anti-fungal, antioksidan ve pH ölçümleri ve termit testi hariç tüm deneyler 10 tekrarlı yapılmıştır.

### 2.1.1. Ağaç Malzeme

#### 2.1.1.1. Sarıçam

Sarıçam ağaçları Gümüşhane ili Torul ilçesi Yıldız köyünden kesilmiştir. Ağaçların kesildiği yerin rakımı 1300 m ve koordinatları 40-29-40° N, 39-10-39° E şeklindedir.

#### 2.1.1.2. Kayın

Kayın ağaçları Trabzon ili Maçka ilçesinden kesilmiştir. Ağacın kesildiği yerin rakımı 1400 m civarında ve koordinatları da 40-42-44° N, 39-39-54° E şeklindedir.

### 2.1.2. Yapay Antioksidanlar

Bu çalışmada yapay antioksidan olarak eritorbik asit, etoksikuin, potasyum disülfid, sodyum askorbat, sodyum eritorbat ve tersinir-bütül hidrokinon (TBHQ) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar ticari bir firmalardan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan yapay antioksidanların bazı özellikleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Çalışmada kullanılan yapay antioksidanların bazı özellikleri

Özellik	Kimyasal					
	Eritorbik Asit	Etoksikuin	Potasyum Disülfid	Sodyum Askorbat	Sodyum Eritorbat	Tersinir-Bütıl Hidrokinon
Molekül formülü	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	C <sub>14</sub> H <sub>19</sub> NO	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> NaO <sub>6</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> O <sub>6</sub> Na·H <sub>2</sub> O	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>
Görünüş	Kuru toz	Sıvı	Kuru toz	Kuru toz	Kuru toz	Sıvı
Renk	Beyaz	Mor-mavi	Beyaz	Beyaz	Beyaz	Mor-mavi
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,70	1,02	2,30	1,66	1,20	1,05
Molekül ağırlığı (g/mol)	176,12	217,31	222,33	198,11	198,11	166,22
Suda (25 °C) çözünürlük	40 g/100 mL	60 mg/ L	49,5 g/100 g	62 g/100 mL	16 g/100 mL	%1'den daha az
E numarası	E315	E324	E224	E301	E316	E319
Referans	(URL-1)	(URL-2)	(URL-3)	(URL-4)	(URL-5)	(URL-6)

### 2.1.2.1. Eritorbik Asit

Eritorbik asit ya da Avrupa Birliğinin verdiği adıyla E315, askorbik asitin optik izomeri (kimyasal bileşimi aynı üç boyutlu yapısı farklı) olup gıda sanayinde antioksidan katkı maddesi olarak kullanılır. Molekül formülü C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub> olup kuru toz formda ve beyaz renklidir. Yoğunluğu 0,70 g/cm<sup>3</sup> ve molekül ağırlığı 176,12 g/mol dur. Oda şartlarındaki 100 mL suda çözünürlüğü 40 g dır. Eritorbik asit özellikle et ve balık ürünlerinde oksidasyonun engellenmesi ve rengin korunması için kullanılmaktadır. Ayrıca katı ve sıvı yağlarda, salatalarda ve soslarda eritorbik asitten antioksidan olarak faydalanılır. Askorbik asitin tersine gıdalarda doğal olarak bulunmayan bir bileşik olan eritorbik asit bitkisel kaynaklı hammaddeden üretilir (URL-7). Gıdalarla alındığında bağırsaklarda emilerek metabolize edilen eritorbik asitin büyük kısmı 24 saat içinde vücuttan atılır (EFSA, 2016).

### 2.1.2.2. Etoksikuin

Etoksikuin, bazı ülkelerde gıda koruyucusu olarak kullanılan kinolin bazlı bir antioksidandır. Molekül formülü  $C_{14}H_{19}NO$  olup sıvı formda ve mor-mavi renklidir. Yoğunluğu  $1,02 \text{ g/cm}^3$  ve molekül ağırlığı  $217,31 \text{ g/mol}$  dur. Oda şartlarındaki 1 L suda çözünürlüğü 60 mg dır. Suda çözünürlüğü düşük olduğundan çalışmada etanolde çözdürülerek kullanılmıştır. Bazı evcil hayvan mamalarında yağların ekşimesini yavaşlatmak için koruyucu olarak kullanılır. Etoksikuin ayrıca bazı baharatlarda, doğal karotenoid pigmentlerin oksidasyonundan oluşan renk kaybını önlemek için kullanılır. Etoksikuin ilk olarak 1965 yılında bir pestisit olarak tescil ettirilmiş ve daha sonra antioksidan olarak kullanılmaya başlanmıştır (URL-8).

### 2.1.2.3. Potasyum Disülfid

Potasyum disülfid, sülfürik asitin potasyum tuzudur. Molekül formülü  $K_2S_2O_5$  olun bu kimyasal kuru toz formda ve beyaz renklidir. Yoğunluğu  $2,30 \text{ g/cm}^3$  ve molekül ağırlığı  $217,31 \text{ g/mol}$  dur. Oda şartlarındaki 100 g suda çözünürlüğü 49,5 g dır. Sülfürik asitin potasyum tuzu meyvelerde ve meyve ürünlerinde koruyucu olarak kullanılır ve bir ağartıcı olarak kullanılabilir (URL-9).

### 2.1.2.4. Sodyum Askorbat

Askorbik asidin (C vitamini) sodyum tuzudur. Molekül formülü  $C_6H_7NaO_6$  dır. Beyaz toz rengindedir. Yoğunluğu  $1,66 \text{ g/cm}^3$  ve molekül ağırlığı  $198,11 \text{ g/mol}$  dur. Oda şartlarındaki 100 mL suda çözünürlüğü 62 g dır. Askorbik asit ile sodyum karbonatın sulu çözeltisinin reaksiyonunda molekülden elde edilir. Bu çözeltiden suyun ayrıştırılması ile elde edilir. Sodyum askorbat, oksijen hapsedme özelliği ile antioksidan olarak birçok üründe kullanılmaktadır. Sebzelere ve meyvelere doğal olarak bulunur. İşlenmiş et ürünlerinde antioksidan olarak kullanılır, oksidatif bozulmaları engeller (URL-10).

### 2.1.2.5. Sodyum Eritorbat

Kimyasal olarak eritorbik asidin sodyum tuzlarından oluşmuştur. Sodyum askorbatın epimeridir (yapısal olarak ayna görüntüsü) ve antioksidan etki bakımından benzer

özelliğindedir. Sodyum eritorbat, meyve ve sebzelerde tazeliği koruma amacıyla kullanılabilir. Bunu renk bozulmasını önleyerek ve istenmeyen tatların gelişimini engelleyerek yapar. Sodyum eritorbat; oksijeni çevreleyerek ve kinonların polifenollere dönüşümünü indirgeyerek, kahverengi pigment oluşması sonucu oluşan enzimatik kahverengileşme reaksiyonunu engeller (URL-11).

#### **2.1.2.6. Tersinir-Bütıl Hidrokinon (TBHQ)**

Tersinir-Bütıl Hidrokinon (TBHQ) ya da Avrupa Birliğinin verdiği adıyla E319 gıda sanayinde pek çok ürün formülasyonunda kullanılan sentetik bir antioksidandır. Yoğunluğu 1,05 g/cm<sup>3</sup> ve molekül ağırlığı 166,22 g/mol dur. Oda şartlarındaki 1 litre suda çözünürlüğü %1'den daha az olduğu için çalışmada etanolde çözündürülerek kullanılmıştır. Fenolik yapıda aromatik bir bileşik olan TBHQ sıvı ve mavi-mor renkte kendine has hafif bir kokusu vardır. Özellikle doymamış yağ asidi içeriği yüksek sıvı yağlarda oksidasyonu geciktirerek ürünün acılaşmasını önler ve raf ömrünü uzatır. İlave edildiği gıdanın renk, koku ve aromasına etki yapmayan TBHQ diğer sentetik antioksidanlarla kombine şekilde kullanılabilir. TBHQ ayrıca bazı kozmetik ve kişisel bakım ürünleri ile vernik ve reçine gibi yağ bazlı endüstriyel maddelerde antioksidan olarak kullanılmaktadır (URL-12).

#### **2.1.3. GRAS Bileşikleri**

GRAS, ilaca veya gıda maddesine eklenen herhangi bir maddenin, sağlık açısından sorun yaratmayacağını gösteren, İngilizce açılımı 'Generally Recognised As Safe' olan ifadedir. GRAS, 'genel olarak güvenilir, zararsız kabul edilen' anlamına gelmektedir. Amerika Gıda ve İlaç Yönetimi (FDA) bazı katkı maddelerini sadece belirli amaçlar için ve belirli şartlara uyulduğunda GRAS olarak kabul etmiştir (URL-13). Bu çalışmada GRAS bileşikleri olarak dehidroasetik asit, sorbik asit ve sodyum benzoat kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm kimyasallar ticari bir firmadan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan GRAS bileşiklerinin bazı özellikleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Çalışmada kullanılan GRAS bileşiklerinin bazı özellikleri

Özellik	Kimyasal		
	Dehidroasetik asit	Sorbik asit	Sodyum benzoat
Molekül formülü	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> Na
Görünüş	Kuru toz	Kuru toz	Kuru toz
Renk	Beyaz	Beyaz	Beyaz
Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )		1,20	1,50
Molekül ağırlığı (g/mol)	168,15	112,13	144,1
Suda Çözünürlük	690 mg/L (25 °C)	1560 mg/L (20 °C)	63 g/100mL (20 °C)
E numarası	E265	E200	E211
Referans	(URL-14)	(URL-15)	(URL-16)

### 2.1.3.1. Dehidroasetik Asit

Dehidroasetik asit, birçok endüstriyel uygulamaya sahip organik bir bileşiktir. Molekül formülü C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub> olan bileşik, bir pirron türevi olarak sınıflandırılır. Molekül ağırlığı 168,15 g/mol dır. Kokusuz, renksiz ya da beyaz kristal toz olarak sunulur, suda çok az çözünür (25 °C sıcaklıktaki 1 L suda çözünürlüğü 690 mg) ve çoğu organik çözücüde orta derecede çözünür. Bu çalışmada etanolde çözüldürülerek kullanılmıştır. Antifungal ve antibakteriyal özelliği sayesinde gıda koruyucu maddesi olarak kullanılır (URL-17).

### 2.1.3.2. Sorbik Asit

Sorbik asit, bakterilere, küf ve mayalara karşı oldukça etkili olan, çok yönlü ve güvenli olan, gıda koruyucusu olarak kullanılan bir katkı maddesidir. Molekül formülü C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub> olup, kuru toz formdadır ve beyaz renklidir. Yoğunluğu 1,20 g/cm<sup>3</sup> ve molekül ağırlığı 112,13 g/mol dur. 20 °C sıcaklıktaki 1 L suda çözünürlüğü 1560 mg olduğu için bu çalışmada etanolde çözüldürülerek kullanılmıştır. E200 koduyla gıda katkıları listesinde yer almaktadır. Antimikrobiyal özellikleri bulunduğundan, gıda koruyucu olarak çok geniş şekilde kullanılır. Suyun içinde az miktarda çözünürken, yağın içinde daha iyi çözünür. Alkolün içinde ise, tamamen çözünür. Gıda ürünlerinde oldukça fazla kullanılmaktadır. Özellikle peynir, yoğurt, çavdar ekmeği, pizza, pasta, et ürünleri, gazlı içecekler, meyve suları, kurutulmuş meyveler, hazır çorbalar, lahana ve salatalık turşusu gibi ürünlerin raf

ömrünü arttırma ve mikro biyolojik gelişimi önleme amacıyla kullanılır. Küf ve maya oluşumundaki etkisi, bakteriler üzerindeki etkisinden daha yüksektir (URL-18).

### 2.1.3.3. Sodyum Benzoat

Sodyum benzoat, benzo asitin sodyum tuzlarındandır. Molekül formülü  $C_7H_5O_2Na$  olan bu kimyasal kuru toz formda ve beyaz renktedir. Yoğunluğu  $1,50 \text{ g/cm}^3$  ve molekül ağırlığı  $144,1 \text{ g/mol}$  dur.  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki  $100 \text{ mL}$  suda çözünürlüğü  $63 \text{ g}$  dır. Gıda katkı maddesi olarak gıda endüstrisinde sık kullanılan bir kimyasal maddedir. Sodyum benzoat anti-bakteriyel ve anti-fungal bir yapıya sahiptir. Yani bakterilerin ve mantarların çoğalmasını engelleyici özelliği vardır. Bu yüzden gıda endüstrisinde gıda koruyucu madde olarak E211 koduyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (URL-19).

### 2.1.4. Nano-Oksitler

Bu çalışmada nano-oksit olarak  $MgO$ ,  $CeO$ ,  $ZnO$ ,  $SiO_2$  ve  $TiO_2$  kullanılmıştır. Bütün nano-oksitler su içerisinde disperse edilmiş (aktifleştirilmiş) halde Nanografi A.Ş. (Ankara, Türkiye) şirketinden temin edilmiştir. Su içerisinde aktifleştirilmiş olan kimyasallar saf su ile istenilen konsantrasyona kadar seyreltilerek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan nano-oksitlerin bazı özellikleri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Çalışmada kullanılan nano-oksitlerin bazı özellikleri

Özellik	Kimyasal				
	MgO	CeO	ZnO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
Görünüş	Sıvı çözelti	Sıvı çözelti	Sıvı çözelti	Sıvı çözelti	Sıvı çözelti
Renk	Beyaz	Şeffaf	Şeffaf	Şeffaf	Beyaz
Sıvı içerisindeki miktarı (%)	22	22	22	26	17
Boyut (nm)	45	25-45	25-35	28	4-28

#### 2.1.4.1. MgO

Magnezyum oksit, beyaz renkli ve kristal şeklinde olur. Magnezyum oksitin kimyasal formülü ise MgO'dur. Bu madde magnezya olarak da bilinir. Magnezyum oksitin en büyük niteliği ise ateşe dayanıklı olmasıdır. Yüksek ısıya oldukça dayanıklı olan bu madde çok geniş alanlarda kullanılır. (URL-20). Magnezyum oksit, geniş bant aralığı ile önemli bir inorganik malzemedir. Magnezyum oksit nano tozu, yüksek direnci nedeniyle umut veren bir antibakteriyel maddedir (URL-21). Çalışmada 45 nm boyutlu magnezyum oksit kullanılmıştır.

#### 2.1.4.2. CeO<sub>2</sub>

Seryum oksit, ticari kullanımı yaygın ve seria adıyla da tanınan bir bileşiktir. Seria, yüksek kaliteli optik yüzeylerde kullanılan diğer metal oksitlerin yerini almıştır. Alaşımlar başta olmak üzere aydınlatma sistemlerinde aranan bileşenlerden biridir. Demir alaşımlarında önemli bir maddedir (URL-22). Çalışmada 25-45 nm boyutlu seryum oksit kullanılmıştır.

#### 2.1.4.3. ZnO

Çinko oksit, ZnO formülü ile gösterilen bir inorganik bileşiktir. Çinko oksit, suda çözünmeyen beyaz bir tozdur ve yaygın olarak kauçuk, plastik, seramik, cam, çimento, yağlayıcı, boya, merhem, yapıştırıcı, sızdırmazlık maddesi, pigment, yiyecekler, bataryalar, ferritler, yangın geciktiriciler ve ilk yardım bantları gibi kullanım alanlarına sahiptir. Bir gıda katkı maddesi olarak, çinko oksit, ABD Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA)'nin genel olarak güvenli veya GRAS maddeleri olarak bilinen listesinde yer alır (URL-23). Çalışmada 25-35 nm boyutlu çinko oksit kullanılmıştır.

#### 2.1.4.4. SiO<sub>2</sub>

Silisyum dioksit veya silika, oksijen ve silisyum içeren kimyasal bileşiktir. Kimyasal sembolü SiO<sub>2</sub>'dir. Genel olarak koyulaştırma ve kuvvetlendirme için kullanılır. Boyalar ve kaplamalar, doymamış polyester reçineleri, tabaka haline getirilmiş jel örtüler, silikon kauçuk, yapıştırıcılar ve kaplayıcılar, baskı mürekkepleri, yapışık bileşikler ve jeller, bitki



koruma, gıda ve kozmetiklerde kullanılır (URL-24). Çalışmada 28 nm boyutlu silisyum dioksit kullanılmıştır.

#### **2.1.4.5. TiO<sub>2</sub>**

Kimyasal olarak, titanyum dioksit, oksijenle tepkimeye girmiş titanyum elementidir. Normalde titanyum dioksit bir doğal hali ile ya da işlenip rafine edilmiş hali ile bulunabilmektedir. Kozmetik, gıda, ilaç daha bir sürü üründe titanyum dioksit kullanılmaktadır. UV ışığa duyarlı olan gıdalarda ise titanyum dioksit, gıdanın raf ömrünü arttırmak ve bozulmayı önlemek için kullanılır. Titanyum dioksit gıda dışı ürünlerde de benzer kullanım amaçlarına sahiptir. Örneğin güneş kremlerinde, güneşten gelen UVA/UVB ışınlarına karşı vücut ile ışınlar arasında fiziksel bir bariyer kurarak bu şekilde bir koruma sağlar. Ayrıca boya, plastik, mürekkep, kauçuk ve kozmetik ürünlerinde pigment olarak beyazlatma amacıyla kullanılır (URL-25). Çalışmada 4-28 nm boyutlu titanyum dioksit kullanılmıştır.

## **2.2. Araştırma Yöntemi**

### **2.2.1. Birinci Bölüm**

Tez çalışması 3 bölümden oluşmaktadır. Tezin hacmini genişleteceği düşüncesiyle ilk bölümde sadece sarıçam odunu örnekleri emprenye edilmiş, kayın odunu ikinci ve üçüncü bölümde devreye girmiştir. Birinci bölümde yapılan çalışmalar şu şekilde sıralanabilir.

- Çalışılan ağaç türlerinin kesimi ve deney örneklerinin hazırlanması.
- Çalışmada kullanılan ağaç türlerinin anatomik özelliklerinin, tam kuru ve hava kurusu özgül ağırlık değerlerinin belirlenmesi.
- Çalışmada kullanılan tüm kimyasalların önce antifungal aktivitelerinin belirlenmesi ve çalışılacak konsantrasyonların belirlenmesi,
- Seçilen konsantrasyonlardaki çözeltilerin antioksidan aktivitelerinin ve pH değerlerinin belirlenmesi

- Çalışılacak konsantrasyondaki çözeltilerle sarıçam örneklerinin emprenye edilmesi ve emprenye edilen örneklerde bazı fiziksel, biyolojik, mekanik, yanma, yüzey kimyası ve yüzey morfolojisi testlerinin yapılması.

### **2.2.1.1. Örnek Ağaçların Seçimi ve Deney Örneklerinin Hazırlanması**

Tez çalışmasında kullanılan tomruklar 30-40 cm çapındaki çam ve kayın ağaçlarından elde edilmiştir. Ağaçlar kesim yapılan meşcereden rastgele seçilmiştir. Tüm kesimler 2015 yılının kış mevsiminde yapılmıştır. Tomruklar 2-4 m arasındaki 2 m'lik kısımdan alınmıştır. Uygulanan biçme işlemi TS-2470 (1976) esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her ağaç türünden 6'şar adet tomruk kesilmiştir. Biçme işlemleri; Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Uygulama Atölyesinde getirilmiştir.

### **2.2.1.2. Odun Örneklerinin Anatomik Yapısının Belirlenmesi**

#### **2.2.1.2.1. Preparatların Hazırlanması**

Anatomik ölçümler daha önce liflere paralel basınç direnci testi için kesilen örneklerden (20x20x30 mm) numune alınarak gerçekleştirilmiştir. Daha kolay kesit alabilmek için odun örnekleri damıtık su içinde kaynatılarak odun dokularındaki havanın dışarı çıkması ve numunelerin yumuşaması sağlanmıştır. Kaynatılan örnekler 1/1/1 oranında alkol-gliserin-damıtık su karışımı içerisinde kesitler alınmaya kadar bekletilmiştir. Örneklerden kesit almak için "Reichert" kızaklı mikrotomu ve ona takılan kama şeklindeki II numaralı bıçak kullanılmıştır. Her örnekten enine (transversal), boyuna ışınal (radyal) ve boyuna teğetsel (tanjansiyal) yönlerde olmak üzere 15-20 mikron kalınlığında kesitler alınmıştır. Alınan kesitler, 15-20 dakika sodyum hipoklorit içerisinde saydamlaştırılmış ve bu sürenin sonunda damıtık su ile yıkanmıştır. pH denegesi için ortama bir-iki damla asetik asit eklenerek bir-iki dakika beklenmiş ve yeniden saf su ile yıkanmıştır. Daha sonra kesitler, 5 dk. süreyle %50'lik 'safranin 0' içerisinde bekletilmiş ve boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Boyama işleminden sonra damıtık su ile iyice yıkanan kesitler sıra ile %50, %75, %95 alkol serilerinden geçirilmiştir. Kesitlerin standart hazırlık işlemleri yapıldıktan sonra inceleme materyalleri gliserin jelatin içerisinde daimi preparatlar hâline getirilmiştir (Gerçek, 1984; Ives, 2001).

### 2.2.1.2.2. Anatomik Ölçümlerin Alınması

Elde edilen preparatlar Olympus BX50 marka ışık mikroskopunda görüntülenmiştir. Elde edilen görüntüler Digimizer programına aktarılmıştır ve ölçümler program aracılığıyla yapılmıştır. Sarıçam için her gruptaki örneklerin enine kesitlerindeki traheid çaplarının (yaz odunu ve ilkbahar odunu ayrı olmak üzere) radyal ve teğet yöndeki genişlikleri ile teğet kesitlerdeki özışını hücrelerinin genişlik ve uzunluk ölçümü yapılmıştır. Kayın odun örneğinde odun liflerinin çapları (yaz odunu ve ilkbahar odunu ayrı olmak üzere) radyal ve teğet yöndeki genişlikleri ile teğet kesitlerdeki özışını hücrelerinin genişlik ve uzunluk ölçümleri yapılmıştır. Her odun elemanı en az 30 tekrarlı olacak şekilde ölçümlenmiş ve ortalaması alınmıştır.

### 2.2.1.3. Çalışılan Odun Örneklerinin Tam Kuru ve Hava Kuru Özgül Ağırlık Değerleri

Çalışılan odun örneklerinin tam kuru ve hava kuru özgül ağırlık değerleri ölçülmüştür. Çalışılan odun örneklerinin özgül ağırlığın tayini için TS 2471 (1976) ve TS 2472 (1976)'e göre 20x20x30 mm boyutlarında özgül ağırlık deney örnekleri hazırlanmıştır.

#### 2.2.1.3.1. Tam Kuru Özgül Ağırlık

Odun örneklerinin tam kuru özgül ağırlıklarının belirlenmesi için TS 2471 (1976) standardı kullanılmıştır. 20x20x30 mm boyutlarındaki odun örnekleri öncelikle 103±2°C'de değişmeyen ağırlığa gelinceye dek kurutulmuş ve daha sonra örneklerin boyutları ±0,01 mm duyarlılıkta ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Örneklerin ağırlıkları ±0,001 gr hassaslıktaki terazide tartılmış, Denklem 60 kullanılarak tam kuru özgül ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Bozkurt ve Göker, 1987; Örs, 1987)

$$\delta_0 = \frac{M_0}{V_0} (g/cm^3) \quad (60)$$

Bu denklemde;

$\delta_0$  : Tam kuru özgül ağırlık ( $g/cm^3$ )

$M_0$  : Tam kuru ağırlık (g)

$V_0$  : Tam kuru hacim ( $cm^3$ )

### 2.2.1.3.2. Hava Kuru Özgül Ağırlık

Çalışılan odun örneklerinin hava kuru özgül ağırlığın belirlenmesi için TS 2472 (1976) standardı kullanılmıştır. Buna göre 20x20x30 mm boyutlarındaki örneklerin ağırlıkları  $\pm 0,001$  gr hassaslıkta belirlenmiştir. Örnek boyutları  $\pm 0,01$  mm duyarlıkta ölçülüp hacimleri hesaplanarak Denklem 61'e göre hava kuru özgül ağırlık değerleri belirlenmiştir.

$$\delta_r = \frac{M_r}{V_r} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (61)$$

Bu Denklemden;

$\delta_r$  : %r rutubetteki özgül ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)

$M_r$  : %r rutubetteki ağırlık (gr)

$V_r$  : %r rutubetteki hacim (cm<sup>3</sup>)

### 2.2.1.4. Çalışılan Kimyasalların Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi

Emprenye çözeltilerini hazırlarken çalışılması gereken konsantrasyonu belirleyebilmek adına tez çalışmasında kullanılan tüm kimyasalların öncelikle antifungal aktiviteleri irdelenmiştir. Daha sonra seçilen konsantrasyondaki antioksidan kapasiteleri ve pH değerleri belirlenmiştir.

#### 2.2.1.4.1. Emprenye Çözeltilerinin Anti-Fungal Aktivitelerinin Belirlenmesi

Çalışılacak emprenye konsantrasyonlarının belirlenmesi için ilk olarak anti-fungal testler yapılmıştır. Öncelikle her kimyasalın uygun çözücüsü (su veya etanol) kullanılarak %0,5, %1,0 ve %1,5 konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmış ve anti-fungal aktivite gösteren en düşük konsantrasyon bulunmaya çalışılmıştır. Anti-fungal test için esmer çürüklük mantarı olan *Coniophera puteana* BAM Ebw. 15 mantarı kullanılmış ve deney Singh ve Tripathi'nin (1999) önerdiği metoda göre yapılmıştır. İlk olarak malt agar karışımı hazırlanmıştır. Bunun için 49 gr malt-agar saf suyla toplam 1000 gr olacak şekilde karıştırılmış ve daha sonra otoklavda 121 °C de 20 dk boyunca steril edilmiştir. 15 ml malt agar solüsyonu ve çalışılan konsantrasyonlarda hazırlanan solüsyonlardan 2 ml çözeltiler steril

petri kaplarında ayrı ayrı karıştırılmıştır. Soğutma süresinden sonra petri kabındaki her bir karışıma 5x5 mm'lik *C. puteana* mantar miseli eklenmiştir. Kontrol örneği olarak etanolde çözündürülen emprenye maddeleri için 2 ml etanol kullanılarak aynı işlem yapılmıştır. Suda çözündürülerek hazırlanan emprenye maddeleri için ekstra bir işlem yapmadan malt-agar karışımının üzerine eklenen mantar miselinin gelişimi gözlenmiştir. Daha sonra tüm petri kapları 22±3 °C'de ve %65±5 bağıl nemdeki iklimlendirme dolabında inkübe edilmiştir. Ardından tüm petri kabı çapı (mm) ve petri kabındaki mantar miseli çapı (mm) Digimizer Image Analysis Software programı 5.4.1 sürümü kullanılarak 9. günün sonunda (kontrol örneklerinin petri kabını tamamen sardığı gün) ölçülmüştür. Misel büyüme oranı (%), gelişen misel çapının tüm petri kabı çapına oranına göre Denklem 62 kullanılarak yüzde olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Misel büyüme oranı (\%)} = \frac{\text{Gelişen misel çapının alanı}}{\text{Tüm petri kabının çapının alanı}} * 100 \quad (62)$$

Anti-fungal aktivite ise Denklem 63 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Antifungal aktivite (\%)} = 100 - \text{Misel Büyüme Oranı (\%)} \quad (63)$$

Tüm anti-fungal deneyler her grup için üç kez tekrarlanmıştır ve ortalaması alınmıştır. Misel büyüme oranı sayısal olarak 1 bulunduğu zaman antifungal aktivite denkleminde 0 olarak alınmıştır. Bir mikroorganizmanın gözle görülebilir olarak üremesinin inhibe olduğu en düşük antimikrobiyal ajan konsantrasyonuna “Minimal İnhibitör Konsantrasyon (MİK)” denir (Sümerkan ve Gökahmetoğlu, 1998). Amaç test edilen mikroorganizmayı inhibe eden en düşük konsantrasyonu belirleyerek çalışılan maddenin/kimyosalın/koruyucunun en az miktarda kullanılmasını sağlamaktır. Çalışılacak çözelti konsantrasyonları, anti-fungal sonuçlar belirlendikten sonra MİK değerleri baz alınarak seçilmiştir.

### 2.2.1.4.2. Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada anti-fungal aktivite sonrası seçilen konsantrasyonda hazırlanan emprenye çözeltilerinin antioksidan aktivitelerinin tayini için demir (III) iyonu indirgeyici antioksidan güç yöntemi (FRAP) metodu kullanılmıştır.

#### 2.2.1.4.2.1. FRAP Yöntemi

FRAP metodu (Fe (III)-TPTZ-2,4,6-tris (2-pyridly)-S-triazin) kompleksinin antioksidanlar varlığında indirgenerek mavi renkli kompleks Fe (II)-TPTZ oluşması ve bu kompleksin 593 nm’de maksimum absorbans vermesi esasına dayanır (Benzie ve Strain, 1996). Bu amaçla 3 mL FRAP reaktifi [300 mM pH 3.6 asetat tamponu: 10 mM TPTZ: 20 mM FeCl<sub>3</sub> (10: 1: 1)] ile 100 µL numune karıştırılmış ve 4 dakika sonra 593 nm’de absorbans okunmuştur. Sonuçlar standart antioksidan FeSO<sub>4</sub> ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çözücünden ve numuneden gelen renklilik absorbansını belirleme ve bunları numune absorbansından çıkarma amacıyla tanık deneyler yapılmıştır. Tablo 11’de FRAP yöntemi için deney şartları verilmiştir.

Tablo 11. FRAP yöntemi için deney şartları

	Reaktif kör	Standart	Numune
FRAP reaktifi	3 mL	3 mL	3 mL
Numune	-	-	100 µL
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	-	100 µL	-
Kullanılan çözücü	100 µL	-	-

#### 2.2.1.4.3. Emprenye Çözeltilerinin pH Değerleri

Anti-fungal aktivite sonrası seçilen konsantrasyonda hazırlanan emprenye çözeltilerinin pH değerleri Adwa-AD8000 pH ölçer cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Öncelikle cihaz daha önce hazırlanan 3, 7 ve 10 pH’daki standart çözücülere batırılarak kalibre edilmiş ve daha sonra emprenye çözeltilisine batırılarak cihaz üzerinde yazan değer

sabit hale gelinceye kadar bekletilmiştir (yaklaşık 5 dakika). Ölçülen değerler kaydedilmiştir.

### 2.2.1.5. Emprenye Çözeltilerinin Hazırlanması

Emprenye çözeltileri çalışılacak konsantrasyon belirlendikten sonra kütlece yüzde ağırlık hesaplaması kullanılarak uygun çözücü ile hazırlanmıştır. Hazırlanan emprenye çözeltileri homojen karışımları açısından manyetik karıştırıcı kullanılarak, 1000 rpm hızında, 10 dakika boyunca karıştırılmıştır. Çalışılan tüm kimyasallar ve uygun çözücüleri Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Çalışılan tüm kimyasallar ve uygun çözücüleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su
	2	Etoksikuin	Etanol
	3	Potasyum disulfid	Su
	4	Sodyum askorbat	Su
	5	Sodyum eritorbat	Su
	6	TBHQ	Etanol
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol
	8	Sorbik asit	Etanol
	9	Sodyum benzoat	Su
Nano-oksit	10	MgO	Su
	11	CeO <sub>2</sub>	Su
	12	ZnO	Su
	13	TiO <sub>2</sub>	Su
	14	SiO <sub>2</sub>	Su

### 2.2.1.6. Emprenye Koşulları

Emprenye işlemi dolu hücre metoduna göre yapılmıştır. Bu metoda göre, emprenye kazanı içerisine yerleştirilen ilk olarak 15 dk boyunca -600 mmHg vakum uygulanmıştır daha sonra 8 barlık basınç 45 dk boyunca uygulanmıştır. Emprenyeden sonra numunelerin

fazla çözeltileri numune üzerine serilmiş kuru bir beze hafifçe bastırılarak alınmış ve örnekler  $\pm 0,01$  mm duyarlıkta tartılarak retensiyon miktarları, Denklem 64 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{G \times C}{V} \times 10 \quad (64)$$

Bu formülde;

R= Retensiyon miktarı (kg/m<sup>3</sup>),

G= T<sub>2</sub> -T<sub>1</sub>;

G: Absorbe edilen emprenye madde miktarı (gr),

T<sub>1</sub>: Emrenye öncesi deney örneğinin ağırlığı (gr),

T<sub>2</sub>: Emprenye sonrası deney örneğinin ağırlığı (gr),

C: Çözelti konsantrasyonu (%),

V: Örnek hacmi (cm<sup>3</sup>).

Retensiyon hesabından sonra örnekler hava sirkülasyonunun olduğu direkt güneş almayan bir alana bırakılmış ve fazla çözücünün uzaklaşması sağlanmıştır.

### **2.2.1.7. Emprenyeden Sonra Yapılan Fiziksel Test Yöntemleri**

Emprenye edilen örneklerdeki fiziksel değişimler tam kuru özgül ağırlık, su alma oranı ve su itici etkinlik değerlerinin, hacimsel genişleme yüzdesinin ve renk değişikliklerinin belirlenmesi ile araştırılmıştır.

#### **2.2.1.7.1. Tam Kuru Özgül Ağırlık Değişiminin Belirlenmesi**

Emprenye yapıldıktan sonra hava sirkülasyonunun olduğu alanda beklemiş odun örneklerinin tam kuru özgül ağırlıkları TS 2471 (1976) standardı kullanılarak belirlenmiştir.

#### **2.2.1.7.2. Su Alma Oranı ve Su İtici Etkinlik Değerlerinin Belirlenmesi**

Su alma oranı (SAO) ve su itici etkinlik (SİE) değerlerinin hesaplanması için 15x30x30 mm boyutlarında ebatlandırılmış örnekler kullanılmıştır. Emprenye edilen örnekler 103±2 °C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve tam kuru haldeki ağırlık ve boyutlar tespit edilmiştir. Daha sonra belirli miktardaki su içerisine, üstlerine bir



ağırlık konulmak suretiyle bırakılmıştır. 2, 4, 8, 24, 48, 72 saat ile 1 ve 2 hafta süre boyunca deney ve kontrol örneklerinin aldığı su miktarı ağırlık tartımı yoluyla belirlenmiştir. Bunun için her periyot sonunda sudan alınan örneklerin üzerindeki fazla su silinmiş ve 0,01 duyarlıkta tartımlar yapılmıştır. Başlangıçtaki tam kuru ağırlık değerleri kullanılarak SAO (%), her deney ve kontrol örneği için ayrı ayrı olmak üzere hesaplanmıştır. Kontrol örneklerine kıyasla empenyeli test örneklerinin su alma oranlarında meydana gelen azalma olarak ifade edilebilecek su itici etkinlik (SİE) değerleri her deney örneği için belirlenmiştir. SAO ve SİE aşağıdaki Denklem 65 ve 66'ya göre hesaplanmıştır (Dizman Tomak, 2011).

$$SAO (\%) = \left( \frac{M_2 - M_0}{M_0} \right) \times 100 \quad (65)$$

$$SİE (\%) = \left( \frac{SAOk - SAOt}{SAOk} \right) \times 100 \quad (66)$$

Eşitliklerde;

$M_0$ : Başlangıçtaki tam kuru ağırlık (gr),

$M_2$ : Her periyod sonrasında sudan çıkarılan örneğin ağırlığı (gr),

SAOt: Test örneklerinin su alma oranı (%),

SAOk: Kontrol örneklerinin su alma oranı (%),

### 2.2.1.7.3. Hacimsel Genişleme Özelliklerinin Tespiti

Ağaç malzeme lif doygunluğu noktasının altındaki rutubet derecelerinde bünyesine su alma ve bünyesinden su verme suretiyle genişleme ve daralma özelliği gösterir. Bu iki özelliğe odunun çalışması adı verilmektedir. Hacimsel genişleme oranının tespiti için 15x30x30 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır.

Örneklerin hacimsel genişleme yüzdelerinin belirlenmesi için odun örnekleri önce 103±2 °C sıcaklıkta tam kuru hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Desikatörde soğutulan örneklerin tam kuru boyutları ±0,01 mm duyarlıkta ölçülmüştür. Daha sonra, örnekler tam doygun hale gelinceye kadar daha önce açıklandığı gibi su içerisinde bekletilmiş ve hacimsel genişleme yüzdesi ( $\alpha v$ ) yine odun örneğinin üç boyutundaki genişleme yüzdelerinin toplamından Denklem 67 yardımıyla elde edilmiştir.

$$av = al + ar + at \quad (67)$$

Denklemden;

$al$ : Boyuna yöndeki genişleme yüzdesi

$ar$ : Radyal yöndeki genişleme yüzdesi

$at$ : Teğet yöndeki genişleme yüzdesini ifade etmektedir (Aydın, 2011)

#### 2.2.1.7.4. Renk Ölçümü Analizi

Emprenyeden sonra odun örneklerindeki renk değişimleri Konica Minolta CM-2600d renk ölçüm cihazında, ISO 7724 (2003) standardına uygun olarak yapılmıştır. Her bir örneğin 4 farklı noktasından ölçüm alınarak ortalamaları belirlenmiştir.

Renk parametreleri CIELAB (Commission International de l'Eclairage) tarafından belirlenen üç parametreden ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) oluşmaktadır. Burada  $L^*$ : ışık stabilitesi,  $a^*$  ve  $b^*$  kromotografik koordinatları, ( $+a^*$  kırmızı,  $-a^*$  yeşil,  $+b^*$  sarı,  $-b^*$  mavi rengi) ifade etmektedir.  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri, farklı sürelerde dış ortam testine tutulan örneklerde belirlenerek meydana gelen renk değişiklikleri aşağıdaki denklemlere (Denklem 68, 69, 70, 71) göre belirlenmiştir.

$$\Delta L^* = L_f^* - L_i^* \quad (68)$$

$$\Delta a^* = a_f^* - a_i^* \quad (69)$$

$$\Delta b^* = b_f^* - b_i^* \quad (70)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (71)$$

$\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  ve  $\Delta b^*$  başlangıç (i) ve değişik zaman aralıklarında (f) meydana gelen renk değişikliklerini ( $\Delta E^*$ ) belirtmektedir. Düşük  $\Delta E^*$  değeri düşük renk değişikliğini ifade etmektedir.  $\Delta E^*$  değeri arttıkça örneklerdeki renk değişimi de artar (Barcık vd., 2015).

### 2.2.1.8. Biyolojik Test Yöntemleri

14 farklı kimyasalla çalışılan tezin birinci bölümünde biyolojik test ölçümleri için mantar çürüklük testi yapılmıştır.

#### 2.2.1.8.1. Mantar Çürüklük Testi

Çalışmanın birinci bölümdeki mantar çürüklük testi Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Mikoloji Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Mantar çürüklük deneyi EN 113 (2006) test standardı kullanılarak ve örnek boyutları modifiye edilerek (5x12,5x25 mm) gerçekleştirilmiştir. Sadece sarıçam örnekleri emprenye edildiği için standart gereği esmer çürüklük mantarlarından *Coniophora puteana* mantarı ile çalışılmıştır.

Mantarların besisi ortamı malt-agar kullanılarak hazırlanmıştır. Bunun için 49 gr malt-agar saf suyla toplam 1000 gr olacak şekilde karıştırılmış ve daha sonra otoklavda 121 °C de 20 dk boyunca steril edilmiştir. Otoklavdan çıkarılan besisi ortamı steril petri kaplarına dökülmüş ve 1 gün boyunca UV kabini içinde bekletilmiştir. Soğuyan ve katılaştıran besisi ortamına *C. puteana* mantar miselleri aşılantmış ve %70±5 bağıl nem, 22±2 °C şartlarındaki iklimlendirme dolabında mantar miselleri besisi ortamını tamamen sarıncaya kadar bekletilmiştir.

Mantar sarımı tamamlanan petri kaplarına bir adet kontrol (emprenyesiz), bir adet emprenyeli test odunu örneği yerleştirilmiştir. Bu örnekler 12 hafta süreyle iklimlendirme dolabında bekletilmiştir. Süre sonunda kültür şişelerinden çıkartılan örnekler 103±2 °C'deki etüvde değışmez ağırlığa gelinceye kadar tutulmuş ve tam kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Odun üzerindeki kurumuş misel parçacıkları uzaklaştırıldıktan sonra hassas terazide ikinci ağırlıklar (M<sub>s</sub>) alınmış ve ağırlık kaybı değerleri Denklem 72 aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Ağırlık kaybı (AK)} = \frac{M_0 - M_s}{M_0} \times 100 \quad (72)$$

Denklemdede;

M<sub>0</sub> = Deneyden önceki tam kuru ağırlık (gr)

M<sub>s</sub> = Deneyden sonraki tam kuru ağırlık (gr) değerlerini ifade etmektedir.

EN 113 (2016) standardına göre deneyin geçerli sayılabilmesi için empenye edilmemiş (kontrol) örneklerindeki ağırlık kayıplarının en az %20 olması gerekmektedir. Bir empenye maddesinin başarılı sayılabilmesi için ise empenye edilmiş (test) odun örneklerindeki ağırlık kayıplarının maksimum %5 hatta yeni Avrupa normlarına göre %3 olması istenmektedir.

Emprenye edilen ve mantar çürüklük testi yapılan sarıçam odunu örneklerinin deneyler sonucu dayanıklılık sınıfları da belirlenmiştir. Dayanıklılık sınıflarının belirlenmesi Tablo 13'te verilen (EN-350-1, 1996) test standardına göre yapılmıştır.

Tablo 13. EN-350-1 (1996) standardı dayanıklılık sınıfı belirleme değerleri

Dayanıklılık sınıfı	Tanımlama	Ağırlık Kaybı-AK (%)
1	Çok dayanıklı	$AK \leq 5$
2	Dayanıklı	$5 \leq AK \leq 10$
3	Kısmen dayanıklı	$10 \leq AK \leq 20$
4	Az dayanıklı	$20 \leq AK \leq 30$
5	Dayanıksız	$AK > 30$

### 2.2.1.9. Mekanik Test Yöntemleri

Emprenye edilen odun örneklerinin mekanik özelliklerinin araştırılması amacıyla liflere paralel basınç direnci testi uygulanmıştır.

#### 2.2.1.9.1. Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel basınç direnci, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında, üniversal test cihazında yapılmıştır. Test TS-2595 (1977) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle 20×20×30 mm ebatlarında hazırlanan örnekler empenye edildikten sonra, 20 °C ve %65 bağıl nem şartlarında klimatize edilmiştir. Klimatize edilip hava kurusu rutubete getirilen örneklerin, deney öncesi genişlik ve kalınlıkları  $\pm 0,01$  mm duyarlılıktaki bir mikrometre yardımı ile ölçülmüştür. Deneyler statik yük altında, yükleme hızı 2 mm/dak olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yük uygulaması, örnek kırılıncaya kadar devam etmiş, kırılma anında kadrandan okunan maksimum yük değeri kayıt altına alınmıştır.

Kırılma anındaki kuvvet ( $F_{max}$ ) ölçülerek, liflere paralel basınç direnci ( $\sigma_{B//}$ ) aşağıdaki Denklem 73 yardımıyla hesaplanmıştır;

$$\sigma_{B//} = \frac{F_{max}}{a*b} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (73)$$

Burada;

$F_{max}$ : Kırılma anındaki kuvvet (N),

$a$ : Örnek enine kesit kenar uzunluğu (mm),

$b$ : Örnek enine kesit kenar uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.

#### **2.2.1.10. Yanma Özellikleri**

Emprenye edilen örneklerinin yanmaya karşı gösterdiği direnci belirlemek için limit oksijen indeksi (LOI) testi yapılmıştır.

##### **2.2.1.10.1. Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testi**

Örneklerin limit oksijen indeksi (LOI) testi, KTÜ Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarlarında Dynisco marka oksijen indeks cihazında yapılmıştır. Bu test, ASTM D 2863 (2013) standardına göre gerçekleştirilmiştir. LOI testi ile bir materyalin sadece alevli yanmasını destekleyecek olan bir oksijen-azot karışımı içindeki minimum oksijen konsantrasyonu ölçülmektedir. Bu standart test yöntemi, deney koşulları altında alevli yanmanın devam ettirilmesi için gereken minimum oksijen miktarını belirlemektedir.

##### **2.2.1.11. Yüzey Kimyası Analizi**

Emprenye edilmiş örneklerin odun ile olan etkileşimini yorumlayabilmek adına yüzey kimyası analizi yapılmıştır ve bunun için Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) testi yapılmıştır.

#### **2.2.1.11.1. Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopi (FTIR)**

Bu analiz, Bartın Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği bölümünde Shimadzu Marka Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) cihazı kullanılarak yapılmıştır. FTIR analizi  $1800-700\text{ cm}^{-1}$  dalga aralığında tarama yapılarak emprenyeli ve emprenyesiz (kontrol) örnekler üzerinden yapılmıştır. Bu absorpsiyon pikleri benzen halkalarında meydana gelen değişimleri, lignin ve karbonhidratlardaki temel fonksiyonel grupları, selülozun kristalize ve amorf içeriğindeki değişimi yansıtmaktadır.

#### **2.2.1.12. Yüzey Morfolojisi Analizi**

Emprenye edilmiş örneklerin odun içerisindeki dağılımını görebilmek amacıyla taramalı elektron mikroskobu ile incelemeler yapılmıştır.

##### **2.2.1.12.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi**

Taramalı elektron mikroskobu- SEM (Scanning Electron Microscope) analizi Karadeniz Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Bunun için  $5 \times 5 \times 5$  mm boyutunda örnekler kullanılmıştır. Örneklerin incelenecek yönü emprenye yapılmadan önce KTÜ Orman Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında mikrotom kullanılarak düzeltilmiş ve testere kesiminden dolayı olası şekil hatalarının görünmesi engellenmiştir. Emprenye edilen örnekler kurutulduktan sonra incelenecek yüzeyi altına kaplanmış ve görüntüleri alınmıştır.

### **2.2.2. İkinci Bölüm**

Çalışmanın ikinci bölümünün adımları şu şekilde sıralanabilir:

- 3 farklı kimyasal grubunun her birinden, birinci bölüme ait performans testleri arasında optimum sonuçları veren ve nispeten daha ekonomik olan, birer kimyasalın seçilmesi ve bu kimyasalların %1,0'lik konsantrasyonlarının kullanılması,
- Seçilen kimyasalların tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlar halinde çözeltilerinin hazırlanması ve örneklerin emprenye edilmesi,
- Emprenye edilen örneklerin yüzey kimyası analizlerinin yapılması,

- Emprenye edilen örneklerin biyolojik testlerinin yapılması ve mantar çürüklük testine göre sinerjik etki hesaplamalarının yapılması.

### 2.2.2.1. Çalışılan Üç Farklı Kimyasal Gruptan Optimum Olanların Seçilmesi

Birinci bölümde, toplam 14 kimyasal kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin tamamı tablo üzerinde eskiz edilmiş ve böylelikle farklılıkların/üstünlüklerin daha kolay görülmesi sağlanmıştır. Tablo üzerinde performans ve maliyetler de göz önünde bulundurularak gerekli eliminasyonlar yapılmış, her gruptan birer kimyasal seçilmiştir.

### 2.2.2.2. Seçilen Kimyasallarla Odun Örneklerinin Emprenyesi

Seçilen kimyasalların tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlarının da olduğu yedi farklı çözelti hazırlanmıştır. Sekizinci grup emprenyesiz kontrol örneklerini temsil etmektedir. Bu bölümde çalışılan emprenye grupları ve açıklamaları Tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 14. İkinci bölümde çalışılan emprenye grupları ve açıklamaları

Grup No	Emprenye çözeltisi içeriği
1	Yapay antioksidan (Sodyum askorbat)
2	GRAS bileşiği (Sodyum benzoat)
3	Nano-oksit (SiO <sub>2</sub> )
4	Yapay antioksidan + GRAS bileşiği
5	Yapay antioksidan + Nano-oksit
6	GRAS bileşiği + Nano-Oksit
7	Yapay antioksidan + GRAS Bileşiği + Nano-oksit
8	Kontrol Örnekleri (Emprenyesiz)

Hazırlanan çözeltiler ile odun örnekleri daha önceki bölümde detaylı açıklaması verilen dolu hücre metoduna göre emprenye edilmiş ve retensiyon değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde hem sarıçam hem de kayın odun örnekleri kullanılmıştır.

### 2.2.2.3. Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Yüzey Kimyası Analizi

Seçilen kimyasallarla emprenye edilen yedi farklı gruptaki odun örneklerinin yüzey kimyası analizleri daha önceki bölümde detaylıca açıklanan FTIR testi ile yapılmıştır. Kontrol örneklerine de aynı analiz yapılarak elde edilen sonuçlar test örnekleri ile mukayese edilmiştir.

### 2.2.2.4. Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Biyolojik Analizi

Bu çalışmanın ikinci bölümünde emprenye yapılan tüm grupların biyolojik dayanımlarını belirlemek amacıyla böcek testi, termit testi ve mantar çürüklük testi yapılmıştır. Bu analizlerin hepsi İtalya'nın Floransa şehrindeki Ağaç ve Kereste Enstitüsü'nde (CNR-IVALSA) yapılmıştır.

#### 2.2.2.4.1. Böcek Testi

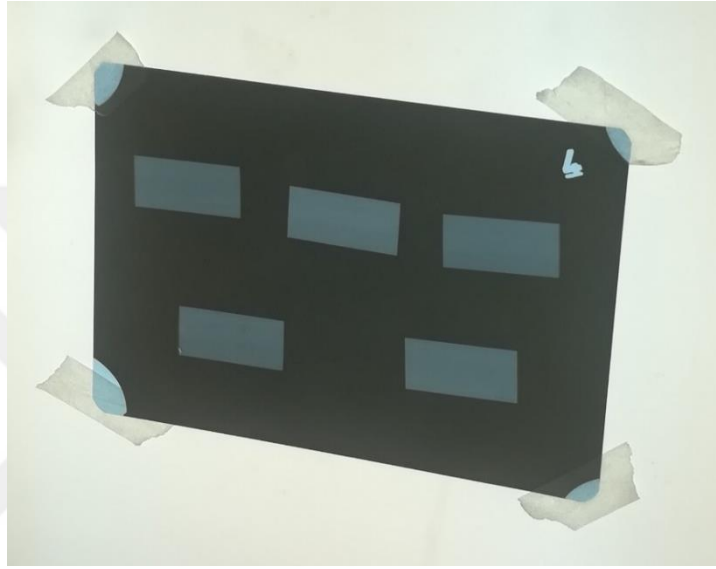
Böcek testi İtalya'nın Floransa şehrindeki CNR-IVALSA'da yapılmıştır. Böcek testi, Avrupa Birliği EN-47 (2005) standardına göre *Hylotrupes bajulus* türü kullanılarak ve sadece sarıçam odunu örneklerine uygulanmıştır. 15x25x50 mm boyutlarında hazırlanıp Türkiye'de emprenye edilen örnekler, İtalya'da analizden önce otoklavda steril edilmiştir. Steril edilen ve soğuyan odun örneklerinin boyuna yüzeyine 3 mm derinlikte, 6 adet boşluk simetrik bir şekilde açılmıştır (Şekil 18).



Şekil 18. Örneklerle deliklerin açılması



Açılan deliklerin içine, böcek larvalarının baş kısımları odun içinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra örnekler iklimlendirme odasında, %70±5 bağıl nem, 22±2 °C sıcaklık şartlarında 12 hafta boyunca bekletilmiştir. Test süresi sonrasında örneklerde canlı kalan larvaların sayısını belirlemek için odun örnekleri üzerine, 3 dk boyunca 50 kv dalga boyunda X ışını verilmiştir. Ardından, elde edilen film üzerinden canlı larvaların açtığı yollar sayılmıştır (Şekil 19).



Şekil 19. X ışını verilen odun örneklerinin incelenmesi

Test süresi sonrasında sonuçlar, ölen larva sayısı ve canlı kalan larva sayısı kullanılarak verilmiştir.

#### 2.2.2.4.2. Termit Testi

Termit testi de böcek testinde olduğu gibi İtalya'nın Floransa şehrindeki CNR-IVALSA laboratuvarlarında EN-117 (2013) test standardına göre, yeraltı termitlerinden *Reticulitermes* türü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Termitler, Floransa Üniversitesi, Orman Fakültesi bahçesindeki farklı ağaç türleri üzerine kurulmuş tuzaklardan temin edilmiştir. Bu çalışmanın tamamlanması için toplam 10500 termit tek tek sayılarak canlılıklarına ve morfolojilerine göre seçilmiş ve kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan termitler Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Çalışmada kullanılan termitler

Laboratuvara getirilen odun örnekleri daire testerede daha küçük boyutlara getirilerek termitlere ulaşımın daha kolay olması sağlanmıştır. Her bir odun örneği için 250 tane işçi (worker), 3 tane asker termit (soldier) kullanılmıştır. Termitler tek tek sayılmış ve bir kaptan toplanmıştır. Daha sonra 20 mL saf su, 80 mL beyaz kuvars kum (%99,5 silika) cam bir kaptan karıştırılmış ve içine 0,5 gr ağırlığında termitin arız olduğu ağaçtan bir parça konulmuştur. Her cam şişenin içerisine bir tane cam yüzük yerleştirilmiş ve bir gün boyunca  $26\pm 2$  °C sıcaklık  $\%70\pm 5$  bağıl nem şartlarındaki iklimlendirme odasında bekletilmiştir. Bir gün sonra termitlerin canlılığı kontrol edilmiş, odun örneği yüzüğün üzerine konulmuş (Şekil 21) ve 8 hafta beklenmiştir. Her bir odun örneği için 3 tekrarlı çalışılmış (Gascón-Garrido vd., 2017) ve elde edilen sonuçların ortalamaları verilmiştir.

İki ayın sonunda, aşağıda maddeler halinde sunulan gözlemlere dayanılarak termit testi yorumlanmıştır.

- 1- Termit testi bitirdikten sonra her örnek için standartlara göre görsel değerlendirme yapılmıştır (Tablo 15).

Tablo 15. Termit testi sonrası görsel değerlendirme (EN 117, 2013).

Görsel değerlendirme	Saldırı derecesi	Açıklama
0	Saldırı yok	Örnek üzerinde erozyon (aşınma) yok
1	Saldırı girişimi	Yüzeysel erozyon
2	Hafif saldırı	1 mm derinliğe kadar erozyon ve/veya 3 mm derinliğe kadar tünel uzunluğu
3	Ortalama saldırı	Erozyon > 1 mm derinlikte ve/veya > 3 mm derinlikte tünel uzunluğu (boşluklar oluşturmadan)
4	Güçlü saldırı	Erozyon > 1 mm ila <3 mm derinlikte ve/veya > 3 mm derinlikte tünel uzunluğu ve test numunesinin üzerinde boşluklar

- 2- Her örneğin bulunduğu kaptaki canlı termitler sayılmış ve yüzde kaçının öldüğü Denklem 74 kullanılarak tespit edilmiştir.

$$TÖO(\%) = \frac{250 - \text{Test sonrasında canlı kalan termit sayısı}}{250} * 100 \quad (74)$$

Denklemden;

TÖO: Termit ölüm oranı (%)

250: Test öncesi her bir örnek için test şişesine eklenen termit sayısını ifade etmektedir.

- 3- Her örnek tam kuru rutubete getirilmiş ve ağırlık kaybı Denklem 72 kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 21. Termit testi örnekleri

#### 2.2.2.4.3. Mantar Çürüklük Testi

Mantar çürüklük testi de IVALSA-CNR'da gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümündeki mantar çürüklük testinin birinci bölümde yapılan mantar çürüklük testinden farkı EN 113 (2016) standardındaki orijinal örnek boyutlarının kullanılması (15x25x50 mm) dolayısıyla deneylerin petri kabında değil kolle kültür şişelerinde yapılmasıdır. Ayrıca, kayın odun örnekleri için *Pleurotus ostreatus*, sarıçam örnekleri için ise *Poria placenta* türleri kullanılarak testler gerçekleştirilmiştir. 16 haftalık test süresinin sonunda ağırlık kaybı hesabı ve dayanıklılık sınıfları birinci bölümde anlatıldığı gibi gerçekleştirilmiş ve sonuçların ortalamaları verilmiştir.

#### 2.2.2.4.4. Sinerjik Etkinin Hesaplanması

Sinerjik etki hesaplaması mantar çürüklük testi sonuçları baz alınarak yapılmıştır. (Colby, 1967), İkili bileşik ve üçlü bileşik arasındaki sinerjik etki Denklem 75 ve 76'da verilmiştir.

$$E = X + Y - \frac{XY}{100} \quad (75)$$

$$E = X + Y + Z - \frac{XY+XZ+YZ}{100} + \frac{XYZ}{1000} \quad (76)$$

Denklemlerdeki,

E: çalışılan kimyasalların karışımından beklenen büyüme inhibisyon yüzdesi (%),

X: 1. maddenin a konsantrasyonda yaptığı büyüme inhibisyon yüzdesi (%),

Y: 2. maddenin a konsantrasyonda yaptığı büyüme inhibisyon yüzdesi (%),

Z: 3. maddenin a konsantrasyonda yaptığı büyüme inhibisyon yüzdesi (%)

Gözlenen cevap beklenenden daha büyük olduğunda, kombinasyon sinerjiktir; beklenenden az olduğunda, karşıttır (antagonistik) (Colby, 1967).

### 2.2.3. Üçüncü Bölüm

Tezin üçüncü bölümünde yapılan çalışmalar şu şekilde sıralanabilir:

- Sinerjik etkiye sahip olduğu düşünülen kimyasalların konsantrasyonlarının değiştirilerek 26 grupluk yeni bir emprenye deseni oluşturulması.
- Bu desendeki grupların bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik performanslarının belirlenmesi,
- Elde edilen verilerin modellenmesi ve optimizasyonunun yapılması,
- Amaç fonksiyonuna en çok uyan emprenye grubunun belirlenmesi.

#### 2.2.3.1. Üçüncü Bölüm Örnekleri İçin Emprenye Deseninin Oluşturulması

Her iki ağaç türü için sinerjik etki gösteren kimyasallar seçildikten sonra (yapay antioksidanlar arasından sodyum askorbat, GRAS bileşikleri arasından Sodyum benzoat ve nano-oksitler arasından  $\text{SiO}_2$ ) her kimyasalın etki gösterdiği minimum konsantrasyon (%1,0) ve bu konsantrasyonun yarısı (%0,5) alınarak yine tekli, ikili ve üçlü kombinasyonların olduğu 26 grupluk emprenye deseni oluşturularak odun örnekleri dolu hücre yöntemine göre emprenye edilmiş ve retensiyon değerleri hesaplanmıştır.

#### 2.2.3.2. Üçüncü Bölüm Örneklerinin Bazı Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Performanslarının Belirlenmesi

Üçüncü bölümde deney örneklerine;

- Fiziksel test olarak, su alma oranı testi,
- Mekanik test olarak, liflere paralel basınç direnci,
- Biyolojik test olarak ise mantar çürüklük testi yapılmıştır.

Üçüncü bölüm örneklerinin tüm testleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Mantar çürüklük testinde sarıçam odunu örnekleri için *Coniophora puteana*, kayın odunu örnekleri için ise *Coriolus versicolor* mantarları kullanılmıştır. Deneylede modifiye edilmiş örnek boyutları ile çalışılmıştır.

### 2.2.3.3. Elde Edilen Verilerin Modellenmesi ve Optimizasyonunun Yapılması

#### 2.2.3.3.1. Modelleme

##### 2.2.3.3.1.1. Regresyon Analizi

Kayın ve sarıçam örnekleri kullanılan çalışmada su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybının modellenmesi için çoklu doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Tüm modellerde bağımsız değişkenler aynı olup bunlar yapay antioksidan (sodyum askorbat), GRAS (sodyum benzoat) ve nano-oksit (silisyum dioksit) kimyasallarının empenye çözeltisi içindeki ağırlıkça yüzdesel (konsantrasyon) oranlarıdır. Dolayısıyla su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybı için genel modeller sırasıyla aşağıda verilmiştir (Denklem 77-79).

$$\text{Su alma oranı} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad (77)$$

$$\text{Liflere paralel basınç direnci} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad (78)$$

$$\text{Ağırlık kaybı} = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad (79)$$

Burada  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $X_3$  sırasıyla sodyum askorbat, sodyum benzoat ve nano-silisyum dioksit'nin yüzdesel oranıdır. Sunulan çalışmada 2 farklı odun türü kullanıldığı için toplamda 6 model elde edilmiştir. Elde edilen modellerin performansını belirlemek için yaygın olarak standart hata kullanılır. Denklem 80'de standart hata hesaplaması gösterilmiştir.

$$\text{Standart Hata} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - T_i)^2}{n - (m + 1)}} \quad (80)$$

Burada  $D$  deneysel veri değeri,  $T$  modelin ürettiği tahmin değeri,  $n$  veri sayısı ve  $m$  bağımsız parametre sayısıdır. Ayrıca deneysel veriler ile regresyon modelinin sunduğu tahmin değerlerinin uyumunu araştırmak için korelasyon katsayısı (correlation coefficient) ve belirlilik katsayısı (coefficient of determination) da Denklem 81 ve 82'deki gibi hesaplanmaktadır.

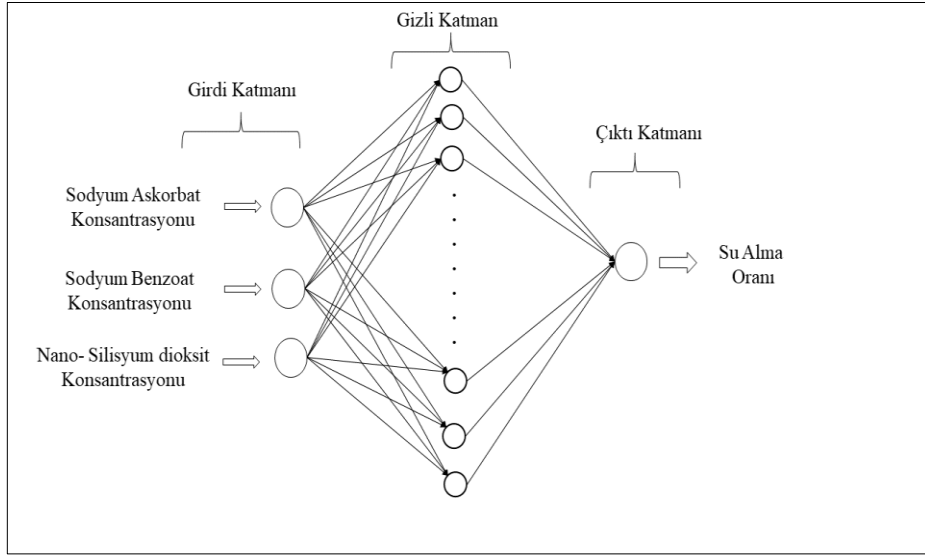
$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n D_i T_i - (\sum_{i=1}^n D_i)(\sum_{i=1}^n T_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n D_i^2 - (\sum_{i=1}^n D_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2}} \quad (81)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2} \quad (82)$$

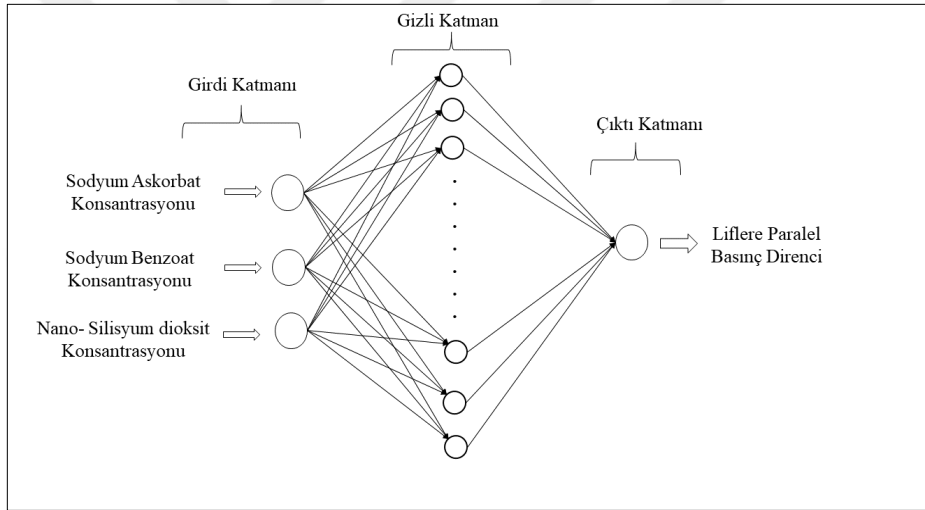
Burada  $\bar{D}$  deneysel olarak elde edilen çıktı değerlerinin ortalamasıdır.

#### 2.2.3.3.1.2. YSA

Tez kapsamında yapılan çalışmada her bir odun türü için 3 farklı YSA modeli geliştirilmiştir. Dolayısıyla sarıçam ve kayın odun türleri kullanılan bu çalışma için toplamda 6 model elde edilmiştir. Bu modellerin hepsi için girdi parametreleri aynı olup seçilen üç farklı kimyasal maddenin, hazırlanan emprenye çözeltisi içindeki yüzdesel konsantrasyon değeridir. Burada kullanılan yüzdesel oranlar daha önce gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda sınırlar içerisinde olup sodyum askorbat, sodyum benzoat ve nano-silisyum dioksit için %0 ile %1 arasında değişmektedir. Sunulan 3 farklı modelin çıktı parametreleri ise sırasıyla su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybıdır. Esasen YSA bu üç çıktı değerini tek bir model ile tahmin etme becerisine sahiptir. Fakat üç farklı model kurularak hem daha güçlü bir tahmin aracı geliştirilmiş olunacak hem de çoklu doğrusal regresyon ile geliştirilen modellerle kıyaslaması yapılabilecektir. Su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybı için oluşturulan YSA modelleri sırasıyla Şekil 22-24'te sunulmuştur.

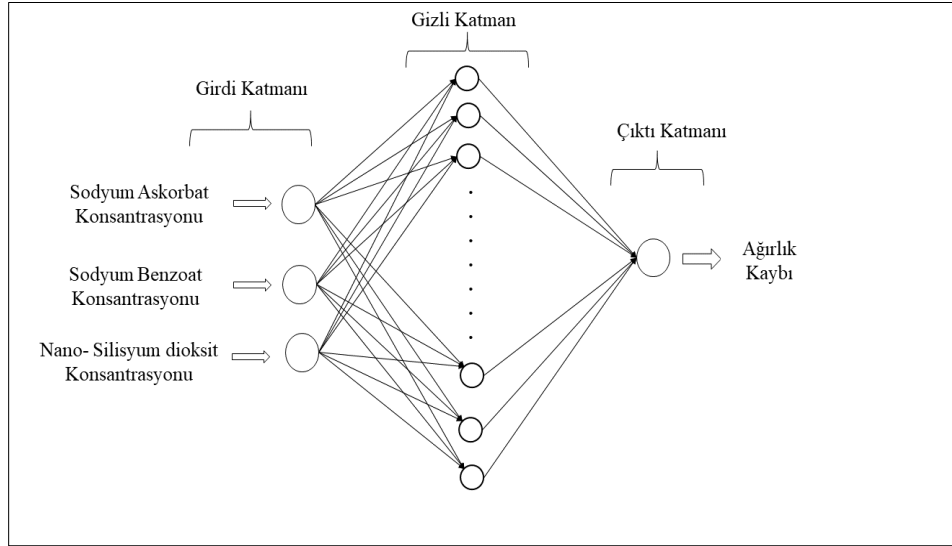


Şekil 22. Su alma oranı için YSA modeli



Şekil 23. Liflere paralel basınç direnci için YSA modeli





Şekil 24. Ağırlık kaybı için YSA modeli

YSA ile modelleme işlemi MATLAB programında ".m file" kodu oluşturularak yapılmıştır. Problemin yapısına uygun olarak tek bir gizli katman kullanılarak oluşturulan modellerin eğitim sürecinde Levenberg-Marquardt algoritması öğrenme algoritma olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda 15 farklı (1:15) gizli nöron sayısı denenerek en uygun nöron sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Öğrenme katsayısı ve momentum katsayısı 0.5, maksimum iterasyon sayısı 100, doğrulama kontrol sayısı 50 ve hata değeri  $1 \times 10^{-6}$  olarak seçilmiştir. Ayrıca her bir nöron sayısında 1000 farklı model oluşturularak en uygun ağ elde edilmiştir. YSA ile modelleme sürecinde kullanılan parametreler Tablo 16'da gösterilmiştir.

Tablo 16. YSA modellerinde kullanılan parametreler

Parametre	Değer
Eğitim algoritması	Levenberg–Marquardt
Performans fonksiyonu	Ortalama hata karesi
Gizli katman aktivasyon fonksiyonu	Lojistik sigmoid fonksiyon
Çıktı katman aktivasyon fonksiyonu	Doğrusal fonksiyon
Gizli katman sayısı	1
Gizli katman nöron sayısı	1:15
Maksimum doğrulama sayısı	50
Maksimum hata oranı	$1 \times 10^{-6}$
Maksimum iterasyon sayısı	100
Toplam çalıştırma sayısı	1000
Veri setinin bölünmesi	%70 eğitim; %15 doğrulama; %15 test

Ağın eğitimi sürecindeki performans fonksiyonu olarak Denklem 83'te gösterilen hata karelerinin ortalaması (MSE) kullanılmıştır.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (T_i - D_i)^2 \quad (83)$$

Burada T ve D sırasıyla YSA tarafından sunulan tahmin ve deneysel sonuçları göstermektedir. Eğitimi tamamlanmış YSA modellerinin performansını ölçmek için regresyon analizinde olduğu gibi R değerleri de hesaplanmıştır.

#### 2.2.3.3.2. Optimizasyon

Tez kapsamında yapılan çalışmada kayın ve sarıçam odun türlerine yapay antioksidan, GRAS bileşiği ve nano-oksit grubundan olmak üzere üç farklı kimyasal ve bu kimyasalların ikili ve üçlü kombinasyonlarıyla (%0 ile %1,0 konsantrasyonları arasında değişen oranlarda) emprenye edilmiş odun örneklerinde su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı hesabı için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak regresyon ve YSA metodu ile matematiksel modeller kurulmuştur. Son olarak iki yöntemin performansları karşılaştırılarak en uygun modeller belirlenmiş ve bu modeller kullanılarak çok amaçlı optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sürecinde her odun türü için elde edilen matematiksel modellere ek olarak 1,0 kg emprenye çözeltisinin maliyeti (TL/kg) de hesaba katılarak toplam 4 amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonlarının gösterimi sırasıyla Denklem 84-87'de verilmiştir.

$$\min f_1(x) = Su \text{ alma oranı} \quad (84)$$

$$\max f_2(x) = \text{Liflere paralel basınç direnci} \quad (85)$$

$$\min f_3(x) = \text{Ağırlık kaybı} \quad (86)$$

$$\min f_4(x) = \text{Maliyet} \quad (87)$$

Bu bölümde yapılan çalışmanın temel hedefi, yukarıda sayılan 4 farklı amaç fonksiyonu dikkate alındığında en uygun yapay antioksidan, GRAS bileşiği ve nano-oksit oranının belirlenmesidir. Burada her bir odun örneği için 8 optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve bunlar Tablo 17’de gösterilmiştir.

Tablo 17. Yapılan optimizasyon çalışmaları

Optimizasyon Çalışması	Amaç Fonksiyonları
1	Su alma oranı & Maliyet
2	Liflere paralel basınç direnci & Maliyet
3	Ağırlık kaybı & Maliyet
4	Su alma oranı & Liflere paralel basınç direnci & Maliyet
5	Su alma oranı & Ağırlık kaybı & Maliyet
6	Liflere paralel basınç direnci & Ağırlık kaybı & Maliyet
7 & 8	Su alma oranı & Liflere paralel basınç direnci & Ağırlık kaybı & Maliyet

Tez kapsamında yapılan çok amaçlı optimizasyon işlemi, çok amaçlı karınca aslanı algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan karar değişkenlerinin alt ve üst limitleri Tablo 18’de algoritma parametreleri ise Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 18. Karar değişkenleri ve limit değerleri

Karar değişkeni	Alt limit	Üst limit
Yapay antioksidan oranı	%0	%1
GRAS bileşiği oranı	%0	%1
Nano-oksit oranı	%0	%1

Tablo 19. Algoritma parametreleri

Parametre	Değer
Maksimum iterasyon sayısı	100
Karınca sayısı	150
Arşiv boyutu	150

Bu bölümde son olarak elde edilen pareto optimal çözümler kullanılarak birer seçim yapılmıştır. Seçim işleminde ilk olarak her bir amaç fonksiyon değerleri 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Su alma oranı, ağırlık kaybı ve maliyet için minimizasyon yapıldığından minimum değerler 0, maksimum değerler 1 olacak şekilde normalizasyon yapılmıştır. Liflere paralel basınç direncinin maksimum olması istendiği için burada maksimum değer 0 iken minimum değer 1 olarak normalize edilmiştir. Daha sonra her bir amaç ve ilgili önem ağırlığı dikkate alınarak bir nihai seçim fonksiyonu kullanılmıştır. Örnek olarak tüm amaç fonksiyonlarının dikkate alındığı optimizasyon çalışması için seçim fonksiyonu Denklem 88'de gösterilmiştir.

$$F = w_1 f_1 + w_2 f_2 + w_3 f_3 + w_4 f_4 \quad (88)$$

Burada  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  ve  $f_4$  sırasıyla su alma oranı, liflere paralel basınç direnci, ağırlık kaybı ve maliyet fonksiyonlarıdır.  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  ve  $w_4$  ise ilgili fonksiyonların önem derecesi olup toplamı 1 olacak şekilde ayarlanmalıdır. Sunulan tez çalışmasında pareto optimal çözümler kullanılarak yapılan seçim işleminde ilgili amaçların ağırlıkları eşit olarak alınmıştır. Bununla beraber 4 amaç fonksiyonunun dikkate alındığı çalışma için 2 farklı seçim prosedürü gerçekleştirilmiştir. İlk olarak tüm amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit kabul edilerek 0,25 olarak alınmıştır. İkinci seçim alternatifinde ise maliyet fonksiyonunun önem derecesi artırılarak 0,34 olarak alınmış, diğer amaç fonksiyonlarının önem derecesi birbirine eşit olacak şekilde seçildiği için 0,22'ye düşürülmüştür. Böylece maliyetin seçim sürecine nasıl etki ettiği analiz edilmiştir.

#### 2.2.4. Maliyet Analizi

Maliyet analizi, 1 kg emprenye çözeltilisinin fiyatı temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Kimyasalların fiyatları, 2019 yılı Eylül ayı için %18 KDV dahil fiyatları olup, o dönemki (16 Eylül 2019) güncel dolar kur oranı 1 dolar = 5,7 TL dir (Merkez Bankası, 2020). Sonuç olarak 1 kg emprenye çözeltilisinin maliyeti Denklem 89'daki gösterildiği hesaplanmıştır.

$$Maliyet = x_1 * 30,58 + x_2 * 6,7 + x_3 * 34 \quad (89)$$

Burada  $x_1$ ,  $x_2$  ve  $x_3$  sırasıyla sodyum askorbat, sodyum benzoat ve nano-silisyum dioksitin çözeltideki ağırlıkça yüzde konsantrasyon oranıdır.

Örnek olarak; tez kapsamında %1,0 konsantrasyon kullanılan 1 kg'lık empenye çözeltisi için maliyet hesabı Denklem 90'daki gibi olmaktadır.

$$\text{Maliyet} = 1,0 * 30,58 + 1,0 * 6,7 + 1,0 * 34 \quad (90)$$

$$\text{Maliyet} = 71,28 \text{ TL}$$

### 2.2.5. İstatistiksel Analiz

Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerin tamamının istatistiksel analizinde 'SPSS 21.0 for Windows' programı kullanılmıştır. Çalışılan testlerde gruplar arasındaki farkın belirlenmesi amacıyla Basit Varyans Analizi (BVA) yapılmış; gruplar arasındaki farklılığın belirlenmesi için ( $\alpha = 0.05$ ) güven düzeyinde Duncan testi uygulanmıştır

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Birinci Bölüm

##### 3.1.1. Emprenye Öncesi Çalışılan Odun Örneklerine Ait Anatomik Bulgular

###### 3.1.1.1. Sarıçam Odununa Ait Anatomik Bulgular

Sarıçam odununa ait anatomik bulgular Tablo 20’de verilmiştir.

Tablo 20. Sarıçam odununa ait anatomik bulgular

Ölçüm yapılan odun bölgesi	Kesit alınan yön/çeper	Bulgular ( $\mu\text{m}$ )
İlkbahar odunu traheidi	Teğet	26,88 $\pm$ 5,00
İlkbahar odunu traheidi	Radyal	29,65 $\pm$ 4,67
Yaz odunu traheidi	Teğet	11,22 $\pm$ 2,84
Yaz odunu traheidi	Radyal	5,15 $\pm$ 1,81
Özışını genişliği	-	15,72 $\pm$ 7,85
Özışını uzunluğu	-	163,03 $\pm$ 15,92
Çeper çapı (ilkbahar odunu)	Çift Çeper	6,86 $\pm$ 1,54
	Tek Çeper	3,43 $\pm$ 0,77
Çeper çapı (yaz odunu)	Tek Çeper	7,91 $\pm$ 2,09

Yapılan ölçümler sonucu, teğet yöndeki ilkbahar odunu traheidi ve yaz odunu traheidi sırasıyla 26,88 $\pm$ 5,00 ve 11,22 $\pm$ 2,84  $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Aynı odun elemanları radyal yönde sırasıyla 29,65 $\pm$ 4,67 ve 5,15 $\pm$ 1,81  $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Özışını genişliği ve uzunluğu ise sırasıyla 15,72 $\pm$ 7,85 ve 163,03 $\pm$ 15,92  $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Yaz odunu çeperi 7,91 $\pm$ 2,09  $\mu\text{m}$  bulunurken, ilkbahar odunu çeperi ise 3,43 $\pm$ 0,77  $\mu\text{m}$  bulunmuştur.

###### 3.1.1.2. Kayın Odununa Ait Anatomik Bulgular

Kayın odununa ait anatomik bulgular Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Kayın odununa ait anatomik bulgular

Ölçüm yapılan odun bölgesi	Kesit alınan yön/çeper	Bulgular ( $\mu\text{m}$ )
İlkbahar odunu trahesi	Teğet	63,50 $\pm$ 7,86
İlkbahar odunu trahesi	Radyal	55,51 $\pm$ 6,07
Yaz odunu trahesi	Teğet	36,83 $\pm$ 8,00
Yaz odunu trahesi	Radyal	36,05 $\pm$ 7,85
Özışımı genişliği	-	25,03 $\pm$ 7,45
Özışımı uzunluğu	-	283,88 $\pm$ 52,90
Çeper çapı (ilkbahar odunu)	Çift Çeper	4,43 $\pm$ 1,81
	Tek Çeper	2,02 $\pm$ 0,56
Çeper çapı (yaz odunu)	Tek Çeper	4,51 $\pm$ 1,32

Yapılan ölçümler sonucu, teğet yöndeki ilkbahar odunu trahesi ve yaz odunu trahesi sırasıyla 63,50 $\pm$ 7,86 ve 36,83 $\pm$ 8,00  $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Aynı odun elemanları radyal yönde sırasıyla 55,51 $\pm$ 6,07 ve 36,05 $\pm$ 7,85  $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Özışımı genişliği ve uzunluğu ise sırasıyla 25,03 $\pm$ 7,45 ve 283,88 $\pm$ 52,90  $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Yaz odunu çeperi 4,51 $\pm$ 1,32  $\mu\text{m}$  bulunurken, ilkbahar odunu çeperi ise 2,02 $\pm$ 0,56  $\mu\text{m}$  bulunmuştur.

### 3.1.2. Çalışılan Odunların Emprenye Öncesi Özgül Ağırlık Değerlerine Ait Bulgular

Sarıçam ve kayın odununa ait özgül ağırlık değerleri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Sarıçam ve kayın odununa ait özgül ağırlık değerleri

Odun türü	Hava kuru özgül ağırlık ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Tam kuru özgül ağırlık ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
Sarıçam	0,50 $\pm$ 0,05	0,45 $\pm$ 0,05
Kayın	0,70 $\pm$ 0,04	0,65 $\pm$ 0,02

Tablo 22’de görüldüğü üzere, sarıçam ve kayın odununun hava kuru özgül ağırlıkları sırasıyla 0,50 $\pm$ 0,05 ve 0,70 $\pm$ 0,04  $\text{g}/\text{cm}^3$ , aynı odunların tam kuru özgül ağırlıkları ise 0,45 $\pm$ 0,05 ve 0,65 $\pm$ 0,02  $\text{g}/\text{cm}^3$  bulunmuştur.

### 3.1.3. Çalışılan Kimyasallara Ait Bulgular

#### 3.1.3.1. Kimyasalların Anti-Fungal Aktivitelerine Ait Bulgular

Çalışılan kimyasalların anti-fungal aktivitelerine ait bulgular Tablo 23'te verilmiştir.

Tablo 23. Çalışılan kimyasalların anti-fungal aktiviteleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	Konsantrasyon (%)		
				0,5	1,0	1,5
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	45,12 <sup>c</sup> (4,71)*	95,68 <sup>cde</sup> (5,72)	100,00 (0,00)
	2	Etoksikuin	Etanol	67,54 <sup>fg</sup> (5,80)	100,0 <sup>e</sup> (0,00)	100,00 (0,00)
	3	Potasyum disulfit	Su	32,49 <sup>b</sup> (3,14)	86,79 <sup>b</sup> (4,23)	100,00 (0,00)
	4	Sodyum askorbat	Su	70,38 <sup>g</sup> (4,98)	100,0 <sup>e</sup> (0,00)	100,00 (0,00)
	5	Sodyum eritorbat	Su	61,62 <sup>cf</sup> (5,29)	92,43 <sup>bcd</sup> (5,31)	100,00 (0,00)
	6	TBHQ	Etanol	80,45 <sup>h</sup> (4,20)	100,0 <sup>e</sup> (0,00)	100,00 (0,00)
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	75,54 <sup>gh</sup> (4,03)	100,0 <sup>e</sup> (0,00)	100,00 (0,00)
	8	Sorbik asit	Etanol	56,82 <sup>de</sup> (5,19)	94,45 <sup>cde</sup> (5,30)	100,00 (0,00)
	9	Sodyum benzoat	Su	68,42 <sup>fg</sup> (5,20)	100,0 <sup>e</sup> (0,00)	100,00 (0,00)
Nano-oksit	10	MgO	Su	55,90 <sup>de</sup> (4,82)	92,56 <sup>bcd</sup> (4,82)	100,00 (0,00)
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	55,02 <sup>de</sup> (4,78)	90,01 <sup>bc</sup> (4,70)	100,00 (0,00)
	12	ZnO	Su	52,30 <sup>cd</sup> (5,34)	98,71 <sup>de</sup> (2,04)	100,00 (0,00)
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	50,31 <sup>cd</sup> (4,99)	95,56 <sup>cde</sup> (4,95)	100,00 (0,00)
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	50,75 <sup>cd</sup> (5,03)	96,73 <sup>de</sup> (3,01)	100,00 (0,00)
Kontrol	15	Etanol		0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00
	16	Sadece malt-agar karışımı		0,00 <sup>a</sup>	0,00 <sup>a</sup>	0,00

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını (p>0,05) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.



Tablo 23 incelendiğinde, çalışılan tüm kimyasalların %0,5 konsantrasyondaki çözeltilerinin *C. puteana* mantarının gelişimini yüzde  $32,49 \pm 3,14$  ile  $80,45 \pm 4,20$  arasında engellediği görülmektedir. Bu kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltileri ise  $86,79 \pm 4,23$  ile %100 oranında antifungal aktivite göstermiştir. %1,5 konsantrasyondaki tüm çözeltiler mantar gelişimini tamamen engelleyerek, %100 antifungal aktivite gösterdiği görülmüştür.

Antifungal aktivite sonuçlarından sonra %1,0 konsantrasyondaki tüm çözeltilerin %87 ve üzerinde mantar gelişimini inhibe ettiği görülmüştür. Dolayısıyla bundan sonra yapılacak testler için MİK değeri %1,0 alınarak, bu konsantrasyondaki çözeltilerle çalışmalara devam edilmiştir.

Çözeltilerin antifungal değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 24’te verilmiştir.

Tablo 24. Çözeltilerin antifungal değerlerine ait BVA sonuçları

Çalışılan konsantrasyon	Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
%0,5	Gruplar arası	24561,52	15	1637,43	79,17	0,00
	Grup içi	661,78	32	20,68		
	Toplam	25223,30	47			
%1,0	Gruplar arası	49013,59	15	3267,57	275,24	0,00
	Grup içi	379,88	32	11,87		
	Toplam	49393,48	47			
%1,5	Gruplar arası	52500,00	15	3500,00		
	Grup içi	0,00	32	0,00		
	Toplam	52500,00	47			

### 3.1.3.2. Kimyasalların Antioksidan Kapasitelerine Ait Bulgular

Çalışılan kimyasalların %1,0 konsantrasyonda hazırlanmış çözeltilerinin antioksidan kapasiteleri Tablo 25’te verilmiştir.

Tablo 25. Çalışılan kimyasalların antioksidan özelliği

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	FRAP ( $\mu\text{mol FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$ )
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	2810,57 <sup>k</sup> (4,04)*
	2	Etoksikuin	Etanol	1770,00 <sup>i</sup> (5,20)
	3	Potasyum disulfit	Su	2078,14 <sup>j</sup> (3,03)
	4	Sodyum askorbat	Su	2820,57 <sup>h</sup> (2,02)
	5	Sodyum eritorbat	Su	694,25 <sup>g</sup> (8,33)
	6	TBHQ	Etanol	4775,57 <sup>i</sup> (13,03)
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	107,28 <sup>d</sup> (7,07)
	8	Sorbik asit	Etanol	138,71 <sup>df</sup> (1,01)
	9	Sodyum benzoat	Su	278,00 <sup>d</sup> (4,00)
Nano-oksit	10	MgO	Su	129,42 <sup>df</sup> (13,13)
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	70,31 <sup>b</sup> (0,20)
	12	ZnO	Su	154,42 <sup>f</sup> (3,03)
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	21,87 <sup>a</sup> (0,30)
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	83,71 <sup>c</sup> (10,10)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını (p>0,05) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 25'te görüldüğü üzere çalışılan kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltilerinin antioksidan aktiviteleri en düşük 21,871±0,303  $\mu\text{mol FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$  değeri ile TiO<sub>2</sub> çözeltisinde en yüksek ise 4775,571±13,030  $\mu\text{mol FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O/g}$  değeri ile TBHQ çözeltisinde bulunduğu görülmektedir. Çalışılan kimyasalların %1,0 konsantrasyonda hazırlanmış çözeltilerinin antioksidan değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26. Çalışılan kimyasalların antioksidan değerlerine ait BVA sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Gruplar arası	77520711,41	11	7047337,40	22951,09	0,00
Grup içi	7369,41	24	307,05		
Toplam	77528080,82	35			

### 3.1.3.3. Kimyasalların pH Değerlerine Ait Bulgular

Çalışılan kimyasalların %1 konsantrasyonda hazırlanmış çözeltilerinin pH değerleri Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 27. Çalışılan kimyasalların pH değerleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	pH
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	3,17
	2	Etoksikuin	Etanol	9,9
	3	Potasyum disulfit	Su	5,28
	4	Sodyum askorbat	Su	7,58
	5	Sodyum eritorbat	Su	8,34
	6	TBHQ	Etanol	7,67
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	6,2
	8	Sorbik asit	Etanol	6,75
	9	Sodyum benzoat	Su	7,49
Nano-oksit	10	MgO	Su	10,86
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	8,76
	12	ZnO	Su	8,69
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	7,75
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	10,48
Çözücü	-	-	Su	6,89
	-	-	Etanol	7,20

Tablo 27’den görüldüğü üzere, çalışılan kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltilerinin pH değerleri 3,17 ile 10,86 arasında değişmiştir.

### 3.1.4. Sarıçam Odunun Retensiyon Değerlerine Ait Bulgular

Çalışılan kimyasallardan %1,0 konsantrasyonda hazırlanan emprenye çözeltileri ile muamele edilen sarıçam odunu örneklerinin retensiyon miktarlarına ait bulgular Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 28. %1,0 konsantrasyonda emprenye edilen sarıçam odunu örneklerine ait retensiyon değerleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	Retensiyon (kg/m <sup>3</sup> )
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	6,12 <sup>a</sup> (0,55)
	2	Etoksikuin	Etanol	5,24 <sup>a</sup> (0,82)
	3	Potasyum disulfit	Su	6,05 <sup>a</sup> (0,75)
	4	Sodyum askorbat	Su	5,84 <sup>a</sup> (0,72)
	5	Sodyum eritorbat	Su	5,19 <sup>a</sup> (0,54)
	6	TBHQ	Etanol	5,35 <sup>a</sup> (0,26)
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	4,50 <sup>a</sup> (0,83)
	8	Sorbik asit	Etanol	5,19 <sup>a</sup> (0,76)
	9	Sodyum benzoat	Su	6,05 <sup>a</sup> (0,85)
Nano-oksit	10	MgO	Su	6,05 <sup>a</sup> (0,73)
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	6,51 <sup>a</sup> (0,89)
	12	ZnO	Su	6,12 <sup>a</sup> (0,49)
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	6,53 <sup>a</sup> (0,86)
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	5,97 <sup>a</sup> (0,62)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını (p>0,05) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 28’den görüldüğü üzere, çalışılan kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltileri ile emprenye edilen sarıçam odunlarının retensiyon değerleri 4,505±0,834 ile 6,536±0,863 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir. %1,0 konsantrasyonda emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin retensiyon değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 29’da verilmiştir.

Tablo 29. %1,0 konsantrasyonda emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin retensiyon değerlerine ait BVA sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Gruplar arası	13,17	13	1,01	1,97	0,06
Grup içi	14,38	28	0,51		
Toplam	27,56	41			

### 3.1.5. Emprenye Çözeltilerinin Emprenye Öncesi ve Sonrası pH Değerlerine Ait Bulgular

Emprenye çözeltilerinin emprenye öncesi ve sonrası pH değerlerine ait bulgular Tablo 30'da gösterilmiştir.

Tablo 30. Emprenye öncesi (ES) ve emprenye sonrası (ES) emprenye çözeltilerinin pH değerleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	EÖ pH	ES pH
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	3,17	3,34
	2	Etoksikuin	Etanol	9,9	7,4
	3	Potasyum disulfid	Su	5,28	5,13
	4	Sodyum askorbat	Su	7,58	7,01
	5	Sodyum eritorbat	Su	8,34	7,03
	6	TBHQ	Etanol	7,67	6,22
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	6,2	5,13
	8	Sorbik asit	Etanol	6,75	5,44
	9	Sodyum benzoat	Su	7,49	6,89
Nano-oksit	10	MgO	Su	10,86	10,7
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	8,76	7,92
	12	ZnO	Su	8,69	7,54
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	7,75	6,88
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	10,48	8,81

Tablo 30'dan görüldüğü üzere çalışılan kimyasalların %1,0 lik konsantrasyondaki çözeltilerinin pH değerleri odunla etkileşimden sonra yani emprenye işleminden sonra farklı oranlarda değişmiştir. Bu değişim sadece eritorbik asit çözeltilisinde emprenyeden sonra artış

eğiliminde olurken, diğer tüm kimyasalların çözeltilerinin pH değerleri emprenye işleminden sonra bir miktar azalış göstermiştir.

### 3.1.6. Emprenyeli Odun Örneklerinin Fiziksel Test Performanslarına Ait Bulgular

#### 3.1.6.1. Sarıçam Odunu Örneklerinin Tam Kuru Özgül Ağırlık Değerlerine Ait Bulgular

Emprenye öncesi (EÖ) ve emprenye sonrası (ES) sarıçam odunu örneklerinin tam kuru özgül ağırlık değerleri Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye öncesi (EÖ) ve emprenye sonrası (ES) tam kuru özgül ağırlık değerleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	Tam kuru özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	
				EÖ	ES
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	0,45 <sup>a</sup> (0,03)	0,45 <sup>a</sup> (0,04)
	2	Etoksikuin	Etanol	0,45 <sup>a</sup> (0,03)	0,45 <sup>a</sup> (0,03)
	3	Potasyum disulfid	Su	0,45 <sup>a</sup> (0,01)	0,45 <sup>a</sup> (0,01)
	4	Sodyum askorbat	Su	0,45 <sup>a</sup> (0,01)	0,45 <sup>a</sup> (0,02)
	5	Sodyum eritorbat	Su	0,45 <sup>a</sup> (0,01)	0,45 <sup>a</sup> (0,01)
	6	TBHQ	Etanol	0,45 <sup>a</sup> (0,01)	0,45 <sup>a</sup> (0,02)
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	0,45 <sup>a</sup> (0,02)	0,45 <sup>a</sup> (0,03)
	8	Sorbik asit	Etanol	0,45 <sup>a</sup> (0,02)	0,45 <sup>a</sup> (0,02)
	9	Sodyum benzoat	Su	0,44 <sup>a</sup> (0,02)	0,45 <sup>a</sup> (0,04)
Nano-oksit	10	MgO	Su	0,45 <sup>a</sup> (0,02)	0,45 <sup>a</sup> (0,03)
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	0,45 <sup>a</sup> (0,01)	0,45 <sup>a</sup> (0,03)
	12	ZnO	Su	0,44 <sup>a</sup> (0,03)	0,45 <sup>a</sup> (0,07)
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	0,45 <sup>a</sup> (0,01)	0,45 <sup>a</sup> (0,02)
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	0,44 <sup>a</sup> (0,03)	0,45 <sup>a</sup> (0,04)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını (p>0,05) ifade etmektedir. Emp.: Emprenye, \*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 31 incelendiğinde, emprenye öncesi sarıçam odun örnek gruplarının tam kuru özgül ağırlıkları  $0,44\pm 0,02$  ile  $0,45\pm 0,03$  g/cm<sup>3</sup> arasında değişirken, emprenye sonrası tüm grupların tam kuru özgül ağırlıkları artış göstererek,  $0,451\pm 0,045$  ile  $0,459\pm 0,019$  g/cm<sup>3</sup> arasında bulunmuştur. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye öncesi ve emprenye sonrası tam kuru özgül ağırlık değerlerinin BVA sonuçları Tablo 32’de verilmiştir.

Tablo 32. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye öncesi ve sonrası tam kuru özgül ağırlık değerlerinin BVA sonuçları

Tam kuru özgül ağırlık	Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Emprenye öncesi	Gruplar arası	0,00	13	0,00	0,01	1,00
	Grup içi	0,01	28	0,00		
	Toplam	0,01	41			
Emprenye sonrası	Gruplar arası	0,00	13	0,00	0,00	1,00
	Grup içi	0,03	28	0,00		
	Toplam	0,03	41			

### 3.1.6.2. Emprenyeli Sarıçam Odunu Örneklerinin Su Alma ve Su İticilik Oranlarına Ait Bulgular

Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin su alma oranlarına ait bulgular Tablo 33’te verilmiştir.

Tablo 33. Sarıçam odunu örneklerinin su alma oranlarına ait bulgular

Grup	Kod	Saat							
		2	4	8	24	48	72	168	336
Yapay antioksidan	1	40,20 <sup>c</sup> (1,33)	45,29 <sup>c</sup> (1,30)	49,04 <sup>c</sup> (1,77)	57,18 <sup>bc</sup> (2,06)	64,79 <sup>bcd</sup> (3,23)	74,85 <sup>bcd</sup> (3,20)	92,31 (4,61 <sup>bc</sup> )	108,05 <sup>abc</sup> (4,83)
	2	40,05 <sup>c</sup> (1,35)	45,66 <sup>c</sup> (1,91)	51,18 <sup>cd</sup> (2,15)	67,76 <sup>e</sup> (3,32)	78,42 <sup>g</sup> (3,80)	88,78 <sup>f</sup> (3,63)	105,59 <sup>e</sup> (4,32)	121,56 <sup>ef</sup> (4,87)
	3	45,32 <sup>d</sup> (1,47)	53,21 <sup>d</sup> (2,04)	59,96 <sup>f</sup> (2,583)	74,75 <sup>f</sup> (3,43)	88,05 <sup>h</sup> (4,18)	95,92 <sup>g</sup> (4,58)	115,33 <sup>f</sup> (4,81)	134,25 <sup>g</sup> (5,56)
	4	38,19 <sup>c</sup> (1,65)	44,80 <sup>c</sup> (1,99)	51,31 <sup>cd</sup> (2,26)	61,38 <sup>cde</sup> (3,44)	67,91 <sup>bcd</sup> (3,60)	76,78 <sup>cde</sup> (3,22)	95,21 <sup>cd</sup> (4,53)	112,63 <sup>bcd</sup> (4,53)
	5	44,04 <sup>de</sup> (1,44)	51,11 <sup>d</sup> (2,62)	54,99 <sup>de</sup> (2,83)	67,02 <sup>e</sup> (3,54)	74,91 <sup>fg</sup> (3,28)	83,17 <sup>ef</sup> (3,75)	105,55 <sup>e</sup> (4,49)	124,33 <sup>f</sup> (4,49)
	6	49,02 <sup>e</sup> (1,69)	52,10 <sup>d</sup> (2,6)	55,37 <sup>de</sup> (2,28)	62,81 <sup>cde</sup> (3,30)	66,75 <sup>bcd</sup> (3,64)	79,59 <sup>de</sup> (3,56)	97,65 <sup>cde</sup> (4,6)	115,12 <sup>bcd</sup> (4,92)
GRAS	7	54,01 <sup>f</sup> (2,56)	57,52 <sup>e</sup> (2,33)	59,93 <sup>f</sup> (3,38)	65,33 <sup>de</sup> (3,55)	71,49 <sup>def</sup> (3,02)	81,52 <sup>de</sup> (3,12)	102,50 <sup>de</sup> (4,81)	119,56 <sup>ef</sup> (4,51)
	8	48,21 <sup>de</sup> (1,31)	52,38 <sup>d</sup> (2,38)	58,54 <sup>ef</sup> (2,98)	65,19 <sup>de</sup> (3,78)	69,56 <sup>cdef</sup> (3,28)	72,02 <sup>bc</sup> (3,36)	97,92 <sup>cde</sup> (4,12)	117,74 <sup>def</sup> (4,20)
	9	44,62 <sup>d</sup> (1,47)	49,46 <sup>d</sup> (2,21)	54,53 <sup>de</sup> (2,28)	62,66 <sup>cde</sup> (3,12)	71,45 <sup>def</sup> (3,23)	79,36 <sup>de</sup> (3,40)	99,64 <sup>cde</sup> (4,99)	116,73 <sup>cdef</sup> (5,05)
Nano-oksit	10	40,59 <sup>c</sup> (1,52)	45,34 <sup>c</sup> (2,92)	49,60 <sup>c</sup> (2,48)	58,41 <sup>c</sup> (3,20)	64,15 <sup>bc</sup> (3,19)	71,03 <sup>bc</sup> (3,09)	92,46 <sup>bc</sup> (4,29)	109,90 <sup>abcd</sup> (4,44)
	11	34,14 <sup>b</sup> (1,56)	38,93 <sup>b</sup> (1,77)	42,97 <sup>b</sup> (1,99)	56,85 <sup>bc</sup> (3,88)	69,26 <sup>cdef</sup> (3,58)	80,66 <sup>de</sup> (3,41)	83,01 <sup>a</sup> (3,96)	110,18 <sup>abcd</sup> (4,81)
	12	31,02 <sup>a</sup> (1,90)	34,81 <sup>a</sup> (1,11)	39,92 <sup>ab</sup> (1,27)	48,86 <sup>a</sup> (2,35)	56,42 <sup>a</sup> (3,74)	61,57 <sup>a</sup> (3,56)	85,23 <sup>ab</sup> (4,14)	102,49 <sup>a</sup> (4,62)
	13	30,84 <sup>a</sup> (1,42)	35,39 <sup>ab</sup> (1,87)	42,33 <sup>b</sup> (2,80)	59,88 <sup>cd</sup> (3,74)	72,8 <sup>efg</sup> (3,94)	81,80 <sup>de</sup> (3,99)	93,15 <sup>bc</sup> (4,18)	106,32 <sup>ab</sup> (4,75)
	14	28,42 <sup>a</sup> (0,72)	32,35 <sup>a</sup> (1,27)	37,21 <sup>a</sup> (2,89)	51,29 <sup>ab</sup> (2,95)	61,76 <sup>ab</sup> (3,11)	68,39 <sup>b</sup> (3,51)	82,98 <sup>a</sup> (3,81)	106,29 <sup>ab</sup> (4,66)
Kontrol	15	54,20 <sup>f</sup> (2,04)	66,74 <sup>f</sup> (3,31)	78,69 <sup>g</sup> (3,71)	83,52 <sup>g</sup> (4,52)	99,63 <sup>i</sup> (4,85)	100,60 <sup>g</sup> (5,56)	157,92 <sup>g</sup> (5,53)	177,17 <sup>h</sup> (6,87)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 33 incelendiğinde, emprenyeli tüm gruplarda ve kontrol örneklerinde su alma oranının suda bekleme süresi ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Emprenyeli odun örnekleri gruplarının 2. saatte su alma oranları  $\%28,42 \pm 0,72$  ile  $\%54,01 \pm 2,56$  arasında değişirken, 336. saatte su alma oranları  $\%102,49 \pm 4,62$  ile  $\%134,25 \pm 5,56$  arasında bulunmuştur. Kontrol örneklerinde ise 2. ve 336. saatteki su alma oranları emprenyeli



grupların değerlerinden daha yüksek ve sırasıyla %54,20±2,04 ve %177,17±6,87 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam odunu örneklerinin su alma oranlarına ait BVA sonuçları Tablo 34'te verilmiştir.

Tablo 34. Sarıçam odunu örneklerinin su alma oranlarına ait BVA sonuçları

<b>Ölçüm saati</b>	<b>Varyans Kaynağı</b>	<b>Kareler Top.</b>	<b>Ser. Der.</b>	<b>Kareler Ort.</b>	<b>F-Hesap</b>	<b>Önem Der.</b>
2. saat	Gruplar arası	2327,28	14	166,23	51,20	0,00
	Grup içi	97,39	30	3,24		
	Toplam	2424,68	44			
4. saat	Gruplar arası	3576,50	14	255,46	53,29	0,00
	Grup içi	143,79	30	4,79		
	Toplam	3720,29	44			
8. saat	Gruplar arası	4432,33	14	316,59	51,19	0,00
	Grup içi	185,53	30	6,18		
	Toplam	4617,87	44			
24. saat	Gruplar arası	3150,64	14	225,04	19,53	0,00
	Grup içi	345,69	30	11,52		
	Toplam	3496,34	44			
48. saat	Gruplar arası	4771,17	14	340,79	26,17	0,00
	Grup içi	390,64	30	13,022		
	Toplam	5161,81	44			
72. saat	Gruplar arası	4290,4	14	306,45	22,44	0,00
	Grup içi	409,60	30	13,653		
	Toplam	4700,00	44			
168. saat	Gruplar arası	13942,60	14	995,9	49,17	0,00
	Grup içi	607,57	30	20,25		
	Toplam	14550,17	44			
336. saat	Gruplar arası	13766,67	14	983,33	40,74	0,00
	Grup içi	723,99	30	24,13		
	Toplam	14490,67	44			

Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin su iticilik oranlarına ait bulgular Tablo 35'te verilmiştir.

Tablo 35. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin su iticilik oranlarına ait bulgular

Grup	Kod	Saat							
		2	4	8	24	48	72	168	336
Yapay antioksidan	1	25,57 <sup>e</sup> (2,75)	32,09 <sup>c</sup> (1,42)	37,62 <sup>e</sup> (2,59)	31,49 <sup>h</sup> (1,24)	34,97 <sup>gh</sup> (0,07)	25,64 <sup>i</sup> (0,77)	41,56 <sup>g</sup> (0,87)	39,02 <sup>j</sup> (0,36)
	2	25,34 <sup>e</sup> (1,13)	31,56 <sup>c</sup> (0,53)	34,90 <sup>de</sup> (2,84)	18,85 <sup>b</sup> (0,41)	21,04 <sup>b</sup> (7,66)	11,79 <sup>b</sup> (1,08)	33,14 <sup>b</sup> (0,39)	31,39 <sup>c</sup> (0,08)
	3	16,17 <sup>cd</sup> (1,08)	20,25 <sup>ab</sup> (0,95)	23,74 <sup>ab</sup> (3,36)	10,47 <sup>a</sup> (0,73)	11,61 <sup>a</sup> (0,10)	4,72 <sup>a</sup> (0,51)	26,98 <sup>a</sup> (0,48)	24,23 <sup>a</sup> (0,20)
	4	29,46 <sup>f</sup> (0,58)	32,86 <sup>c</sup> (0,33)	34,74 <sup>de</sup> (2,90)	26,51 <sup>f</sup> (0,14)	31,84 <sup>efd</sup> (0,29)	23,72 <sup>h</sup> (0,85)	39,72 <sup>f</sup> (0,75)	36,43 <sup>h</sup> (0,09)
	5	18,56 <sup>d</sup> (1,17)	23,16 <sup>b</sup> (7,74)	29,95 <sup>cd</sup> (6,12)	19,75 <sup>c</sup> (0,10)	24,79 <sup>c</sup> (0,36)	17,38 <sup>c</sup> (0,66)	33,17 <sup>b</sup> (0,51)	29,81 <sup>b</sup> (0,18)
	6	9,32 <sup>b</sup> (1,52)	21,67 <sup>ab</sup> (7,78)	29,57 <sup>bcd</sup> (3,05)	24,79 <sup>e</sup> (0,11)	33,01 <sup>fg</sup> (0,39)	20,93 <sup>ef</sup> (0,66)	38,18 <sup>e</sup> (0,74)	35,02 <sup>g</sup> (0,25)
GRAS	7	0,11 <sup>a</sup> (0,02)	13,61 <sup>a</sup> (6,90)	22,464 <sup>a</sup> (4,19)	21,77 <sup>d</sup> (0,01)	28,22 <sup>cde</sup> (0,46)	19,00 <sup>d</sup> (1,20)	35,10 <sup>c</sup> (0,77)	32,51 <sup>d</sup> (0,07)
	8	12,8 <sup>c</sup> (2,76)	21,31 <sup>ab</sup> (6,31)	25,55 <sup>abc</sup> (3,58)	21,95 <sup>d</sup> (0,30)	30,17 <sup>def</sup> (0,10)	28,46 <sup>j</sup> (0,464)	38,00 <sup>de</sup> (0,43)	33,53 <sup>e</sup> (0,20)
	9	18,20 <sup>d</sup> (1,25)	25,87 <sup>bc</sup> (0,36)	30,64 <sup>cd</sup> (3,02)	24,96 <sup>e</sup> (0,32)	28,27 <sup>cde</sup> (0,24)	21,16 <sup>f</sup> (0,81)	36,92 <sup>d</sup> (0,95)	34,12 <sup>f</sup> (0,29)
Nano-oksit	10	25,01 <sup>e</sup> (0,93)	31,80 <sup>c</sup> (7,76)	36,92 <sup>e</sup> (3,00)	30,06 <sup>h</sup> (0,04)	35,61 <sup>gh</sup> (0,06)	29,43 <sup>j</sup> (0,67)	41,46 <sup>g</sup> (0,66)	37,97 <sup>i</sup> (0,10)
	11	37,03 <sup>g</sup> (0,44)	41,66 <sup>d</sup> (0,24)	45,35 <sup>f</sup> (2,49)	31,96 <sup>i</sup> (0,96)	30,48 <sup>def</sup> (0,20)	19,86 <sup>de</sup> (0,87)	47,45 <sup>i</sup> (0,66)	37,81 <sup>i</sup> (0,30)
	12	42,50 <sup>h</sup> (5,84)	47,81 <sup>de</sup> (0,92)	49,22 <sup>fg</sup> (2,05)	41,48 <sup>k</sup> (0,35)	43,40 <sup>i</sup> (0,99)	38,86 <sup>l</sup> (0,29)	46,04 <sup>h</sup> (0,73)	42,16 <sup>l</sup> (0,36)
	13	42,90 <sup>h</sup> (0,68)	46,84 <sup>de</sup> (4,59)	46,18 <sup>f</sup> (3,13)	28,32 <sup>g</sup> (0,59)	26,94 <sup>cd</sup> (0,39)	18,75 <sup>d</sup> (0,35)	41,02 <sup>g</sup> (0,58)	39,99 <sup>k</sup> (0,35)
	14	48,03 <sup>i</sup> (1,59)	51,41 <sup>e</sup> (3,66)	52,70 <sup>g</sup> (3,18)	38,59 <sup>j</sup> (0,20)	38,01 <sup>h</sup> (0,10)	32,08 <sup>k</sup> (0,13)	47,46 <sup>i</sup> (0,57)	40,01 <sup>k</sup> (0,30)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 35 incelendiğinde, emprenyeli tüm gruplarda su iticilik oranının suda bekleme süresi ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Emprenyeli odun örnekleri gruplarının 2. saatte su iticilik oranları  $\%0,11\pm0,02$  ile  $\%48,03\pm1,59$  arasında değişirken, 336. saatte su iticilik oranları  $\%24,23\pm0,20$  ile  $\%42,16\pm0,36$  arasında bulunmuştur. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin su iticilik oranlarına ait BVA sonuçları Tablo 36'da verilmiştir.

Tablo 36. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin su iticilik oranlarına ait BVA sonuçları

Ölçüm saati	Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
2. saat	Gruplar arası	7500,18	13	576,93	131,13	0,00
	Grup içi	123,18	28	4,40		
	Toplam	7623,37	41			
4. saat	Gruplar arası	5253,48	13	404,11	18,39	0,00
	Grup içi	615,12	28	21,96		
	Toplam	5868,61	41			
8. saat	Gruplar arası	3596,40	13	276,64	24,14	0,00
	Grup içi	320,80	28	11,45		
	Toplam	3917,20	41			
24. saat	Gruplar arası	2552,43	13	196,34	692,20	0,00
	Grup içi	7,94	28	0,284		
	Toplam	2560,37	41			
48. saat	Gruplar arası	2319,94	13	178,45	41,17	0,00
	Grup içi	121,36	28	4,33		
	Toplam	2441,31	41			
72. saat	Gruplar arası	2844,00	13	218,76	412,87	0,00
	Grup içi	14,83	28	0,53		
	Toplam	2858,83	41			
168. saat	Gruplar arası	1331,40	13	102,41	225,90	0,00
	Grup içi	12,69	28	0,45		
	Toplam	1344,09	41			
336. saat	Gruplar arası	900,53	13	69,27	1103,47	0,00
	Grup içi	1,75	28	0,06		
	Toplam	902,28	41			

### 3.1.6.3. Emprenye Edilen Sarıçam Odunu Örneklerinin Hacimsel Genişleme Değerlerine Ait Bulgular

Sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası hacimsel genişleme değerlerine ait bulgular Tablo 37’de verilmiştir.

Tablo 37. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası hacimsel genişleme değerleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	Hacimsel genişleme (%)
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	10,41 <sup>abcd</sup> (0,37)*
	2	Etoksikuin	Etanol	11,32 <sup>bcd</sup> (0,36)
	3	Potasyum disulfit	Su	11,37 <sup>bcd</sup> (0,22)
	4	Sodyum askorbat	Su	10,96 <sup>abcd</sup> (0,02)
	5	Sodyum eritorbat	Su	12,22 <sup>de</sup> (0,52)
	6	TBHQ	Etanol	10,77 <sup>abcd</sup> (0,93)
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	11,76 <sup>cde</sup> (1,65)
	8	Sorbik asit	Etanol	10,97 <sup>abcd</sup> (1,01)
	9	Sodyum benzoat	Su	10,29 <sup>abc</sup> (0,47)
Nano-oksit	10	MgO	Su	10,32 <sup>abcd</sup> (0,99)
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	10,64 <sup>abcd</sup> (0,58)
	12	ZnO	Su	9,31 <sup>a</sup> (1,90)
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	9,88 <sup>abc</sup> (1,16)
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	9,61 <sup>ab</sup> (1,85)
Kontrol	15	-	-	13,35 <sup>e</sup> (0,35)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 37 incelendiğinde sarıçam odunu örneklerinin emprenye işleminden sonra hacimsel genişleme değerlerinin  $\%9,31\pm 1,90$  ile  $12,22\pm 0,52$  arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol örneklerinin hacimsel genişleme değerleri ise  $\%13,35\pm 0,35$  değeri ile emprenyeli tüm gruplardan daha yüksek bulunmuştur. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası hacimsel genişleme değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 38’de verilmiştir.

Tablo 38. Sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası hacimsel genişleme değerlerine ait BVA sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Gruplar arası	45,46	14	3,24	3,17	0,00
Grup içi	30,64	30	1,02		
Toplam	76,10	44			

#### 3.1.6.4. Sarıçam Odunu Örneklerinin Renk Ölçümlerine Ait Bulgular

Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin renk değişimlerine ait bulgular Tablo 39'da verilmiştir. Emprenye işleminden sonra emprenye maddesine bağlı olarak sarıçam odun örneklerinde renk değişimleri gözlemlenmiştir. Koyuluk-açıklık ölçütünü ifade eden  $\Delta L$  değeri sodyum eritorbat kimyasalı ile hazırlanan çözelti ile emprenye edilen sarıçam odun örnekleri hariç diğer tüm gruplarda eksi (-) yönde bir artış göstermiştir. Yani odunun rengi koyulaşmıştır. Diğer 13 kimyasal ile emprenye edilen örneklerin  $\Delta L$  değeri  $-0,61 \pm 0,03$  ile  $-25,08 \pm 2,28$  aralığında değişmiştir. Kırmızı/yeşil eksenindeki farkı ifade eden  $\Delta a$  değeri sodyum eritorbat kimyasalı ile hazırlanan çözelti ile emprenye edilen sarıçam odun örnekleri hariç diğer tüm gruplarda artı (+) yönde bir artış göstermiştir. Diğer 13 kimyasal ile emprenye edilen örneklerin  $\Delta a$  değeri  $0,48 \pm 0,07$  ile  $12,9 \pm 3,64$  aralığında değişmiştir. Sarı/mavi eksenindeki farkı ifade eden  $\Delta b$  değeri MgO ve  $TiO_2$  kimyasalları ile hazırlanan çözelti ile emprenye edilen sarıçam odun örnekleri hariç diğer tüm gruplarda artı (+) yönde bir artış göstermiştir. Diğer 12 kimyasal ile emprenye edilen örneklerin  $\Delta b$  değeri  $0,93 \pm 0,02$  ile  $12,77 \pm 2,5$  aralığında değişmiştir. Toplam renk farkını ifade eden  $\Delta L$  değeri ise sarıçam odunları emprenye edildikten sonra  $1,36 \pm 0,22$  ile  $27,32 \pm 3,27$  aralığında bulunmuştur.

Tablo 39. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin renk değişimlerine ait bulgular

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	-0,98 <sup>ef</sup> (0,09)*	1,04 <sup>abcd</sup> (0,36)	7,81 <sup>d</sup> (0,2)	7,94 <sup>de</sup> (0,72)
	2	Etoksikuin	Etanol	-23,26 <sup>a</sup> (1,71)	6,51 <sup>f</sup> (1,23)	12,77 <sup>f</sup> (2,5)	27,32 <sup>f</sup> (3,27)
	3	Potasyum disulfid	Su	-0,61 <sup>ef</sup> (0,03)	0,54 <sup>abc</sup> (0,05)	1,15 <sup>b</sup> (0,35)	1,41 <sup>a</sup> (0,09)
	4	Sodyum askorbat	Su	-2,94 <sup>cde</sup> (0,1)	0,48 <sup>ab</sup> (0,07)	7,33 <sup>d</sup> (0,35)	7,91 <sup>de</sup> (0,6)
	5	Sodyum eritorbat	Su	0,94 <sup>f</sup> (0,01)	-0,63 <sup>a</sup> (0,03)	2,69 <sup>b</sup> (0,36)	2,92 <sup>ab</sup> (0,72)
	6	TBHQ	Etanol	-25,08 <sup>a</sup> (2,28)	12,9 <sup>g</sup> (3,64)	9,56 <sup>e</sup> (1,98)	29,82 <sup>f</sup> (4,73)
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	-5,79 <sup>c</sup> (0,5)	3,39 <sup>e</sup> (0,56)	7,52 <sup>d</sup> (0,18)	10,08 <sup>e</sup> (0,78)
	8	Sorbik asit	Etanol	-2,97 <sup>cde</sup> (0,44)	1,86 <sup>bcd</sup> (0,18)	4,82 <sup>c</sup> (0,75)	5,96 <sup>bcd</sup> (0,56)
	9	Sodyum benzoat	Su	-4,17 <sup>cd</sup> (0,07)	1,32 <sup>abcd</sup> (0,05)	1,76 <sup>b</sup> (0,24)	4,71 <sup>bc</sup> (0,57)
Nano-oksit	10	MgO	Su	-9,93 <sup>b</sup> (0,26)	2,55 <sup>cde</sup> (0,63)	-1,20 <sup>b</sup> (0,42)	10,33 <sup>e</sup> (1,71)
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	-0,79 <sup>ef</sup> (0,05)	0,59 <sup>abc</sup> (0,02)	0,93 <sup>b</sup> (0,02)	1,36 <sup>a</sup> (0,22)
	12	ZnO	Su	-5,41 <sup>c</sup> (0,96)	2,81 <sup>de</sup> (0,49)	2,47 <sup>b</sup> (0,94)	6,58 <sup>cd</sup> (0,4)
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	-2,69 <sup>cde</sup> (0,47)	0,67 <sup>abc</sup> (0,02)	-2,30 <sup>a</sup> (0,68)	3,60 <sup>abc</sup> (0,34)
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	-4,69 <sup>def</sup> (0,21)	1,68 <sup>bcd</sup> (0,21)	2,12 <sup>b</sup> (0,34)	5,41 <sup>bcd</sup> (0,68)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Renk değişim değerlerinin BVA sonuçları Tablo 40'ta verilmiştir.

Tablo 40. Renk değişim değerlerinin BVA sonuçları

Ölçüm	Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
$\Delta L^*$	Gruplar arası	2575,57	13	198,12	72,06	0,00
	Grup içi	76,97	28	2,74		
	Toplam	2652,55	41			
$\Delta a^*$	Gruplar arası	463,25	13	35,63	31,31	0,00
	Grup içi	31,86	28	1,13		
	Toplam	495,11	41			
$\Delta b^*$	Gruplar arası	658,04	13	50,61	55,31	0,00
	Grup içi	25,62	28	0,91		
	Toplam	683,66	41			
$\Delta E^*$	Gruplar arası	3008,41	13	231,41	82,17	0,00
	Grup içi	78,85	28	2,81		
	Toplam	3087,27	41			

### 3.1.7. Biyolojik Performans Değerlerine Ait Bulgular

#### 3.1.7.1. Emprenyeli Sarıçam Odunu Örneklerinin Mantar Çürüklük Testine Ait Bulgular

Mantar çürüklük testine tabi tutulan emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerleri Tablo 41’de verilmiştir.

Tablo 41. Mantar çürüklük testi sonrası emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	Ağırlık kaybı (%)
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	8,93 <sup>bc</sup> (1,21)*
	2	Etoksikuin	Etanol	9,50 <sup>bc</sup> (1,61)
	3	Potasyum disulfit	Su	9,43 <sup>bc</sup> (1,78)
	4	Sodyum askorbat	Su	8,75 <sup>bc</sup> (0,99)
	5	Sodyum eritorbat	Su	8,88 <sup>bc</sup> (1,03)
	6	TBHQ	Etanol	8,76 <sup>bc</sup> (1,02)

Tablo 41'in devamı

GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	11,44 <sup>c</sup> (1,93)
	8	Sorbik asit	Etanol	11,45 <sup>c</sup> (1,50)
	9	Sodyum benzoat	Su	10,01 <sup>bc</sup> (1,34)
Nano-oksit	10	MgO	Su	7,75 <sup>ab</sup> (1,28)
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	6,72 <sup>ab</sup> (1,09)
	12	ZnO	Su	7,46 <sup>ab</sup> (1,20)
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	5,45 <sup>a</sup> (1,04)
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	5,38 <sup>a</sup> (0,99)
Kontrol	15	-	-	39,47 <sup>d</sup> (4,60)

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 41 incelendiğinde, emprenye işleminden sonra *C. puteana* mantarına karşı test edilen sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybının %5,38±0,99 ile %11,45±1,50 aralığında bulunduğu görülmektedir. Kontrol örneklerinin ağırlık kaybı ise %39,47±4,60 bulunmuştur. Mantar çürüklük testine tabi tutulan emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerlerinin BVA sonuçları Tablo 42'de verilmiştir.

Tablo 42. Mantar çürüklük testi sonrası emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerlerinin BVA sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Gruplar arası	2825,54	14	201,82	66,44	0,00
Grup içi	91,12	30	3,03		
Toplam	2916,67	44			



### 3.1.8. Mekanik Performans Değerlerine Ait Bulgular

#### 3.1.8.1. Emprenyeli Sarıçam Odunu Örneklerinin Liflere Paralel Basınç Direnci Değerlerine Ait Bulgular

Birinci bölümde sözü edilen kimyasallarla emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin liflere paralel basınç direnci (LPBD) testine ait değerler Tablo 43'te verilmiştir.

Tablo 43. Emprenyeli sarıçam odun örneklerine ait LPBD değerleri

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	LPBD değeri
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	404,46 <sup>a</sup> (10,86)
	2	Etoksikuin	Etanol	432,71 <sup>abc</sup> (13,61)
	3	Potasyum disulfit	Su	414,49 <sup>ab</sup> (16,79)
	4	Sodyum askorbat	Su	427,16 <sup>abc</sup> (12,65)
	5	Sodyum eritorbat	Su	523,94 <sup>f</sup> (21,54)
	6	TBHQ	Etanol	473,28 <sup>de</sup> (17,30)
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	448,20 <sup>cd</sup> (12,65)
	8	Sorbik asit	Etanol	427,34 <sup>abc</sup> (13,11)
	9	Sodyum benzoat	Su	451,63 <sup>cde</sup> (15,48)
Nano-oksit	10	MgO	Su	478,77 <sup>e</sup> (17,29)
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	422,03 <sup>abc</sup> (14,25)
	12	ZnO	Su	423,50 <sup>abc</sup> (15,72)
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	436,54 <sup>bc</sup> (15,66)
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	529,52 <sup>f</sup> (22,20)
Kontrol	15	-	-	419,37 <sup>b</sup> (15,11)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 43 incelendiğinde, eritorbik asit ile emprenye edilen grup hariç emprenye işleminden sonra test edilen sarıçam odunu örneklerinin LPBD değerlerinin kontrole kıyasla

arttığı ve bu değerlerin  $404,466 \pm 10,869$  ile  $529,523 \pm 22,201$  N/mm<sup>2</sup> aralığında bulunduğu görülmektedir. Kontrol örneklerinin LPBD değeri ise  $419,372 \pm 15,110$  N/mm<sup>2</sup> bulunmuştur. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinde LPBD değerlerinin BVA sonuçları Tablo 44'te verilmiştir.

Tablo 44. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin LPBD değerlerinin BVA sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Gruplar arası	61639,45	14	4402,81	18,04	0,00
Grup içi	7319,05	30	243,96		
Toplam	68958,50	44			

### 3.1.9. Yanma Özelliklerine Ait Bulgular

#### 3.1.9.1. Limit Oksijen İndeksi (LOI) Testine Ait Bulgular

Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinde limit oksijen indeksine ait bulgular Tablo 45'te verilmiştir.

Tablo 45. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinde limit oksijen indeksine ait bulgular

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	LOI değeri
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	23,7
	2	Etoksikuin	Etanol	22,5
	3	Potasyum disulfit	Su	24,5
	4	Sodyum askorbat	Su	25,5
	5	Sodyum eritorbat	Su	25,3
	6	TBHQ	Etanol	22,4
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	22,75
	8	Sorbik asit	Etanol	22,75
	9	Sodyum benzoat	Su	23,7

Tablo 45'in devamı

Nano-oksit	10	MgO	Su	26,75
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	27,5
	12	ZnO	Su	26,3
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	27,5
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	27,5
Kontrol	15	-	-	24,3

Tablo 45 incelendiğinde, emprenye işleminden sonra test edilen sarıçam odunu örneklerinin LOI değerlerinin bazı gruplarda kontrole kıyasla arttığı bazı gruplarda ise azaldığı görülmektedir. Genel olarak çözücüsü etanol olan emprenye çözeltileri ile emprenye edilen gruplardaki odun örneklerinin LOI değerleri düşmüştür yani odunun yanması kolaylaşmıştır. Test edilen tüm gruplardaki LOI değerleri 22,4 ile 27,5 arasında değişmiştir. Kontrol örneklerinin LOI değeri ise 24,3 bulunmuştur.

### 3.1.10. Yüzey Kimyası Analizine Ait Bulgular

#### 3.1.10.1. Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopi (FTIR)

Yapay antioksidanlarla emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafikleri irdeleme bölümünde Şekil 44-50 arasında verilmiştir.

GRAS bileşikleriyle emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafikleri irdeleme bölümünde Şekil 51-54 arasında verilmiştir.

Nano-oksitlerle emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafikleri irdeleme bölümünde Şekil 55-60 arasında verilmiştir.

### 3.1.11. Yüzey Morfolojisine Ait Bulgular

#### 3.1.11.1. SEM Görüntüleri

Yapay antioksidanlarla emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin SEM görüntüleri irdeleme bölümünde Şekil 61-66 arasında verilmiştir.

GRAS bileşikleriyle emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin SEM görüntüleri irdeleme bölümünde Şekil 67-69 arasında verilmiştir.

Nano-oksitlerle emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin SEM görüntüleri irdeleme bölümünde Şekil 70-74 arasında verilmiştir.

### 3.2. İkinci Bölüm

#### 3.2.1. Çalışılan Üç Farklı Kimyasal Grubun Her Birinden En Etkili Birer Kimyasalın Seçilmesi

Birinci bölümde anılan/uygulanan tüm testlerden sonra her 3 gruptan maliyetler de dikkate alınmak kaydıyla ve çalışılan kimyasalların tüm deneylerdeki performansları göz önünde bulundurulmak üzere birer kimyasal seçilmiştir. Bu seçimi doğru bir şekilde yapabilmek için deney örneklerine uygulanan bütün testler ve bu testlere ait tüm sonuçlar, Tablo 46’da bir araya getirilmiştir, tabloda yapılan testlerin sadece ortalama değerleri verilmiştir. Böylece daha sağlıklı bir mukayese ile daha doğru tercihler yapılmaya çalışılmış ve yapay antioksidanlardan, GRAS grubundan ve nano-oksit kimyasalları arasından hangilerinin tercih edildiği Tablo 47’de özetlenmiştir.

Tablo 46. Birinci bölümde deney örneklerine uygulanan test sonuçlarının karşılaştırılması

Grubu	Kod	Kimyasal	Çözücü	Su alma oranı (%)	Hacimsel genişleme (%)	Renk değişimi ( $\Delta E^*$ )	Ağırlık Kaybı (%)	LPBD (N/mm <sup>2</sup> )	LOI değeri
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	108,05	10,41	7,94	8,93	404,46	23,7
	2	Etoksikuin	Etanol	121,56	11,32	27,32	9,50	432,71	22,5
	3	Potasyum disulfit	Su	134,25	11,37	1,41	9,43	414,49	24,5
	4	Sodyum askorbat	Su	112,63	10,96	7,91	8,75	427,16	25,5
	5	Sodyum eritorbat	Su	124,33	12,22	2,92	8,88	523,94	25,3
	6	TBHQ	Etanol	115,12	10,77	29,82	7,76	473,28	22,4
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	119,56	11,76	10,08	11,44	448,20	22,75
	8	Sorbik asit	Etanol	117,74	10,97	5,96	11,45	427,34	22,75
	9	Sodyum benzoat	Su	116,73	10,29	4,71	10,01	451,63	23,7

Tablo 46'nın devamı

Nano-oksit	10	MgO	Su	109,90	10,32	10,33	7,75	478,77	26,75
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	110,18	10,64	1,36	6,72	422,03	27,5
	12	ZnO	Su	102,49	9,31	6,58	7,46	423,50	26,3
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	106,32	9,88	3,60	5,45	436,54	27,5
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	106,29	9,61	5,41	5,38	529,52	27,5
Kontrol				177,17	13,35	-	39,47	419,37	24,3

Tablo 47. İkinci Bölümde çalışmak üzere tercih edilen kimyasallar

Tercih Edilen Kimyasallar	
Yapay Antioksidan Grubundan (A)	Sodyum askorbat
GRAS Grubundan (G)	Sodyum benzoat
Nano-oksit Grubundan (N)	Silisyum dioksit (SiO <sub>2</sub> )

Tablo 47'de de görüldüğü üzere yapılan tüm analizler ve maliyet hesapları da göz önüne alındığı zaman etkinlik parametresi öncelik alınarak yapay antioksidanların arasından sodyum askorbat, GRAS bileşiklerinden sodyum benzoat ve nano-oksitlerden ise SiO<sub>2</sub> seçilmiş ve tezin ikinci bölümü için kurgulanan deneylerde, bu 3 kimyasal ile çalışılmalarına devam edilmiştir.

### 3.2.2. Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Yüzey Kimyası Analizine Ait Bulgular

Antioksidan (A), GRAS (G), nano-oksit (N) ve kombinasyonlarıyla emprenye edilen sarıçam ve kayın odunu örneklerinin FTIR analizi grafikleri irdeleme bölümünde Şekil 75-76'da verilmiştir.

### 3.2.3. Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Biyolojik Testlerine Ait Bulgular

#### 3.2.3.1. Böcek Testi

Seçilen kimyasallarla emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin böcek testi sonuçları Tablo 48'de verilmiştir.

Tablo 48. Sarıçam odunu örneklerinin böcek testi sonuçları

Grup no	Açıklama	Böcek Testi Sonuçları	
		Yaşayan larva sayısı	Ölen larva sayısı
1	Antioksidan (A)	0-6	6-0
2	GRAS (G)	2-4	2-4
3	Nano-oksit (N)	0-1	0-1
4	A + G	0-0	6-6
5	A+ N	0-0	6-6
6	G + N	0-0	6-6
7	A + G + N	0-0	6-6
8	Kontrol	1-3	3-5

Tablo 48 incelendiğinde, tek başına yapay antioksidan, GRAS ya da nano-oksit ile hazırlanan empenye çözeltileriyle empenye edilen sarıçam odunu örneklerinin böcek testi sonrası yaşayan larva sayısı kontrole kıyasla değişiklik gösterdiği, bununla birlikte ikili ve üçlü tüm kombinasyonlarla empenye edilen örneklerdeki tüm larvaların öldüğü görülmektedir. Kontrol örneklerinde ise yaşayan larva sayısı 1-3, ölen larva sayısı 3-5 olarak bulunmuştur.

### 3.2.3.2. Termit Testi

Seçilen kimyasallarla empenye edilen sarıçam odunu örneklerinin termit testi sonuçları Tablo 49’da verilmiştir.

Tablo 49. Sarıçam örneklerinin termit test sonuçları

Grup no	Açıklama	Görsel değerlendirme	Termit ölüm oranı (%)	Ağırlık kaybı (%)
1	Antioksidan (A)	3,6 <sup>b</sup> (0,5)	53,4 <sup>abc</sup> (9,1)	12,5 <sup>d</sup> (1,4)
2	GRAS (G)	4,0 <sup>b</sup> (0,0)	50,6 <sup>ab</sup> (1,4)	11,1 <sup>cd</sup> (0,9)
3	Nano-oksit (N)	3,6 <sup>ab</sup> (0,5)	42,6 <sup>a</sup> (8,2)	13,0 <sup>d</sup> (3,6)
4	A + G	3,5 <sup>ab</sup> (0,7)	67,4 <sup>bc</sup> (10,6)	7,3 <sup>ab</sup> (2,0)
5	A+ N	3,5 <sup>ab</sup> (0,7)	51,8 <sup>ab</sup> (9,8)	10,1 <sup>bcd</sup> (0,7)
6	G + N	3,5 <sup>ab</sup> (0,7)	61 <sup>bc</sup> (5,3)	8,1 <sup>abc</sup> (0,2)
7	A + G + N	2,6 <sup>a</sup> (0,5)	69,7 <sup>c</sup> (13,7)	5,1 <sup>a</sup> (2,4)
8	Kontrol	4,0 <sup>b</sup> (0,0)	35 <sup>d</sup> (5,5)	18,0 <sup>e</sup> (7,3)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 49 incelendiğinde, GRAS ile empenye edilen sarıçam örneklerinin termit testi sonrası görsel değerlendirmesi kontrol örneğiyle aynı bulunduğu görülmektedir. Diğer gruplardaki örneklerin görsel değerlendirme değerleri kontrole çok yakın bulunurken, sadece üçlü kombinasyon (A+G+N) ile empenye edilen sarıçam odunu örneklerinin termit testi sonrası görsel değerlendirmesi kontrole kıyasla daha en farklı (en düşük değer/termit zararından en az etkilenme) bulunmuştur. Emprenye işleminden sonra termit testi sonrası termit ölüm oranı %42,6±8,2 ile %69,7±13,7 aralığında değişmiştir. Kontrol örneklerinin termit ölüm oranı ise %35±5,5 bulunmuştur. Emprenye işleminden sonra termit testi sonrası sarıçam odun örneklerinin ağırlık kaybı değerleri %5,1±2,4 ile %13,0±3,6 aralığında değişmiştir. Kontrol örneklerinin ağırlık kaybı değeri %18,0±7,3 bulunmuştur. Sarıçam odunu örneklerinin termit testi değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 50’de verilmiştir.

Tablo 50. Sarıçam örneklerinin termit testi değerlerine ait BVA sonuçları

Yapılan ölçüm	Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Görsel değerlendirme	Gruplar arası	3,23	6	0,54	1,88	0,05
	Grup içi	4,00	14	0,28		
	Toplam	7,23	20			
Termit ölüm oranı(%)	Gruplar arası	1718,63	6	286,43	3,48	0,02
	Grup içi	1152,38	14	82,31		
	Toplam	2871,01	20			
Ağırlık kaybı(%)	Gruplar arası	150,78	6	25,13	6,76	0,00
	Grup içi	52,04	14	3,71		
	Toplam	202,82	20			

Kayın odunu örneklerinin termit test sonuçları Tablo 51’de verilmiştir.

Tablo 51. Kayın odunu örneklerinin termit test sonuçları

Grup no	Açıklama	Görsel değerlendirme	Termit ölüm oranı (%)	Ağırlık kaybı (%)
1	Antioksidan (A)	4,0 <sup>c</sup> (0,0)	65,8 <sup>d</sup> (5,0)	7,3 <sup>d</sup> (0,2)
2	GRAS (G)	4,0 <sup>c</sup> (0,0)	40,2 <sup>a</sup> (1,4)	7,7 <sup>d</sup> (0,6)
3	Nano-oksit (N)	4,0 <sup>c</sup> (0,0)	74,2 <sup>e</sup> (4,0)	7,3 <sup>d</sup> (0,4)
4	A + G	4,0 <sup>c</sup> (0,0)	52,4 <sup>b</sup> (0,0)	4,7 <sup>c</sup> (0,4)
5	A + N	0,0 <sup>a</sup> (0,0)	100 <sup>f</sup> (0,0)	1,6 <sup>ab</sup> (0,5)
6	G + N	0,6 <sup>b</sup> (0,5)	100 <sup>f</sup> (0,0)	2,1 <sup>b</sup> (1,2)
7	A + G + N	0,0 <sup>a</sup> (0,0)	100 <sup>f</sup> (0,0)	0,7 <sup>a</sup> (0,4)
8	Kontrol	4,0 <sup>c</sup> (0,0)	60,6 <sup>c</sup> (4,9)	9,2 <sup>e</sup> (1,2)

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını (p>0,05) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.



Tablo 51 incelendiğinde, antioksidan, GRAS bileşiği, nano-oksit kimyasallarıyla tek başına ve A + G kombinasyonu ile hazırlanan emprenye çözeltileriyle emprenye edilen kayın örneklerindeki termit testi sonrası görsel değerlendirme değerleri kontrol örneğiyle aynı bulunduğunu görülmektedir. Ayrıca termit testi sonrası A+ N, G + N ve A + G + N kombinasyonlarıyla hazırlanan emprenye çözeltileriyle emprenye edilen kayın örneklerine eklenen tüm termitlerin öldüğü görülmektedir. Emprenye işleminden sonra termit testi sonrası termit ölüm oranı %42,6±8,2 ile %69,7±13,7 aralığında değişmiştir. Kontrol örneklerinin termit ölüm oranı ise %35±5,5 bulunmuştur. Emprenye işleminden sonra termit testi sonrası kayın odun örneklerinin ağırlık kaybı değerleri %0,7±0,4 ile %7,7±0,6 aralığında değişmiştir. Kontrol örneklerinin ağırlık kaybı değeri %9,2±1,2 bulunmuştur. Kayın odunun örneklerinin termit testi değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 52’de verilmiştir.

Tablo 52. Kayın odunun örneklerinin termit testi değerlerine ait BVA sonuçları

Yapılan Ölçüm	Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Görsel değerlendirme	Gruplar arası	72,45	6	12,07	313,95	0,00
	Grup içi	0,50	13	0,03		
	Toplam	72,95	19			
Termit ölüm oranı (%)	Gruplar arası	10431,20	6	1738,53	258,15	0,00
	Grup içi	87,54	13	6,73		
	Toplam	10518,75	19			
Ağırlık kaybı (%)	Gruplar arası	163,70	6	27,28	77,95	0,00
	Grup içi	4,90	14	0,350		
	Toplam	168,60	20			

### 3.2.3.3. Mantar Testi

Seçilen kimyasallarla emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük test sonuçları Tablo 53’te verilmiştir.

Tablo 53. Sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük test sonuçları

Grup no	Açıklama	Çam örnekleri	
		Ağırlık kaybı	Dayanıklılık sınıfı
1	Antioksidan (A)	8,75 <sup>d</sup> (1,37)	Dayanıklı
2	GRAS (G)	10,81 <sup>e</sup> (0,49)	Kısmen Dayanıklı
3	Nano-oksit (N)	5,42 <sup>c</sup> (0,74)	Dayanıklı
4	A + G	5,53 <sup>c</sup> (0,63)	Dayanıklı
5	A+ N	0,36 <sup>a</sup> (0,07)	Çok dayanıklı
6	G + N	2,62 <sup>b</sup> (0,67)	Çok dayanıklı
7	A + G + N	0,04 <sup>a</sup> (0,01)	Çok dayanıklı
8	Kontrol	37,25 <sup>f</sup> (4,20)	Dayanıksız

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 53 incelendiğinde, seçilen kimyasalların tek başına ya da ikili ve üçlü kombinasyonlarıyla hazırlanan empenye çözeltileri ile empenye edilen sarıçam odunlarının mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kayıplarının kontrole kıyasla daha düşük bulunduğu görülmektedir. Test edilen örneklerin ağırlık kayıpları %0,04±0,01 ile %10,81±0,49 aralığında, kontrol örneklerinin ağırlık kaybı ise %37,25±4,20 bulunmuştur. Sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testi değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 54'te verilmiştir.

Tablo 54. Sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testi değerlerine ait BVA sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Gruplar arası	299,36	6	49,89	98,46	0,00
Grup içi	7,09	14	0,50		
Toplam	306,46	20			

Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük test sonuçları Tablo 55'te verilmiştir.

Tablo 55. Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük test sonuçları

Grup no	Açıklama	Kayın	
		Ağırlık kaybı	Dayanıklılık sınıfı
1	Antioksidan (A)	6,97 <sup>d</sup> (1,23)*	Dayanıklı
2	GRAS (G)	7,06 <sup>d</sup> (0,75)	Dayanıklı
3	Nano-oksit (N)	4,56 <sup>c</sup> (0,33)	Çok dayanıklı
4	A + G	3,09 <sup>b</sup> (0,09)	Çok dayanıklı
5	A+ N	2,87 <sup>b</sup> (0,64)	Çok dayanıklı
6	G + N	0,30 <sup>a</sup> (0,08)	Çok dayanıklı
7	A + G + N	0,02 <sup>a</sup> (0,01)	Çok dayanıklı
8	Kontrol	40,31 <sup>e</sup> (6,93)	Dayanıksız

<sup>a</sup>Aynı üssel harfler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ( $p>0,05$ ) ifade etmektedir.

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 55 incelendiğinde, seçilen kimyasalların tek başına ya da ikili ve üçlü kombinasyonlarıyla hazırlanan empenye çözeltileri ile empenye edilen sarıçam odunlarının mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kayıplarının kontrole kıyasla daha düşük bulunduğu görülmektedir. Test edilen örneklerin ağırlık kayıpları %0,02±0,01 ile %7,06±0,75 aralığında, kontrol örneklerinin ağırlık kaybı ise %40,31±6,93 bulunmuştur. Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük testi değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 56'da verilmiştir.

Tablo 56. Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük testi değerlerine ait BVA sonuçları

Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Gruplar arası	145,86	6	24,31	64,80	0,00
Grup içi	4,87	13	0,37		
Toplam	150,73	19			

### 3.2.4. Sinerjik Etkinin Hesaplanması

Sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testine ilişkin sinerjik etki hesaplaması Tablo 57’de verilmiştir.

Tablo 57. Sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testine ilişkin sinerjik etki hesaplaması

Grup no	Kombinasyonlar	Sinerjik etki hesaplaması (Sarıçam)		
		Beklenen değer (%)	Gözlenen değer (%)	Tanım
1	Antioksidan (A)	-	-	-
2	GRAS (G)	-	-	-
3	Nano-oksit (N)	-	-	-
4	A + G	94,47	99,05	Sinerjik
5	A + N	99,64	99,52	Antagonistik
6	G + N	97,38	99,41	Sinerjik
7	A + G + N	99,96	99,96	Sinerjik

Tablo 57 incelendiğinde, gözlenen değer ile beklenen değerler karşılaştırıldığı zaman, A + N kombinasyonu hariç diğer ikili ve kombinasyonlar ile hazırlanan empenye çözeltileri sarıçam odununa uygulandığında sinerjik etki gösterdiği görülmektedir. Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük testine ilişkin sinerjik etki hesaplaması Tablo 58’de verilmiştir.

Tablo 58. Kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük testine ilişkin sinerjik etki hesaplaması

Grup no	Kombinasyonlar	Sinerjik etki hesaplaması (Kayın)		
		Beklenen değer (%)	Gözlenen değer (%)	Tanım
1	Antioksidan (A)	-	-	-
2	GRAS (G)	-	-	-
3	Nano-oksit (N)	-	-	-
4	A + G	96,91	99,50	Antagonistik
5	A + N	97,13	99,68	Sinerjik
6	G + N	99,70	99,67	Antagonistik
7	A + G + N	99,98	99,98	Sinerjik

Tablo 58 incelendiğinde, A + N ikili kombinasyonu ve A + G + N üçlü kombinasyonlarıyla hazırlanan empenye çözeltilerinin kayın odununa uygulandığında sinerjik, A + G ve G + N ikili kombinasyonlarının ise antagonistik etki gösterdiği görülmektedir.

### 3.3. Üçüncü Bölüm

Bu bölümdeki çalışmalara ikinci bölümde çalışılan tüm kimyasallar arasından yapılan tüm analizler ve maliyet hesapları göz önüne alınarak ve etkinlik parametresi öncelik alınarak seçilen kimyasallarla (yapay antioksidanların arasından sodyum askorbat, GRAS bileşiklerinden sodyum benzoat ve nano-oksidlerden ise SiO<sub>2</sub>) ile devam edilmiştir. Modelleme ve optimizasyon yapmak için 26 grupluk yeni bir empenye deseni oluşturulmuştur.

#### 3.3.1. Emprenye Desenin Oluşturulması

Hazırlanan empenye deseni Tablo 59’da verilmiştir. Emprenye deseni oluştururken öncelikle çalışmanın birinci bölümünde belirlenen minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK) (%1,0) baz alınmıştır. Kimyasalların tek başına kullanıldığı empenye çözeltilerinde MİK konsantrasyonu ve onun yarısı olan %0,5 konsantrasyon kullanılmıştır. İkili ve üçlü kombinasyon şeklinde hazırlanan empenye çözeltilerinde ise yine aynı konsantrasyonlar (%0,5 ve %1,0) kullanılmıştır. Her çözelti için grup numarası atanmıştır. 2-7 numaralı gruplar kimyasalların sadece kendilerinin kullanıldığı empenye çözeltilerini, 8-19 numaralı gruplar, kimyasalların ikili kombinasyonlarıyla hazırlanan empenye çözeltilerini, 20-27 numaralı gruplar ise kimyasalların üçlü kombinasyonlarıyla hazırlanan empenye çözeltilerini temsil etmektedir. Örneğin 2 numaralı grup %0,5’lik yapay antioksidan (sodyum askorbat) empenye çözeltisini, 8 numaralı grup %0,5 yapay antioksidan (sodyum askorbat) ile %0,5 GRAS bileşiği (sodyum benzoat) kombinasyonu çözeltisini ifade etmektedir.

Tablo 59. Hazırlanan emprenye deseni

Grup no	Çözelti Konsantrasyonu (%)		
	Yapay antioksidan	GRAS	Nano-oksit (%)
1 (Kontrol)	0	0	0
2	0,5	0	0
3	1,0	0	0
4	0	0,5	0
5	0	1,0	0
6	0	0	0,5
7	0	0	1,0
8	0,5	0,5	0
9	0,5	1,0	0
10	1,0	0,5	0
11	1,0	1,0	0
12	0,5	0	0,5
13	0,5	0	1,0
14	1,0	0	0,5
15	1,0	0	1,0
16	0	0,5	0,5
17	0	0,5	1,0
18	0	1,0	0,5
19	0	1,0	1,0
20	0,5	0,5	0,5
21	0,5	0,5	1,0
22	0,5	1,0	0,5
23	0,5	1,0	1,0
24	1,0	0,5	0,5
25	1,0	0,5	1,0
26	1,0	1,0	0,5
27	1,0	1,0	1,0

### 3.3.2. Retensiyon Değerlerine Ait Bulgular

Hazırlanan emprenye maddelerinin retensiyon miktarları Tablo 60'ta verilmiştir. Kimyasalların retensiyondaki payları çözeltiyi hazırlarken kullanılan kimyasalların ağırlıkları baz alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 60. Hazırlanan emprenye maddelerinin retensiyon miktarları

Grup no	Retensiyon (kg/m <sup>3</sup> )		Retensiyondaki payı (%)		
	Sarıçam	Kayın	Yapay antioksidan	GRAS	Nano-oksit
2	3,177 (0,080)*	2,884 (0,054)	100	0	0
3	6,216 (0,421)	5,514 (0,259)	100	0	0
4	2,893 (0,259)	2,669 (0,128)	0	100	0
5	5,302 (0,719)	5,483 (0,129)	0	100	0
6	2,407 (0,628)	2,615 (0,201)	0	0	100
7	5,649 (0,637)	5,435 (0,241)	0	0	100
8	6,694 (0,356)	5,674 (0,216)	50	50	0
9	9,903 (0,658)	8,476 (0,306)	33,3	66,6	0
10	9,466 (0,759)	8,572 (0,290)	66,6	33,3	0
11	12,249 (0,782)	11,730 (0,491)	50	50	0
12	6,000 (0,497)	6,075 (0,514)	50	0	50
13	8,556 (0,598)	8,006 (0,308)	33,3	0	66,6
14	9,110 (0,522)	8,402 (0,147)	66,6	0	33,3
15	11,580 (0,582)	11,404 (0,309)	50	0	50
16	5,710 (0,342)	5,027 (0,937)	0	50	50
17	8,869 (0,298)	8,209 (0,513)	0	33,3	66,6
18	8,650 (0,840)	8,208 (0,316)	0	66,6	33,3
19	11,456 (0,685)	11,179 (0,268)	0	50	50
20	8,703 (0,597)	8,759 (0,301)	33,3	33,3	33,3
21	11,317 (0,862)	11,745 (0,284)	25	25	50
22	11,418 (0,889)	12,052 (0,211)	25	50	25
23	11,745 (0,708)	12,023 (0,208)	20	40	40
24	11,425 (0,531)	12,171 (0,632)	50	25	25
25	14,963 (1,082)	15,284 (0,363)	40	20	40
26	14,500 (0,791)	14,962 (0,571)	40	40	20
27	18,527 (1,839)	18,210 (0,223)	33,3	33,3	33,3

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

### 3.3.3. Fiziksel Testlere Ait Bulgular

#### 3.3.3.1. Su Alma Oranlarına Ait Bulgular

Üçüncü bölüm örneklerinin su alma oranlarına ait bulgular Tablo 61’de verilmiştir.

Tablo 61. Üçüncü bölüm örneklerinin su alma oranına ait bulgular

Grup no	Su alma oranı (%)	
	Sarıçam	Kayın
1 (Kontrol)	177,17 <sup>j</sup> (6,92)*	113,99 <sup>j</sup> (3,98)
2	118,64 <sup>efghi</sup> (5,54)	102,54 <sup>ghi</sup> (3,51)
3	116,50 <sup>defghi</sup> (5,41)	98,08 <sup>cdefgh</sup> (3,25)
4	119,00 <sup>efghi</sup> (5,67)	98,83 <sup>defgh</sup> (3,18)
5	109,68 <sup>abcde</sup> (5,02)	96,15 <sup>abcdef</sup> (3,09)
6	108,08 <sup>abcd</sup> (5,06)	96,96 <sup>bcdefg</sup> (3,12)
7	106,84 <sup>abcd</sup> (5,12)	92,00 <sup>ab</sup> (2,95)
8	122,49 <sup>ghi</sup> (5,79)	101,51 <sup>ghi</sup> (3,42)
9	119,00 <sup>efghi</sup> (5,01)	100,21 <sup>fghi</sup> (3,33)
10	124,13 <sup>i</sup> (6,16)	105,23 <sup>i</sup> (3,67)
11	120,39 <sup>fghi</sup> (5,87)	103,84 <sup>hi</sup> (3,56)
12	109,98 <sup>abcde</sup> (4,99)	96,03 <sup>abcdef</sup> (3,45)
13	103,70 <sup>abc</sup> (4,87)	91,26 <sup>ab</sup> (3,21)
14	125,99 <sup>i</sup> (6,03)	95,10 <sup>abcdef</sup> (3,67)
15	102,48 <sup>ab</sup> (4,73)	91,52 <sup>abc</sup> (3,14)
16	108,75 <sup>abcd</sup> (5,25)	95,19 <sup>abcdef</sup> (3,46)
17	103,82 <sup>abc</sup> (5,00)	91,55 <sup>abc</sup> (3,24)
18	105,43 <sup>abc</sup> (5,03)	94,43 <sup>abcde</sup> (3,45)
19	101,44 <sup>ab</sup> (4,60)	92,00 <sup>abc</sup> (3,30)
20	113,76 <sup>bcdefg</sup> (4,95)	94,89 <sup>abcde</sup> (3,49)



Tablo 61'in devamı

21	103,01 <sup>ab</sup> (4,86)	92,15 <sup>abc</sup> (3,26)
22	107,59 <sup>abcd</sup> (4,92)	95,91 <sup>abcdef</sup> (3,67)
23	100,80 <sup>a</sup> (4,02)	91,47 <sup>ab</sup> (3,07)
24	111,58 <sup>abcdef</sup> (5,03)	93,15 <sup>abcd</sup> (3,65)
25	107,82 <sup>abcd</sup> (4,99)	89,56 <sup>a</sup> (2,96)
26	105,82 <sup>abc</sup> (4,76)	92,04 <sup>abc</sup> (3,40)
27	101,06 <sup>a</sup> (4,39)	90,55 <sup>ab</sup> (3,10)

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 61 incelendiğinde, hazırlanan 26 grupluk empenye çözeltileriyle empenye edilen sarıçam odunlarının su alma değerlerinin % 100,80±4,02 ile % 122,49±5,79 aralığında, kontrol örneğinin su alma değerinin ise %177,17±6,92 olarak bulunduğu görülmektedir. Empenye işleminden sonra kayın odunlarının su alma değerleri %89,56±2,96 ile %105,23±3,67 aralığında, kontrol örneğinin su alma değeri ise %113,99±3,98 olarak bulunmuştur. Sarıçam ve kayın örneklerinin su alma oranlarına ait BVA sonuçları Tablo 62'de verilmiştir.

Tablo 62. Sarıçam ve kayın örneklerinin su alma oranlarına ait BVA sonuçları

<b>Odun Türü</b>	<b>Varyans Kaynağı</b>	<b>Kareler Top.</b>	<b>Ser. Der.</b>	<b>Kareler Ort.</b>	<b>F-Hesap</b>	<b>Önem Der.</b>
Sarıçam	Gruplar arası	17247,15	26	663,35	24,52	0,00
	Grup içi	1460,49	54	27,04		
	Toplam	18707,65	80			
Kayın	Gruplar arası	2424,27	26	93,24	8,41	0,00
	Grup içi	598,23	54	11,07		
	Toplam	3022,50	80			

### 3.3.4. Mekanik Testlere Ait Bulgular

#### 3.3.4.1. Liflere Paralel Basınç Direnci Testine Ait Bulgular

Üçüncü bölüm örneklerinin liflere paralel basınç direncine ait bulgular Tablo 63'te verilmiştir.

Tablo 63. Üçüncü bölüm örneklerinin liflere paralel basınç direncine ait bulgular

Grup no	Liflere paralel basınç direnci	
	Sarıçam	Kayın
1 (Kontrol)	419,23 <sup>a</sup> (16,66)*	478,56 <sup>a</sup> (12,33)
2	418,15 <sup>a</sup> (12,23)	486,43 <sup>abc</sup> (9,95)
3	425,25 <sup>abc</sup> (13,41)	501,99 <sup>bcd</sup> (10,42)
4	424,27 <sup>ab</sup> (13,32)	473,04 <sup>a</sup> (9,57)
5	452,80 <sup>bcd</sup> (15,70)	502,05 <sup>bcd</sup> (10,01)
6	478,92 <sup>de</sup> (16,02)	489,70 <sup>abcd</sup> (9,78)
7	527,95 <sup>hijklm</sup> (17,24)	529,90 <sup>ghij</sup> (11,33)
8	437,62 <sup>abc</sup> (13,60)	482,48 <sup>ab</sup> (8,78)
9	454,56 <sup>cd</sup> (14,31)	502,47 <sup>bcd</sup> (10,15)
10	437,39 <sup>abc</sup> (14,03)	506,90 <sup>def</sup> (10,24)
11	447,66 <sup>abc</sup> (14,12)	509,17 <sup>def</sup> (10,50)
12	480,55 <sup>de</sup> (14,67)	500,12 <sup>bcd</sup> (10,00)
13	517,71 <sup>fghijk</sup> (17,00)	539,20 <sup>ijkl</sup> (11,32)
14	496,21 <sup>efg</sup> (15,45)	510,21 <sup>defg</sup> (11,02)
15	531,02 <sup>ijklm</sup> (17,79)	539,20 <sup>ijklm</sup> (12,16)
16	494,70 <sup>ef</sup> (16,46)	512,43 <sup>efg</sup> (11,45)
17	540,19 <sup>klmn</sup> (18,42)	533,29 <sup>hijk</sup> (11,56)
18	498,90 <sup>efgh</sup> (16,34)	525,72 <sup>fghij</sup> (10,43)

Tablo 63'ün devamı

19	567,36 <sup>n</sup> (18,94)	537,81 <sup>ijk</sup> (10,67)
20	503,13 <sup>efghi</sup> (15,54)	515,32 <sup>efgh</sup> (10,32)
21	538,82 <sup>ijklmn</sup> (16,79)	545,59 <sup>ijklm</sup> (11,32)
22	512,25 <sup>ghij</sup> (16,53)	519,87 <sup>efghi</sup> (11,01)
23	543,43 <sup>klmn</sup> (17,45)	558,62 <sup>lm</sup> (13,42)
24	521,99 <sup>ghijkl</sup> (17,00)	518,83 <sup>efgh</sup> (12,30)
25	547,59 <sup>lmn</sup> (18,44)	548,62 <sup>klm</sup> (12,65)
26	526,34 <sup>ghijkl</sup> (17,89)	525,20 <sup>efghi</sup> (10,64)
27	553,14 <sup>mn</sup> (17,86)	555,99 <sup>m</sup> (14,56)

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 63 incelendiğinde, hazırlanan 26 grupluk empenye çözümleriyle empenye edilen sarıçam odunlarının LPBD değerlerinin  $418,15 \pm 12,23$  ile  $553,14 \pm 17,86$  N/mm<sup>2</sup> aralığında, kontrol örneğinin LPBD değerinin ise  $419,23 \pm 16,66$  N/mm<sup>2</sup> olarak bulunduğu görülmektedir. Emprenye işleminden sonra kayın odunlarının LPBD değerleri  $473,04 \pm 9,57$  ile  $558,62 \pm 13,42$  N/mm<sup>2</sup> aralığında, kontrol örneğinin LPBD değeri ise  $478,56 \pm 12,33$  N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Sarıçam ve kayın örneklerinin LPBD değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 64'te verilmiştir.

Tablo 64. Sarıçam ve kayın örneklerinin LPBD değerlerine ait BVA sonuçları

Odun Türü	Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Sarıçam	Gruplar arası	170319,70	26	6550,75	25,19	0,00
	Grup içi	14038,06	54	259,96		
	Toplam	184357,80	80			
Kayın	Gruplar arası	42040,33	26	1616,93	13,06	0,00
	Grup içi	6682,36	54	123,74		
	Toplam	48722,69	80			

### 3.3.5. Biyolojik Testlere Ait Bulgular

#### 3.3.5.1. Mantar Çürüklük Testine Ait Bulgular

Üçüncü bölüm örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerlerine ait bulgular Tablo 65’te verilmiştir.

Tablo 65. Üçüncü bölüm örneklerinin mantar çürüklük testi sonuçlarına ait bulgular

Grup no	Ağırlık Kaybı (%)	
	Sarıçam	Kayın
1 (Kontrol)	39,49 <sup>n</sup> (4,66)*	42,58 <sup>l</sup> (4,81)
2	11,56 <sup>lm</sup> (1,12)	10,56 <sup>j</sup> (1,50)
3	8,75 <sup>jk</sup> (0,99)	7,45 <sup>hi</sup> (0,98)
4	13,47 <sup>m</sup> (1,46)	14,32 <sup>k</sup> (1,67)
5	10,01 <sup>kl</sup> (1,10)	8,26 <sup>i</sup> (1,38)
6	7,56 <sup>ij</sup> (0,85)	8,72 <sup>ij</sup> (1,03)
7	5,38 <sup>efgh</sup> (0,71)	5,45 <sup>efgh</sup> (0,83)
8	7,51 <sup>ij</sup> (0,84)	6,07 <sup>gh</sup> (0,85)
9	6,57 <sup>hi</sup> (0,65)	5,56 <sup>efgh</sup> (0,83)
10	6,02 <sup>ghi</sup> (0,65)	4,45 <sup>efg</sup> (0,72)
11	5,62 <sup>fghi</sup> (0,58)	4,02 <sup>def</sup> (0,70)
12	3,59 <sup>de</sup> (0,52)	5,65 <sup>fgh</sup> (0,84)
13	1,56 <sup>abc</sup> (0,18)	4,4 <sup>defg</sup> (0,71)
14	2,75 <sup>bcd</sup> (0,29)	5,08 <sup>efg</sup> (0,77)
15	0,43 <sup>a</sup> (0,02)	3,56 <sup>cef</sup> (0,65)
16	4,55 <sup>defg</sup> (0,66)	2,72 <sup>bcd</sup> (0,50)
17	2,98 <sup>cd</sup> (0,35)	1,18 <sup>ab</sup> (0,16)
18	3,9 <sup>def</sup> (0,63)	2,09 <sup>abcd</sup> (0,22)

Tablo 65'in devamı

19	2,74 <sup>bcd</sup> (0,34)	0,56 <sup>ab</sup> (0,02)
20	3,56 <sup>de</sup> (0,62)	2,05 <sup>abcd</sup> (0,22)
21	1,22 <sup>abc</sup> (0,18)	1,62 <sup>abc</sup> (0,19)
22	1,16 <sup>abc</sup> (0,15)	1,11 <sup>ab</sup> (0,16)
23	0,98 <sup>abc</sup> (0,03)	0,37 <sup>a</sup> (0,01)
24	1,1 <sup>abc</sup> (0,09)	1,58 <sup>abc</sup> (0,06)
25	0,35 <sup>a</sup> (0,01)	0,22 <sup>a</sup> (0,01)
26	0,88 <sup>ab</sup> (0,02)	0,46 <sup>ab</sup> (0,01)
27	0,06 <sup>a</sup> (0,00)	0,03 <sup>a</sup> (0,00)

\*: Standart sapma değeri parantez içinde verilmiştir.

Tablo 65 incelendiğinde, hazırlanan 26 grupluk empenye çözeltileriyle empenye edilen sarıçam odunlarının mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerlerinin %0,06±0,00 ile %13,47±1,46 aralığında, kontrol örneğinin ağırlık kaybı değerinin ise %39,49±4,66 olarak bulunduğu görülmektedir. Empenye işleminden sonra test edilen kayın odunlarının ağırlık kaybı değerleri %0,03±0,00 ile %14,32±1,67 aralığında, kontrol örneğinin ağırlık kaybı değeri ise %42,58±4,81 olarak bulunmuştur. Sarıçam ve kayın örneklerinin ağırlık kaybı değerlerine ait BVA sonuçları Tablo 66'da verilmiştir.

Tablo 66. Sarıçam ve kayın örneklerinin ağırlık kaybı değerlerine ait BVA sonuçları

Odun Türü	Varyans Kaynağı	Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-Hesap	Önem Der.
Sarıçam	Gruplar arası	4561,94	26	175,45	149,60	0,00
	Grup içi	63,33	54	1,17		
	Toplam	4625,27	80			
Kayın	Gruplar arası	5227,03	26	201,04	143,32	0,00
	Grup içi	75,74	54	1,40		
	Toplam	5302,78	80			

### 3.3.6. Modelleme ve Optimizasyon

#### 3.3.6.1. Modelleme

##### 3.3.6.1.1. Çoklu Doğrusal Regresyon

Elde edilen modeller sırasıyla aşağıda (Denklem 86-91) gösterilmiştir.

$$\text{Su alma oranı}_{\text{Kayın}} = 103,44 - 1,33 X_1 - 2,31 X_2 - 10,92 X_3 \quad (86)$$

$$\text{Su alma oranı}_{\text{Sarıçam}} = 130,85 - 2,71 X_1 - 10,90 X_2 - 21,78 X_3 \quad (87)$$

$$\text{LPBD}_{\text{Kayın}} = 475,78 + 13,83 X_1 + 19,16 X_2 + 49,36 X_3 \quad (88)$$

$$\text{LPBD}_{\text{Sarıçam}} = 422,74 + 7,02 X_1 + 25,81 X_2 + 104,37 X_3 \quad (89)$$

$$\text{Ağırlık kaybı}_{\text{Kayın}} = 17,55 - 6,55 X_1 - 7,88 X_2 - 9,54 X_3 \quad (90)$$

$$\text{Ağırlık kaybı}_{\text{Sarıçam}} = 17,17 - 7,12 X_1 - 5,46 X_2 - 10,36 X_3 \quad (91)$$

Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait su alma deney sonuçları, regresyon tahminleri ve hata değerleri Tablo 67’de verilmiştir.

Tablo 67. Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait su alma deney sonuçları, regresyon tahminleri ve hata değerleri

Grup no	Yapay Antioksidan (%)	GRAS (%)	Nano-oksit (%)	Kayın			Sarıçam		
				Su Alma Oranı			Su Alma Oranı		
				DeneySEL	Tahmin	Hata	DeneySEL	Tahmin	Hata
1 (K)*	0	0	0	113,99	103,45	10,55	177,17	130,85	46,32
2	0,5	0	0	102,54	102,78	-0,24	118,65	129,50	-10,85
3	1	0	0	98,09	102,11	-4,03	116,50	128,14	-11,64
4	0	0,5	0	98,84	102,29	-3,45	119,01	125,40	-6,39
5	0	1	0	96,16	101,13	-4,97	109,68	119,95	-10,26
6	0	0	0,5	96,96	97,99	-1,02	108,09	119,96	-11,88
7	0	0	1	92,01	92,53	-0,52	106,84	109,07	-2,23
8	0,5	0,5	0	101,52	101,62	-0,11	122,50	124,04	-1,54

Tablo 67'nin devamı

9	0,5	1	0	100,22	100,46	-0,24	119,01	118,59	0,42
10	1	0,5	0	105,23	100,95	4,28	124,13	122,69	1,45
11	1	1	0	103,85	99,79	4,05	120,40	117,23	3,17
12	0,5	0	0,5	96,04	97,32	-1,28	109,98	118,60	-8,62
13	0,5	0	1	91,27	91,86	-0,59	103,71	107,71	-4,00
14	1	0	0,5	95,10	96,65	-1,55	125,99	117,25	8,75
15	1	0	1	91,53	91,19	0,34	102,48	106,36	-3,87
16	0	0,5	0,5	95,19	96,83	-1,64	108,76	114,51	-5,75
17	0	0,5	1	91,55	91,37	0,19	103,82	103,62	0,21
18	0	1	0,5	94,43	95,67	-1,24	105,43	109,06	-3,62
19	0	1	1	92,01	90,21	1,80	101,44	98,16	3,28
20	0,5	0,5	0,5	94,89	96,16	-1,26	113,77	113,15	0,62
21	0,5	0,5	1	92,15	90,70	1,46	103,01	102,26	0,75
22	0,5	1	0,5	95,92	95,00	0,92	107,60	107,70	-0,10
23	0,5	1	1	91,47	89,54	1,93	100,80	96,81	3,99
24	1	0,5	0,5	93,15	95,49	-2,34	111,58	111,79	-0,21
25	1	0,5	1	89,56	90,03	-0,47	107,82	100,90	6,92
26	1	1	0,5	92,05	94,33	-2,28	105,83	106,34	-0,51
27	1	1	1	90,56	88,87	1,69	101,07	95,449	5,62

\*K: Kontrol

Kayın ve sarıçama ait liflere paralel basınç direnç sonuçları, regresyon tahminleri ve hata değerleri Tablo 68'de verilmiştir.

Tablo 68. Kayın ve sarıçama ait liflere paralel basınç direnç sonuçları, regresyon tahminleri ve hata değerleri

Grup no	Yapay antioksidan (%)	GRAS (%)	Nano-oksit (%)	Kayın			Sarıçam		
				Liflere Paralel Basınç Direnci			Liflere Paralel Basınç Direnci		
				Deneysel	Tahmin	Hata	Deneysel	Tahmin	Hata
1 (K)*	0	0	0	478,57	475,78	2,79	419,24	422,74	-3,50
2	0,5	0	0	486,44	482,70	3,74	418,16	426,25	-8,09
3	1	0	0	501,99	489,61	12,38	425,26	429,76	-4,50
4	0	0,5	0	473,04	485,36	-12,32	424,27	435,65	-11,38
5	0	1	0	502,05	494,95	7,11	452,80	448,56	4,25
6	0	0	0,5	489,71	500,46	-10,75	478,92	474,93	3,99
7	0	0	1	529,01	525,14	3,87	527,05	527,12	-0,06
8	0,5	0,5	0	492,48	492,28	0,20	437,62	439,16	-1,54
9	0,5	1	0	502,47	501,86	0,61	454,56	452,07	2,49

Tablo 68'in devamı

10	1	0,5	0	506,90	499,20	7,70	437,40	442,67	-5,27
11	1	1	0	509,18	508,78	0,40	447,67	455,58	-7,91
12	0,5	0	0,5	500,12	507,38	-7,25	480,55	478,44	2,12
13	0,5	0	1	529,21	532,06	-2,85	527,72	530,63	-2,91
14	1	0	0,5	510,22	514,29	-4,08	496,22	481,95	14,27
15	1	0	1	539,21	538,98	0,23	531,02	534,14	-3,11
16	0	0,5	0,5	512,44	510,04	2,39	494,70	487,84	6,87
17	0	0,5	1	543,30	534,72	8,57	540,19	540,02	0,17
18	0	1	0,5	515,73	519,63	-3,90	498,90	500,74	-1,84
19	0	1	1	547,82	544,31	3,51	557,37	552,93	4,44
20	0,5	0,5	0,5	515,32	516,96	-1,64	503,14	491,35	11,79
21	0,5	0,5	1	545,59	541,64	3,95	538,83	543,53	-4,70
22	0,5	1	0,5	519,88	526,54	-6,67	512,25	504,25	8,00
23	0,5	1	1	558,63	551,22	7,40	543,43	556,44	-13,01
24	1	0,5	0,5	518,83	523,88	-5,04	511,99	494,86	17,13
25	1	0,5	1	548,63	548,56	0,07	537,59	547,04	-9,45
26	1	1	0,5	525,21	533,46	-8,25	516,34	507,77	8,58
27	1	1	1	556,00	558,14	-2,14	553,15	559,95	-6,81

\*K: Kontrol

Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait ağırlık kaybı deney sonuçları, regresyon tahminleri ve hata değerleri Tablo 69'da verilmiştir.

Tablo 69. Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait ağırlık kaybı deney sonuçları, regresyon tahminleri ve hata oranları

Grup no	Yapay antioksidan (%)	GRAS (%)	Nano-oksit (%)	Kayın			Sarıçam		
				Ağırlık Kaybı			Ağırlık Kaybı		
				DeneySEL	Tahmin	Hata	DeneySEL	Tahmin	Hata
1 (K)*	0	0	0	42,58	17,554	25,03	39,49	17,171	22,32
2	0,5	0	0	10,56	14,2745	-3,71	11,56	13,609	-2,05
3	1	0	0	7,45	10,995	-3,55	8,75	10,047	-1,30
4	0	0,5	0	14,32	13,61	0,71	13,47	14,4405	-0,97
5	0	1	0	8,26	9,666	-1,41	10,01	11,71	-1,70
6	0	0	0,5	8,72	12,783	-4,06	7,56	11,9875	-4,43
7	0	0	1	5,45	8,012	-2,56	5,38	6,804	-1,42
8	0,5	0,5	0	6,07	10,3305	-4,26	7,51	10,8785	-3,37
9	0,5	1	0	5,56	6,3865	-0,83	6,57	8,148	-1,58
10	1	0,5	0	4,45	7,051	-2,60	6,02	7,3165	-1,30
11	1	1	0	4,02	3,107	0,91	5,62	4,586	1,03



Tablo 69'un devamı

12	0,5	0	0,5	5,65	9,5035	-3,85	3,59	8,4255	-4,84
13	0,5	0	1	4,4	4,7325	-0,33	1,56	3,242	-1,68
14	1	0	0,5	5,08	6,224	-1,14	2,75	4,8635	-2,11
15	1	0	1	3,56	1,453	2,11	0,43	-0,32	0,75
16	0	0,5	0,5	2,72	8,839	-6,12	4,55	9,257	-4,71
17	0	0,5	1	1,18	4,068	-2,89	2,98	4,0735	-1,09
18	0	1	0,5	2,09	4,895	-2,81	3,9	6,5265	-2,63
19	0	1	1	0,56	0,124	0,44	2,74	1,343	1,40
20	0,5	0,5	0,5	2,05	5,5595	-3,51	3,56	5,695	-2,14
21	0,5	0,5	1	1,62	0,7885	0,83	1,22	0,5115	0,71
22	0,5	1	0,5	1,11	1,6155	-0,51	1,16	2,9645	-1,80
23	0,5	1	1	0,37	-3,1555	3,53	0,98	-2,219	3,20
24	1	0,5	0,5	1,58	2,28	-0,70	1,1	2,133	-1,03
25	1	0,5	1	0,22	-2,491	2,71	0,35	-3,0505	3,40
26	1	1	0,5	0,46	-1,664	2,12	0,88	-0,5975	1,48
27	1	1	1	0,03	-6,435	6,47	0,06	-5,781	5,84

\*K: Kontrol

Regresyon modellerinin performans göstergeleri Tablo 70'te verilmiştir.

Tablo 70. Regresyon modellerinin performans göstergeleri

Model Çıktısı	Odun Türü	Standart Hata	R	R <sup>2</sup>	MSE
Su alma	Kayın	3,19	0,84	0,70	8,67
	Sarıçam	11,49	0,68	0,47	112,62
Liflere paralel basınç direnci	Kayın	6,48	0,96	0,93	35,83
	Sarıçam	8,21	0,98	0,96	57,55
Ağırlık kaybı	Kayın	6,11	0,71	0,50	31,81
	Sarıçam	5,42	0,74	0,55	25,07

### 3.3.6.1.2. YSA

Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait su alma deneyi sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri Tablo 71'de verilmiştir.

Tablo 71. Kayın ve sarıçam odunu örneklerine ait su alma deney sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri

Grup no	Yapay antioksidan (%)	GRAS (%)	Nano-oksit (%)	Kayın			Sarıçam		
				Su Alma Oranı			Su Alma Oranı		
				Deneysel	YSA	Hata	Deneysel	YSA	Hata
1 (K)*	0	0	0	113,99	114,20	-0,20	177,17	177,16	0,01
2	0,5	0	0	102,54	102,98	-0,44	118,65	118,97	-0,33
3	1	0	0	98,09	102,08	-3,99	116,50	116,64	-0,14
4	0	0,5	0	98,84	101,47	-2,63	119,01	117,08	1,93
5	0	1	0	96,16	96,32	-0,17	109,68	111,19	-1,51
6	0	0	0,5	96,96	96,25	0,71	108,09	109,78	-1,70
7	0	0	1	92,01	92,34	-0,33	106,84	103,20	3,65
8	0,5	0,5	0	101,52	101,89	-0,37	122,50	120,85	1,65
9	0,5	1	0	100,22	100,06	0,16	119,01	115,51	3,50
10	1	0,5	0	105,23	102,24	2,99	124,13	123,05	1,08
11	1	1	0	103,85	102,23	1,62	120,40	122,44	-2,04
12	0,5	0	0,5	96,04	93,39	2,65	109,98	112,15	-2,16
13	0,5	0	1	91,27	90,99	0,28	103,71	103,57	0,14
14	1	0	0,5	95,10	95,26	-0,16	125,99	125,25	0,74
15	1	0	1	91,53	90,97	0,56	102,48	104,60	-2,12
16	0	0,5	0,5	95,19	94,69	0,50	108,76	108,61	0,14
17	0	0,5	1	91,55	93,62	-2,07	103,82	103,08	0,74
18	0	1	0,5	94,43	94,22	0,22	105,43	108,03	-2,60
19	0	1	1	92,01	93,98	-1,97	101,44	103,22	-1,78
20	0,5	0,5	0,5	94,89	93,95	0,95	113,77	108,79	4,97
21	0,5	0,5	1	92,15	91,10	1,05	103,01	103,18	-0,17
22	0,5	1	0,5	95,92	94,02	1,90	107,60	108,41	-0,81
23	0,5	1	1	91,47	91,89	-0,42	100,80	103,07	-2,26
24	1	0,5	0,5	93,15	93,04	0,11	111,58	111,32	0,26
25	1	0,5	1	89,56	90,97	-1,41	107,82	103,53	4,29
26	1	1	0,5	92,05	93,39	-1,34	105,83	107,80	-1,97
27	1	1	1	90,56	90,98	-0,42	101,07	103,17	-2,10

\*K: Kontrol

Kayın ve sarıçama ait liflere paralel basınç direnç sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri Tablo 72’de verilmiştir.

Tablo 72. Kayın ve sarıçama ait liflere paralel basınç direnç sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri

Grup no	Yapay antioksidan (%)	GRAS (%)	Nano-oksit (%)	Kayın			Sarıçam		
				Liflere Paralel Basınç Direnci			Liflere Paralel Basınç Direnci		
				DeneySEL	YSA	Hata	DeneySEL	YSA	Hata
1 (K)*	0	0	0	478,57	474,19	4,38	419,24	420,76	-1,53
2	0,5	0	0	486,44	486,19	0,25	418,16	417,93	0,23
3	1	0	0	501,99	500,27	1,72	425,26	426,20	-0,94
4	0	0,5	0	473,04	483,92	-10,88	424,27	426,73	-2,46
5	0	1	0	502,05	496,99	5,06	452,80	453,09	-0,28
6	0	0	0,5	489,71	493,42	-3,71	478,92	481,03	-2,11
7	0	0	1	529,01	524,74	4,27	527,05	524,26	2,79
8	0,5	0,5	0	492,48	498,18	-5,70	437,62	435,23	2,39
9	0,5	1	0	502,47	506,72	-4,25	454,56	449,87	4,69
10	1	0,5	0	506,90	506,07	0,83	437,40	438,71	-1,31
11	1	1	0	509,18	509,06	0,12	447,67	450,03	-2,36
12	0,5	0	0,5	500,12	500,00	0,12	480,55	483,64	-3,08
13	0,5	0	1	529,21	530,96	-1,75	527,72	528,46	-0,74
14	1	0	0,5	510,22	509,87	0,34	496,22	497,32	-1,10
15	1	0	1	539,21	538,03	1,18	531,02	531,70	-0,68
16	0	0,5	0,5	512,44	505,75	6,68	494,70	490,85	3,85
17	0	0,5	1	543,30	535,91	7,38	540,19	539,93	0,26
18	0	1	0,5	515,73	521,46	-5,73	498,90	499,92	-1,01
19	0	1	1	547,82	549,94	-2,12	557,37	553,01	4,36
20	0,5	0,5	0,5	515,32	514,58	0,74	503,14	503,79	-0,65
21	0,5	0,5	1	545,59	546,06	-0,46	538,83	543,18	-4,35
22	0,5	1	0,5	519,88	525,97	-6,09	512,25	505,70	6,55
23	0,5	1	1	558,63	557,30	1,32	543,43	546,78	-3,35
24	1	0,5	0,5	518,83	517,85	0,98	511,99	511,84	0,16
25	1	0,5	1	548,63	547,92	0,71	537,59	542,75	-5,16
26	1	1	0,5	525,21	523,21	2,00	516,34	519,91	-3,57
27	1	1	1	556,00	554,51	1,49	553,15	546,39	6,76

\*K: Kontrol

Kayın ve sarıçama ait ağırlık kaybı deney sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri Tablo 73'te verilmiştir.

Tablo 73. Kayın ve sarıçama ait ağırlık kaybı deney sonuçları, YSA tahminleri ve hata değerleri

Grup no	Yapay antioksidan (%)	GRAS (%)	Nano-oksit (%)	Kayın			Sarıçam		
				Ağırlık Kaybı			Ağırlık Kaybı		
				Deneysel	YSA	Hata	Deneysel	YSA	Hata
1 (K)*	0	0	0	42,58	42,58	0,00	39,49	39,67	-0,18
2	0,5	0	0	10,56	10,54	0,02	11,56	11,83	-0,27
3	1	0	0	7,45	7,57	-0,12	8,75	8,23	0,52
4	0	0,5	0	14,32	14,32	0,00	13,47	13,91	-0,44
5	0	1	0	8,26	8,25	0,01	10,01	9,35	0,66
6	0	0	0,5	8,72	8,73	-0,01	7,56	7,80	-0,24
7	0	0	1	5,45	5,35	0,10	5,38	5,02	0,36
8	0,5	0,5	0	6,07	6,10	-0,03	7,51	8,46	-0,95
9	0,5	1	0	5,56	5,41	0,15	6,57	6,50	0,07
10	1	0,5	0	4,45	4,33	0,12	6,02	6,46	-0,44
11	1	1	0	4,02	4,04	-0,02	5,62	4,98	0,64
12	0,5	0	0,5	5,65	5,86	-0,21	3,59	3,86	-0,27
13	0,5	0	1	4,40	4,54	-0,14	1,56	2,16	-0,60
14	1	0	0,5	5,08	4,96	0,12	2,75	2,07	0,68
15	1	0	1	3,56	3,82	-0,26	0,43	0,68	-0,25
16	0	0,5	0,5	2,72	3,28	-0,56	4,55	5,40	-0,85
17	0	0,5	1	1,18	1,42	-0,24	2,98	3,83	-0,85
18	0	1	0,5	2,09	1,78	0,31	3,90	3,98	-0,08
19	0	1	1	0,56	0,33	0,23	2,74	2,82	-0,08
20	0,5	0,5	0,5	2,05	2,11	-0,06	3,56	2,73	0,83
21	0,5	0,5	1	1,62	0,97	0,65	1,22	1,47	-0,25
22	0,5	1	0,5	1,11	1,21	-0,10	1,16	1,88	-0,72
23	0,5	1	1	0,37	0,19	0,18	0,98	0,94	0,04
24	1	0,5	0,5	1,58	1,48	0,10	1,10	1,40	-0,30
25	1	0,5	1	0,22	0,66	-0,44	0,35	0,36	-0,01
26	1	1	0,5	0,46	0,84	-0,38	0,88	0,89	-0,01
27	1	1	1	0,03	0,09	-0,06	0,06	0,12	-0,06

\*K: Kontrol

Su alma oranını, liflere paralel basınç direncini ve ağırlık kaybını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin performansları sırasıyla Tablo 74-76'da verilmiştir.

Tablo 74. Su alma oranını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin performansı

Odun Türü	Performans Göstergesi	Veri Seti			
		Eğitim	Doğrulama	Test	Hepsi
Kayın	MSE	2,09	1,93	3,39	2,26
	R	0,96	0,96	0,95	0,96
Sarıçam	MSE	4,15	2,64	7,69	4,45
	R	0,99	0,97	0,95	0,99

Tablo 75. Liflere paralel basınç direncini tahmin için geliştirilen YSA modellerinin performansı

Odun Türü	Performans Göstergesi	Veri Seti			
		Eğitim	Doğrulama	Test	Hepsi
Kayın	MSE	15,34	17,48	19,08	16,21
	R	0,98	0,99	0,97	0,98
Sarıçam	MSE	7,66	11,19	17,85	9,69
	R	0,99	0,99	0,99	0,99

Tablo 76. Ağırlık kaybını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin performansı

Odun Türü	Performans Göstergesi	Veri Seti			
		Eğitim	Doğrulama	Test	Hepsi
Kayın	MSE	0,04	0,12	0,06	0,05
	R	0,99	0,96	0,99	0,99
Sarıçam	MSE	0,25	0,13	0,29	0,24
	R	0,99	0,99	0,99	0,99

### 3.3.6.2. Optimizasyon

Bu bölümde her iki odun türü için üç karar değişkeni ve çeşitli sayıda amaç fonksiyonundan oluşan bir problem ele alınarak çok amaçlı optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bilindiği gibi optimizasyonun yapılabilmesi için ele alınan probleme ait amaç fonksiyonlarının matematiksel ifadelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybının modellenmesi, daha önceki bölümlerde hem

regresyon hem de YSA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntem kullanılarak elde edilen modellerin performansları karşılaştırıldığında ise YSA'nın açık bir şekilde üstün olduğu görülmektedir. Dolayısıyla optimizasyon sürecinde YSA ile elde edilen modeller kullanılmıştır. Maliyet fonksiyonu olarak ise maliyet analizi bölümünde elde edilen fonksiyon kullanılmıştır. Optimizasyon süreci sonunda elde edilen pareto çözümler kullanılarak nihai seçimler yapılmıştır. Tez kapsamında her iki odun türü için de 8 optimizasyon çalışması yapılmış olup ilgili çalışmalara ait amaç fonksiyonları ve önem ağırlıkları Tablo 77'de verilmiştir.

Tablo 77. Optimizasyon çalışmalarındaki amaç fonksiyonları ve önem ağırlıkları

Optimizasyon Çalışması	Amaç Fonksiyonları			
	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>
1	Su alma oranı (0,5)*	Maliyet (0,5)		
2	Liflere paralel basınç direnci (0,5)	Maliyet (0,5)		
3	Ağırlık kaybı (0,5)	Maliyet (0,5)		
4	Su alma oranı (0,33)	Liflere paralel basınç direnci (0,33)	Maliyet (0,33)	
5	Su alma oranı (0,33)	Ağırlık kaybı (0,33)	Maliyet (0,33)	
6	Liflere paralel basınç direnci (0,33)	Ağırlık kaybı (0,33)	Maliyet (0,33)	
7	Su alma oranı (0,25)	Liflere paralel basınç direnci (0,25)	Ağırlık kaybı (0,25)	Maliyet (0,25)
8	Su alma oranı (0,22)	Liflere paralel basınç direnci (0,22)	Ağırlık kaybı (0,22)	Maliyet (0,34)

\*Önem ağırlıkları parantez içinde verilmiştir.

Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmalarından sonra kayın için iki amaç fonksiyonundan oluşan optimizasyon çalışmalarının pareto çözümlerinden elde edilmiş nihai seçimler Tablo 78'de gösterilmiştir. Tablo 78 ve takip eden tablolarda,  $x_1$ ,  $x_2$  ve  $x_3$  sırasıyla sodyum askorbat, sodyum benzoat ve nano-silisyum dioksit oranını göstermektedir. Kayın için üç ve dört amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilmiş nihai çözümler ise sırasıyla Tablo 79 ve Tablo 80'de verilmiştir.

Tablo 78. Kayın için iki amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar

Parametreler		Optimizasyon Çalışması:1	Optimizasyon Çalışması:2	Optimizasyon Çalışması:3
<b>Karar Değişkenleri</b>	x <sub>1</sub>	0,00	0,00	0,00
	x <sub>2</sub>	0,94	1,00	0,76
	x <sub>3</sub>	0,00	0,77	0,03
<b>Amaç Fonksiyon Değerleri</b>	f <sub>1</sub>	96,68	538,96	8,71
	f <sub>2</sub>	6,29	32,91	6,14
<b>Amaç Fonksiyon Normalize Değerleri</b>	f <sub>1</sub>	0,26	0,22	0,20
	f <sub>2</sub>	0,09	0,56	0,08
<b>Seçim</b>	F	0,17	0,39	0,14

Tablo 79. Kayın için üç amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar

Parametreler		Optimizasyon Çalışması:4	Optimizasyon Çalışması:5	Optimizasyon Çalışması:6
<b>Karar Değişkenleri</b>	x <sub>1</sub>	0,034	0,07	0
	x <sub>2</sub>	0,94	0,92	1,00
	x <sub>3</sub>	0,77	0,19	0,83
<b>Amaç Fonksiyon Değerleri</b>	f <sub>1</sub>	94,05	94,62	542,35
	f <sub>2</sub>	538,31	4,21	0,60
	f <sub>3</sub>	33,82	15,35	34,99
<b>Amaç Fonksiyon Normalize Değerleri</b>	f <sub>1</sub>	0,13	0,15	0,18
	f <sub>2</sub>	0,22	0,09	0,011
	f <sub>3</sub>	0,49	0,21	0,51
<b>Seçim</b>	F	0,28	0,15	0,23

Tablo 80. Kayın için dört amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar

Parametreler		Optimizasyon Çalışması:7	Optimizasyon Çalışması:8
<b>Karar Değişkenleri</b>	x <sub>1</sub>	0,17	0
	x <sub>2</sub>	0,89	0,96
	x <sub>3</sub>	1,00	0,69
<b>Amaç Fonksiyon Değerleri</b>	f <sub>1</sub>	93,60	94,10
	f <sub>2</sub>	550,81	533,26
	f <sub>3</sub>	0,34	0,96
	f <sub>4</sub>	45,21	30,08
<b>Amaç Fonksiyon Normalize Değerleri</b>	f <sub>1</sub>	0,12	0,14
	f <sub>2</sub>	0,08	0,29
	f <sub>3</sub>	0,00	0,02
	f <sub>4</sub>	0,64	0,43
<b>Seçim</b>	F	0,21	0,24

Kayın için yapılan optimizasyon çalışmaları, sarıçam için de yapılmış ve iki amaç fonksiyonundan oluşan optimizasyon çalışmalarının pareto çözümlerinden elde edilmiş

nihai seçimler Tablo 81’de gösterilmiştir. Sarıçam için üç ve dört amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilmiş nihai çözümler ise sırasıyla Tablo 82 ve Tablo 83’te verilmiştir.

Tablo 81. Sarıçam için iki amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar

Parametreler		Optimizasyon Çalışması:1	Optimizasyon Çalışması:2	Optimizasyon Çalışması:3
<b>Karar Değişkenleri</b>	$x_1$	0,00	0,00	0,00
	$x_2$	0,74	0,90	0,70
	$x_3$	0,00	0,66	0,00
<b>Amaç Fonksiyon Değerleri</b>	$f_1$	113,29	528,44	11,42
	$f_2$	4,97	28,63	4,69
<b>Amaç Fonksiyon Normalize Değerleri</b>	$f_1$	0,13	0,18	0,30
	$f_2$	0,09	0,72	0,07
<b>Seçim</b>	F	0,11	0,45	0,18

Tablo 82. Kayın için üç amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar

Parametreler		Optimizasyon Çalışması:4	Optimizasyon Çalışması:5	Optimizasyon Çalışması:6
<b>Karar Değişkenleri</b>	$x_1$	0,00	0,00	0,03
	$x_2$	1,00	0,56	1,00
	$x_3$	0,68	0,24	0,67
<b>Amaç Fonksiyon Değerleri</b>	$f_1$	107,50	111,17	532,79
	$f_2$	533,74	7,67	3,15
	$f_3$	29,85	12,15	30,75
<b>Amaç Fonksiyon Normalize Değerleri</b>	$f_1$	0,06	0,11	0,10
	$f_2$	0,10	0,19	0,08
	$f_3$	0,58	0,18	0,43
<b>Seçim</b>	F	0,25	0,16	0,21

Tablo 83. Kayın için dört amaçlı optimizasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlar

Parametreler		Optimizasyon Çalışması:7	Optimizasyon Çalışması:8
<b>Karar Değişkenleri</b>	$x_1$	0,23	0,10
	$x_2$	1,00	0,48
	$x_3$	0,92	0,66
<b>Amaç Fonksiyon Değerleri</b>	$f_1$	103,24	105,66
	$f_2$	547,81	516,19
	$f_3$	1,83	3,96
	$f_4$	45,31	29,09
<b>Amaç Fonksiyon Normalize Değerleri</b>	$f_1$	0,00	0,03
	$f_2$	0,00	0,24
	$f_3$	0,03	0,08
	$f_4$	0,81	0,52
<b>Seçim</b>	F	0,21	0,25



## 4. İRDELEME

### 4.1. Birinci Bölüm

Birinci bölümde yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

- Üç farklı multifonksiyonel kimyasal gruptan toplam 14 kimyasalın anti-fungal özelliklerinin belirlenmesi ve çalışılacak konsantrasyonların belirlenmesi.
- Çalışılacak konsantrasyondaki çözeltilerin bazı özelliklerinin (antioksidan aktivite ve pH) belirlenmesi.
- Bu kimyasallarla empenye edilen odun örneklerinin bazı fiziksel, mekanik, biyolojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi.
- Örneklerin yüzey kimyası ve yüzey morforolojisi bakımından değerlendirilmesi.

#### 4.1.1. Çalışılan Odun Örneklerinin Bazı Özellikleri

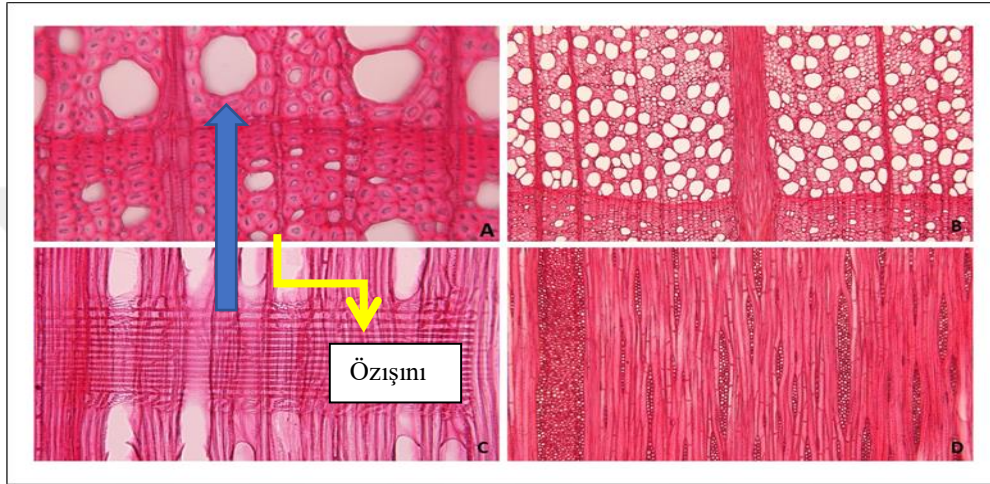
##### 4.1.1.1. Sarıçam Odunu Örneklerinin Anatomik Yapısının İncelenmesi

Pinaceae familyasının en önemli cinslerinden biri olan çamlar ülkemizde 5 tür ile temsil edilmektedir. Bu 5 türden biri olan sarıçam (*Pinus sylvestris*) 30-45 m boy, 0,6-1,0 m çap yapmakta, gövde şekli düzgün ve dolgun, kullanılabilir gövde uzunluğu 18-20 m'dir. Diri odun 5-10 cm genişlikte, sarımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımsı sarı, kırmızımsı kahverengindedir. Kesimden sonra daha koyulaşır. Yetişme muhitine bağlı olarak yıllık halkaları dar veya geniş olabilir. Binalarda iç ve dış mekânlarda, pencere doğramalarında, empenye edildiğinde toprak ve su tahkimatında, maden direği, tel direği ve travers olarak, kaplama levha, kontrplak, lif ve yonga levha ile kâğıt endüstrisinde kullanılmaktadır (Erdin ve Bozkurt, 2013). Ayrıca yapı malzemesi (kapı, pencere, lambri taban ve tavan kaplaması) olmak üzere mobilyacılık ve oymacılıkta kullanılır (Örs ve Keskin, 2001).

Dayanıklılık ve empenye edilebilme özelliği: Öz odun oldukça dayanıklı, diri odunu mantar ve böceklere karşı hassas, odunun rutubeti %25'ten fazla olduğu hallerde 20-25 °C sıcaklıklarda mavi renk oluşumu meydana gelir. Öz odun orta derecede güç, diri odun kolay empenye edilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013)

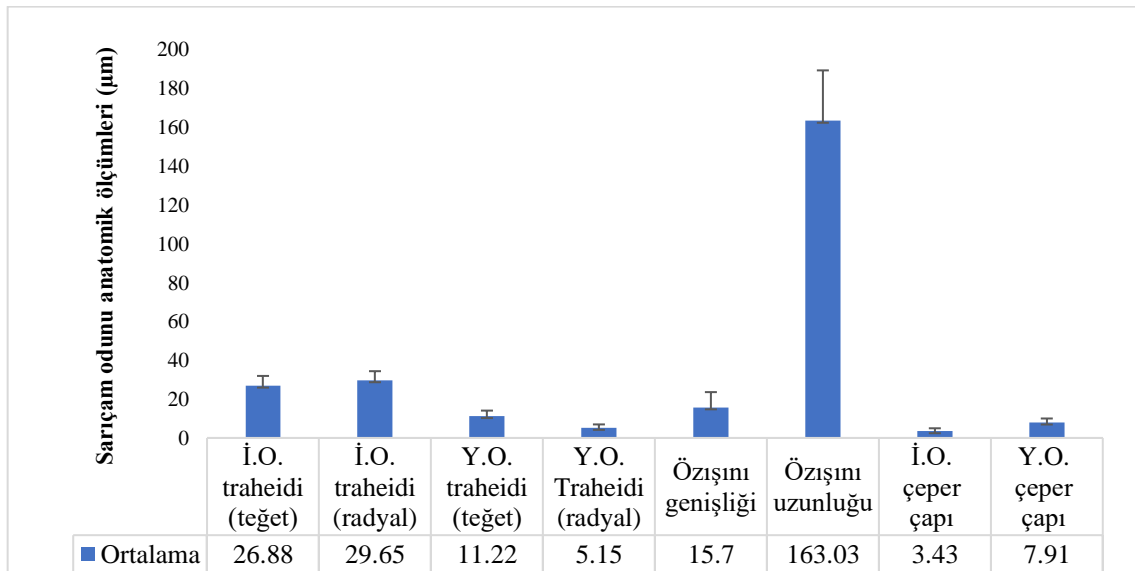
Bu tez kapsamında çalışılan sarıçam odunu örneklerinin (emprenyesiz) anatomik yapısı incelenmiş ve numune kesitlerinden alınan fotoğraflar Şekil 26'da gösterilmiştir.

Numuneler üzerinde odun elemanlarının teğet ve radyal yönlerdeki ilkbahar odunu traheidi (İOT), yaz odunu traheidi (YOT), özışını genişliği (ÖG), özışını uzunluğu (ÖU), ilkbahar odunu çeper çapı (İOÇÇ), yaz odunu çeper çapı (YOÇÇ) gibi özelliklere ilişkin ölçümler yapılmıştır (Şekil 25).



Şekil 25. Emprenyesiz sarıçam odunundan alınan preparat görüntüleri (A ve B:Enine kesit, C: Radyal kesit, D: Teğet kesit)

Sarıçam odunu anatomik ölçümleri Şekil 26'da gösterilmiştir.



Şekil 26. Sarıçam odunu örneklerinin anatomik ölçümleri

Sarıçam odununun yıllık halka sınırları belirgin, yaz odunu traheidleri radyal yönde çok yassılaştırmış, kalın çeperli, dar lümenlidir (Erdin ve Bozkurt, 2013). Yapılan ölçümlere göre teğet yöndeki ilkbahar odunu trahedi  $26,88 \pm 5,00$ , radyal yöndeki ilkbahar odunu traheidi ise  $29,65 \pm 4,67$   $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Yaz odunu traheidleri incelendiğinde teğet ve radyal yöndeki boyutları sırasıyla  $11,22 \pm 2,84$  ve  $5,15 \pm 1,81$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Özışını genişliği  $15,72 \pm 7,85$  bulunurken, özışını uzunluğu  $163,03 \pm 25,92$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Tek çeper çapları ise ilkbahar odunu ve yaz odunu için sırasıyla  $3,43 \pm 0,77$  ve  $7,91 \pm 2,09$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.

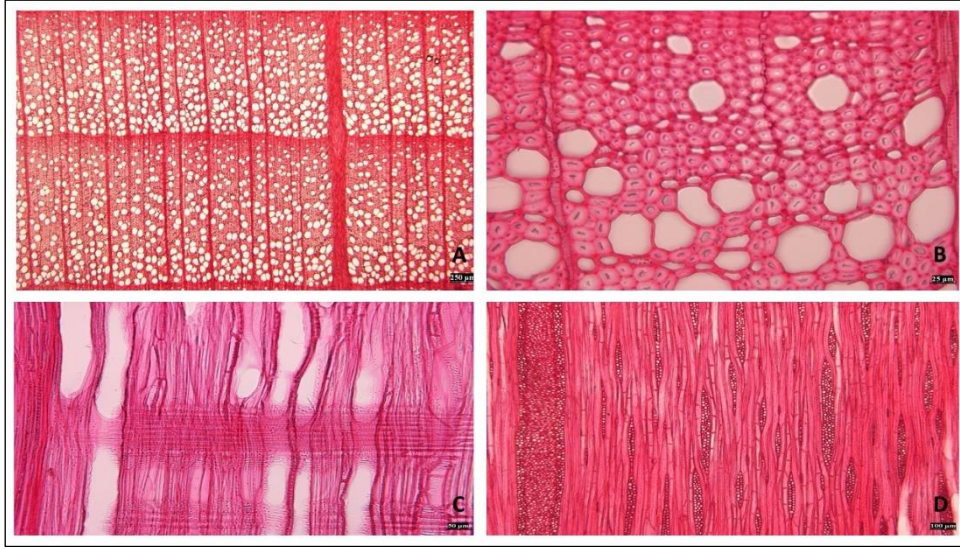
#### 4.1.1.2. Kayın Odunu Örneklerinin Anatomik Yapısının İncelenmesi

Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky), Fagaceae familyası türlerinden olup, ülkemizde doğal olarak yetişir. Ağaç boyu 30-40 m, gövde orta çapı 1,0-1,5 m, kullanılabilir gövde uzunluğu 15-20 m kadardır. Diri odun ile öz odun arasında renk farkı yoktur. Odun kırmızımsı beyaz renktedir (Erdin ve Bozkurt, 2013). İleri yaşlarda (genellikle 80-100 yaşlarında) meydana gelen kırmızımsı kahverengi ve içerisinde daha koyu şeritler bulunan bir öz odun (kırmızı yürek) oluşur (Örs ve Keskin, 2001). Kayın odunu geniş bir kullanım alanına sahiptir. Masif mobilya, bükme mobilya, spor aletleri, alet sapları, tornacılıkta, kontrplak, kaplama levha, parke, fiç sanayiinde, karoser yapımı, yonga levha, lif levha ve kâğıt odunu olarak, emprenye edildiği takdirde travers yapımında kullanılır. Ayrıca odunu kömür yapımında da değerlendirilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

Dayanıklılık ve emprenye edilebilme özelliği: Böcek ve mantarlara karşı çok hassas olup, dayanıksızdır ve çabuk ardaklanır. Diri odun kolay emprenye edilir. Öz odunu kısmı varsa çok güç emprenye edilir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

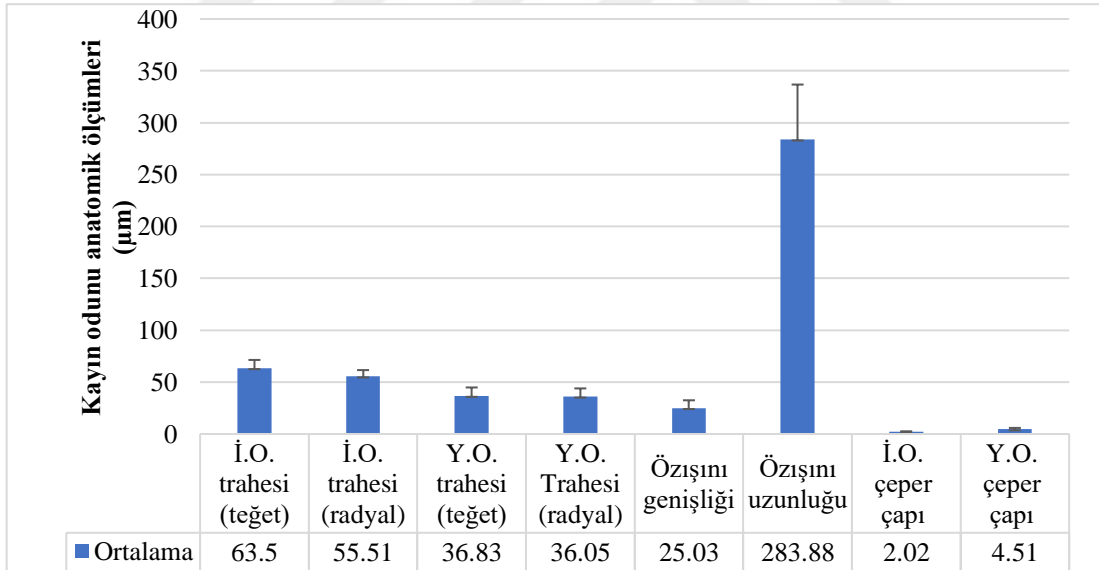
Bu tez kapsamında çalışılan kayın odunu örneklerinin (emprenyesiz) anatomik yapısı incelenmiş ve kayın odunu kesitlerinden alınan fotoğraflar Şekil 28’de gösterilmiştir.

Numuneler üzerinde odun elemanlarının teğet ve radyal yönlerdeki ilkbahar odunu traheidi (İOT), yaz odunu trahedi (YOT), özışını genişliği (ÖG), özışını uzunluğu (ÖÜ), ilkbahar odunu çeper çapı (İOÇÇ), yaz odunu çeper çapı (YOÇÇ) gibi özelliklere ilişkin ölçümler yapılmıştır (Şekil 27).



Şekil 27. Emrenyesiz kayın odunundan alınan preparat görüntüleri (A ve B: Enine kesit, C: Radyal kesit, D: Teğet kesit)

Kayın odunu örneklerinin anatomik ölçümleri Şekil 28’de gösterilmiştir.



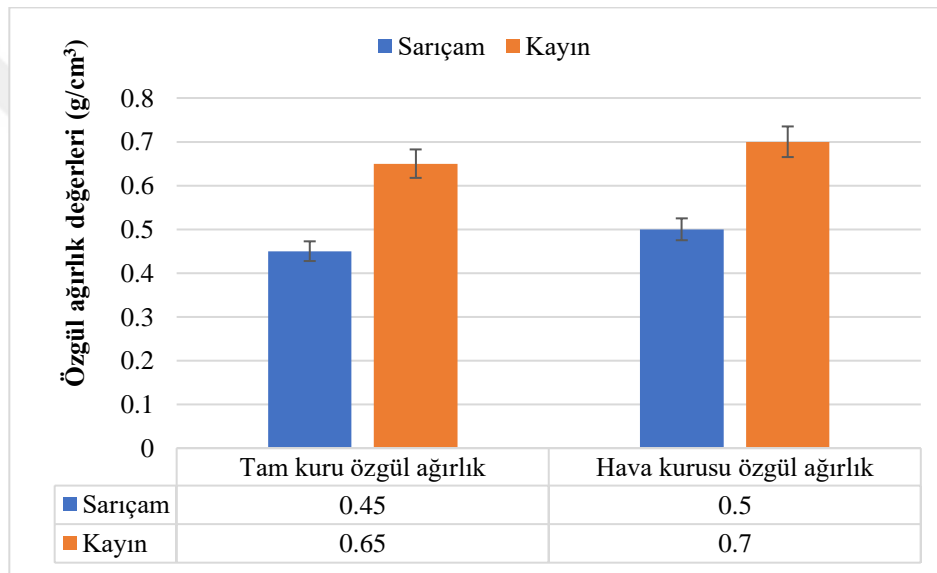
Şekil 28. Kayın odunu örneklerinin anatomik ölçümleri

Dağınık traheli, yıllık halka sınırları yaz odunu tabakasında trahelerin az sayıda olması nedeniyle belirgindir. Traheler küçük çaplıdır (Erdin ve Bozkurt, 2013). Yapılan ölçümlere göre teğet yöndeki ilkbahar odunu trahesi  $63,50 \pm 7,86$ , radyal yöndeki ilkbahar odunu trahesi ise  $55,51 \pm 6,07$  µm olarak bulunmuştur. Yaz odunu traheleri incelendiğinde teğet ve radyal yöndeki boyutları sırasıyla  $36,83 \pm 8,0$  ve  $36,05 \pm 7,85$  µm olarak

hesaplanmıştır. Özışını genişliği  $25,03 \pm 7,45$  bulunurken, özışını uzunluğu  $283,88 \pm 52,90$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Tek çeper çapları ise ilkbahar odunu ve yaz odunu için sırasıyla  $2,0 \pm 0,56$  ve  $4,51 \pm 1,32$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.

#### 4.1.1.3. Sarıçam ve Kayın Odunu Örneklerinin Tam Kuru ve Hava Kuru Haldeki Özgül Ağırlık Değerleri

Emprenyesiz sarıçam ve kayın odunu örneklerinin tam kuru ve hava kuru haldeki özgül ağırlık değerleri Şekil 29’da verilmiştir.



Şekil 29. Sarıçam ve kayın odunu örneklerinin tam ve hava kuru haldeki özgül ağırlık değerleri

Sarıçam odununun hava kuru özgül ağırlığı  $0,50 \pm 0,05$   $\text{g/cm}^3$  ve tam kuru özgül ağırlığı  $0,45 \pm 0,05$   $\text{g/cm}^3$  olarak bulunmuştur.

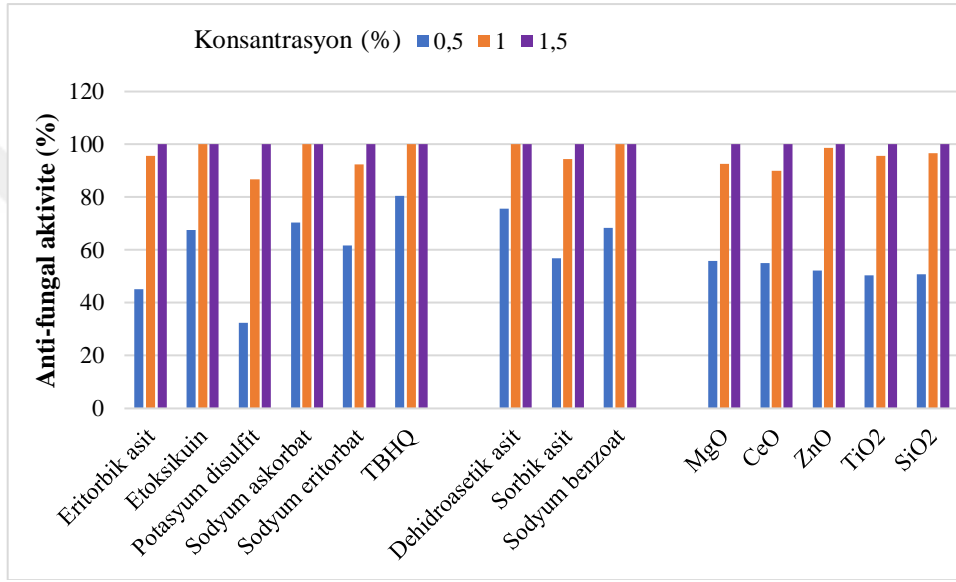
Kayın odununun hava kuru özgül ağırlığı ise  $0,70 \pm 0,04$   $\text{g/cm}^3$  ve tam kuru özgül ağırlığı  $0,65 \pm 0,02$   $\text{g/cm}^3$  olarak hesaplanmıştır.

Erdin ve Bozkurt (2013), yaptıkları araştırmada sarıçamın hava kuru özgül ağırlığını  $0,52$   $\text{g/cm}^3$ , tam kuru özgül ağırlığını  $0,49$   $\text{g/cm}^3$  olarak, kayın odununun hava kuru özgül ağırlığını  $0,72$   $\text{g/cm}^3$ , tam kuru özgül ağırlığını ise  $0,68$   $\text{g/cm}^3$  olarak bildirmişlerdir. Çalışmada kullanılan odun örneklerinin hem hava kuru hem de tam kuru özgül ağırlıklarının bu değerlere çok yakın olduğu görülmektedir. Aradaki farkın ise odunun yetiştirme yeri özelliklerinden kaynaklandığı söylenebilir.

#### 4.1.2. Çalışılan Kimyasalların Bazı Özellikleri

##### 4.1.2.1. Emprenye Çözeltilerinin Anti-Fungal Aktiviteleri

Üç farklı konsantrasyonda (%0,5, %1,0 ve %1,5) hazırlanan emprenye çözeltilerinin *Coniophora puteana* mantarını inhibe eden en düşük konsantrasyonunu bulmak için agar ortamında yapılan anti-fungal test sonuçları Şekil 30'da verilmiştir.



Şekil 30. Çözeltilerin anti-fungal aktiviteleri

Şekil 30 incelendiğinde %1,5 konsantrasyondaki tüm çözeltilerin *C. puteana* mantarının gelişimini tamamen inhibe ettiği görülmektedir. Dolayısıyla çalışılacak konsantrasyonun belirlenmesi için daha düşük konsantrasyondaki değerler incelenmelidir.

%1,0 konsantrasyonda yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltiler kendi arasında değerlendirildiği zaman antifungal aktivite değerlerinin %86,79 ile %100,00 arasında değiştiği görülmektedir. %0,5 konsantrasyonda ise bu değerler %32,49-%80,45 aralığında değişmektedir.

%1,0 konsantrasyonda GRAS bileşikleriyle hazırlanan çözeltiler kendi arasında değerlendirildiği zaman antifungal aktivite değerlerinin %94,45 ile %100,00 arasında değiştiği görülmektedir. %0,5 konsantrasyonda ise bu değerler %56,82-%75,54 aralığında değişmektedir.

%1,0 konsantrasyonda nano-oksitler ile hazırlanan çözeltiler kendi arasında değerlendirildiği zaman antifungal aktivite değerlerinin %90,01 ile %98,71 arasında değiştiği görülmektedir. %0,5 konsantrasyonda ise bu değerler %50,31-%55,90 aralığında değişmektedir.

%1,0 konsantrasyonda hazırlanan tüm çözeltilerin mantarı inhibe etme oranı %85 in üzerinde olduğu için dolayısıyla da %1,5 konsantrasyona göre daha ekonomik bir seçenek olduğu için hem de çalışma kapsamında yapılan testlerin sonuçlarının karşılaştırmalarının daha kolay olması açısından çalışılacak konsantrasyon %1,0 olarak seçilmiş ve çalışmanın geri kalan kısmına bu konsantrasyon üzerinden devam edilmiştir.

Türkkan ve Erper (2014), *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*'nin neden olduğu soğan kök çürümesinin kontrolü için yapay fungusitlere olası alternatifler olarak on iki sodyum tuzunun etkinliğini araştırmışlardır. Sodyum tuzlarının miselyum büyümesi üzerindeki inhibitör etkilerini araştırdıkları in vitro testler sonucu, çalışılan tuzlar arasında sodyum metabisülfid ve sodyum florürün %2 (w/v) konsantrasyonda, mantarın misel büyümesini tamamen inhibe ettiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada da yine sodyumun iki farklı tuzu olan sodyum askorbat ve sodyum eritorbatın %1,5 konsantrasyonları *C. puteana* mantarının misel büyümesini tamamen inhibe etmiştir.

Zayıf asitler, mikroorganizmaların büyümesini engelleyerek raf ömrünü uzatmak için genellikle gıda ve yeamlere dahil edilmektedir. Gıda maddelerinde kullanılan en yaygın zayıf asit koruyucular sorbik asit, benzoik asit ve propiyonik asittir. Bu sorbik asitlerden veya daha yaygın olarak sodyum veya potasyum sorbatın, 5,6'ya kadar pH değerlerinde en büyük antifungal aktiviteye sahip olduğu (Ray ve Liewen, 2004) ve mantar büyümesini önlemede en etkili bileşiklerden biri olduğu bildirilmiştir (Suhr ve Nielsen, 2004; Guynot vd., 2005). Bu çalışmada da GRAS bileşiklerinden olan sorbik asitin *C. puteana* mantarını inhibe etme oranı %0,5, 1,0 ve 1,5 konsantrasyondaki çözeltiler için sırasıyla %56,82, 94,45 ve 100,00 olarak bulunmuştur. Ray ve Bullerman (1982), sorbik asidin bir dezavantajının, suda sınırlı çözünürlüğü olduğunu ve bu nedenle, bu asidin potasyum tuzunun, genellikle suda daha fazla çözünürlüğünden dolayı istendiği yerlerde kullanabildiğini bildirmiştir. Yapılan bir çalışmada %0,1, 0,5 ve 1,0 konsantrasyondaki sorbik asit ve sodyum benzoatın mısır unu üzerinde büyüyen *A. flavus*'un aflatoksin üretimine etkisi araştırılmış ve sorbik asitin inhibe yüzdesi en az konsantrasyondan yükseğe göre doğru; %10,2, 57,8 ve 97,1 olarak bildirilmiştir. Sodyum benzoatın sadece %1,0 konsantrasyonda ve %23,6 oranında etkili olduğu rapor edilmiştir. (Masimango vd., 1979).

Kısa zincirli doymuş yağ asitleri (C<sub>6</sub> - C<sub>18</sub>) ve dehidroasetik asit dahil olmak üzere düşük asitli orta nemli gıdalarda yaygın olarak kullanılmayan bir dizi asit ve asit türevinin de laboratuvar ortamında antimikrobiyal aktivite sergilediği bildirilmiştir (Skřivanová vd., 2005). GRAS bileşiklerinden biri olan dehidroasetik asit bu çalışmada da *C. puteana* mantarına karşı anti-fungal aktivite göstermiştir.

Benzoik asit ve sodyum benzoat, öncelikle antifungal ajanlar olarak kullanılmaktadır (Davidson, 2001). Yine GRAS bileşiklerinden biri olan sodyum benzoat bu çalışmada da *C. puteana* mantarına karşı yüksek anti-fungal aktivite göstermiştir.

Huang vd. (2010), gıdalarda koruyucu olarak dört zayıf asidin (kaproik asit, sodyum oktanoat, potasyum sorbat, dehidroasetik asitin sodyum tuzu) potansiyel antifungal etkinliğinin, gliserol bazlı bir agar ortamı kullanılarak değerlendirildiği bir çalışmada zayıf asitlerin mantar gelişimi üzerindeki önleyici etkisinin pH değerinden etkilendiği ve kullanılan mantar türlerine göre sonuçların değişebileceği bildirmiştir.

Toolabia vd.'in (2013) yaptığı bir çalışmada nano ZnO, TiO<sub>2</sub> ve CuO'nun toksisiteleri ve antibakteriyel yönleri bakteri türleri üzerinden araştırılmıştır. Stok nanopartikül süspansiyonları (100 mmol/L), Mueller-Hinton agar ortamı ile 0,05-75 mmol/L aralığındaki değerlere kadar seyreltilmiştir. Hazırlanan besiyerlerde bakterilerin (*Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*) büyüme inhibisyonu belirlenmiştir. 34,03 mmol/L konsantrasyondaki nano-ZnO, 190,74 mmol/L konsantrasyondaki nano-TiO<sub>2</sub> ve 84,41 mmol/L konsantrasyondaki nano-CuO çözeltilerinin test edilen tüm bakterileri %100 oranında inhibe ettiği raporlanmıştır. Yani daha düşük konsantrasyondaki nano-ZnO daha yüksek konsantrasyondaki nano-TiO<sub>2</sub> çözeltilisiyle aynı düzeyde antibakteriyel etkinlik göstermiştir. Bu çalışmada da aynı konsantrasyonda hazırlanan nano-ZnO, nano-TiO<sub>2</sub>'den bir miktar daha yüksek antifungal aktivite göstermiştir.

He vd. (2011), yaptıkları bir çalışmada çinko oksit nanopartiküllerinin antifungal aktivitelerini ve hasat sonrası iki patojenik mantara (*Botrytis cinerea* ve *Penicillium expansum*) karşı etki biçimlerini araştırmışlardır. 70±15 nm boyutlarında ve 0, 3, 6 ve 12 mmol/L konsantrasyonlarında ZnO kullanmışlardır. 3 mmol/L'den yüksek konsantrasyonlardaki ZnO çözeltilerinin *B. cinerea* ve *P. expansum*'un büyümesini önemli ölçüde inhibe edebildiğini bildirmişler ve nano-ZnO çözeltilisinin tarım ve gıda güvenliği uygulamalarında etkili bir fungusit olarak kullanılabileceğini raporlamışlardır. Yine başka bir çalışmada nano ZnO çözeltilerinin *Aspergillus flavus* ve *A. fumigatus* küflerine karşı



antifungal özellik gösterdiği bildirmiştir (Navale vd., 2015). Ayrıca başka araştırmacılar nano ZnO çözeltilerinin *Phanerochaete salmonicolor*, *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Candida albicans*, *Fusarium oxysporum* gibi diğer mikroskobik mantarlara karşı da antifungal aktivitesini raporlamışlardır (Narendhran ve Sivaraj, 2016; Arciniegas-Grijalba vd., 2017). Bu çalışmada ise nano-ZnO'nin *C. puteana* mantarını inhibe etme oranı %0,5, 1,0 ve 1,5 konsantrasyondaki çözeltiler için sırasıyla %52,30, 98,71 ve 100,00 olarak bulunmuştur.

Koka vd. (2019), Magnezyum oksit (MgO) ve demir oksit (FeO) nanopartiküllerinin antifungal aktivitesini *Penicillium expansum*, *Aspergillus niger*, *Alternaria alternata*, *Mucor plumbeus*, *Penicillium chrysogenum*, *Trichothecium roseum* ve *Rhizoctonia solani* çürükçül mantarlarına karşı araştırmışlar ve nanopartiküllerin tüm konsantrasyonlarının spor çimlenmesinde ve çürümeye neden olan tüm mantarların misel büyümesinde önemli inhibisyon sağladığını bildirmişlerdir.

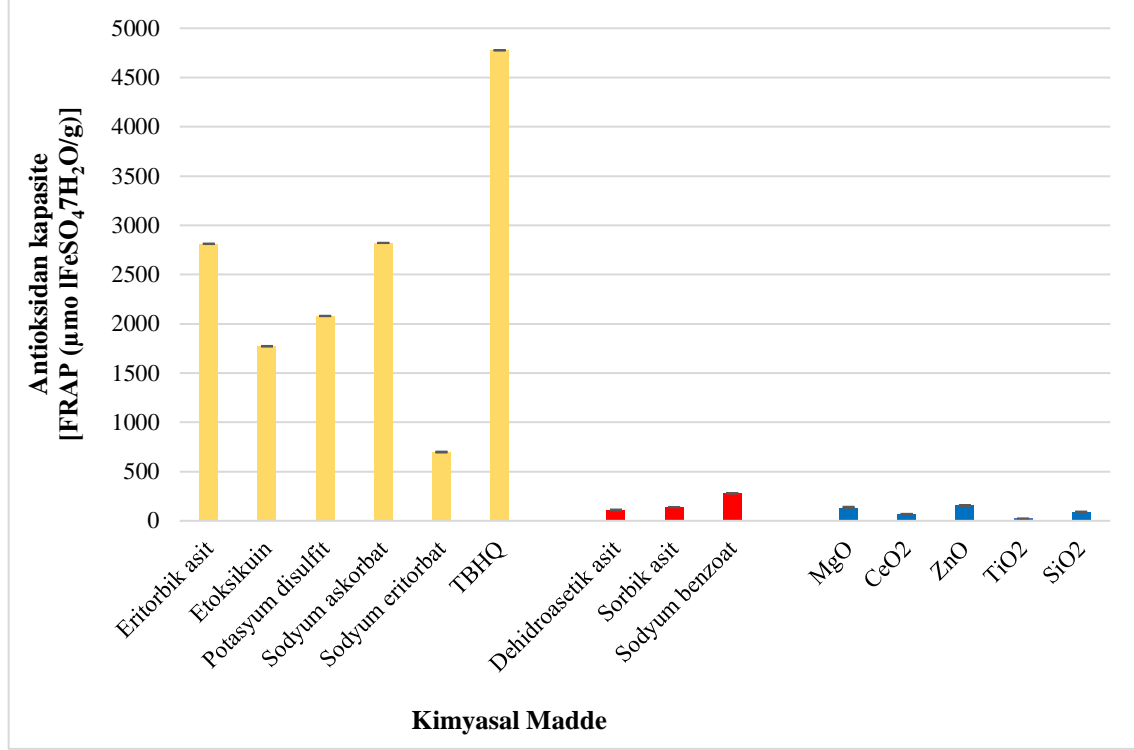
Rosa-García vd. (2018), farklı sentez koşulları altında hazırlanan metal oksit nanomalzemelerin (çinko oksit (ZnO), magnezyum oksit (MgO) ve ZnO: MgO ve ZnO: Mg(OH)<sub>2</sub> karışımları) antifungal aktivitesini, avokado ve papayadan elde edilen *C. gloeosporioides* suşlarına karşı araştırmışlardır. Test edilen konsantrasyonlardaki tüm nanopartiküllerin mantar büyümesini önemli ölçüde inhibe ettiğini ve mantar hücrelerinde yapısal hasara neden olduğunu bildirmişlerdir.

Karimiyan vd. (2015), yaptıkları çalışmada, 4 nano-metal oksidin (MgO, SiO<sub>2</sub>, ZnO ve CuO) *Candida albicans*'a karşı antifungal etkilerini in vitro olarak incelemiş ve amfoterisin B (antibiyotik) ile karşılaştırılmışlardır. ZnO ve CuO nanopartiküllerinin çalışılan diğer nano-oksitlere kıyasla daha yüksek anti *C. albicans* özelliğine sahip olduğu bu mantarın neden olduğu enfeksiyonların tedavisinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan tüm araştırmalar ve bu çalışmanın sonuçları değerlendirdiğinde nano-oksitlerin test edilen birçok mikroorganizmaya karşı anti-bakteriyel ve/veya anti-fungal etki gösterdiği görülmektedir.

#### 4.1.2.2. Antioksidan Kapasitelerinin Belirlenmesi

Çalışılan kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltilerinin antioksidan kapasiteleri Şekil 31’de verilmiştir.



Şekil 31. Kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltilerinin antioksidan kapasiteleri

Çalışılan 14 kimyasalla %1,0 konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerin antioksidan değerlerine bakıldığı zaman; en yüksek etkinin TBHQ çözeltilisinde ( $4775,57 \pm 13,03$  µmol FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O/g) en düşük etkinin ise titanyum dioksit çözeltilisinde ( $21,87 \pm 0,30$  µmol FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O/g) tespit edildiği görülmektedir (Şekil 32).

3 grup kendi arasında kıyaslandığında en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olan kimyasal grubunun yapay antioksidanlar olduğu görülmektedir. GRAS bileşikleri ve nano-oksid çözeltilerinin yapay antioksidanlara göre çok daha düşük antioksidan aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur.

Yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltiler kendi arasında değerlendirildiği zaman antioksidan kapasite değerlerinin  $694,25 \pm 8,33$  ile  $4775,57 \pm 13,03$  µmol FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O/g arasında değiştiği görülmektedir.

GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltiler kendi arasında değerlendirildiği zaman antioksidan kapasite değerlerinin  $107,28 \pm 7,07$  ile  $278,00 \pm 4,00$   $\mu\text{molFeSO}_4\text{7H}_2\text{O/g}$  arasında değiştiği görülmektedir.

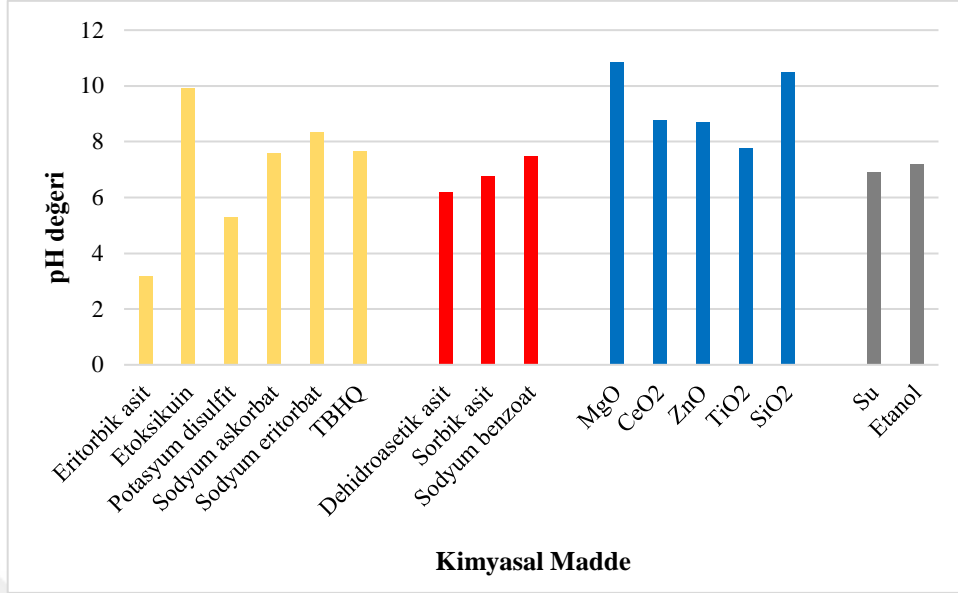
Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltiler kendi arasında değerlendirildiği zaman antioksidan kapasite değerlerinin  $21,87 \pm 0,30$  ile  $154,42 \pm 3,03$   $\mu\text{mol FeSO}_4\text{7H}_2\text{O/g}$  arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerler yapay antioksidanlara ve GRAS bileşiklerine göre daha düşük görünebilir fakat Karunakaran vd. (2013) yaptıkları çalışmada nano ve mikro  $\text{ZrO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  çözeltilerinin antioksidan aktivitelerini incelemişler ve aynı konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerden nano boyutlu olanların mikro boyutlu olanlara göre antioksidan aktivitelerini daha yüksek bulduklarını bildirmişlerdir.

Metal oksitten oluşan nanopartiküller artık potansiyel temizleyici davranışları açısından da değerlendirilmektedir. Doğal antioksidan aktivitenin işlevsel nano yapıları, serbest radikal temizleyiciler olarak giderek daha fazla araştırılmaktadır. Sadece bu nanopartiküller taşıyıcı olarak değil, aynı zamanda oksidatif stresin modülasyonuna katılan aktif ajanlar olarak da hareket etme potansiyeline sahiptir (Manke vd., 2013). Bu çalışmada test edilen nano-oksitlerin antioksidan kapasiteleri büyükten küçüğe  $\text{ZnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CeO}$  ve son olarak  $\text{TiO}_2$  olarak sıralanabilir.

Sultana vd. (2017), yapay antioksidanların antioksidan potansiyelini araştırdığı çalışmada, temizleme aktivitesi ve indirgeme gücü sırasını  $\text{TBHQ} > \text{BHA}$  (Bütihidroksianisol)  $> \text{Tokoferol} > \text{L-askorbik asit}$  olarak sıralamışlardır. Bu çalışmada ise antioksidan aktivite olarak araştırılan demir indirgeme gücü baz alındığında aynı konsantrasyonda çalışılan yapay antioksidan çözeltileri şu şekilde sıralanabilir:  $\text{TBHQ} > \text{sodyum askorbat} > \text{eritorbik asit} > \text{potasyum disülfid} > \text{etoksikuin} > \text{sodyum eritorbat}$ . Aynı sıralama çalışılan GRAS bileşikleri için ise şu şekildedir:  $\text{sodyum benzoat} > \text{sorbik asit} > \text{dehidroasetik asit}$ .

#### 4.1.2.3. Emprenye Çözeltilerinin pH Değerleri

Çalışılan kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltilerinin pH değerleri Şekil 32'de verilmiştir.



Şekil 32. Kimyasalların %1,0 konsantrasyondaki çözeltilerinin pH değerleri

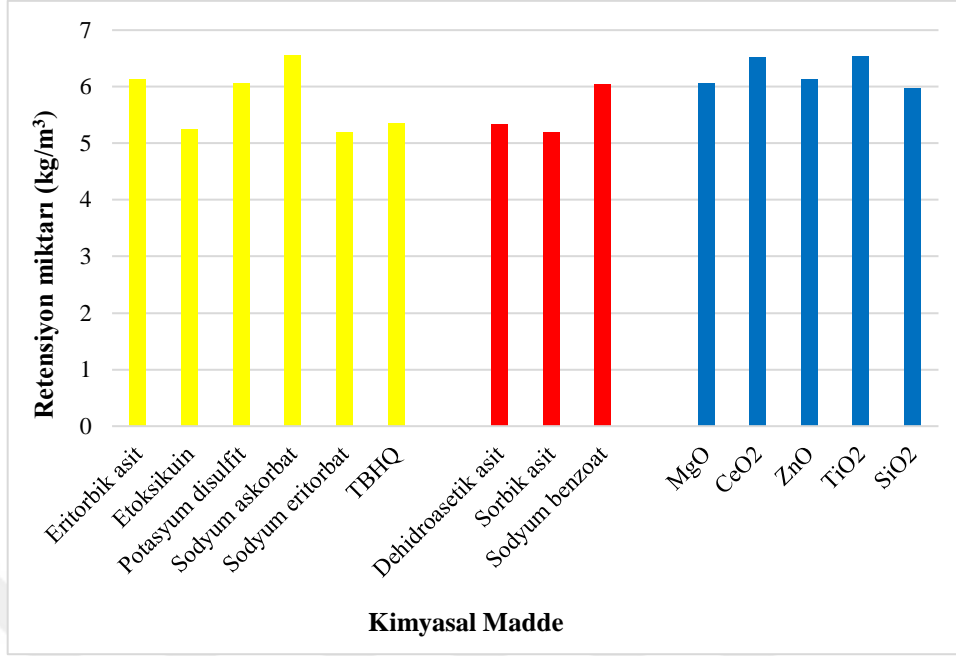
Şekil 32 incelendiğinde çözücü olarak kullanılan distile su ve etanolün pH değerleri sırasıyla 6,89 ve 7,20 bulunmuştur. Çalışılan kimyasallar kendi çözücülerinde hazırlandıkları zaman çözeltilerin pH değerleri kimyasalın karakteristiğine göre değişmiştir.

Aynı konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerin pH değerleri belirlenmiş ve eritorbik asit ve potasyum disülfidin sırasıyla 3,17 ve 5,28 değerleriyle kuvvetli ve zayıf asit karakterli olduğu, diğer tüm çözeltilerin ise 6,2 ile 10,86 değerleri arasında değiştiği; nötr ya da zayıf alkali karakterli olduğu bulunmuştur.

#### 4.1.3. Retensiyon Değerleri

Çalışmanın bu bölümünde yapılan analizler, iş yükünü ve tezin hacmini çok fazla arttırmamak için “ön denemeler topluluğu” olarak da nitelendirilebilecek ilk bölümün bir devamı olarak sadece sarıçam odunu örnekleri üzerinden yürütülmüştür.

Mevcut kimyasallarla empenye edilen sarıçam odunu örneklerine ait retensiyon değerleri Şekil 33’te verilmiştir.



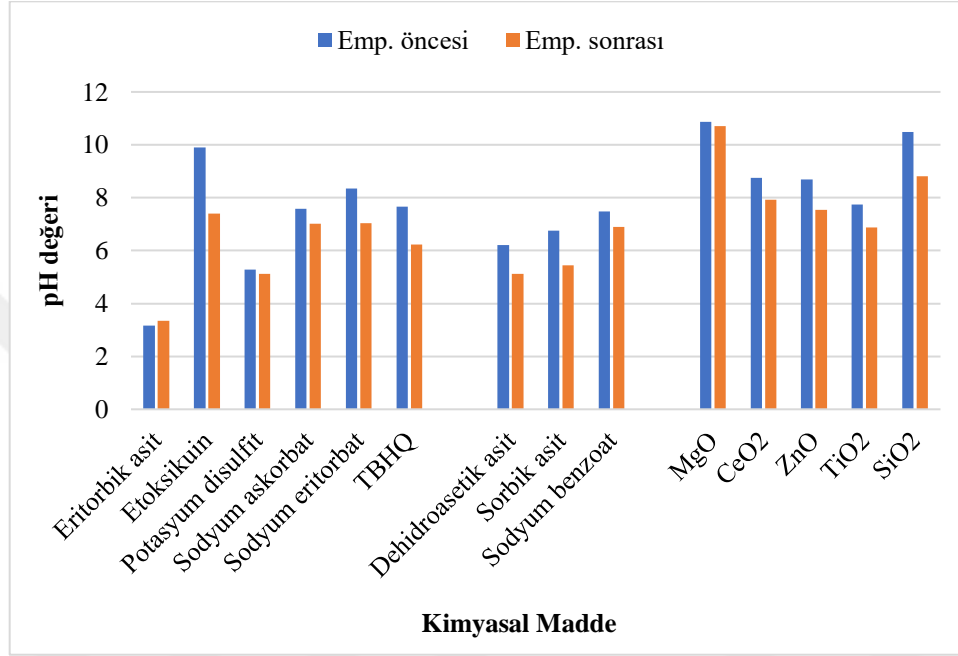
Şekil 33. Sarıçam odunu örneklerine ait retensiyon değerleri

Şekil 33 incelendiğinde çalışılan 14 kimyasalla hazırlanan çözeltilerinin oduna nüfuz miktarının en düşük  $5,19 \text{ kg/m}^3$  ile sodyum eritroborat ve sorbik asit çözeltilerinden, en yüksek ise  $6,56 \text{ kg/m}^3$  değeri ile sodyum askorbat çözeltisiyle emprenye edilen odun örneklerinden elde edildiği görülmektedir. Yapılan istatistiksel hesaplama sonucu 14 kimyasalla yapılan emprenyeden sonra hesaplanan retensiyon değerleri arasında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ( $p>0,05$ ). Dolayısıyla retensiyon değerleri her kimyasal için aynı görünmese de birbirlerine çok yakın oldukları için aynı oranda oduna nüfuz ettiklerini söylemek mümkündür. Bu durumun çalışmanın bu bölümünde kullanılan çözeltilerin aynı konsantrasyonda (%1,0) emprenye edilmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Muhcu (2015), sarıçam odunu örneklerini çözücü olarak nano-ZnO için etanol ve nano-CuO, nano-TiO<sub>2</sub> ve nano-CeO<sub>2</sub> için amonyak kullanarak %1,0 konsantrasyonda hazırlanan emprenye çözeltileri ile emprenye etmiştir ve retensiyon değerlerini nano-ZnO nano-CuO, nano-TiO<sub>2</sub> ve nano-CeO<sub>2</sub> için sırasıyla  $4,90\pm 0,72$ ,  $5,88\pm 0,36$ ,  $5,53\pm 0,73$  ve  $3,78\pm 0,35 \text{ kg/m}^3$  olarak bildirmiştir. Retensiyon miktarlarının bu çalışmadaki sonuçlar ile yakın olmasının sebebinin benzer nano kimyasallarla ve aynı konsantrasyonda emprenye çözeltisi kullanımından kaynaklı olduğu söylenebilir.

#### 4.1.4. Emprenye Çözeltilerinin Emprenye Sonrası pH Değerlerindeki Değişim

Emprenye çözeltilerinin emprenye sonrası pH değerlerindeki değişim Şekil 34'te verilmiştir.



Şekil 34. Emprenye çözeltilerinin emprenye sonrası pH değerlerindeki değişim

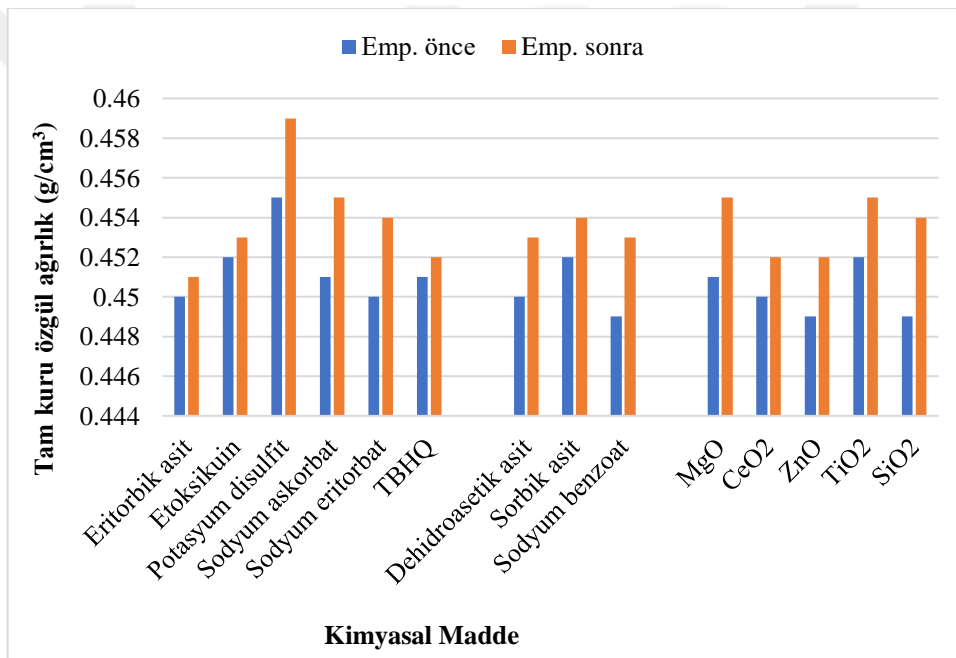
Tez kapsamında çalışılan 14 kimyasal arasından sadece kuvvetli asit karakterli olan eritorbik asit çözeltisinin emprenye öncesi 3,17 olan pH değeri 3,34'e yükselmiştir. Diğer 13 çözeltinin pH değeri emprenye sonrası bir miktar düşüş göstermiştir. Temiz (2000), yapmış olduğu yüksek lisans tezinde kızılâğaç odununu çeşitli emprenye maddeleri ile emprenye etmiş ve emprenye maddelerinin emprenye öncesi ve sonrası pH değerlerini ölçmüştür. Kuvvetli asit karakterli emprenye maddelerinin pH değerlerinin emprenye sonrası bu tez çalışmasında olduğu gibi bir miktar yükseldiğini bildirmiştir (Örneğin, borik asit çözeltisinin pH değeri 3,19'dan 3,60'a, fosforik asit çözeltisinin pH değeri 2,11'den 2,20'ye yükselmiştir). Daha zayıf asit ya da alkali karakterli çözeltilerin pH değerleri ise bu çalışmada olduğu gibi bir miktar yükselmiştir (Örneğin, vascol çözeltisinin pH değeri 5,91'den 6,0'ya yükselmiştir). Fakat bu değişikliklerin önemli değişiklikler olmadığı; bu durumun da her varyasyonda taze çözeltiyle çalışmaktan kaynaklı olduğunu vurgulanmıştır.

Yapılan tez çalışmasında da emprenye çözeltilerinin pH değerlerinin emprenye öncesi ve sonrasındaki değişiklik çok yüksek değerlerde olmadığı için bu durumun her grup için yapılan testlerde taze çözelti kullanımından kaynaklandığı söylenebilir.

#### 4.1.5. Emprenye Sonrası Yapılan Bazı Fiziksel Testler

##### 4.1.5.1. Tam Kuru Özgül Ağırlık Değişimi

Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin tam kuru özgül ağırlık değişimleri Şekil 35'te verilmiştir.



Şekil 35. Sarıçam odunu örneklerinde tam kuru özgül ağırlık değişimi

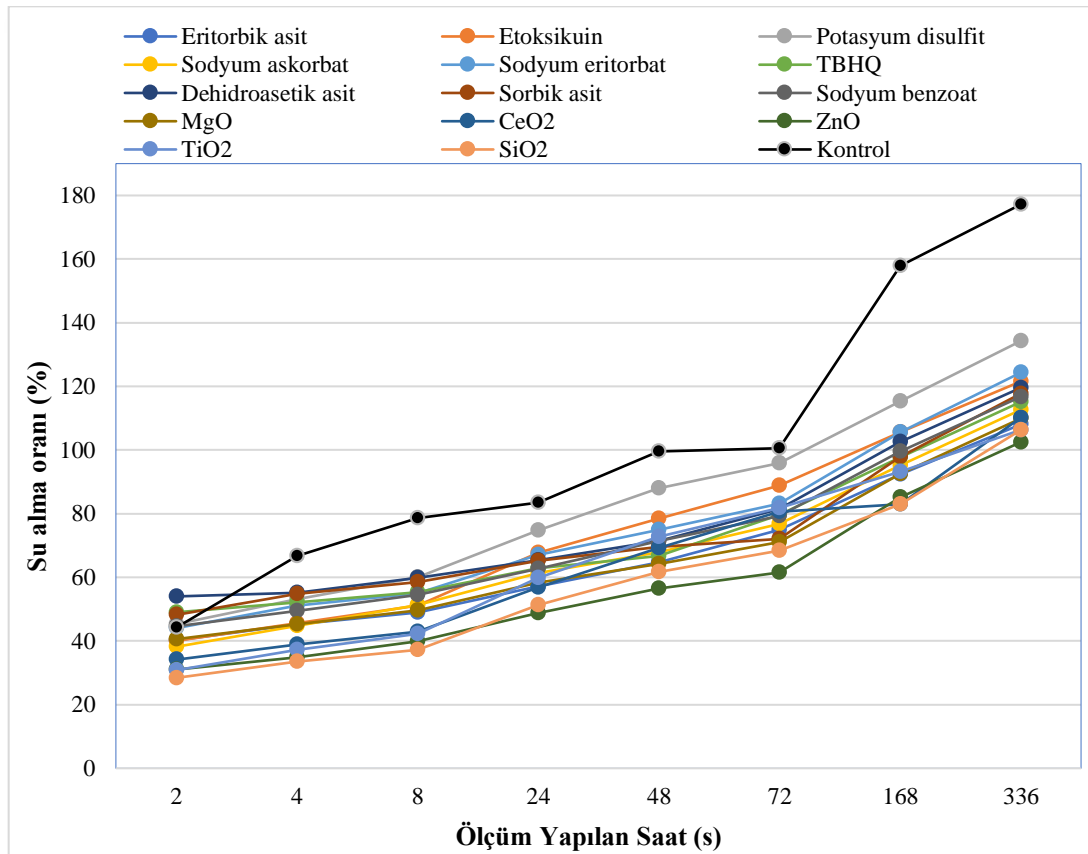
Alkan (2016), doğal emprenye maddeleri ve borlu bileşikler ile emprenye edilen sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununun fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Kontrol örneğinin tam kuru özgül ağırlık değerini  $0,44 \pm 0,04$  g/cm<sup>3</sup> ve % 1,0 konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen sarıçam odun örneklerinin tam kuru özgül ağırlık değerlerini 0,45-0,49 g/cm<sup>3</sup> değerleri arasında bulmuştur.

Bu çalışmada, emprenye öncesi tam kuru özgül ağırlık 0,44-0,45 g/cm<sup>3</sup> değerleri arasında değişirken, emprenye sonrası tam kuru özgül ağırlık değerleri artış göstermiş ve 0,451-0,459 g/cm<sup>3</sup> aralığında değerler vermiştir. Tam kuru özgül ağırlık verileri

değerlendirildiğinde, emprenyeli örneklerin tam kuru yoğunluk değerleri kontrol örneklerine oranla daha yüksek değerler verdiği görülmektedir. Bu durum çalışmada kullanılan emprenye maddelerinin tuz veya nano-yapıda olması nedeniyle deney malzemelerinin yoğunluğunu arttırdığı şeklinde açıklanabilir (Ayar, 2008).

#### 4.1.5.2. Su Alma Oranı ve Su İtici Etkinlik Değerleri

Test edilen sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası su alma oranları (%) şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36. Test edilen sarıçam odunu örneklerinin emprenye sonrası su alma oranları

Çalışılan 14 kimyasalla %1,0 konsantrasyonda emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin su alma oranlarına bakıldığı zaman (336. saat baz alınarak) en yüksek su alma oranı kontrol (emprenyesiz) örneğinde (%177,17±6,87) en düşük su alma oranı ise ZnO ile emprenye edilen örneklerde (%102,49±4,62) olduğu görülmektedir (Şekil 36).



Yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman su alma oranlarının  $108,05 \pm 4,83$  ile  $134,25 \pm 5,56$  arasında değiştiği görülmektedir.

GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman su alma oranlarının  $116,73 \pm 5,05$  ile  $119,56 \pm 4,51$  arasında değiştiği görülmektedir.

Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman su alma oranlarının  $102,49 \pm 4,62$  ile  $110,18 \pm 4,81$  arasında değiştiği görülmektedir.

3 grup kendi arasında kıyaslandığında en düşük su alma oranlarının nano-oksitler ile emprenye edilen odunlarda olduğu görülmektedir. Bu sırayı su alma oranları düşükten yükseğe olacak şekilde yapay antioksidanlarla emprenye edilen odunlar ve GRAS bileşikleri ile emprenye edilen örnekler takip etmiştir.

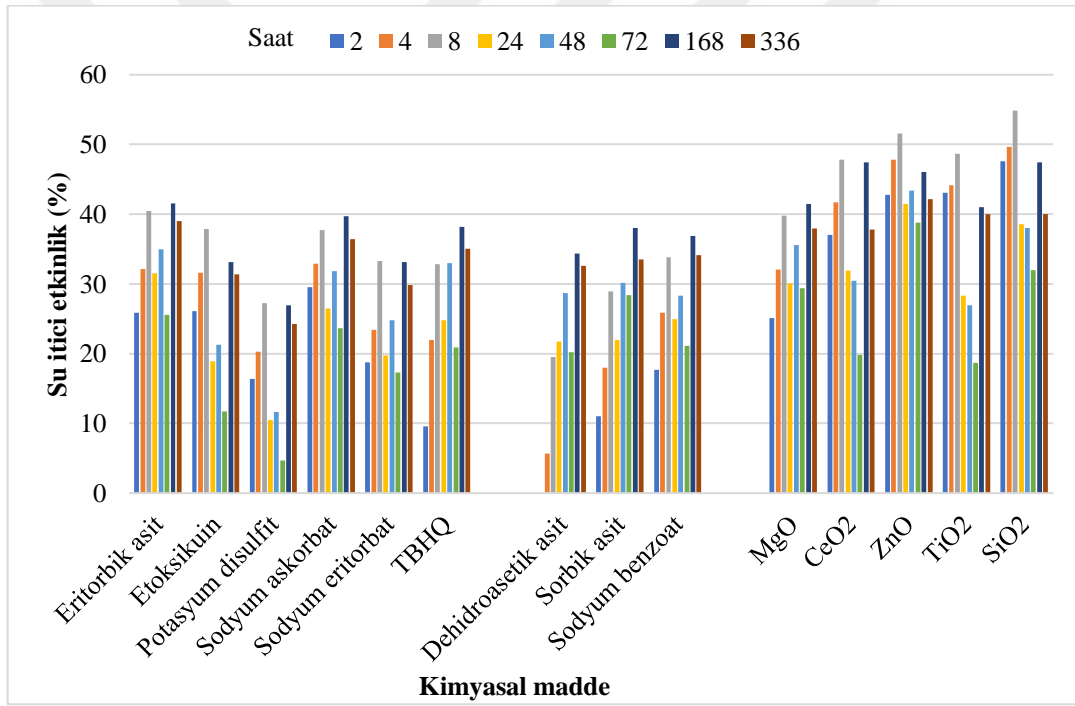
Ahşabın higroskopik özellikleri, dayanıklılığının belirlenmesinde büyük rol oynar. Sıvı ve buhar halindeki su ahşabın bozulmasına neden olur. Nanokompozit kaplamalar, ahşabın yumuşaklığını ve aşınma direncini etkilemeden pürüzlü hidrofobik yüzey oluşturur. Benzer şekilde, nanomalzemelerin emprenye edilmesi, su moleküllerinin emilmesi için kullanılan hücre duvarı içindeki gözenek boyutunu ve mevcut boşluğu azaltır (Fufa ve Hovde, 2010).

Muhcu (2015), sarıçam odun örneklerini çözücü olarak nano-ZnO için etanol ve nano-CuO, nano-TiO<sub>2</sub> ve nano-CeO<sub>2</sub> için amonyak kullanarak %1,0 konsantrasyonda hazırlanan emprenye çözeltileri ile emprenye etmiştir ve 24. saatte alınan ölçümlere göre kontrol örneği, nano-ZnO, nano-CuO, nano-TiO<sub>2</sub> ve nano-CeO<sub>2</sub> çözeltileriyle emprenye ettiği örneklerin su alma oranlarını sırasıyla yüzde  $71,35 \pm 4,10$ ,  $61,78 \pm 5,70$ ,  $66,72 \pm 7,16$ ,  $67,26 \pm 2,67$ ,  $62,54 \pm 4,36$  olarak bildirmiştir. Bu çalışmada ise aynı konsantrasyonda sadece su kullanılarak hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen MgO, CeO<sub>2</sub>, ZnO, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> ve kontrol örnekleri için sırasıyla  $58,41 \pm 3,20$ ,  $56,85 \pm 3,88$ ,  $48,86 \pm 2,35$ ,  $59,88 \pm 3,74$ ,  $51,29 \pm 2,95$  ve  $83,52 \pm 4,52$  olarak bulunmuştur. İki çalışmada da en az ve en çok su alan örnekler sırasıyla ZnO ile emprenye edilen örnekler ve kontrol örnekleri olmuştur.

Clausen vd. (2010) tarafından yapılan nano-ZnO ile emprenye edilmiş odun örneklerinin yıkanma direnci ve ıslanabilirlik testlerinde, nano-ZnO %1, %2,5 ve %5 konsantrasyonlarında kullanılmış ve çalışmalar sonucunda emprenye edilen odun örneklerinde nano-ZnO yıkanmaya karşı direnç göstermiştir. Nano-ZnO metal

partiküllerinin dağılımı Van der Walls kuvvetleriyle ilişkilendirilmiştir. Clausen vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise; sarıçam odun örnekleri nano-ZnO partikül çözeltisi ile emprenye edilmiş ve yıkanma direnç özellikleri araştırılmıştır. Sarıçam diri odunundan elde edilen örnekler, her birinden üçer farklı konsantrasyonda (%1,0, 2,5 ve 5,0) ve 30 ve 70 nm büyüklüğündeki nano-Zn partiküllerinin kullanıldığı çözeltilerle emprenye edilmiştir. Nano-ZnO 30 ve 70 nm partikül boyutunda %5,0 konsantrasyondaki çözeltileri ile emprenye edilen örneklerde yıkanma gözlenmemiştir. Çözelti konsantrasyonunun artması ile yıkanma direncinin arttığı görülmüştür. Partikül boyutunun nano-ZnO partiküllerinin yıkanmasına bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (Muhcu, 2015).

Emprenye edilmiş örneklerin su itici özellik değerleri ise Şekil 37’de verilmiştir.



Şekil 37. Emprenye edilmiş örneklerin su itici özellik değerleri

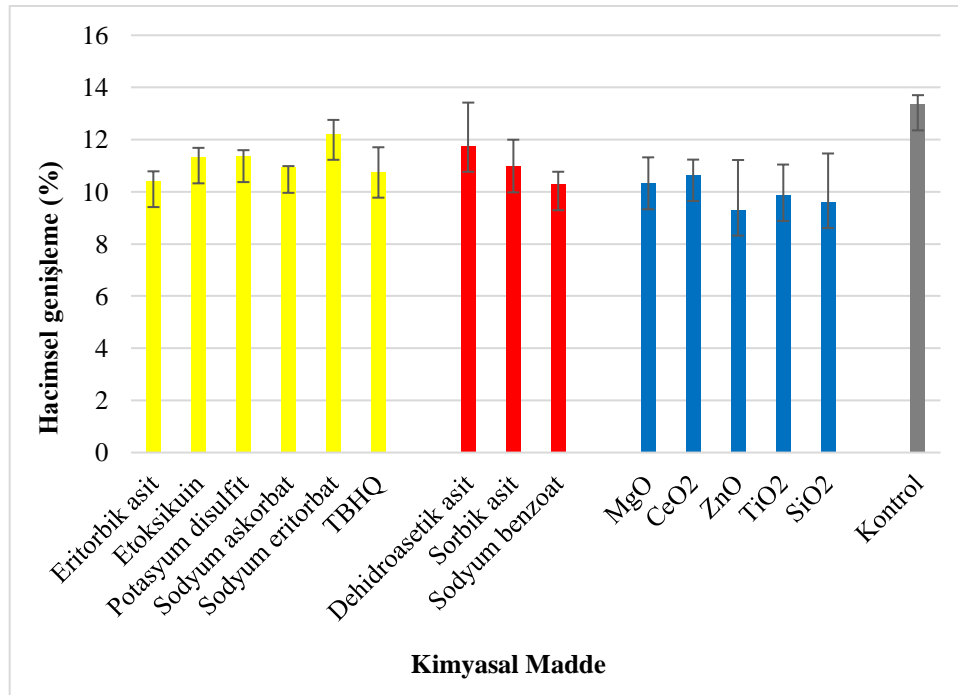
Su itici etkinlik değeri; emprenye edilen odunun su alma oranının, kontrol (emprenye edilmeyen) odunun su alma oranına oranlanmasıyla elde edilen bir hesaplama olduğu için bir odun örneğinin su alma oranı ne kadar azsa, su itici etkinlik değeri de o kadar yüksek bulunur. Dolayısıyla bu çalışmada en az su alma oranları nano-oksitlerle emprenye edilen örneklerde gözlemlendiği için, en yüksek su itici etkinlik değerleri de bu odun örneklerinde görülmüştür. Yapay antioksidanlarla ve GRAS bileşikleriyle emprenye edilen örnekler kendi

arasında kıyaslandığı zaman ise GRAS bileşikleriyle emprenye edilen örneklerin su itici etkinlik oranları en düşük olarak bulunmuştur.

Başka bir çalışmada ise, sarıçam odunu örnekleri, (ACQ)/wax (%0,5, %2,5 ve %5,0 wax) çözeltileri ile vakum uygulanarak emprenye edilmiştir. Wax konsantrasyonunun ve nano-SiO<sub>2</sub> ilavesinin su alma oranı, hava kurusu daralma ve boyutsal şişme kararlılıkları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar, tüm su absorblama ve hava kurusu daralma süreci boyunca, nano-SiO<sub>2</sub> ile modifiye edilmiş ACQ ile emprenye edilmiş odun örneklerinin daha iyi stabilitesinin ancak %2,5'e eşit wax ilavesi elde edilebileceğini göstermiştir. Hem waxın hem de nano-SiO<sub>2</sub>'in, ahşabın boyutsal kararlılığını korumada yararlı olabileceğini raporlamışlardır (Yu vd., 2017). Bu çalışmada da nano-oksitlerle emprenye edilen odunun su itici etkinlik değerlerine bakıldığında performans açısından SiO<sub>2</sub> nin en iyi performansı gösteren ZnO'dan hemen sonra geldiği görülmüştür.

#### 4.1.5.3. Hacimsel Genişleme Özellikleri

Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin hacimsel genişleme miktarları Şekil 38'de verilmiştir.



Şekil 38. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin hacimsel genişleme miktarları

Şekil 38 incelendiğinde, yapay antioksidanlarla emprenye edilen sarıçam odunu örnekleri kendi aralarında değerlendirildiği zaman hacimsel genişleme oranlarının %10,41±0,37 ile %12,22±0,52 arasında değiştiği görülmektedir.

GRAS bileşikleri ile emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman hacimsel genişleme oranlarının %10,29±0,47 ile %11,76±1,65 arasında değiştiği görülmektedir.

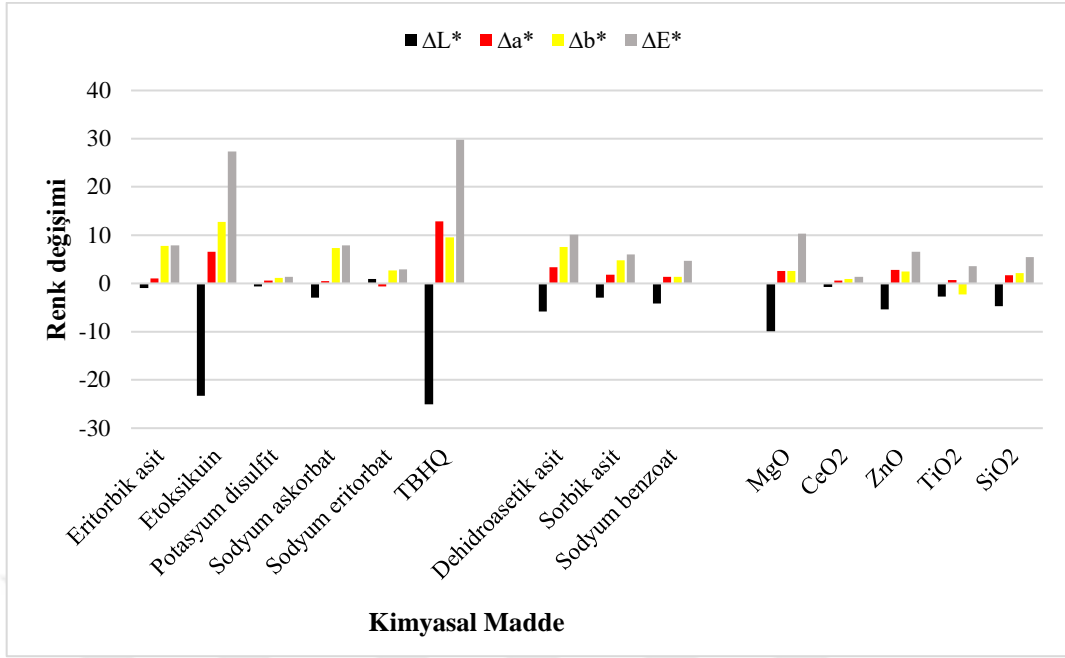
Nano-oksitler ile emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiğinde hacimsel genişleme oranlarının %9,31±1,90 ile %10,64±0,58 arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol örneği ise %13,35±0,35 oranında hacimsel olarak genişlemiştir. Emprenye edilen tüm örneklerin kontrole kıyasla hacimsel genişleme oranı düşmüştür.

Bal (2006), yapmış olduğu bir çalışmada sarıçam odun örneklerini, amonyaklı bakır quat (ACQ) ile farklı sürelerde ve farklı yöntemlerle (24, 48 ve 72 saat daldırma ve dolu hücre yöntemi) emprenye edip, odun örnekleri üzerinde meydana gelen birtakım mekanik ve fiziksel değişiklikleri araştırmıştır. Hiçbir muamele yapılmayan kontrol örneklerindeki teğet ve radyal yöndeki toplam hacimsel genişlemeyi %12,37 olarak bulmuştur. Bu sonuç yapılan tez çalışmasındaki kontrol örneğinin hacimsel genişleme oranı (%13,35) ile örtüşmektedir. Araştırmacı, dolu hücre metoduyla emprenye edilen örneklerin genişleme miktarının, daldırma teknikleriyle emprenye edilen örneklere göre çok daha fazla oranda azaldığını bildirmiştir. Dolu hücre yöntemiyle yapılan muamelenin, kontrol örneğine kıyasla teğet ve radyal yöndeki toplam hacimsel genişlemeyi %28,63 oranında azalttığını raporlamıştır.

Yapılan tez çalışmasında emprenye edilen örneklerin hacimsel genişleme oranları kontrol örneğine kıyasla %10 ile %30 arasında azalmıştır. En fazla azalış çinko oksit çözeltisi ile emprenye edilen odun örneklerinde, en az azalış ise sodyum eritorbat çözeltisi ile emprenye edilen odun örneklerinde görülmüştür.

#### **4.1.5.4. Renk Değişimi**

Emprenye sonrası sarıçam odunu örneklerinde meydana gelen renk değişimleri Şekil 39'da verilmiştir.



Şekil 39. Emprenye sonrası sarıçam odunu örneklerinde meydana gelen renk değişimleri

Renk değişimi analizinde L\*: ışık stabilitesi (açıklık-koyuluk), a\* ve b\* ise kromotografik koordinatları; +a\* kırmızı, -a\* yeşil, +b\* sarı, -b\* mavi rengi ifade etmektedir.

Şekil 39 incelendiği zaman, yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin renk değişim analizlerinde açıklık koyuluğu ifade eden  $\Delta L^*$  değerinin  $0,94 \pm 0,01$  ile  $-25,08 \pm 2,28$  arasında değiştiği görülmektedir. Bu gruptaki sodyum eritorbat hariç tüm örneklerin  $\Delta a^*$  değerleri pozitif yönde değişmiştir. Yani kırmızı renk yoğunluğu artmıştır. Ayrıca bu gruptaki tüm örneklerin  $\Delta b^*$  değerleri pozitif yönde değişim göstermiştir yani sarı renk yoğunluğu artmıştır.

GRAS bileşikleriyle hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin renk değişim analizlerinde açıklık koyuluğu ifade eden  $\Delta L^*$  değerinin  $-2,97 \pm 0,44$  ile  $-5,79 \pm 0,5$  arasında değiştiği görülmektedir. Bu gruptaki tüm örneklerin hem  $\Delta a^*$  hem de  $\Delta b^*$  değerleri pozitif yönde değişiklik göstermiştir, tüm örneklerin sarı ve kırmızı renk yoğunluğu artmıştır.

Nano-oksiditler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman odun örneklerinin renk değişim analizlerinde açıklık koyuluğu ifade eden  $\Delta L^*$  değerinin  $-0,79 \pm 0,05$  ile  $-9,93 \pm 0,26$  arasında değiştiği görülmektedir. GRAS bileşiklerinin olduğu gruptaki örnekler gibi bu grupta da tüm

örneklerin  $\Delta a^*$  değerleri pozitif yönde değişiklik göstermiştir. Ayrıca bu gruptaki örneklerin  $\text{TiO}_2$  ile empenye edilen örnekler hariç, diğer tüm kimyasallarla empenye edilen örneklerin  $\Delta b^*$  değerleri pozitif yönde değişiklik göstermiştir

$\Delta L^*$  değeri baz alındığında, sodyum eritorbat hariç diğer 13 kimyasalın odunun rengini koyulaştırdığı söylenebilir. En fazla koyulaşma ise etoksikuin ve TBHQ ile empenye edilen odunlarda görülmüştür.

$\Delta E^*$  değeri toplam renk değişimini ifade eden bir değer olup, toplam renk değişim aralıklarını kategorize eden değerler Tablo 84’te verilmiştir.

Tablo 84.  $\Delta E$  toplam renk değişim aralığı (Barcık vd., 2015).

$\Delta E^*$ aralığı	Değişim
$0,2 < \Delta E^*$	Görünmez farklılıklar
$0,2 < \Delta E^* < 2$	Küçük farklılıklar
$2 < \Delta E^* < 3$	Yüksek kaliteli bir filtre ile renk değişimi görülebilir
$3 < \Delta E^* < 6$	Orta kaliteli bir filtre ile renk değişimi görülebilir
$6 < \Delta E^* < 12$	Büyük renk değişiklikleri
$\Delta E^* > 12$	Tamamen farklı renk

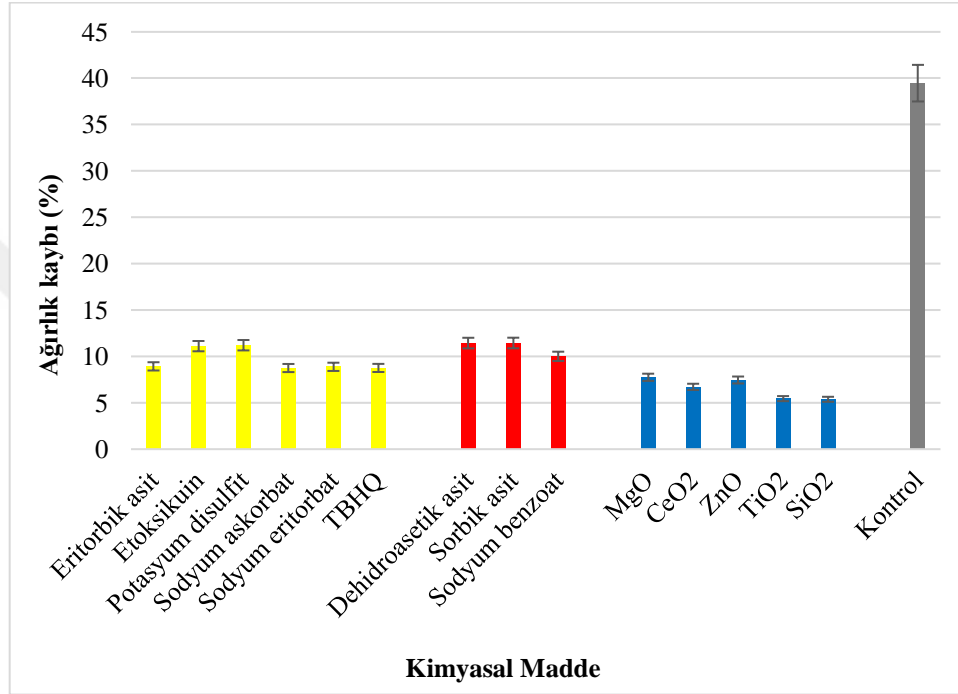
Tablo 84’teki sınıflandırma baz alındığı zaman, çalışılan yapay antioksidanlardan  $27,32 \pm 3,27$  değeri ile etoksikuinin ve  $29,82 \pm 4,73$  değeri ile TBHQ’nun odunun rengini tamamen değiştirdiği sonucuna varılabilir. GRAS bileşikleri ve nano-oksitlerle empenye edilen örneklerin hiçbirinde odunun rengi tamamen değişmemiştir.

Ceylan (2016), mimoza (*Acacia mollissima*) ve kebrako (*Schinopsis lorentzii*) tanenleri ile %5,0 ve %10,0 konsantrasyonlarda empenye edilen doğu kayını örneklerinin empenye sonrası renk değişimini incelemiştir. Çalışmada,  $\Delta a^*$  değerinin, %5,0 konsantrasyondaki mimoza çözeltisiyle empenye edilmiş numunelerde pozitif; diğer üç grup için negatif bir değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.  $\Delta b^*$  ve  $\Delta L^*$  değerleri ise tüm empenye edilmiş gruplarda negatif bir değişiklik göstermiştir.

Yapılan bir çalışmada, nano çinko oksit ile empenye edildikten sonra numuneler, üç konsantrasyonda (%0,5, 1,0 ve 1,5) neredeyse herhangi bir renk değişikliği göstermemiştir. Oysa, kreozot gibi yaygın koruyucu malzemeler ve CCA gibi suda çözünür koruyucu malzemeler, ahşapta bariz renk değişikliklerine neden olmaktadır (Afrouzi vd., 2013)

#### 4.1.6. Emprenye Edilen Sarıçam Odunu Örneklerinde Mantar Çürüklük Testi

%1,0 konsantrasyonda hazırlanmış yapay antioksidanlarla, GRAS bileşikleriyle ve nanoksitlerle emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinde mantar çürüklük testi sonrası meydana gelen ağırlık kayıpları Şekil 40'ta verilmiştir.



Şekil 40. Emprenyeli sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri

Şekil 40 incelendiğinde, yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman ağırlık kayıplarının %11,21 ile %8,75 arasında değiştiği görülmektedir.

GRAS bileşikleriyle hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman ağırlık kayıplarının %10,01±1,34 ile %11,45±1,50 arasında değiştiği görülmektedir.

Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi aralarında değerlendirildiğinde ağırlık kayıplarının %5,38±0,99 ile %7,75±1,28 arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol örneğinin ağırlık kaybı ise %39,47 olarak bulunmuştur. Kontrol örneklerinde meydana gelen ağırlık kaybı standartta belirtilen (%25) ağırlık kaybının üzerinde olması nedeniyle test geçerlidir. Emprenye edilen tüm örneklerin kontrole

kıyasla ağırlık kayıpları düşmüştür. Fakat her üç kimyasal grubunda da elde edilen bu değerler standarda göre aşılmaması gereken %3 ağırlık kaybı değerinin üzerindedir (EN 113, 1996). Standartta belirtilen normlara en yakın performans %5'lik ağırlık kaybı oranlarıyla birlikte TiO<sub>2</sub> ve SiO<sub>2</sub> ile muamele edilen örneklerden elde edilmiştir.

Palanti ve Feci (2013), silika nanopartiküllerin borik asit içinde çözündürülmesiyle oluşan odun koruyucu maddenin sarıçam diri odununda emprenye maddesi olarak kullanımını araştırdıkları çalışmalarında, *Coniophora puteana* mantarı zararına maruz bırakılan sarıçam kontrol örneklerinde %59,16'lık bir ağırlık kaybı olduğunu, emprenyeli test örneğinde ise ağırlık kaybının %6,87 civarında olduğunu bildirmişlerdir.

Muhcu (2015), sarıçam odunu örneklerini çözücü olarak nano-ZnO için etanol ve nano-CuO, nano-TiO<sub>2</sub> ve nano-CeO<sub>2</sub> için amonyak kullanarak %1,0 konsantrasyonda hazırlanan emprenye çözeltileri ile emprenye etmiştir. *Trametes versicolor* mantarına karşı yaptığı çürüklük testi sonuçlarında kontrol örneğinin ağırlık kaybını ve nano-ZnO, nano-CuO, nano-TiO<sub>2</sub> ve nano-CeO<sub>2</sub> çözeltileriyle emprenye ettiği örneklerin ağırlık kayıplarını sırasıyla 20,62±4,14, 8,78±4,24, 1,69±0,62, 1,60±0,53, 7,13±4,28 % olarak bildirmiştir.

De Filpo vd. (2013), nano-TiO<sub>2</sub> partiküllerinin performansını, kültürel miras alanında yaygın olarak kullanılan sekiz farklı ahşap üzerinde antibakteriyel ve antifungal testlere yaparak ölçmüşlerdir. Araştırma sonuçları, nano-TiO<sub>2</sub> partiküllerinin, hangi ağaç türü olursa olsun, *Hypocrea lixii* (beyaz çürüklük) ve *Mucor circinelloides* (kahverengi çürüklük) mantarlarının gelişimini engellediğini ortaya koymuştur.

Mantanis vd. (2014), yaptıkları bir çalışmada, karaçam odunu örneklerini vakum altında nano-ZnO, nano-Zn-borat ve nano-CuO partikülleriyle emprenye etmişler ve söz konusu kimyasalların çürüklük, küflenme mantarları ve toprakaltı termitlerine karşı direnç özelliklerini araştırmışlardır. Kullanılan nano partiküllerden nano-Zn-Boratın, odun örneklerinin küf mantarlarına karşı direnç özelliklerinde bir miktar iyileşme sağladığını bildirmişlerdir. Esmer çürüklük mantarı *Tyromyces palustris*'de ağırlık kaybı önlenemezken, beyaz çürüklük mantarı *Trametes versicolor*'un neden olduğu ağırlık kaybının önemli derecede önlendiği raporlanmıştır.

Harandi vd. (2016), polivinil bütiral (PVB) içindeki TiO<sub>2</sub> ve ZnO nanopartiküllerinin antifungal özelliklerini araştırdıkları bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, kavak ağacından numuneler hazırlanmış ve vakum koşullarında nanokompozitlerle işlem gören örnekler üç gruba bölünmüştür. Bravery yöntemine göre iki grup ayrı ayrı karanlık ve aydınlık koşullarda beyaz çürüklük mantarı (*Trametes versicolor*) ile 7 hafta süreyle inkübe

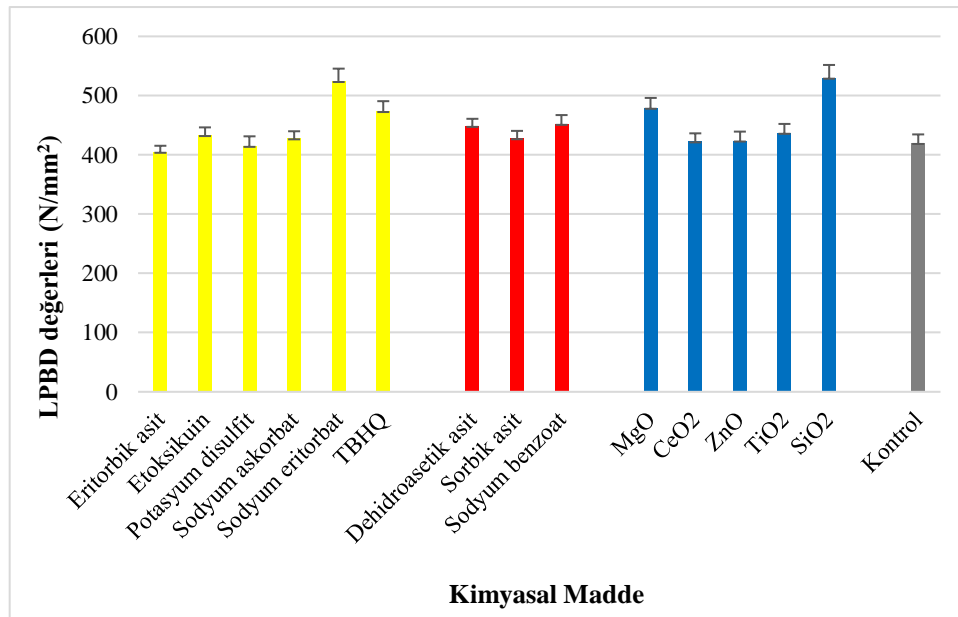


edilmiştir. Üçüncü grup, sıcaklık, nem ve UV ışınlarına bağlı olarak hızlandırılmış yaşlanmadan sonra incelenmiştir. Karanlık koşullarda %1,0 konsantrasyondaki nano-TiO<sub>2</sub> ve nano-ZnO çözeltisiyle muamele örnekler, antifungal özellik göstermemiştir. Ancak bu nanopartiküllerin %2,0 lik konsantrasyonu ahşabı karanlık koşullarda mantara karşı korumuştur. Hızlandırılmış yaşlanmaya tabi tutulan nanokompozit numunelerde, nanopartikül içermeyen konsolidant ile işlenmiş numunelere kıyasla yaşlanma faktörlerine karşı daha iyi bir koruyuculuk elde edilmiştir.

Nair vd. (2017), tarafından yapılan bir çalışmada, propilen glikol (PG)'de nano-ZnO ve nano-CuO dispersiyonu ile emprenye edilmiş kauçuk ağacı (*Hevea brasiliensis* Muell Arg) örneklerinin mantar çürümesi ve nem adsorpsiyonu değerlendirilmiştir. PG'de ZnO ve CuO nanopartiküllerinin dağılımı, beyaz çürüklük mantarı (*Trametes hirsuta*) ve kahverengi çürüklük mantarını (*Polyporus meliae*) etkili bir şekilde inhibe etmiştir.

#### 4.1.7. Emprenye Edilen Sarıçam Odunu Örneklerinde Liflere Paralel Basınç Direnci (LPBD) Testi

Yapay antioksidanlarla, GRAS bileşikleriyle ve nano-oksitlerle emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinde LPBD değerlerinin kontrole oranla değişimi Şekil 41'de verilmiştir.



Şekil 41. Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinde LPBD değerleri

Şekil 41 incelendiğinde, yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi aralarında değerlendirildiği zaman LPBD değerlerinin  $404,46 \pm 10,86$  ile  $523,94 \pm 21,54$  N/mm<sup>2</sup> arasında değiştiği görülmektedir.

GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman LPBD değerlerinin  $427,34 \pm 13,11$  ile  $451,63 \pm 15,48$  arasında değiştiği görülmektedir.

Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman LPBD değerlerinin  $422,03 \pm 14,25$  ile  $529,52 \pm 22,20$  N/mm<sup>2</sup> arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol örneğinin LPBD değerli ise  $419,37 \pm 15,11$  N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Nano-oksitlerin, özellikle de MgO ve SiO<sub>2</sub>'nin odunun liflere paralel basınç değerlerini bir miktar daha fazla yükselttiği görülmektedir. Bu sonuçla ilgili olarak nano boyutlu malzemelerin odunun boşluklarına daha homojen dağılarak odunun direncini arttırdığı söylenebilir.

Dağlıoğlu (2010), sarıçam odunu örneklerini Tanalith-E ile emprenye etmiş ve sarıçam odun örneklerinin LPBD değerlerinin kontrole kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bulunmadığını belirtmiştir ( $p > 0,05$ ). Fakat bu çalışmada emprenyeli örnekler ile kontrol örneğindeki liflere paralel basınç dirençlerinin ortalamaları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde anlamlı bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Bu durumun emprenye çözeltilerini hazırlarken kullanılan kimyasalın türünden kaynaklı olduğu söylenebilir.

Şimşek (2013), bitkisel ve kimyasal koruyucularla emprenye edilen sarıçam odununun bazı fiziksel ve biyolojik özelliklerini incelemiştir. Kimyasal koruyucularla emprenye edilen örneklerin liflere paralel basınç direncini kontrol örneğine kıyasla daha yüksek bulmuştur. Yapılan tez çalışmasında da eritobik asit ve potasyum disülfid kullanılarak hazırlanan emprenye çözeltileriyle emprenye edilen örnekler hariç diğer 12 gruptaki odun örneklerinin direnç değerlerinde artış söz konusudur. Fakat eritobik asit ve potasyum disülfid ile emprenye edilen örneklerin basınç değerleri kontrol örneğine kıyasla bir miktar düşmüştür. Bunun sebebinin çözeltilerin asidik karakterli olmasından kaynaklı olduğu sonucuna varılabilir. Winandy vd. (1983), asidik çözeltilerin, mekanik direncin kaynağı olan selüloz moleküllerinin bağlarını hidrolize ettiğini ve ağaç malzemenin mekanik dirençlerini etkileyecek bir potansiyele sahip olduğunu belirtmektedir (Kartal, 1998).

Odunun mekanik özellikleri; izotropik özelliklerine, bazen ahşap özelliklerini iyileştirmek için kullanılan işlemin türüne ve çevresel etkenlere bağlı olarak değişir. Ahşabı

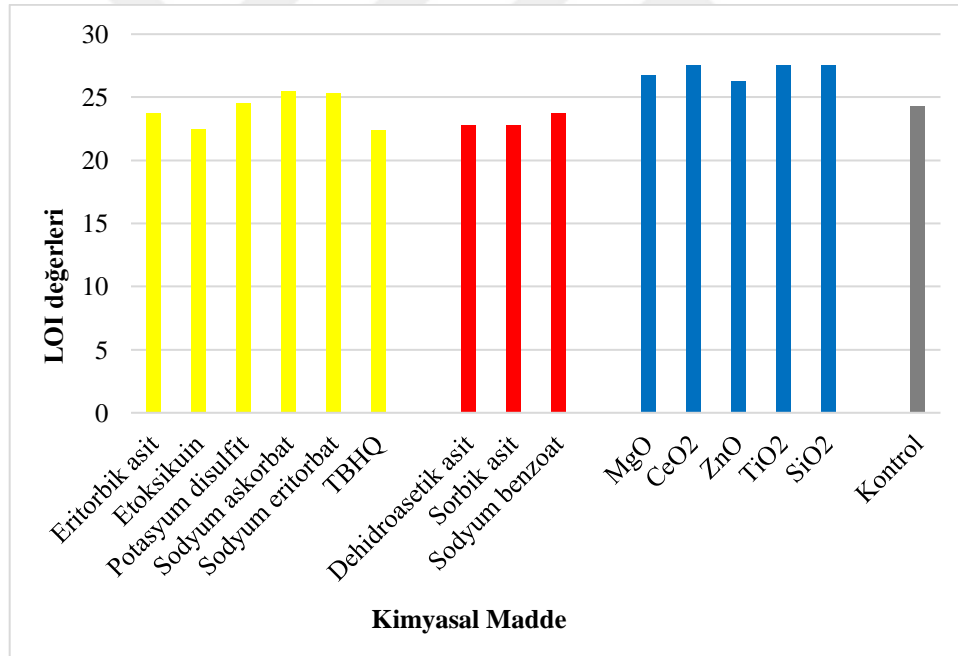
nanopartiküllerle empenye etmek, ahşabın boşluklarını doldurarak sertliğini arttırmaktadır (Fufa ve Hovde, 2010).

Emprenye yöntemlerinden basınçlı yöntem daldırma yöntemine oranla liflere paralel basınç direncini (%5) arttırmıştır. Bunun nedeni basınç yöntemi altında empenye maddesinin ağaç malzeme içerisine daha iyi nüfuz etmesi ve hücreler arasında daha fazla tuz kalması olabilir (Ayar, 2008)

#### 4.1.8. Emprenye Edilen Odun Örneklerinin Yanma Özellikleri

##### 4.1.8.1. Limit Oksijen İndeksi (LOI)

Emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin LOI değerleri Şekil 43'te verilmiştir.



Şekil 42. Test edilen örneklerin LOI değerleri

Şekil 42 incelendiğinde, yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle empenye edilen odun örnekleri kendi aralarında değerlendirildiği zaman LOI değerlerinin 22,4 ile 25,5 arasında değiştiği görülmektedir.

GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi aralarında değerlendirildiği zaman LOI değerlerinin 22,75 ile 23,7 arasında değiştiği görülmektedir.

Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri kendi arasında değerlendirildiği zaman LOI değerlerinin 26,3 ile 27,5 arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol örneğinin LOI değeri ise 24,3 olarak bulunmuştur.

Yangına dayanıklı ahşap yapılar elde etmek için yanmaz malzemeler kullanılmaktadır. Bunlar genellikle yangını tutma, duman çıkışını önleme ve yangın durumunda ahşap yapı elemanlarının taşıma kapasitesini ve bütünlüğünü koruma kabiliyetine sahip kaplamalar ve emprenye maddeleridir. Ahşap yapılar için uygulanan yangından korunma maddeleri, amonyum fosfatlar veya sülfatlar, klorürler, oksitler, boratlar ve diğer metal tuzları, borik asit ve halojen içeren alev geciktiriciler içerir (Seo vd., 2017).

Ahşabın yangın güvenliğini iyileştirmek için yeni malzemeler geliştirirken, ahşabın yanıcılığını azaltmak için kullanılan kaplamaların, emprenyelerin veya diğer araçların yangın geciktirici etkisini tahmin etmek için ön testler gereklidir. Bu testler genellikle şu şekilde sıralanabilir limit oksijen indeksi (LOI) ve V derecesi (UL-94); yanma akışının (PCFC) koni kalorimetrisi ve piroliz kalorimetrisi, ısı salım oranının (HRR), duman üretim oranının (SPR) ve kütle kaybı oranının (MLR) ölçülmesi yöntemleridir (Vakhitova, 2019).

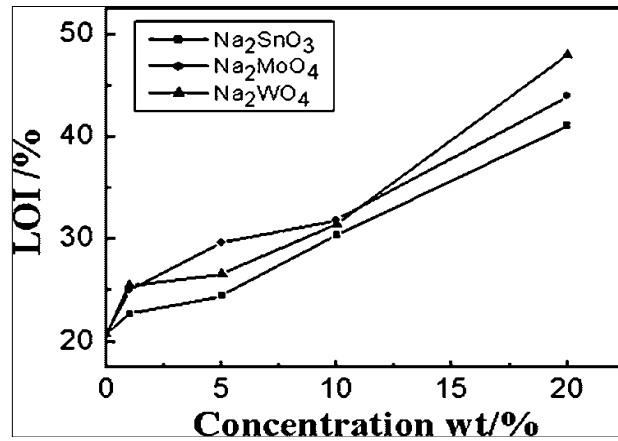
LOI testine göre; yanma özelliği yüksek olan malzemelerin oksijen indeksi düşük, yanma özelliği düşük olan malzemelerin ise oksijen indeksi yüksek olmaktadır (Dönmez Cavdar, 2011). Yani yanmazlık ile LOI değerinin doğru orantılı olduğunu söylemek mümkündür. Kontrol örneğinin LOI değeri 24,3 bulunurken her kimyasalın odunun yanma özelliğine farklı etki ettiği görülmektedir (Şekil 42). Özellikle etanol kullanılarak hazırlanan emprenye çözeltileri ile emprenye edilen örneklerin LOI değerleri kontrole kıyasla 1,55 ile 1,90 aralığında düşüş göstermiştir. Oysa çözücü olarak distile su kullanılarak yapılan emprenyeli test örnekleri arasında sadece eritorbik asit ve sodyum benzoat kimyasallarının LOI değerlerinde 0,6'lık küçük bir düşüş yaşanmıştır. Diğer kimyasallarla emprenye edilen örneklerin LOI değerleri ise artış göstermiştir. Dolayısıyla emprenye çözeltisi hazırlanırken seçilen çözücünün de odun örneklerinin yanma özelliklerine etki ettiği sonucuna varılabilir.

Tomak ve Cavdar (2013), farklı konsanstrasyonlardaki bor tozu, borik asit gibi kimyasalların sarıçam odunun yanmasına etkisini araştırdıkları çalışmada kontrol örneğinin LOI değerini 25,0 olarak raporlamışlardır. Bu tez çalışmasında kontrol örneğinin LOI değeri raporlanan değere yakın bulunmuştur (24,3).

Yapılan tez çalışması kapsamında, özellikle nano-oksitler kullanılarak yapılan emprenyeli test örneklerinin LOI değerlerindeki artış, diğer iki kimyasal grubundaki emprenyeli örneklere kıyasla daha yüksektir. Dolayısıyla 3 kimyasal grubu arasında nano-oksitler ile emprenyenin odunun yanma özelliğini daha fazla iyileştirdiği söylenebilir.

Holy (2018), odun korumada nano-bileşiklerin etkisini araştırdığı yüksek lisans tez çalışmasında sarıçam odun örneklerini %0,5'lik konsantrasyonda hazırlanan magnezyum oksit, çinko oksit, alüminyum oksit, titanyum oksit bileşikleri ile emprenye etmiştir. Nano boyutlu kimyasalların odunun termal özellikleri üzerine etkisini ise termal gravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile araştırmış ve test sonuçlarına göre, nano boyutlu kimyasal maddelerin yanmayı azalttığını ve kontrole göre daha düşük ağırlık kaybı değerlerine sahip olduklarını bildirmiştir. Sonuçlar birbirlerini doğrular niteliktedir.

Qu vd. (2011), yaptıkları bir çalışmada üç farklı sodyum tuzu (Sodyum tungstat- $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , sodyum stannat- $\text{Na}_2\text{SnO}_3$ , sodyum molibdat,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ) ile muamele edilmiş kavak ağacının ısı özelliklerini, termal bozunumlarını ve yangın performanslarını termogravimetrik analiz (TGA) ve termogravimetri-kütle spektrometresi (TG-MS) ile incelemiştir. 3 farklı sodyum tuzuyla muamele edilmiş odun örneklerinin LOI değerleri Şekil 44'te verilmiştir.



Şekil 43. 3 farklı sodyum tuzuyla işlem görmüş odun örneklerinin LOI değerleri (Qu vd., 2011).

Şekil 43 incelendiğinde 3 farklı sodyum tuzu için de konsantrasyon arttıkça LOI değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında %1,0 konsantrasyondaki çözeltiler kullanılmış ve bu düşük konsantrasyona rağmen 3 farklı sodyum tuzu ile emprenye edilen

örneklerin 2 tanesinde (sodyum askorbat, sodyum eritorbat) kontrol örneğine göre daha yüksek LOI değeri bulunmuştur.

Jaskolowski vd. (2013), çam ve huş ağacının vakum altında %0,1 konsantrasyondaki sulu nanosilika çözeltisi ile emprenye edilmesinin, malzemelerin yangına dayanıklılığında beklenen iyileşmeyi sağlamadığını, yangın güvenliği için daha yüksek konsantrasyonlu SiO<sub>2</sub> çözeltisinin etkili olabileceğini bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında %1,0 konsantrasyondaki SiO<sub>2</sub> çözeltisiyle emprenye edilen örneğin LOI değeri, kontrol örneğinin LOI değerine (24,3) kıyasla yüksek bulunmuştur (27,5).

Bueno vd. (2014), kolloidal SiO<sub>2</sub> (ağırlıkça %3) çözeltisi ile emprenye etmenin, ağırlıkça %3 TiO<sub>2</sub> ve ZrO<sub>2</sub> çözeltileriyle yapılan işleme kıyasla çam kaplamalarının yanma davranışını iyileştirmede daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında aynı konsantrasyondaki SiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub> çözeltileri aynı LOI değerini vermiştir (27,5).

Poshtiri vd. (2014), nano-volastonit (NW) ile emprenye edilmiş üç ağaç türünün (*Populus nigra*, *Fagus orientalis* ve *Abies alba*) levhalarının yangın geciktirici özelliklerini incelemişlerdir. Odun örnekleri Rueping yöntemi (boş hücre işlemi) kullanılarak %4, %6,3, %10 ve %12 konsantrasyondaki çözeltilerle emprenye edilmiştir ve bu numuneler kontrol örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, %4'lük çözeltinin, yangın geciktirmede yeterli olmadığını, %12'lik çözeltisinin ise fazla olduğunu ve işlem maliyetlerini arttırdığını bildirmişlerdir. %6,3 ve %10'luk çözeltilerin ise yangın geciktirme özelliklerinin çoğunda önemli farklılıklar göstermediğini; bu nedenle, bu konsantrasyonlardaki çözeltilerin, masif ahşapta yangın geciktirme özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmasını tavsiye ettiklerini bildirmişlerdir.

Habibzade vd. (2016), ZnO nanopartikülleri ile muamele edilmiş polimerize kavak ağacı örneklerinin yangın performanslarını, fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, kavak örnekleri, farklı nano-ZnO içerikli (monomerin kuru ağırlığına göre %0, %0,5, %1,0 ve %1,5) stiren monomeri ile emprenye edilmiştir. %1,5 nano-ZnO içeren bileşim ile emprenyenin, numunelerin tutuşma süresini (15,4'ten 20 saniyeye) önemli ölçüde arttırdığı bulunmuştur. Bu tez çalışmasında da ZnO ile emprenye edilen örneklerin LOI değerleri kontrole kıyasla artmıştır.

#### 4.1.9. Yüzey Kimyası Analizi

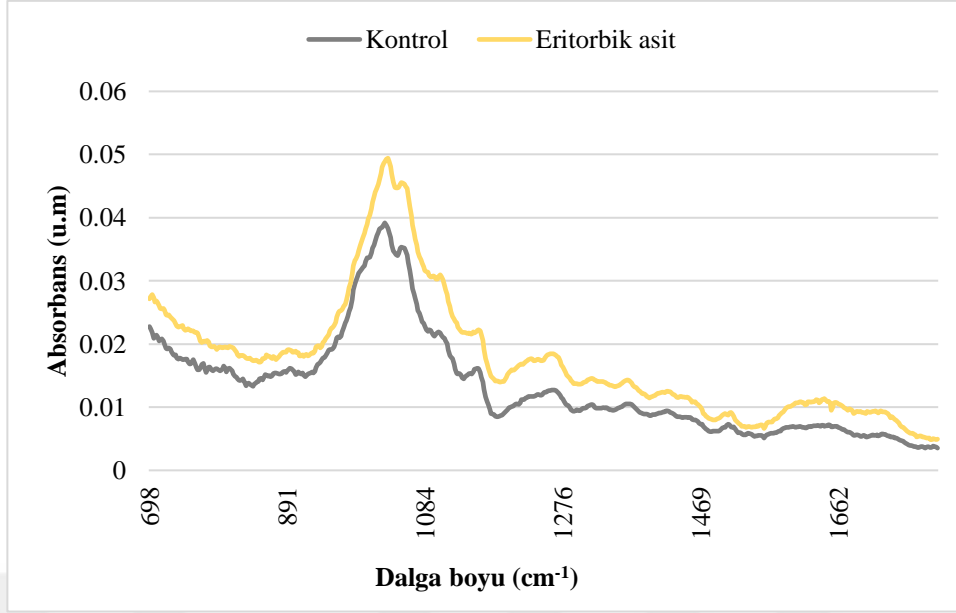
##### 4.1.9.1. Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Yapılan emprenye işlemleri sonrası odun örneklerinin kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler FTIR analizi ile 1800-700  $\text{cm}^{-1}$  dalga aralığında tarama yapılarak emprenyeli ve kontrol örnekleri üzerinden analiz edilmiştir. Bu dalga boyu aralığı odundaki değişiklikler için incelenmesi gereken en önemli aralık olup, bu aralıktaki IR spektrumlarının absorpsiyon pikleri ve fonksiyonları Tablo 85’te verilmiştir.

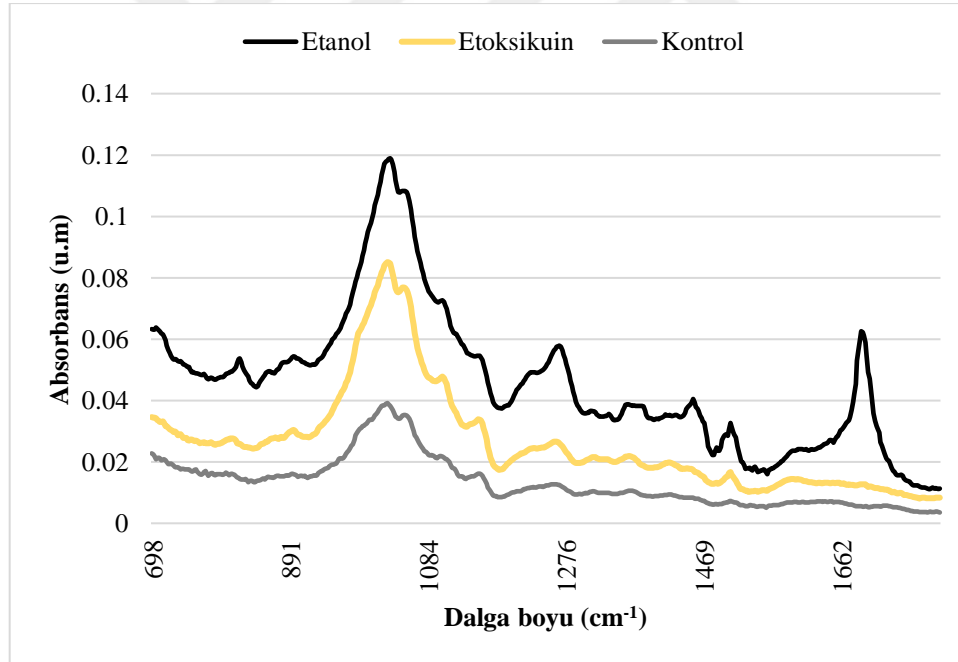
Tablo 85. IR spektrumlarının absorpsiyon pikleri ve fonksiyonları (Temiz, 2005; Tshabalala, 2005; Ximenes ve Evans, 2006 Dizman Tomak, 2011).

Pik no	Dalgaboyu ( $\text{cm}^{-1}$ )	Grup ve Sınıfı ile Fonksiyonları
1	1720-1740	Ksilanda C=O gerilimi
2	1595±5	Ligninin aromatik halkalarındaki C=C gerilmesi
3	1510±5	Ligninin aromatik halkalarındaki C=C gerilmesi
4	1450-1470	Ligninde $\text{CH}_3$ deformasyonu ve ksilanda $\text{CH}_2$ eğilmesi
5	1425±5	Selülozda $\text{CH}_2$ sallantısı
6	1370±5	Selüloz ve hemiselülozda $\text{CH}_2$ eğilmesi
7	1315±5	Selülozda $\text{CH}_2$ titreşimleri
8	1265±5	Lignindeki guasil halkasında titreşim
9	1230±6	Ligninde siringil ve ksilanda C-O
10	1157±5	Selüloz ve hemiselülozda C-O-C asimetric bandı
11	1056-1083	Selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi
12	890-899	Selüloz ve hemiselülozda C1 grubunun sayısı

Yapay antioksidanlarla emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafikleri sırasıyla Şekil 44-50 arasında verilmiştir.

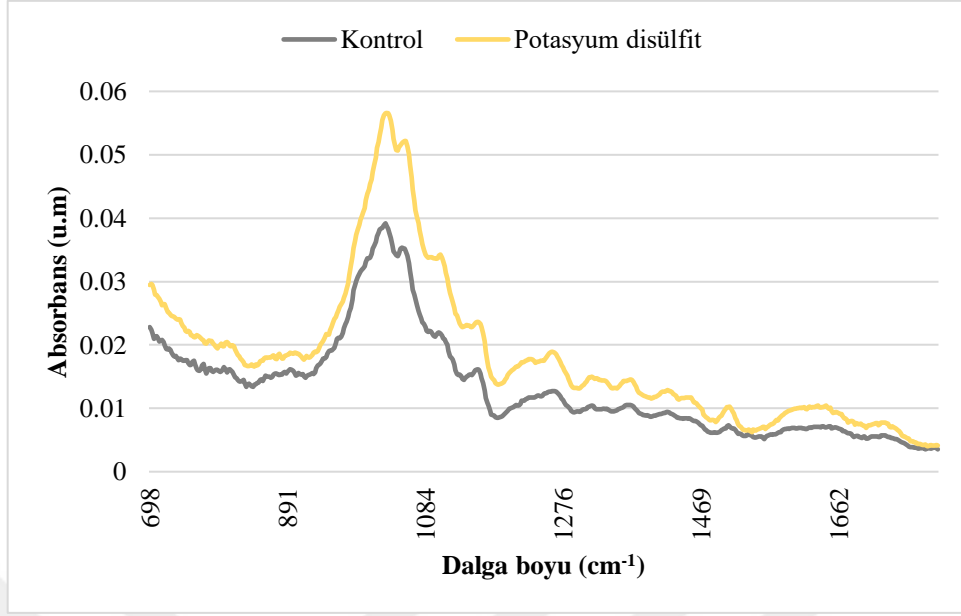


Şekil 44. Eritorbik asit ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği

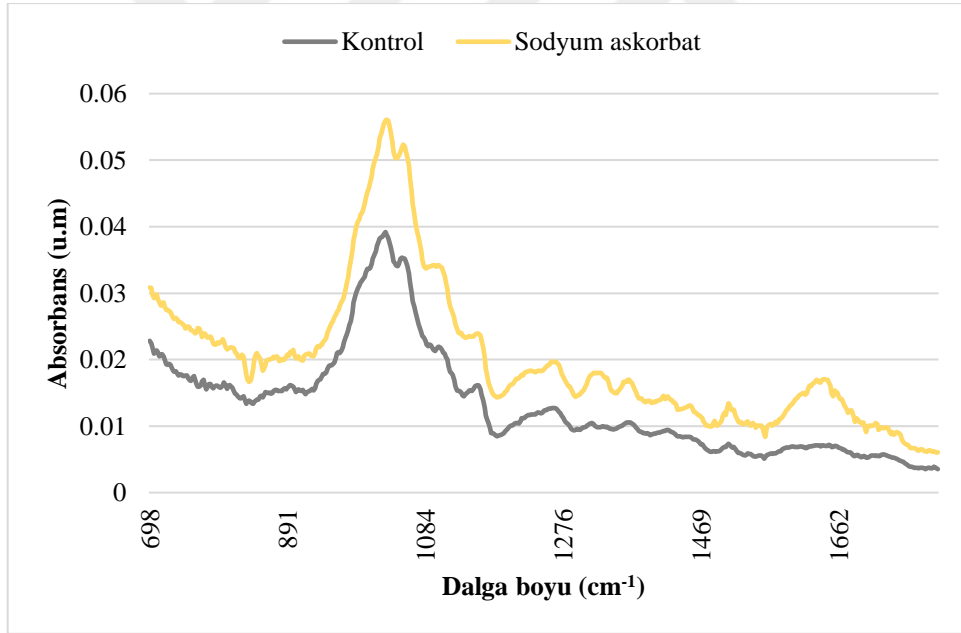


Şekil 45. Etoksikuin ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği

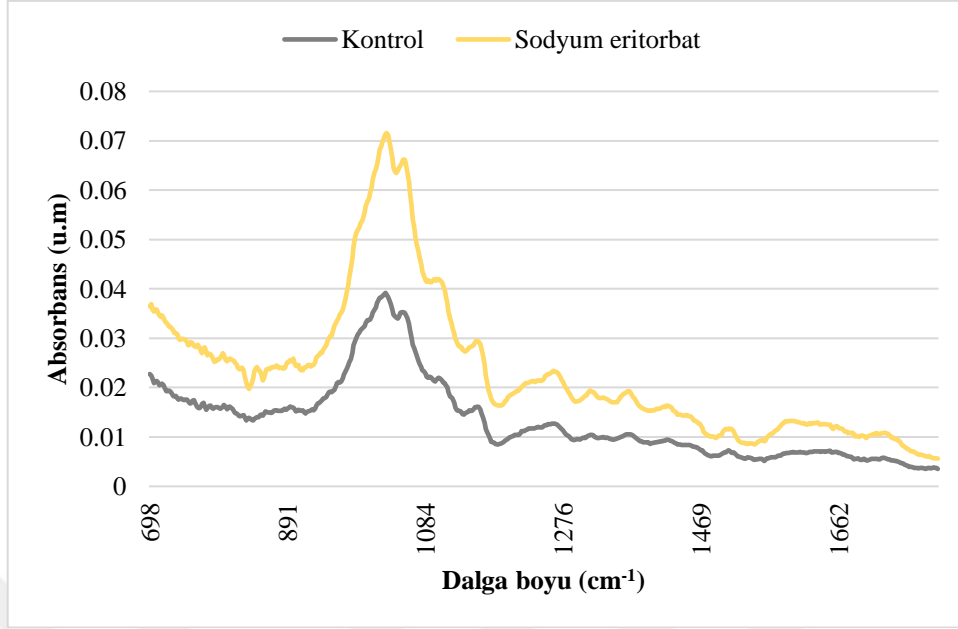




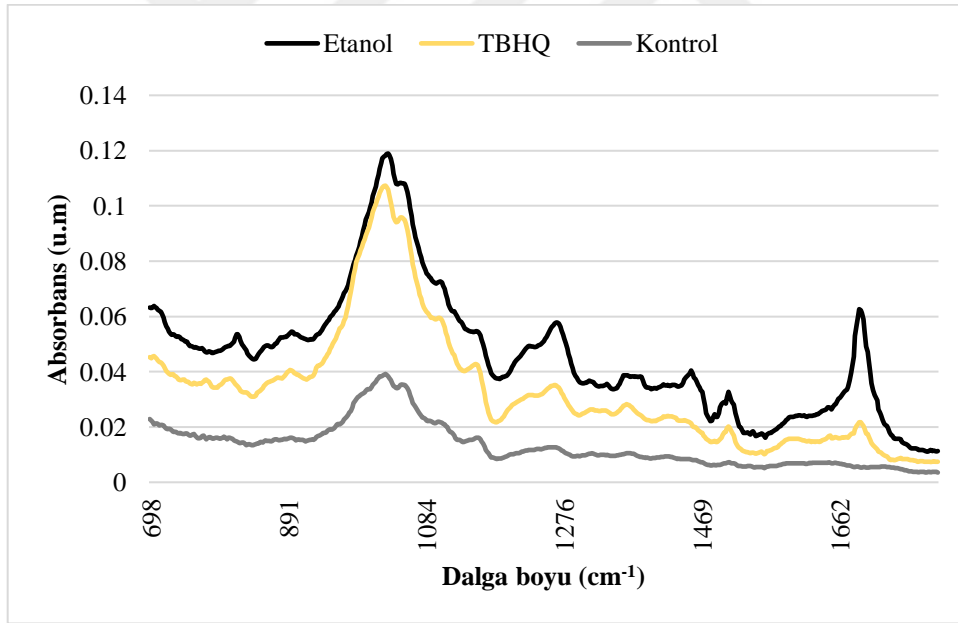
Şekil 46. Potasyum disülfid ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği



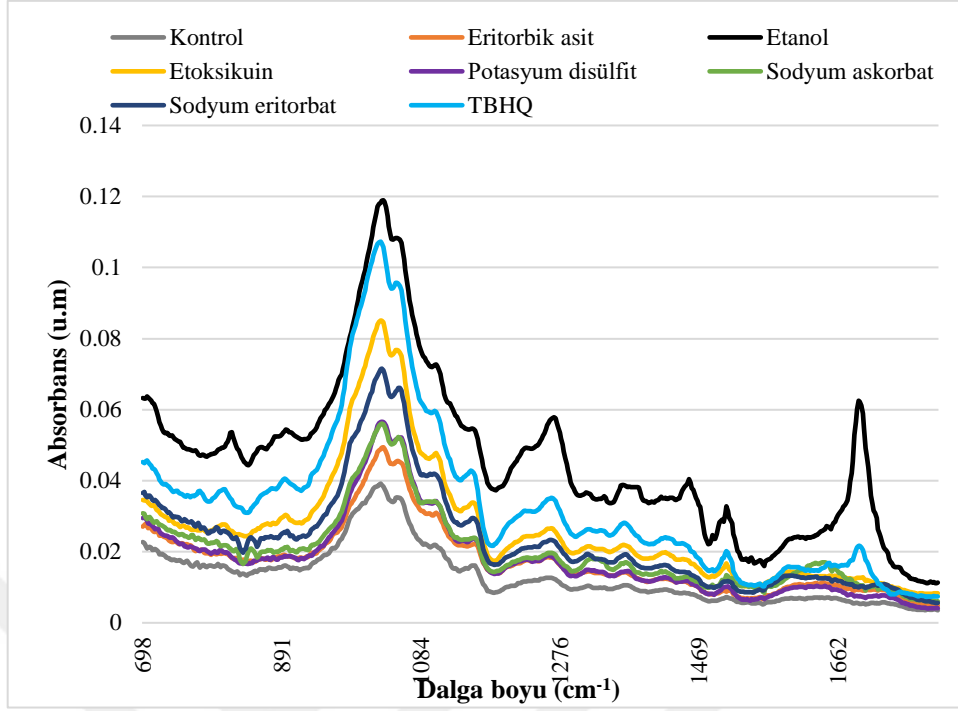
Şekil 47. Sodyum askorbat ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği



Şekil 48. Sodyum eritorbat ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği



Şekil 49. TBHQ ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği



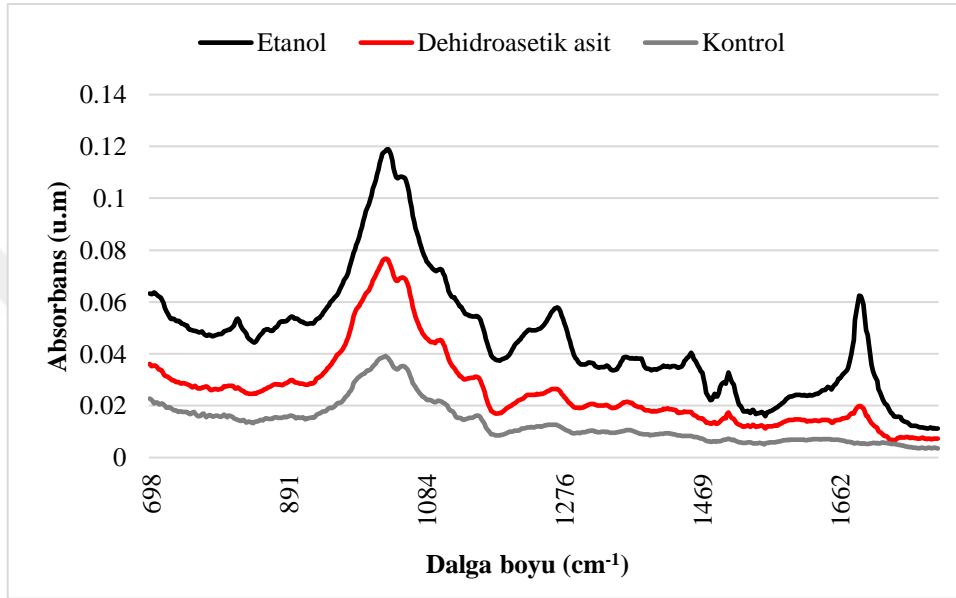
Şekil 50. Test edilen tüm yapay antioksidanlarla emprenye edilen örneklerin FTIR grafiği

Çalışmada kontrol örneği olarak iki farklı odun örneği kullanılmıştır. Birincisi hiçbir işlem görmeyen sarıçam odun örneği, ikincisi ise etanol kullanılarak hazırlanmış emprenye çözeltileri için sadece etanolla emprenye edilmiş sarıçam odun örnekleridir. Yapay antioksidanlarla emprenye edilen örneklerin kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikleri kendi aralarında daha kolay kıyaslayabilmek ve yorumlayabilmek adına bu grupta emprenye edilen örneklerin tamamının bir arada resmedildiği FTIR grafiği Şekil 50’de verilmiştir. Şekil 50 incelendiğinde, Şekil incelendiğinde, 1720-1740 dalgaboyunda yeni pik oluşturduğu görülmektedir. Bu pik Ksilanda C=O gerilimini ifade etmektedir. ayrıca sadece etanol ile emprenye edilen örneklerin 1450-1470 dalgaboyunda yeni pik oluşturduğu görülmektedir ki bu dalga boyu Ligninde CH<sub>3</sub> deformasyonu ve ksilanda CH<sub>2</sub> eğilmesi ile alakalıdır. Diğer kimyasallarla emprenye edilen örneklerdeki pik davranışları kontrol örneğine benzer çıkmıştır.

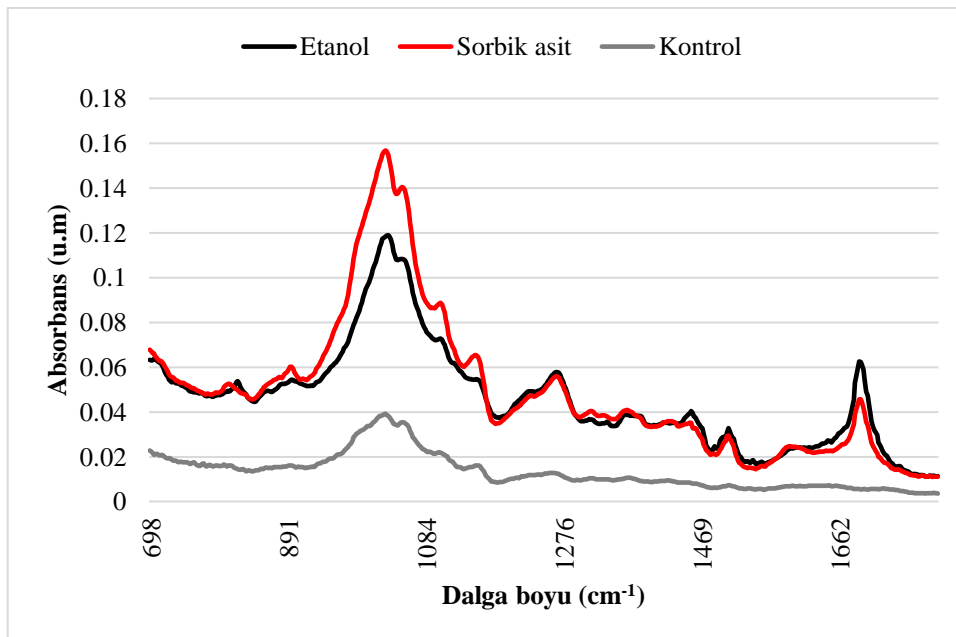
Serbest radikallerin ve oksijenin varlığı, hidroksil, karbonil, karboksil grupları ve fenoksi radikallerinde oksitlenmiş türlerin oluşumu 1740 cm<sup>-1</sup> pikinin artışına neden olmaktadır (Feist ve Hon, 1984). 1505 cm<sup>-1</sup> piki, ligninin kondenzasyon reaksiyonları nedeniyle oluşan çapraz bağlanma ve lignindeki alifatik zincirlerin ayrılmasını ifade etmektedir. Lignindeki yeni çapraz bağlanmalar, odunun su almasını azaltabilir ve bunun

sonucu olarak odunun daralması ve genişlemesi azaltılabilir (Dizman Tomak, 2011; Kocaefe vd., 2008). 1450  $\text{cm}^{-1}$  bandı lignindeki  $\text{CH}_3$  deformasyonu ve ksilandaki  $\text{CH}_2$  eğilmesiyle alakalıdır (Ximenes ve Evans, 2006).

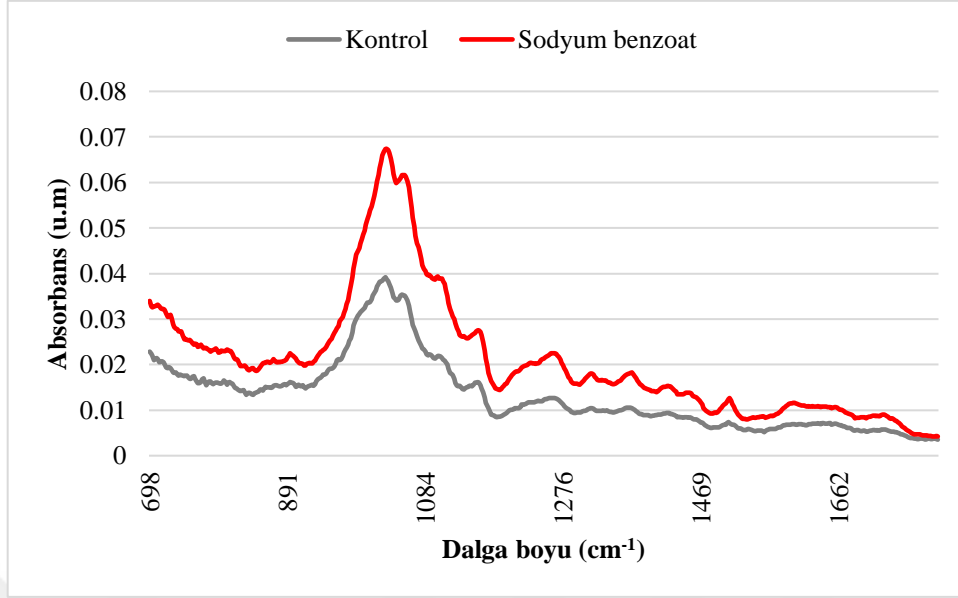
GRAS bileşikleriyle empenye edilen sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafikleri sırasıyla Şekil 51-54 arasında verilmiştir.



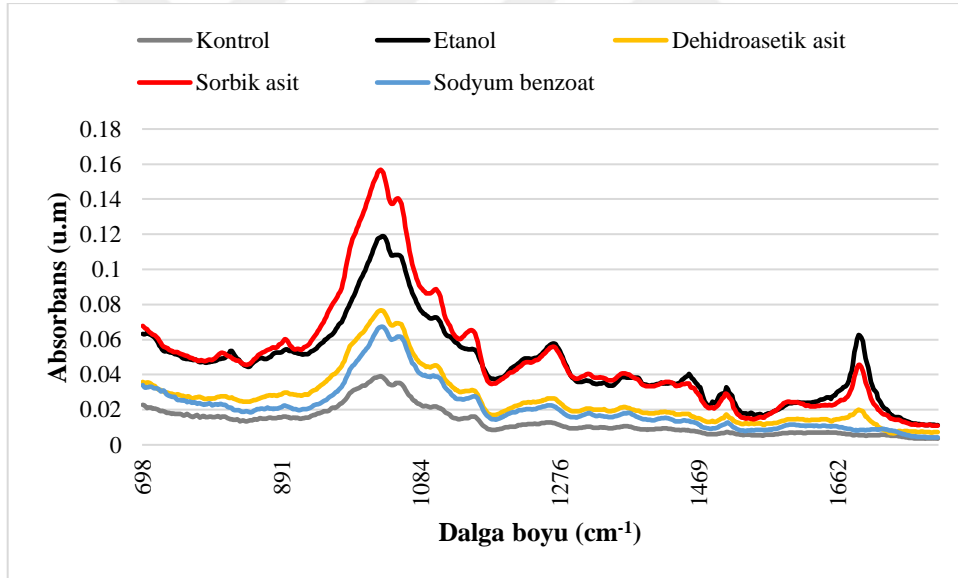
Şekil 51. Dehidroasetik asit ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği



Şekil 52. Sorbik asit ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği



Şekil 53. Sodyum benzoat ile empenye edilen örneğin FTIR grafiği

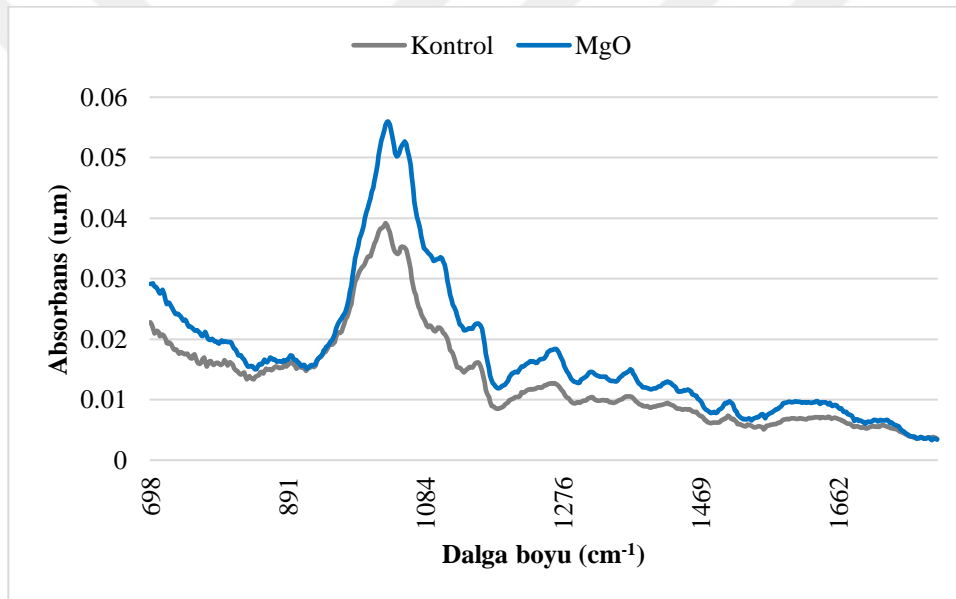


Şekil 54. Tüm GRAS bileşikleriyle empenye edilen örneklerin FTIR grafiği

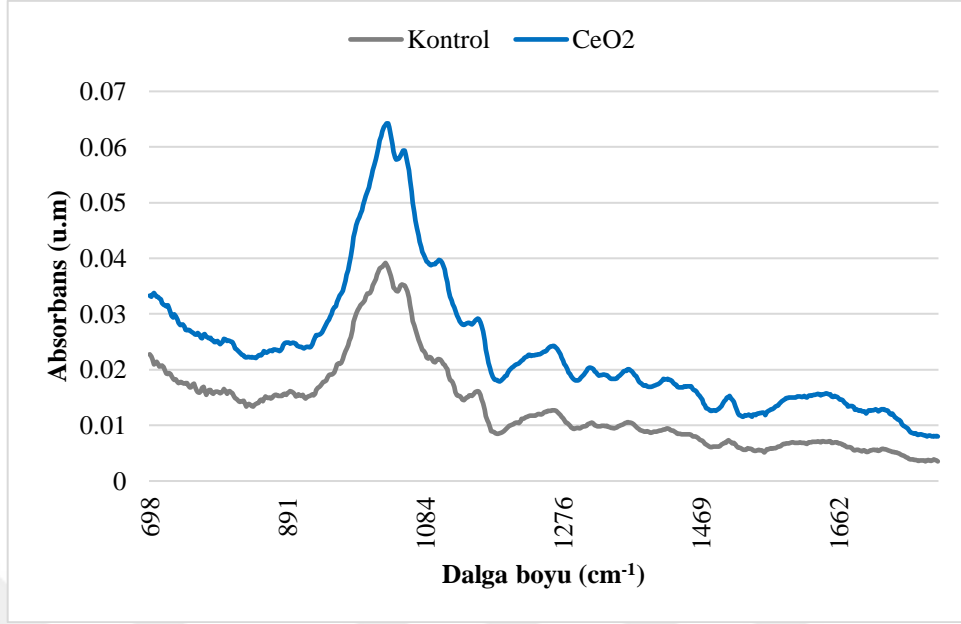
GRAS bileşiklerinden dehidroasetik asit ile sorbik asit; çözücü olarak etanol kullanılarak, sodyum benzoat ise saf su kullanılarak empenye çözeltileri hazırlanmıştır. 1720-1740 cm<sup>-1</sup> bandı ksilanda C=O gerilimi, 1595±5 cm<sup>-1</sup> bandı ligninin aromatik halkalarındaki C=C gerilmesi, 1510±5 cm<sup>-1</sup> bandı ligninin aromatik halkalarındaki C=C gerilmesi, 1450-1470 cm<sup>-1</sup> bandı ligninde CH<sub>3</sub> deformasyonu ve ksilanda CH<sub>2</sub> eğilmesi, 1425±5 cm<sup>-1</sup> bandı selülozda CH<sub>2</sub> sallantısı, 1370±5 cm<sup>-1</sup> bandı selüloz ve hemiselülozda

CH<sub>2</sub> eğilmesi, 1315±5 cm<sup>-1</sup> bandı selülozda CH<sub>2</sub> titreşimleri, 1265±5 cm<sup>-1</sup> bandı lignindeki guasil halkasında titreşim, 1230±6 cm<sup>-1</sup> bandı ligninde siringil ve ksilanda C-O, 1157±5 cm<sup>-1</sup> bandı selüloz ve hemiselülozda C-O-C asimetric bandı, 1056-1083 cm<sup>-1</sup> bandı selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi ve 890-899 cm<sup>-1</sup> bandı selüloz ve hemiselülozda C1 grubunun sayısı ile alakalıdır (Temiz, 2005; Tshabalala, 2005; Ximenes ve Evans, 2006; Dizman Tomak, 2011). Sadece etanol ile emprenye edilen ve çözücüsü etanol olan kimyasallarla emprenye edilen örneklerde yine 1720 cm<sup>-1</sup> dalgaboyunda yeni pik oluşturmuştur. Çözücüsü su olansodyum benzoat kontrol ile benzerdir. Yani odun yapısını değiştirmemiştir.

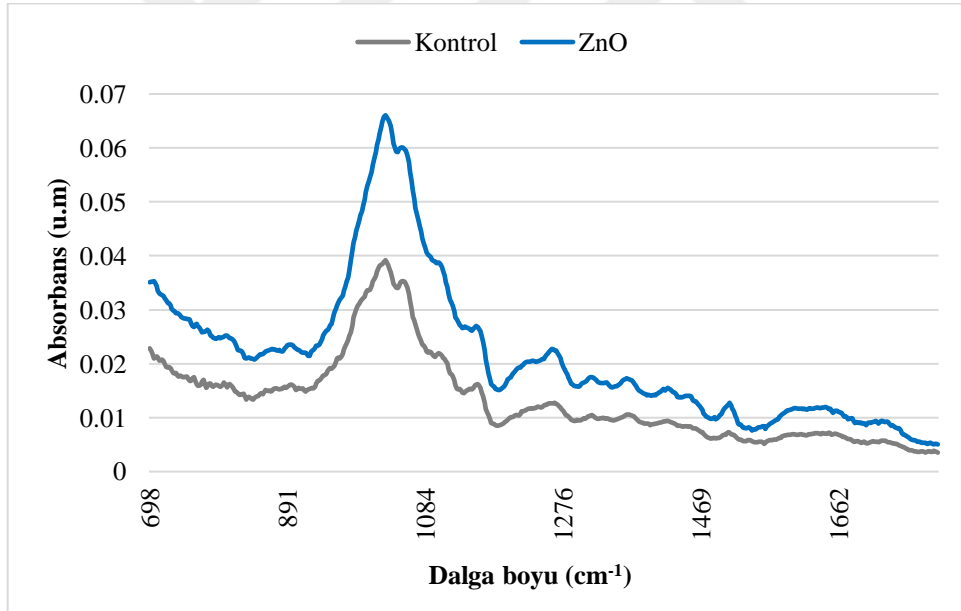
Nano-oksitlerle emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafikleri sırasıyla Şekil 55-60 arasında verilmiştir.



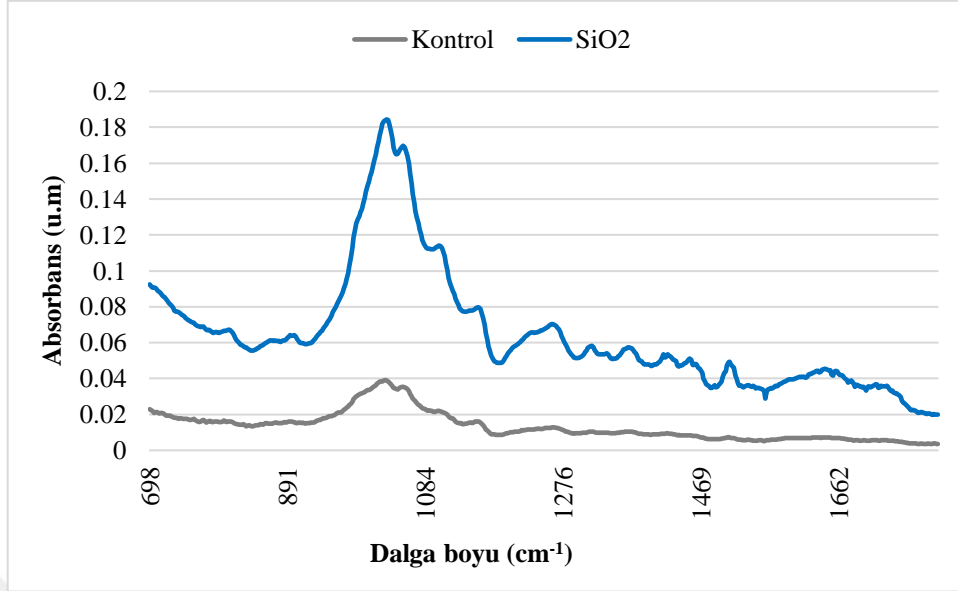
Şekil 55. MgO ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği



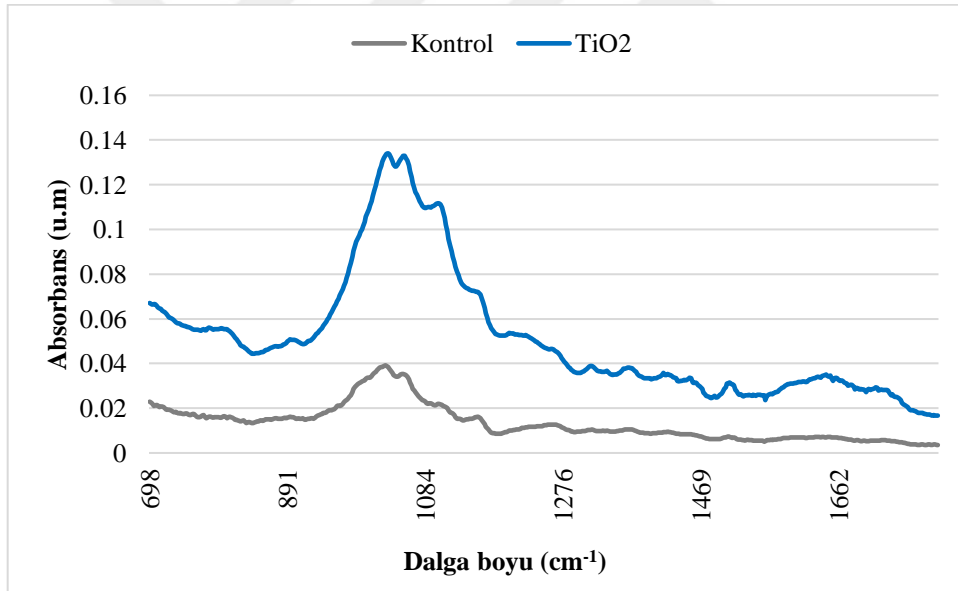
Şekil 56. CeO<sub>2</sub> ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği



Şekil 57. ZnO ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği

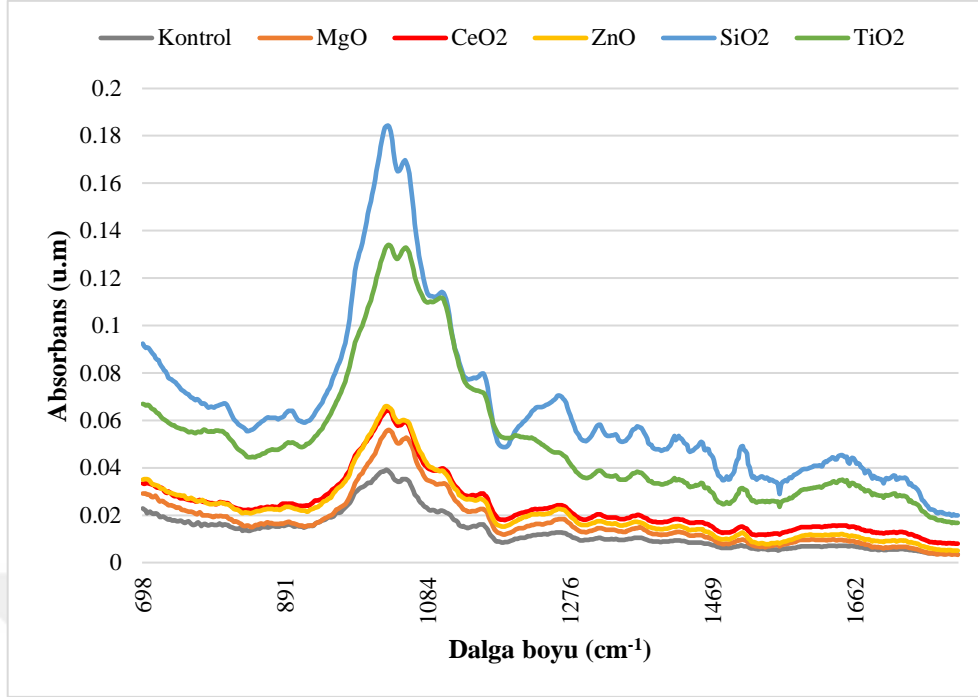


Şekil 58. SiO<sub>2</sub> ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği



Şekil 59. TiO<sub>2</sub> ile emprenye edilen örneğin FTIR grafiği





Şekil 60. Test edilen tüm nano-oksitlerle empenye edilen örneklerin FTIR grafiği

Test edilen tüm nano-oksitlerle empenye edilen örneklerin FTIR grafiği Şekil 61’de verilmiştir. Nanooksitler arasında  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{TiO}_2$  ile empenye edilen örneklerin 1510 bandındaki pik yoğunluğu artmıştır. Bu dalgaboyu ligninin aromatik halkalarındaki C=C gerilmesi ile alakalıdır. Ayrıca  $\text{SiO}_2$  lignindeki guayasil halkasındaki titreşimi de yani,  $1265 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyunda absorbans değeri artırmıştır. Diğer empenye maddeleri kontrol örneği ile benzer pik davranışları göstermişlerdir

Soltani vd.’in (2013) yaptığı bir çalışmada kayın ağacı örnekleri, modifiye edilmiş bir daldırma yöntemi kullanılarak dört farklı işlem seviyesinde (0, 10.000, 20.000 ve 40.000 ppm) bir nano-ZnO çözeltisi ile empenye edilmiştir. Ayrıca, 60 ve  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de bir ısı işlem gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi ve nano-ZnO ile ahşabın kimyasal bileşenleri arasında güçlü bir etkileşim olduğunu göstermiştir.

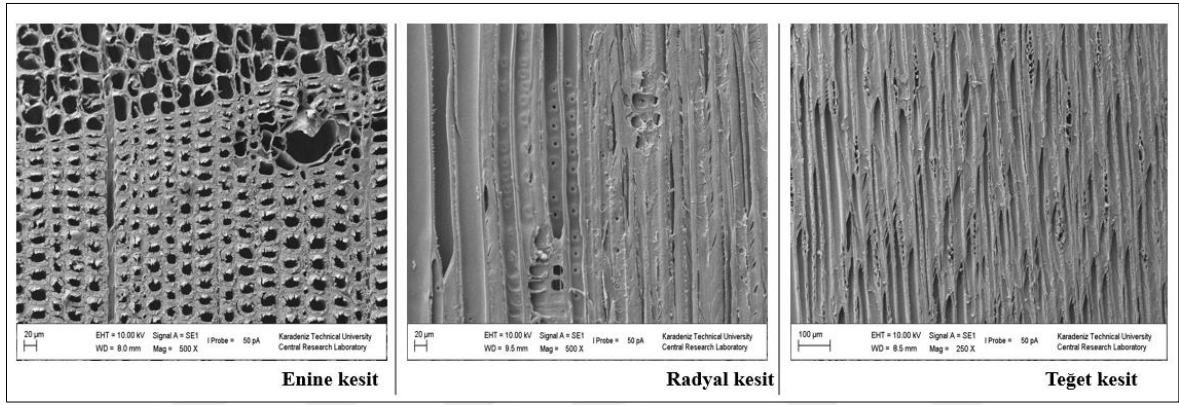
Akhtari vd. (2013), nano-gümüş, nano-bakır ve nano-çinko oksit ile empenye edilmiş *Paulownia fortunei* odunu örneklerinin, *Trametes versicolor* beyaz çürüklük mantarına karşı performansının araştırıldığı çalışmada, yüzey kimyası analizleri sonrasında, empenye işlemi ile kullanılan odun türündeki aromatik bantların yoğunluğunun azaldığı ( $1.505 \text{ cm}^{-1}$ ), siringil halkasının, lignin ve ksilanda C–O esnemesinin azaldığı ( $1.243 \text{ cm}^{-1}$ )

ve selüloz ve hemiselülozlarda C–O gerilmelerinin ( $1.053\text{ cm}^{-1}$ ) net olarak gözlemlendiği bildirmiştir.

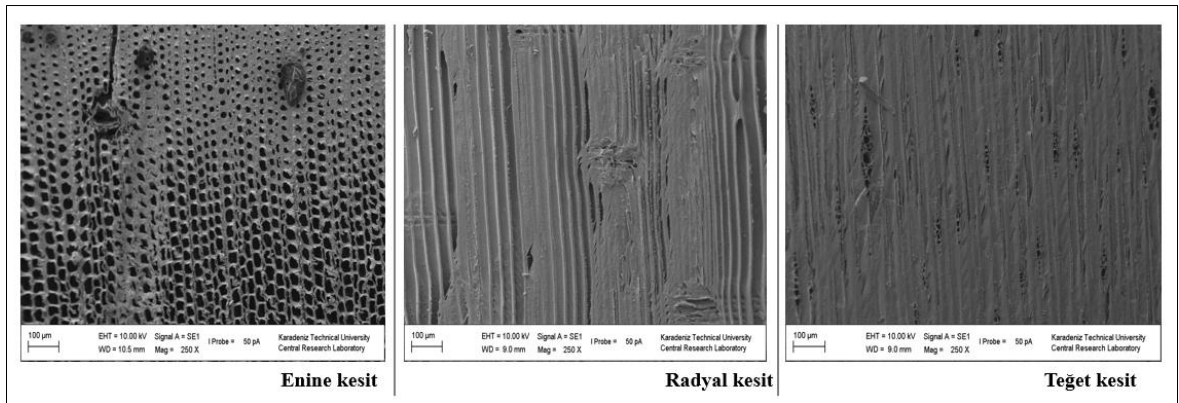
#### 4.1.10.Yüzey Morfolojisi Analizi

##### 4.1.10.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

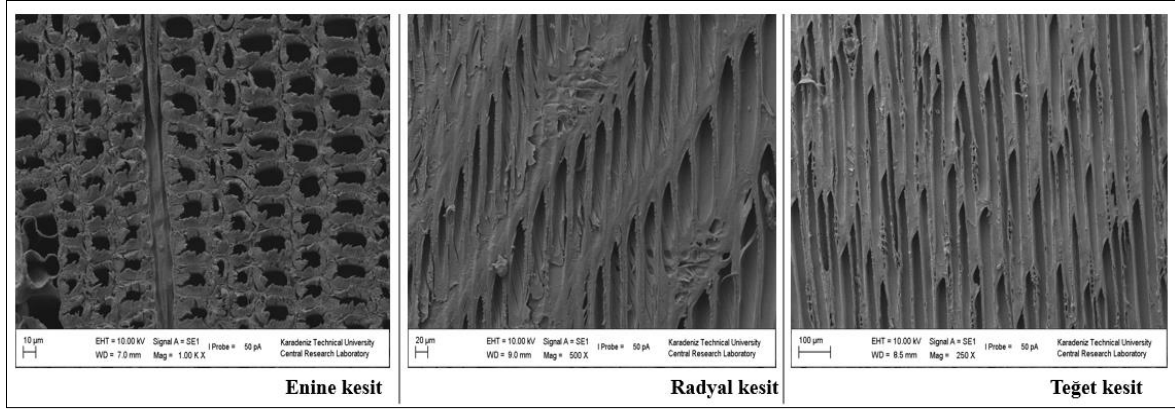
Yapay antioksidanlarla empenye edilen sarıçam odunu örneklerinin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 61-66 arasında verilmiştir.



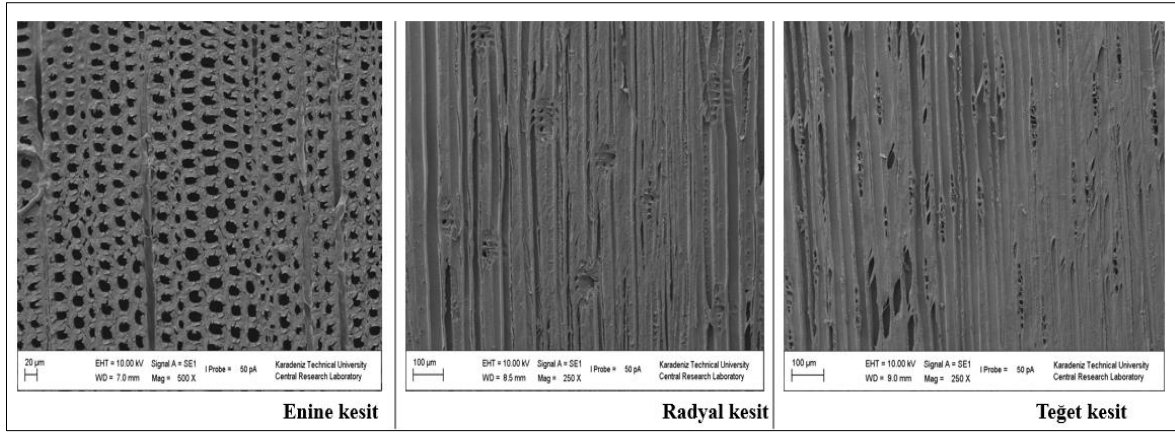
Şekil 61. Eritorbik asit ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri



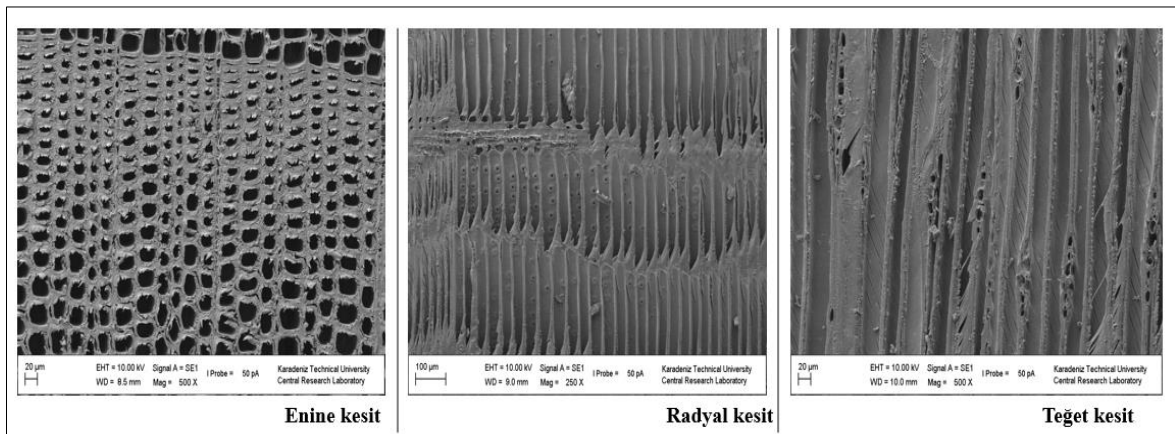
Şekil 62. Etoksikuin ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri



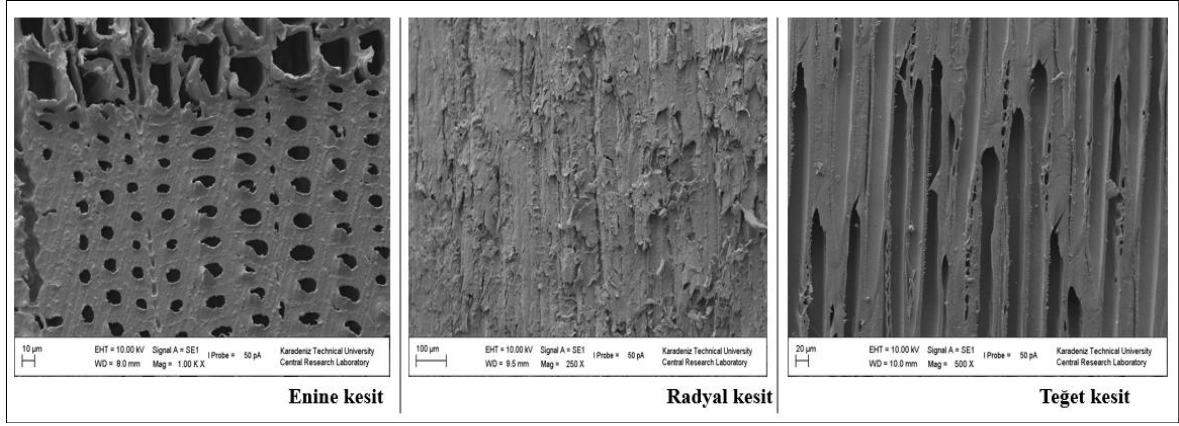
Şekil 63. Potasyum disülfid ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri



Şekil 64. Sodyum askorbat ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri

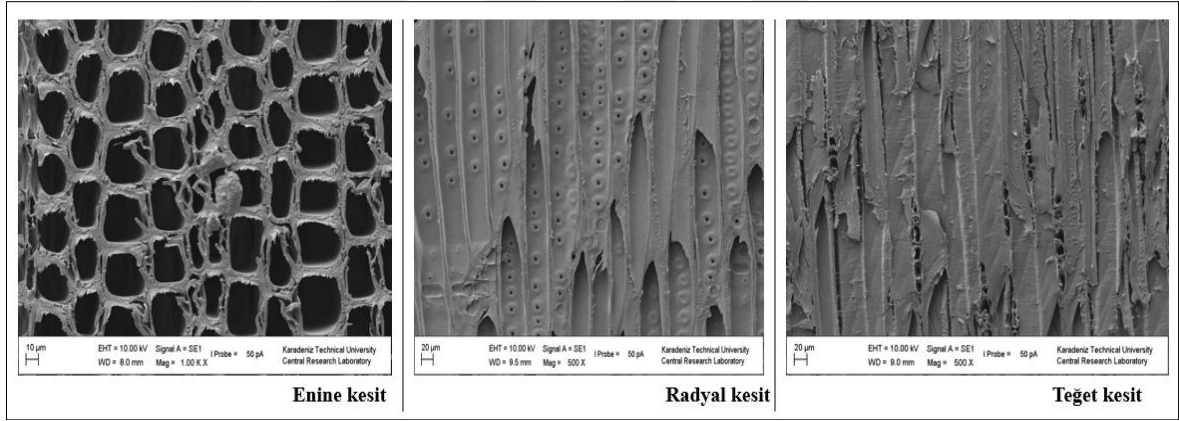


Şekil 65. Sodyum eritorbat ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri

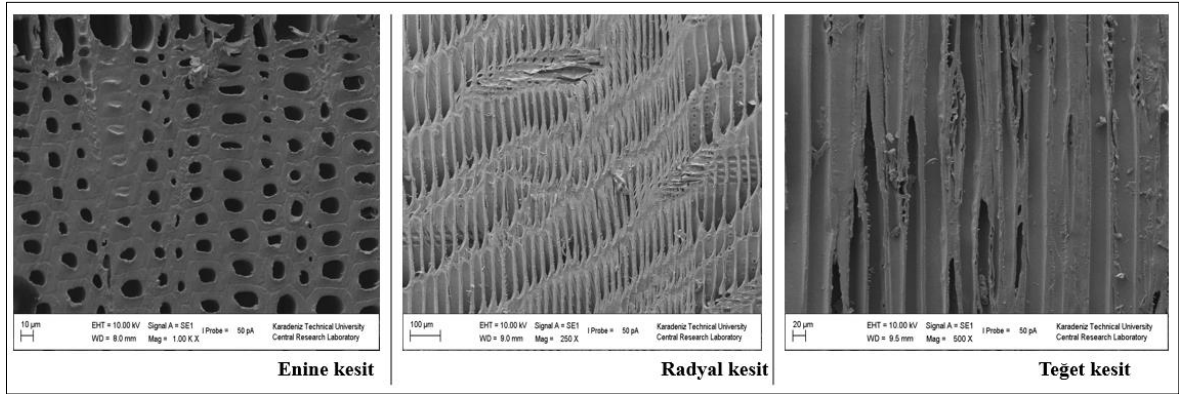


Şekil 66. TBHQ ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri

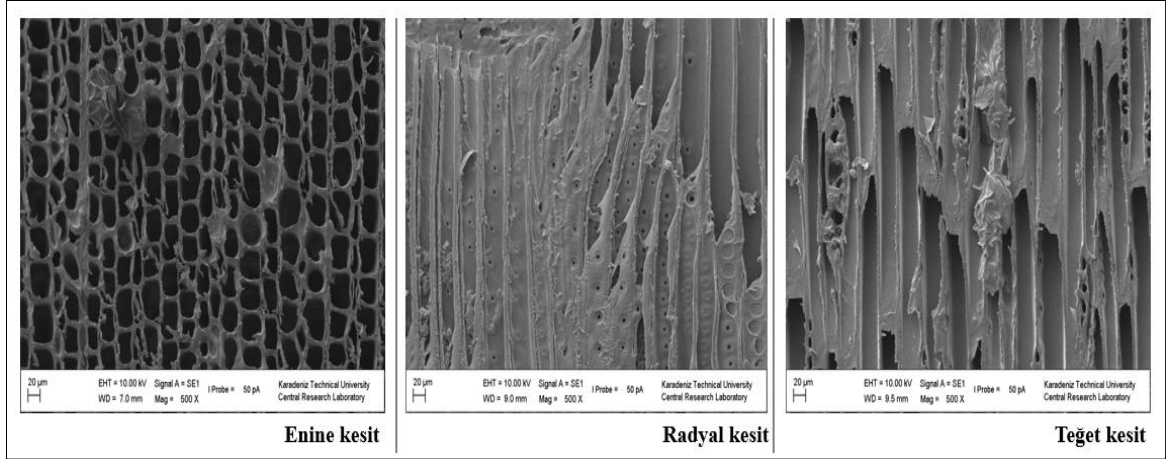
GRAS bileşikleriyle empenye edilen sarıçam odunu örneklerinin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 67-69 arasında verilmiştir.



Şekil 67. Dehidroasetik asit ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri

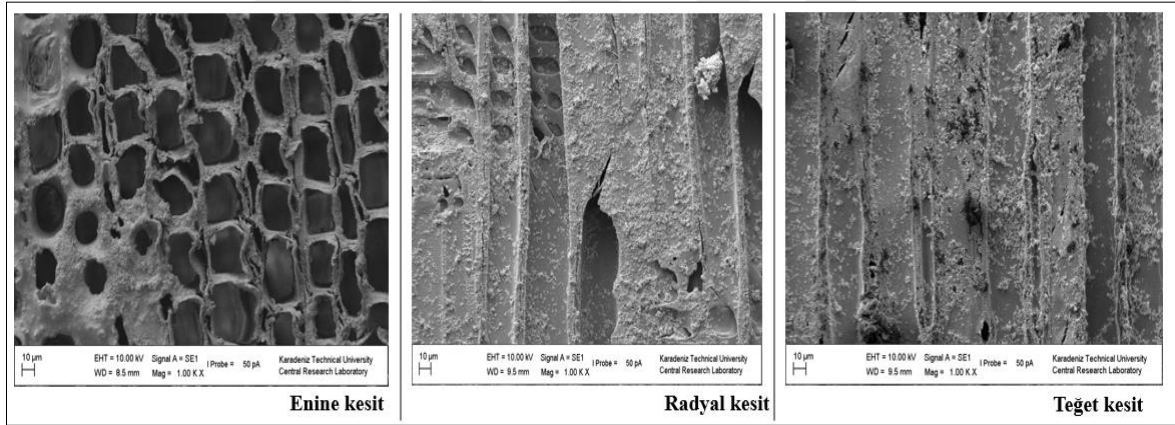


Şekil 68. Sorbik asit ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri

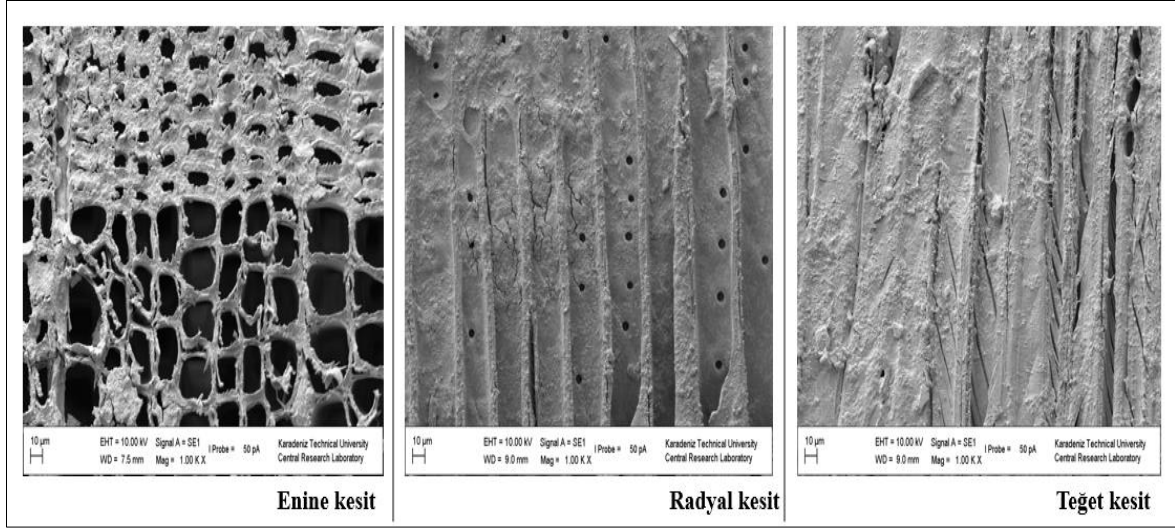


Şekil 69. Sodyum benzoat ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri

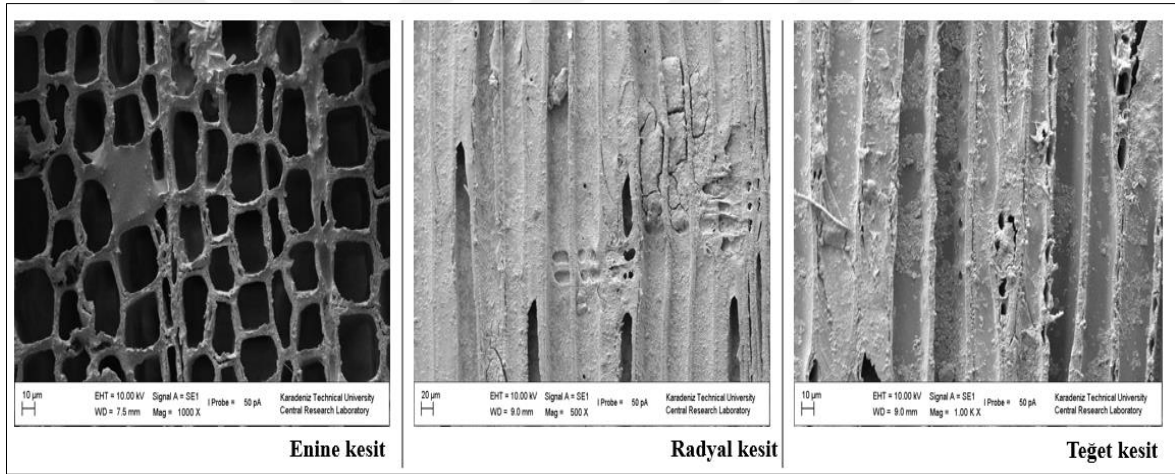
Nano-oksitlerle empenye edilen sarıçam odunu örneklerinin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 70-74 arasında verilmiştir.



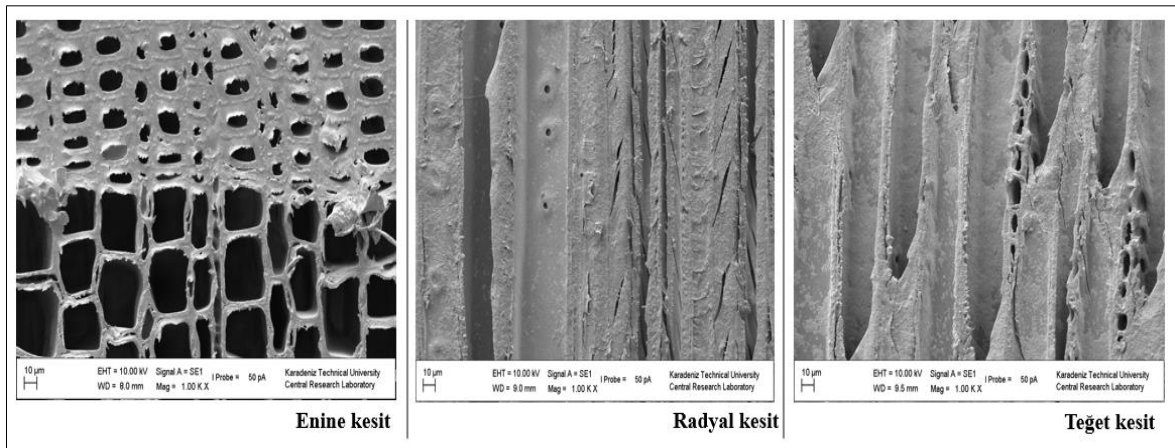
Şekil 70. MgO ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri



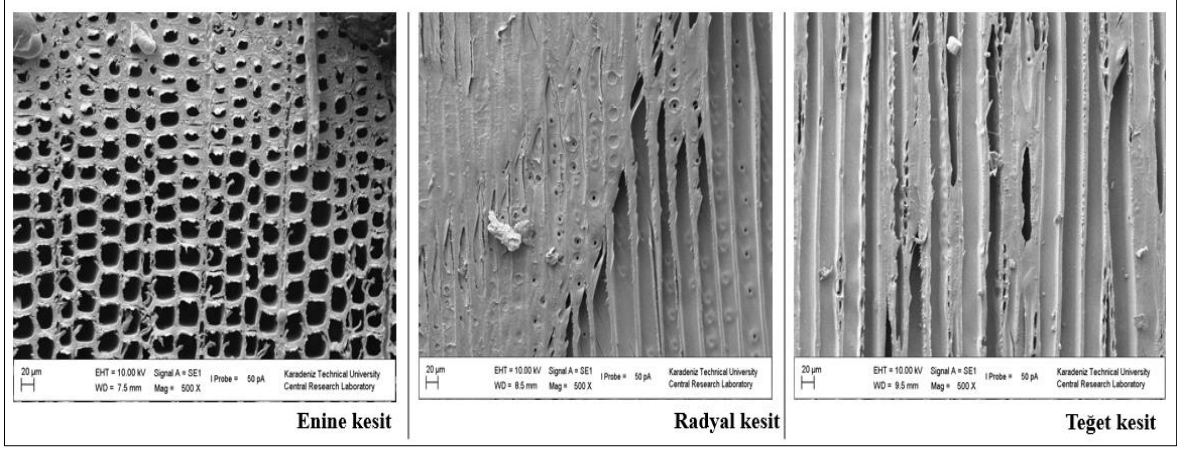
Şekil 71.  $\text{CeO}_2$  ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri



Şekil 72.  $\text{ZnO}$  ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri



Şekil 73.  $\text{SiO}_2$  ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri



Şekil 74. TiO<sub>2</sub> ile empenye edilen sarıçam odununun SEM görüntüleri

Şekil 61-74 incelendiğinde, yapay antioksidanlar ve GRAS bileşikleriyle empenye edilen örneklerde hem enine hem radyal hem de teğet kesitte empenye sıvısının odun hücrelerini tıkadığı ve bulunduğu yerlere nüfuz ettiği söylenebilir. Suda çözünmeyen ama suda disperse edilmiş nano-oksitlerde ise odun örneklerinden alınan SEM görüntüleri biraz daha farklıdır. Çünkü nano-oksitlerin odun içerisinde dağılımı daha belirgin bir şekilde görünmektedir.

Kızıllırmak (2018), ısı işlem uygulanmış ahşap malzemeyi çeşitli nano partiküllerle (nano-TiO<sub>2</sub> ve nano bor nitrür) empenye etmiş ve empenyeden sonra odun örneklerinin bir takım fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Nano-malzemelerin odun içerisinde dağılımını tespit etmek amacıyla yaptığı çalışmada, empenyeli odun örneklerinin hücre kenarlarında, geçit kenarlarında empenye maddelerinin olduğunu elektron mikroskobu yardımıyla tespit etmiştir. Yapılan tez çalışmasında da aynı durum söz konusudur.

Aydemir vd. (2016), tarafından yapılan bir çalışmada, empenye edilmiş odun örneklerinin iç yapısında hücre kenarlarında, geçit kenarlarında empenye maddelerinin var olduğu elektron mikroskobu yardımıyla tespit edilmiştir. Yapılan diğer bir çalışmada; bazı sert/yapraklı ağaçlar 50, 75, 100, 125, 150 ve 185 °C sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutulmuş ve 200 ppm nano-gümüş süspansiyon ile empenye edilmiştir. SEM görüntülerinde nano-gümüş parçacıklarının örneklerdeki yüzey alanı üzerine yayıldığı görülmüştür. Nano-gümüş parçacıklarının etkilerinin, yüksek sıcaklıklara kıyasla daha düşük sıcaklıklarda daha farklı olduğu saptanmıştır (Taghiyari, 2013)

Bossert vd. (2020), tarafından yapılan bir çalışmada, çam ve kayın odunu örnekleri, 70 ila 350 nm boyut aralığındaki nano-SiO<sub>2</sub> ile basınçlı empenye işlemine tabi tutulmuştur.

Kayın ve çam örneklerinde su ileten elementlerde hücre duvarlarında parçacıklar tespit edilmiştir. Kayın örnekleri için tüm boyutlar başarıyla emprenye edilmiştir, ancak çam ağacı örnekleri 70 nm boyutundaki nano-okstille başarıyla emprenye edilirken 170 nm boyutundaki nano-oksitler ile emprenye başarılı olmamıştır. Araştırmacılar genel olarak, partikül boyutunun ne kadar küçük olursa, yüzey alanının o kadar yüksek ve oksidasyon için mevcut alanın o kadar büyük olacağını bildirmişlerdir. Ek olarak, bazı araştırmacılar nanometal preparatların viskozitesinin düşük olduğunu ve bir yüzey aktif madde ilavesi ile daha yüksek nanometal parçacık konsantrasyonlarının sıvı dağılımını sağlayarak dispersiyon stabilitesini daha da artırabileceğini vurgulamışlardır (Lykidis vd., 2013; Borges vd., 2018).

## 4.2. İkinci Bölüm

İkinci bölümünde yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir:

- Yapılan tüm analizler sonrası çalışılan üç farklı multifonksiyonel kimyasal grup içerisinde en üstün performansı sergileyen ve nispeten daha düşük maliyete sahip olanlar arasından, her bir grubu temsilen birer kimyasalın seçilmesi.
- Seçilen kimyasalların tekli, ikili ve üçlü kombinasyonları ile toplamda 7 grupluk bir emprenye deseni oluşturulması
- Bu grupların biyolojik testlerinin, yüzey kimyası analizlerinin yapılması
- Mantar çürüklük testi performans sonuçlarına bakılarak sinerjik etkinin hesaplanması.

### 4.2.1. Çalışılan Üç Farklı Kimyasal Grubun Her Birinden Birer Kimyasalın Seçilmesi

Optimum kimyasalın hangisi olduğunu belirlemek adına, çalışılan kimyasalların performans ve maliyet açısından karşılaştırıldığı veriler Tablo 86'da özetlenmiştir, tabloda yapılan testlerin sadece ortalama değerleri verilmiştir ve yapılan testte en iyi performansı gösteren kimyasal renklendirilmiştir.



Tablo 86. Çalışılan kimyasalların performanslarının ve maliyetlerinin karşılaştırılması

Grup	Kod	Kimyasal	Çözücü	Su alma oranı (%)	Hacimsel genişleme (%)	Renk değişimi ( $\Delta E^*$ )	Ağırlık Kaybı (%)	LPBD (N/mm <sup>2</sup> )	LOI değeri	Maliyet 10gr/T*
Yapay antioksidan	1	Eritorbik asit	Su	108,05	10,41	7,94	8,93	404,46	23,7	6,14
	2	Etoksikuin	Etanol	121,56	11,32	27,32	9,50	432,71	22,5	57,96
	3	Potasyum disulfit	Su	134,25	11,37	1,41	9,43	414,49	24,5	7,55
	4	Sodyum askorbat	Su	112,63	10,96	7,91	8,75	427,16	25,5	30,58
	5	Sodyum eritorbat	Su	124,33	12,22	2,92	8,88	523,94	25,3	18,64
	6	TBHQ	Etanol	115,12	10,77	29,82	8,76	473,28	22,4	23,52
GRAS	7	Dehidroasetik asit	Etanol	119,56	11,76	10,08	11,44	448,20	22,75	16,16
	8	Sorbik asit	Etanol	117,74	10,97	5,96	11,45	427,34	22,75	16,89
	9	Sodyum benzoat	Su	116,73	10,29	4,71	10,01	451,63	23,7	6,7
Nano-oksidit	10	MgO	Su	109,90	10,32	10,33	7,75	478,77	26,75	229,2
	11	CeO <sub>2</sub>	Su	110,18	10,64	1,36	6,72	422,03	27,5	284
	12	ZnO	Su	102,49	9,31	6,58	7,46	423,50	26,3	184,96
	13	TiO <sub>2</sub>	Su	106,32	9,88	3,60	5,45	436,54	27,5	156,25
	14	SiO <sub>2</sub>	Su	106,29	9,61	5,41	5,38	529,52	27,5	34
Kontrol				177,17	13,35	-	39,47	419,37	24,3	-

\*Nano-oksiditlerin 10 gramlık maliyetleri su içerisindeki yüzde ağırlıkları baz alınarak hesaplanmıştır. Tüm fiyatlar 2019 yılı Ağustos ayının KDV dahil fiyatlarıdır.

Bu çalışmada, 3 farklı kimyasal gruptan 14 farklı kimyasal önce agar ortamında anti-fungal aktivitelerine bakılmak üzere test edilmiş ve çalışılacak konsantrasyon %1,0 olarak belirlenmiştir. Daha sonra sarıçam odunu örnekleri seçilen konsantrasyonda (%1,0) emprenye edilmiş ve yapılan farklı testlerle emprenye sonrası performanslar belirlenmiştir. Performans sonuçları ve çalışılan kimyasalların maliyetleri Tablo 86'da bir araya getirilerek bir karşılaştırma yapılmış ve her bir kimyasal gruptan performansı yüksek maliyeti düşük olanlar, ait oldukları grubu temsilen seçilmiştir.

Gürgen vd. (2020), odun koruma emprenye maddelerinden istenilen özellikleri bulanık ortamda analitik hiyerarşi süreci (AHP) yöntemi kullanılarak değerlendirildikleri bir araştırma yapmışlardır. Öncelikle bir AHP kurulmuş ve süreçte belirtilen tüm kriterler hakkında bir anket hazırlanmıştır. Anket soruları bu alandaki uzmanlar tarafından cevaplandırılmıştır. Cevaplar bulanık sayılara dönüştürülmüş ve tüm cevaplar Buckley

yöntemine göre değerlendirilmiştir. Tüm ana ve alt kriterlerin bulanık ve normalize ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu yöntem kullanılarak yapılan hesaplamalara göre emprenye ahşap koruyucusundan beklenen ilk özellik 'etkililik' parametresi olarak bildirilmiştir. Bu özelliği çevre dostu, ekonomik, kalıcı ve güvenilir ana kriterleri izlemiştir. Bu tez çalışmasında da bahsedilen çalışmadaki kriterler baz alınarak (öncelikle etkililik daha sonra çevre dostu, ekonomik vb) optimum oldukları düşünülen kimyasallar seçilmiştir.

Tablo 86 incelendiğinde çalışılan testteki en iyi performansı veren ve maliyet baz alındığında en ekonomik olan kimyasalın farklı bir renkle işaretlendiği görülmektedir.

Yapay antioksidanlar kendi aralarında değerlendirildiği zaman;

- Su alma oranı ve hacimsel genişleme oranı testlerinde en iyi performansı eritorbik asit göstermiştir ayrıca en düşük maliyetli kimyasaldır fakat emprenyeden sonra odun örneklerinin LPBD değerini düşürmüştür.
- En az renk değişimi potasyum disülfid kimyasalı ile muamelede görülmüştür.
- En az ağırlık kaybı (etkililik parametresi) ve en yüksek LOI değerini sodyum askorbat kimyasalı vermiştir.
- En yüksek LPBD değerini sodyum eritorbat kimyasalı vermiştir.

GRAS bileşikler kendi aralarında değerlendirildiği zaman;

- Yapılan tüm analizlerde sodyum benzoat en iyi değerleri vermiştir ve maliyeti de en düşük olan yine bu kimyasaldır.

Nano-oksitler kendi aralarında değerlendirildiği zaman;

- Su alma oranı ve hacimsel genişleme oranı testlerinde en iyi performansı ZnO göstermiştir.
- En az renk değişimi  $CeO_2$  ile emprenye edilen odunlarda görülmüştür.
- En az ağırlık kaybı, en yüksek LPBD direnci ve en düşük maliyet kriterleri  $SiO_2$  kimyasalında sağlanmıştır.
- LOI değerlerini  $CeO$ ,  $TiO_2$  ve  $SiO_2$  aynı oranda artırmıştır.

Yapılan tüm analizler ve maliyet göz önüne alındığı zaman etkililik parametresi öncelik alınarak yapay antioksidanların arasından sodyum askorbat, GRAS bileşiklerinden sodyum benzoat ve nano-oksitlerden ise  $SiO_2$  seçilmiş ve daha sonraki deneylere bu üç kimyasal ve bunların kendi aralarındaki kombinasyonları ile devam edilmiştir.

Sodyum Askorbat (vitamin C, askorbik asit) temel bir vitamindir ve elektron veren bir indirgeme ajanı ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) söndürücüsü olarak hareket etme kabiliyeti nedeniyle güçlü bir antioksidan olarak kabul edilir (Du vd., 2012). Bununla

birlikte, farmakolojik konsantrasyonlarda askorbatın, demir ve bakır gibi geçiş metal iyonlarının azaltılması yoluyla pro-oksidan etkiler uygulayabileceğine dair artan kanıtlar vardır. Önceki çalışmalar, yüksek doz askorbatın hem in vitro hem de in vivo kanser hücreleri üzerinde seçici sitotoksik etkiler gösterdiğini ortaya koymuştur (Avcı vd., 2016).

Sodyum benzoatın hem odun koruma alanında anti-fungal ajan olarak hem de diğer alanlarda farklı mikroorganizmalara karşı anti-mikrobiyal özellik göstererek farklı kimyasallarla sinerjik etkisinin olduğu daha önce yapılan çalışmalar ile raporlanmıştır (Chittenden vd., 2007; Stanojevic vd., 2009).

Farklı elverişli nano partiküller arasında, silika nano partiküller, düşük toksisite ve daha iyi çözünürlük nedeniyle ahşap koruyucuların modifikasyonu için en faydalı olanlardır. Odun özelliklerini iyileştirmek için nano-SiO<sub>2</sub> kullanılması, işlenmiş numunelerin boyutsal stabilitesini, sertliğini ve alev direncini artırır (Yu vd., 2017).

#### 4.2.2. Seçilen Kimyasallar ve Onların Kombinasyonlarıyla Emprenye Edilen Örneklerin Performans Analizleri

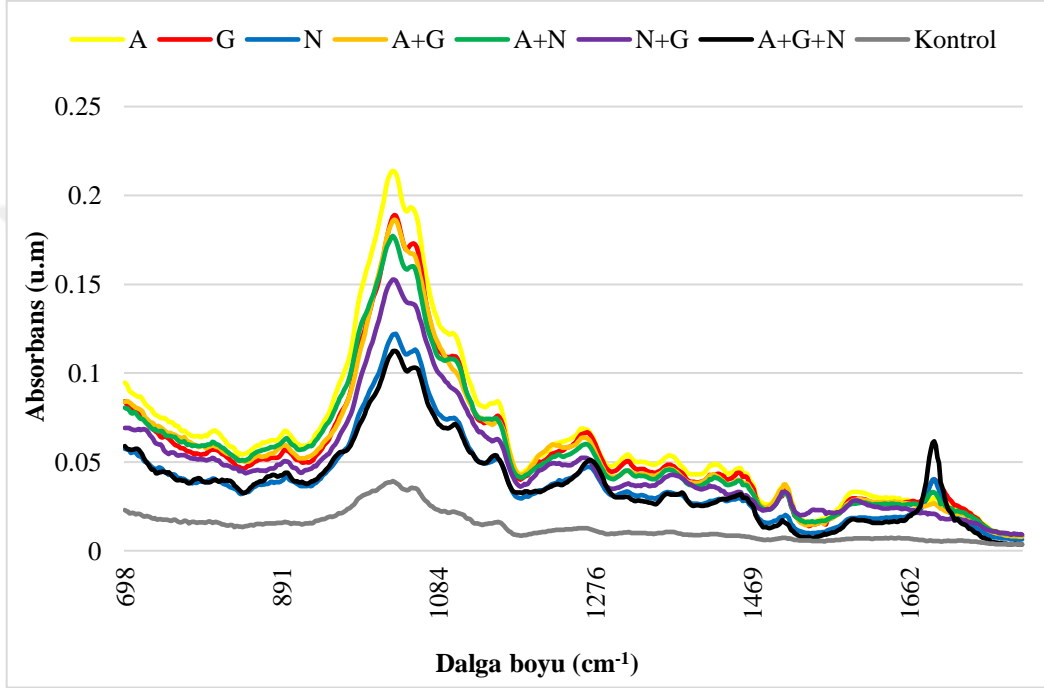
Çalışmanın bu bölümünde (İkinci Bölüm) seçilen kimyasallar ve onların kombinasyonlarıyla emprenye edilen sarıçam ve kayın odunu örneklerinin performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen kimyasallar ve kombinasyonları, grup kodlarıyla birlikte Tablo 87’de özetlenmiştir.

Tablo 87. Seçilen kimyasallar ve kombinasyonlarıyla hazırlanan emprenye deseni

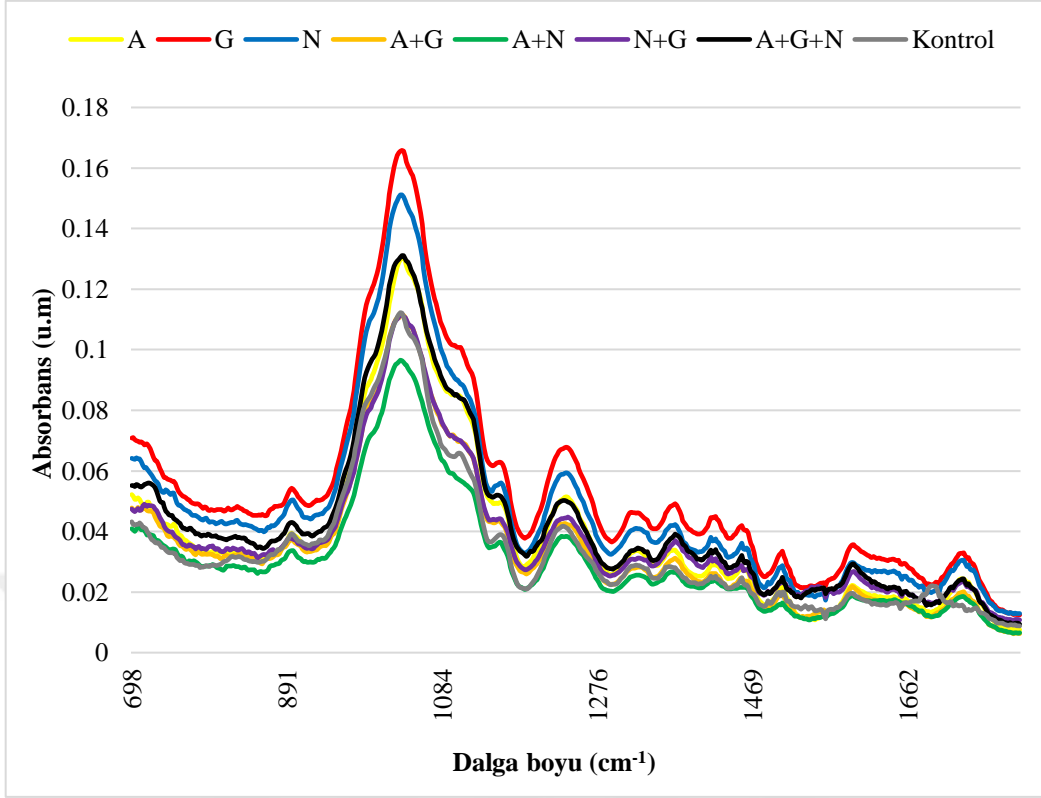
Kombinasyon	Grup kodu	Grup no	Emprenye çözeltisi içeriği
Tek başına	A (Antioksidan)	1	%1,0’lik Sodyum askorbat
	G (GRAS bileşiği)	2	%1,0’lik Sodyum benzoat
	N (Nano-oksid)	3	%1,0’lik Silisyum dioksit
İkili kombinasyon	A+G	4	%1,0’lik Sodyum askorbat + %1,0’lik Sodyum benzoat
	A+N	5	%1,0’lik Sodyum askorbat + %1,0’lik Silisyum dioksit
	N+G	6	%1,0’lik Silisyum dioksit + %1,0’lik Sodyum benzoat
Üçlü kombinasyon	A+G+N	7	%1,0’lik Sodyum askorbat + %1,0’lik Sodyum benzoat + %1,0’lik Silisyum dioksit

#### 4.2.3. Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Yüzey Kimyası Analizleri

Antioksidan (A), GRAS (G), nano-oksit (N) ve onların kombinasyonlarıyla emprenye edilen sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafikleri sırasıyla Şekil 76 ve 77’de verilmiştir.



Şekil 75. Sarıçam odunu örneklerinin FTIR grafiği



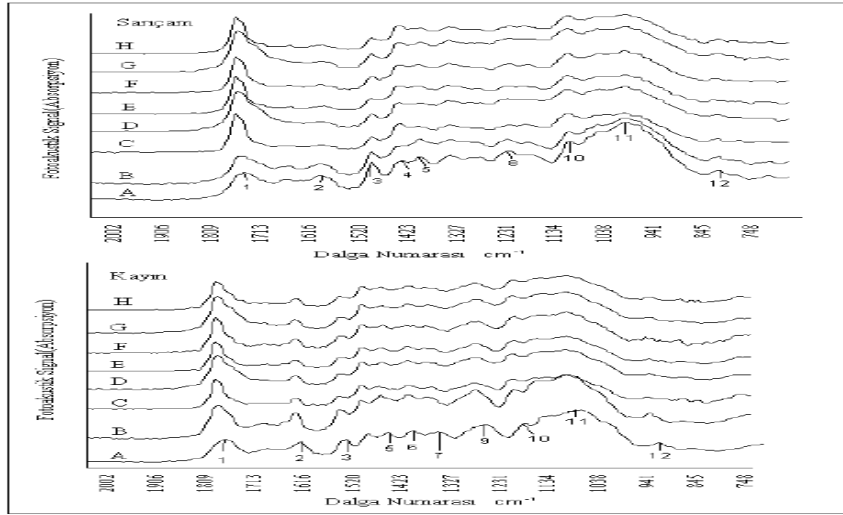
Şekil 76. Kayın odunu örneklerinin FTIR grafiği

Şekil 75 ve 76 incelendiğinde, seçilen kimyasallar ve bu kimyasalların ikili - üçlü kombinasyonlarıyla empenye edilen örneklerde, kimyasal bağlardaki değişiklikleri ifade eden piklerde farklılıklar olduğu görülmektedir. Sarıçam odununda kontrole kıyasla tüm empenye gruplarının tüm pik değerlerinde artış gözlenmektedir. En fazla pik artışları ise yapay antioksidanla (sodyum askorbat) empenye edilen örneklerde görülmüştür.

Kayın odununda ise sarıçam odunundaki değişiklikten daha farklı bir durum söz konusudur. Bazı empenye grubundaki örneklerin pik aralıklarında gösterdiği değişim kontrol örneğine göre düşüş gösterirken, bazı gruplarda kontrol örneğine göre artış göstermiştir. Bu sonuçlar, aynı kimyasallar/kombinasyonlar kullanılsa bile ağaç türü farklılığına bağlı olarak odunun yapısında meydana gelen değişikliklerin de farklılaşabileceğini göstermektedir.

Dizman Tomak (2011), “Masif odundan bor bileşiklerinin yıkanmasını önlemede yağlı ısıtma işleminin ve emülsiyon teknikleri ile empenye işleminin etkisi” adlı doktora tez çalışmasını kayın ve sarıçam odunu örnekleri üzerinden yürütmüş yapılan modifikasyonların söz konusu odun örneklerinin bazı fiziksel, mekanik, biyolojik ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Farklı empenye uygulamalarının her iki ağaç türünün

kimyasal yapısında meydana getirdiği değişimleri belirlemek amacıyla FTIR analizleri yapmış ve her bir uygulamanın odun örneklerini değişik oranlarda etkilediğini belirtmiştir. Bahsi geçen çalışmadaki 7 farklı uygulamanın kontrol örneğine göre kıyaslanması Şekil 77’de verilmiştir.



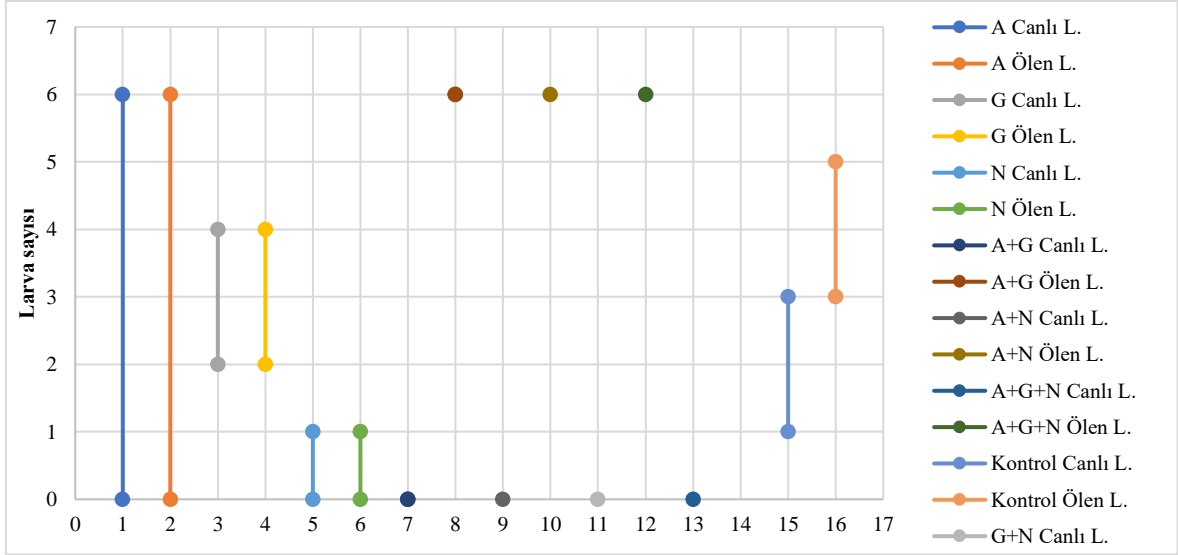
Şekil 77. Yağlar ve %5 borik asit ile emprenye edilen sarıçam ve kayın odunu örneklerine ait FTIR spektrumu (Dizman Tomak, 2011).

Şekil 78’de A: Kontrol; B: %5 Borik Asit (BA); C: %5 BA + Fındık yağ; D: %5 BA+ Atık yağ; E: %5 BA + Soya yağ; F: %5 BA + Mısır yağ; G: %5 BA +Ayçiçek yağ; H: %5 BA + Kanola yağ karışımlarıyla emprenyeyi temsil etmektedir.

#### 4.2.4. Seçilen Kimyasallarla Emprenye Edilen Örneklerin Biyolojik Performansı

##### 4.2.4.1. Böcek Testi

Sarıçam odunu örneklerinin böcek testi sonuçları Şekil 78’de verilmiştir.



Şekil 78. Sarıçam odunu örneklerinin böcek testi sonuçları

Böcek testi *Hylotrupes bajulus* böcek larvaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 78 incelendiğinde çalışılan kimyasalların böceğin larvalarını öldürme oranı düşükten yükseğe yapay antioksidan<GRAS bileşiği<Nano-oksit şeklinde sıralanabilir. Ayrıca bu kimyasalların ikili ve üçlü kombinasyonlarının hepsi test sırasında tüm larvaları öldürmüştür. Bu çalışmada tek başına nano-oksit veya çalışılan kimyasal gruplarının tüm ikili ve üçlü kombinasyonlarının *H. bajulus* böceğine karşı oldukça etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Yalçın vd. (2018), mobilya endüstrisinde yoğun olarak kullanılan yerli ve tropikal ağaç türlerinin *H. bajulus* ve *Anabium punctatum*'a karşı doğal dayanıklılığını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, *H. bajulus* böceğine karşı *Fagus orientalis*, *Cedrus libani* ve *Populus tremula* ve *Pinus sylvestris* en dirençsiz odun türleri olarak bulunurken, *Abies nordmanniana* odunu örnekleri en dirençli odun türü olarak tespit edilmiştir. 12 haftalık test süresinden sonra, larva ölümleri *A. nordmanniana* odunu için en düşük bulunmuştur. Canlı larvaların en büyük boyutları ve ağırlıkları *P. sylvestris* ağacında ölçülmüştür.

Böcekler karşı etkinlik, aktif maddenin toksisitesine, odun örneği içine girebileceği derinliğe ve bunun kalıcılığına veya yıkanmaya karşı direncine bağlıdır. *H. bajulus*, hemiselüloz/selüloz odun materyalinin %30 ila 40'ını sindirir ancak büyüme oranları odun içindeki mevcut organik azot miktarı ile sınırlıdır. Böcekler, ağacın kısımlarından nitrojen içeriğinin daha yüksek olduğu bölgelerde daha hızlı büyür (Baker, 1972).

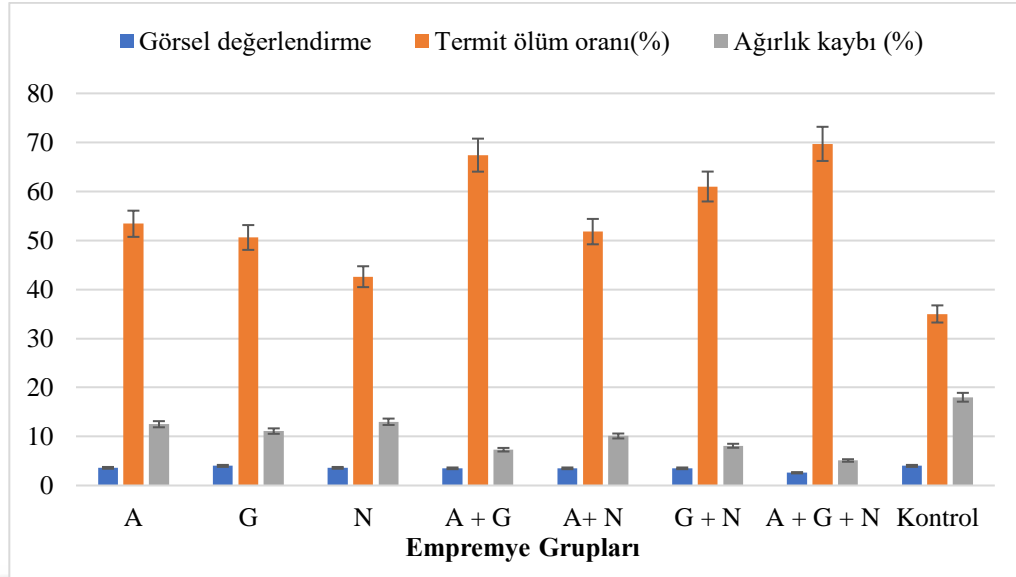
Şimşek (2013), sarıçam odununu bitkisel kökenli valeks (palamut ekstraktı) ve referans madde olarak öngörülen CCA ve de yeni nesil emprenye maddelerinden CBA-A (Tanalith E) ile emprenye ederek söz konusu maddelerin koruyucu etkinliklerini araştırmıştır. Aynı böcek türü (*H. bajulus*) ile yapılan böcek testi sonrası CCA'nın her iki konsantrasyonunda da tüm larvalar ölmüştür. En düşük koruyucu etkinlik ise valeksin %1 ve %3'lük konsantrasyonlarından elde edilmiştir. Fakat valeksin konsantrasyonu arttığında, larvaların konsantrasyon artışına bağlı olarak ölüm oranının da arttığı tespit edilmiştir. CBA'nın koruyucu etkinliği yeterli bulunmuş ve konsantrasyon arttıkça larva ölümlerinin de buna bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Şen vd. (2017), bitki özlerinin ve tanenlerin larva öldürücü faaliyetlerini araştırmışlardır. İskoç çamı, kayın ve kavak ağacı örneklerini mimoza, quebrecho ve kızılçam ağaç kabuklarından elde ettikleri çözeltilerle emprenye etmişler ve *Spondylis buprestoides* larvalarına karşı test etmişlerdir. 6 aylık deneyin sonunda ölü ve canlı larvaların yanı sıra odun kütlelerindeki ortalama kayıplar belirlenmiştir. Odun türleri açısından en düşük larva direnci çam odunu örneklerinde, en yüksek larva direnci ise kayın odunu örneklerinde gözlemlenmiştir. Tüm ağaç türlerinde en düşük kütle kayıpları ve en yüksek ölü termit oranları, mimoza ve quebracho özütlerinin konsantrasyonlarının %12 olduğu varyasyonlarda gözlemlenmiştir. Öte yandan, çam kabuğu ekstresi, diğer iki ekstraktan daha düşük larvikasit etkisi göstermiştir. Dolayısıyla sarıçam odununun bu böcek türüne karşı oldukça dayanıksız olduğu söylenebilir ve odunu bu böcekten korumak için koruma maddesi uygulamak gerekir.

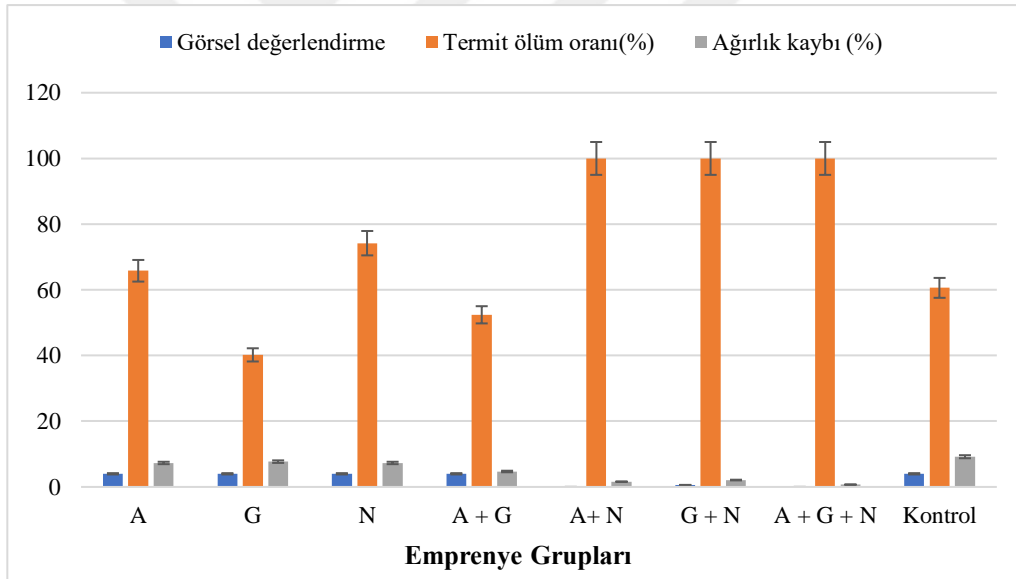
#### 4.2.4.2. Termit Testi

Seçilen kimyasallar ve kombinasyonlarıyla yapılan emprenyeden sonra sarıçam odunu örneklerinin ve kayın odunu örneklerinin termit testi sonuçları sırasıyla Şekil 79 ve 80'de verilmiştir.





Şekil 79. Sarıçam odunu örneklerinin termit testi sonuçları



Şekil 80. Kayın odunu örneklerinin termit testi sonuçları

Şekil 79'a göre, termit testi sonrası sarıçam örneklerinin görsel değerlendirmeleri baz alındığında, GRAS ile emprenye edilen örneklerin kontrol örnekleriyle arasında bir fark olmadığı, diğer tekli ve ikili kombinasyonların aynı oranda iyileşme sağladığı ve üçlü kombinasyonun en iyi sonucu verdiği görülmektedir.

Sarıçam odunu örneklerinin termit ölüm oranları baz alındığında, tekli emprenye uygulamalarında en yüksekte en düşüğe performans sıralaması nano-oksit, GRAS ve

antioksidan kimyasalları şeklinde yapılabilir İkili kombinasyonlarda ise performans sıralaması;  $A+G>G+N>A+N$  şeklindedir. En yüksek termit ölüm oranı üçlü kombinasyonda görülmüştür.

Termit testi sonrası sarıçam örneklerinin ağırlık kayıpları baz alındığında tekli emprenye uygulamalarında en yüksekten en düşüğe ağırlık kaybı sıralaması; nano-oksit, antioksidan ve GRAS bileşiği şeklinde gerçekleşmiştir. İkili kombinasyonlarda ise ağırlık kaybı miktarları en düşükten en yükseğe doğru şu şekilde yapılabilir;  $A+N>G+N>A+G$ . En düşük ağırlık kaybı ise yine üçlü kombinasyonda görülmüştür.

Şekil 80 incelendiğinde, termit testi sonrası kayın örneklerinin görsel değerlendirmeleri baz alındığında, tekli kombinasyonların hepsinin ve de  $A+G$  ikili kombinasyonlarının kontrol örnekleriyle arasında bir fark olmadığı görülmektedir.

Termit testi sonrası kayın örneklerinin termit ölüm oranları baz alındığında, tekli emprenye uygulamalarında en yüksekten en düşüğe performansı sırasıyla GRAS, antioksidan ve nano-oksit kimyasalları göstermiştir. Bu testte ikili kombinasyonlarda  $A+G$  hariç diğer ikili kombinasyonlar ve üçlü kombinasyondaki kimyasallarda termitlerin tamamı ölmüştür. Bunun sebebi de örneklerin üzerinde küf oluşumu ve termitlerin 8 hafta süresince odunla temasının olmamasıdır.

Termit testi sonrası kayın örneklerinin ağırlık kayıpları baz alındığında ise tekli emprenye uygulamaların birbirleri arasında pek bir fark olmadığı görülmektedir. İkili kombinasyonlarda ise ağırlık kaybı miktarları şu şekilde sıralanabilir;  $A+G>G+N>A+N$ . En düşük ağırlık kaybı ise yine üçlü kombinasyonda görülmüştür.

Termitlerin odun tüketimini etkileyen faktörler sayısızdır ve karmaşıktır. Bu faktörlerin en önemlileri arasında ağaç türleri ve sertliği, toksik maddelerin varlığı, inhibitörleri veya caydırıcı maddeler, mantarların varlığı veya yokluğu ve mantar çürümelerinin derecesi, odun ve toprağın nem içeriği bulunur (Smythe vd., 1971; Nagnan ve Clement, 1990). Ayrıca, odun yoğunluğu ve termit saldırı direnci arasındaki korelasyon önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Bultman vd., 1979; Peralta vd., 2004; França vd., 2016).

Farklı nano metallerin kombinasyonunun (gümüş nanopartiküller bakır veya çinko oksit ile kombinasyon halinde) termitlere karşı da güçlü koruma sağladığı başka çalışmalarda da bildirilmiştir (Green vd., 2007; Bak ve Németh, 2018).

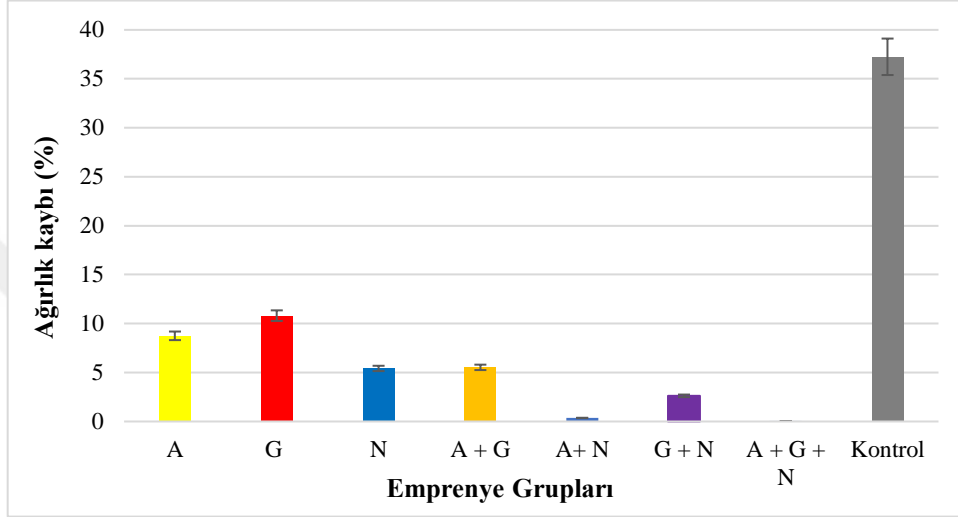
Pan vd. (2015), sodyumun bir tuzu olan Sodyum florür ( $NaF$ )'ün *Reticulitermes flaviceps* termitlerine karşı toksisitesini incelemiş ve ahşap koruyucu olarak potansiyel kullanımını araştırmışlardır. Termitler, dokuz gün boyunca bir petri kabında %0,5 veya

üzerinde konsantrasyonda NaF ile muamele edilmiş filtre kağıdına temas ettirilmiş ve test sonrasında termitler tamamen ölü halde bulunmuştur. Daha sonra *Pinus massoniana* odun örnekleri, sırasıyla beş farklı konsantrasyonda NaF (%0,1, 0,25, 0,5, 1,0 ve 2,0) ile empenye edilmiş ve daha sonra toprakla temas etmeyen bir alanda yıkanma deneyine tabi tutulmuştur. 4 hafta sonra, ahşap örneklerdeki NaF tutma seviyeleri %0,075-0,834'ten %0,057-0,284'e düşmüştür. Son olarak, NaF ile muamele edilmiş ve muamele edilmemiş odun örneklerinin termit testi yapılmıştır. Sonuçlar NaF'nin, %0,057 tutulmasında bile muamele edilen odunlarda termit beslenmesini önemli ölçüde önleyebildiğini göstermiştir. Yapılan tez çalışmasında da sodyumun tuzlarından olan sodyum askorbat ve sodyum benzoatın sarıçam ve kayın odunları için anti-termisidal etki gösterdiği görülmüştür.

Son zamanlarda, bazı sentetik termit kontrol kimyasalları, toksikolojik ve çevresel kaygılar nedeniyle ticari pazarlardan çekilmiştir (Little vd., 2010). Bu durum, bu tip araştırmalara olan ilgiyi artırmış ve daha az toksik alternatiflere yönelimi hızlandırmıştır. (Hassan vd., 2019). Örneğin, Tascioglu vd. (2012), mimoza (*Acacia mollissima* Willd.), quebracho (*Shinopsis lorentzii* Griseb.) ve *Pinus brutia* Ten ağaç türleri kabuklarının ekstraktlarından elde edilmiş çözeltilerin ahşap koruyucu olarak kullanılması olanaklarını araştırmışlardır. İskoç çamı, kayın ve kavak odun örneklerini yeraltı termiti *Reticulitermes grassei* türüne karşı test etmek amacıyla iki farklı empenye konsantrasyonunda (%6 ve %12) empenye etmişlerdir. En düşük ağırlık kaybı ve en yüksek termit ölüm oranları %12 konsantrasyon seviyesinde mimoza ve quebracho özütü ile empenye edilmiş odunlarda kaydedilmiştir. Çam kabuğu ekstresi, en yüksek konsantrasyonda bile odun koruyucu olarak etki gösterememiştir. Mimoza ve quebracho ekstrelerinin, *Reticulitermes grassei*'ye karşı iç mekân uygulamaları için sağlam bir alternatif olarak kullanılabilceği bildirmiştir. Fakat bu tarz bitkisel kökenli maddelerin sürdürülebilirliği sentetik kimyasallara göre çok daha azdır ve çok yüksek konsantrasyonlarda kullanmak gerekmektedir. Dolayısıyla çok daha düşük konsantrasyonlarda ve çevreye çok daha az zararlı kimyasallarla yürütülen bu tez çalışmasının endüstriyel uygulamalara daha pratik ve daha ekonomik bir kullanım alternatifi sunacağı düşünülmektedir.

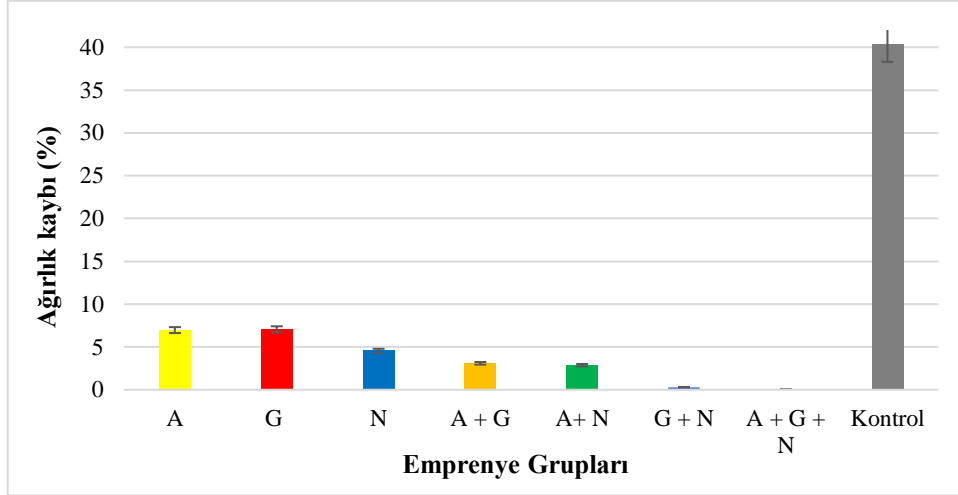
#### 4.2.4.3. Mantar Çürüklük Testi

Seçilen kimyasallar ve onların kombinasyonlarıyla oluşturulan varyasyonlar esas alınarak emprenye edilen sarıçam ve kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kaybı değerleri sırasıyla Şekil 81 ve 82’de gösterilmiştir.



Şekil 81. Sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerleri

Şekil 81’de, EN 113 test standardına göre mantar çürüklük testine tabi tutulan sarıçam odunu örneklerinin *Poria placenta* mantarına karşı performansı özetlenmiştir. Tekli emprenye uygulamalarında en yüksekten en düşüğe doğru ağırlık kayıplarının GRAS> antioksidan>nano-oksit şeklinde sıralandığı görülmektedir. İkili kombinasyonlarda ise ağırlık kaybı bazında kimyasalların sıralaması A+G>G+N>A+N olarak bulunmuştur. İkili kombinasyonlarda A+N kombinasyonu ile emprenye edilen örnekler diğer iki kombinasyon ile emprenye edilen örneklerden 4-10 kat daha az ağırlık kaybına uğramıştır. En düşük ağırlık kaybı ise üçlü kombinasyonda görülmüştür.



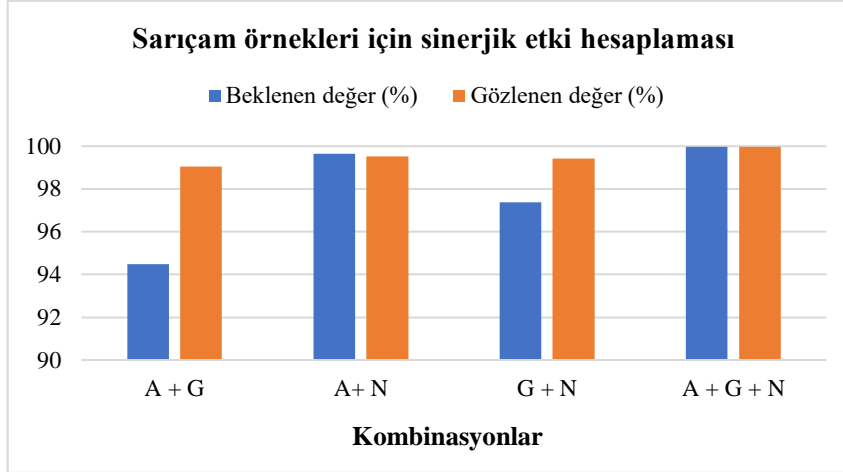
Şekil 82. Kayın odunu örneklerinin ağırlık kaybı değerleri

Şekil 82 incelendiğinde, kayın odunu örneklerinin tekli emprenye uygulamalarında en yüksekten en aza doğru bir sıralama yapıldığında ağırlık kayıplarının sarıçam odununa benzer şekilde GRAS > antioksidan > nano-oksit şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. İkili kombinasyonlarda ise ağırlık kayıpları çoktan aza doğru A+G>A+N>G+N şeklinde sıralanmıştır. İkili kombinasyonlarda G+N kombinasyonu ile emprenye edilen örnekler diğer iki kombinasyon ile emprenye edilen örneklerden 4-6 kat daha az ağırlık kaybına uğramıştır. En düşük ağırlık kaybı ise yine üçlü kombinasyonda görülmüştür.

Her iki odun türü örneğinde de kontrol örneklerindeki ağırlık kaybı değerleri %20'nin üzerinde bulunduğu için deney geçerli kabul edilmiştir.

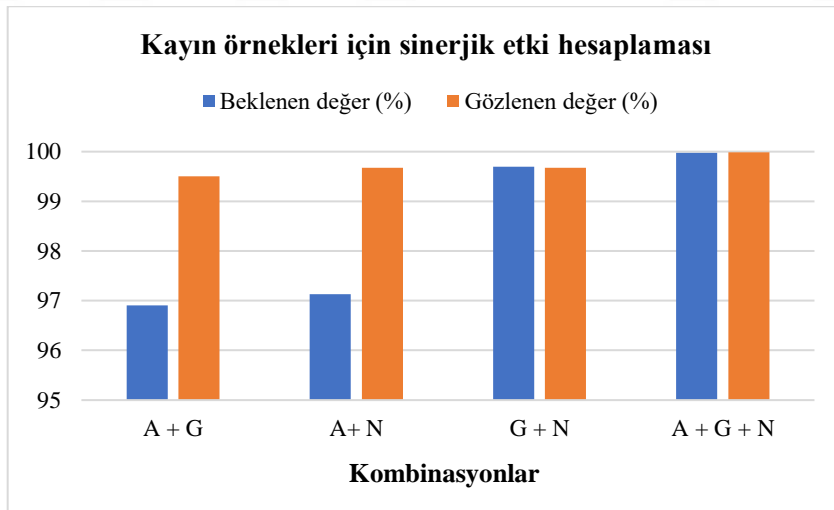
#### 4.2.4.4. Sinerjik Etkinin Hesaplanması

Sarıçam ve kayın odunu örnekleri için sinerjik etki hesaplaması sırasıyla Şekil 83 ve 84'te verilmiştir.



Şekil 83. Sarıçam odunu örneklerinde sinerjik etki hesaplaması

Gözlenen cevap beklenenden daha büyük olduğunda, kombinasyon sinerjiktir; gözlenen cevap beklenenden az olduğunda ise kombinasyon karşıttır (antagonistik). Şekil 83 incelendiği zaman, sarıçam odun örnekleri için ikili varyasyonlarda; A+G ile G+N ikili kombinasyonlarının ve ayrıca üçlü kombinasyonun (A+G+N) sinerjik etkiye sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 84. Kayın odunu örnekleri için sinerjik etki hesaplaması

Şekil 84 incelendiğinde, kayın odunu örnekleri için A+G ile A+N ikili kombinasyonlarının sinerjik etki gösterdiği görülmektedir. Ayrıca sarıçam odunu örneklerinde olduğu gibi üçlü kombinasyonun da sinerjik etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Tez çalışmasında GRAS bileşiği olarak seçilen sodyum benzoat kimyasalının sinerjik etkisinin başka çalışmalarda da araştırıldığı görülmektedir. (Stanojevic vd., (2009). Sodyum benzoat, sodyum nitrit ve potasyum sorbatın antimikrobiyal etkilerinin ve bunların sinerjik etkilerinin (sodyum nitrit + sodyum benzoat, sodyum nitrit + potasyum sorbat, sodyum benzoat + potasyum sorbat) gıda endüstrisinde karşılaşılan gıda bozucu bakteriler ve mantarlar (*Bacillus subtilis*, *Bacillus mycooides*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium oxysporum*, *Candida albicans*, *Trichoderma harsianum* ve *Penicillium italicum*) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sodyum nitrit + sodyum benzoat kombinasyonunda test edilen türlerin %40'ına karşı (*E. coli*, *S. aureus*, *B. mucooides* ve *C. albicans*), sodyum nitrit + potasyum sorbat kombinasyonunda ise test edilen türlerin %30'una (*B. mucooides*, *P. aeruginosa* ve *E. coli*) karşı sinerjik etki tespit edilmiştir.

Xu vd., (2020), antifungal ilaçlar sınırlı olduğunda, bu kimyasalları nanomalzemeler ile birleştirmenin ilaç direnciyle savaşmak açısından umut verici olduğuna vurgu yapmışlardır. Nanomalzemelerin oldukça spesifik yüzey alanı ve özel fiziksel özellikleri sayesinde geleneksel antifungal ilaçlarla kombine edildiklerinde etkinliklerinin önemli ölçüde artırdığı bildirilmiştir. Hussain vd. (2019) gümüş nanopartiküller ile nistatin, miyozin ve ketokonazolün polar antibakteriyel etkilerini karşılaştırmışlar ve gümüş nanopartiküllerin, antifungal etkiyi arttırdığını ve mantar inhibisyon yüzdesini önemli ölçüde artırdığını (%90-%100) bulmuşlardır.

Jin ve He (2011) yaptıkları çalışmada magnezyum oksit nanopartiküllerinin (MgO) tek başına veya diğer antimikrobiyallerle (nisin ve ZnO) kombinasyon halinde *Escherichia coli* ve *Salmonella stanley*'e karşı antibakteriyel aktivitelerini araştırmışlardır. MgO çözeltisinin antibakteriyel aktivitesi, MgO konsantrasyonları arttıkça artmıştır. Nisin ile kombinasyon halinde MgO'nun sinerjistik etkisi de gözlenmiştir. Bununla birlikte, ZnO'nin MgO'ye eklenmesi, MgO'nun her iki patojene karşı antibakteriyel aktivitesini artırmamıştır. Bu sonuçlar, MgO nanopartiküllerinin tek başına veya nisin ile kombinasyon halinde gıda güvenliğini artırmak için etkili bir antibakteriyel ajan olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Arroyo vd. (2020) guava (*Psidium guajava* L) meyvesinin raf ömrünü artırmak için nano-ZnO çözeltisinin içine kitosan, alginat ve bunların yarı yarıya karışımlarını eklemiş ve kitosan eklenen çözeltinin diğer çalışılan gruplara göre daha uzun koruma sağladığını bildirmiştir.

Yapılan benzer çalışmalar ve bu çalışmanın sonuçları göz önüne alındığında, kimyasalları ya da nano-okisitleri kombinasyon halinde kullanma teknikleri, sinerjik etki var oldukça daha da artacak ve yaygınlaşacaktır denebilir.

### 4.3. Üçüncü Bölüm

Üçüncü bölümde yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir.

- Sinerjik etkiye sahip olduğu düşünülen kimyasalların konsantrasyonlarının değiştirilerek 26 grupluk yeni bir emprenye deseni oluşturulması.
- Bu desendeki grupların bazı fiziksel, mekanik ve biyolojik performanslarının belirlenmesi.
- Elde edilen verilerin modellenmesi ve optimizasyonunun yapılması. Amaç fonksiyonuna (maliyet de dâhil edilerek) en çok uyan emprenye grubunun belirlenmesi.

#### 4.3.1. Üçüncü Bölüm Örneklerinin Emprenye Desenin Oluşturulması

Çalışmanın üçüncü bölümünde tekli, ikili ve üçlü kombinasyonlardan oluşan 26 farklı deneme varyasyonu ile çalışılmıştır. Kombinasyonları grup kodlarıyla birlikte Tablo 88’de özetlenmiştir.

Tablo 88. Üçüncü bölüm emprenye deseni

Kombinasyonlar	Grup kodu	Grup no	Emprenye çözeltisi içeriği
-	-	1 (Kontrol)	Kimyasal yok
Tek başına	Antioksidan	2	%0,5’lik Sodyum askorbat
		3	%1,0’lik Sodyum askorbat
	GRAS	4	%0,5’lik Sodyum benzoat
		5	%1,0’lik Sodyum benzoat
	Nanooksit	6	%0,5’lik Silisyum dioksit
		7	%1,0’lik Silisyum dioksit



Tablo 88'in devamı

İkili kombinasyon	A+G	8	%0,5'lik Sodyum askorbat + %0,5'lik Sodyum benzoat
		9	%0,5'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Sodyum benzoat
		10	%1,0'lik Sodyum askorbat + %0,5'lik Sodyum benzoat
		11	%1,0'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Sodyum benzoat
	A+N	12	%0,5'lik Sodyum askorbat + %0,5'lik Silisyum dioksit
		13	%0,5'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Silisyum dioksit
		14	%1,0'lik Sodyum askorbat + %0,5'lik Silisyum dioksit
		15	%1,0'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Silisyum dioksit
	G+N	16	%0,5'lik Sodyum benzoat + %0,5'lik Silisyum dioksit
		17	%0,5'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit
		18	%1,0'lik Sodyum benzoat + %0,5'lik Silisyum dioksit
		19	%1,0'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit
Üçlü kombinasyon	A+G+N	20	%0,5'lik Sodyum askorbat + %0,5'lik Sodyum benzoat + %0,5'lik Silisyum dioksit
		21	%0,5'lik Sodyum askorbat + %0,5'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit
		22	%0,5'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Sodyum benzoat + %0,5'lik Silisyum dioksit
		23	%0,5'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit
		24	%1,0'lik Sodyum askorbat + %0,5'lik Sodyum benzoat + %0,5'lik Silisyum dioksit
		25	%1,0'lik Sodyum askorbat + %0,5'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit
		26	%1,0'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Sodyum benzoat + %0,5'lik Silisyum dioksit
		27	%1,0'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit

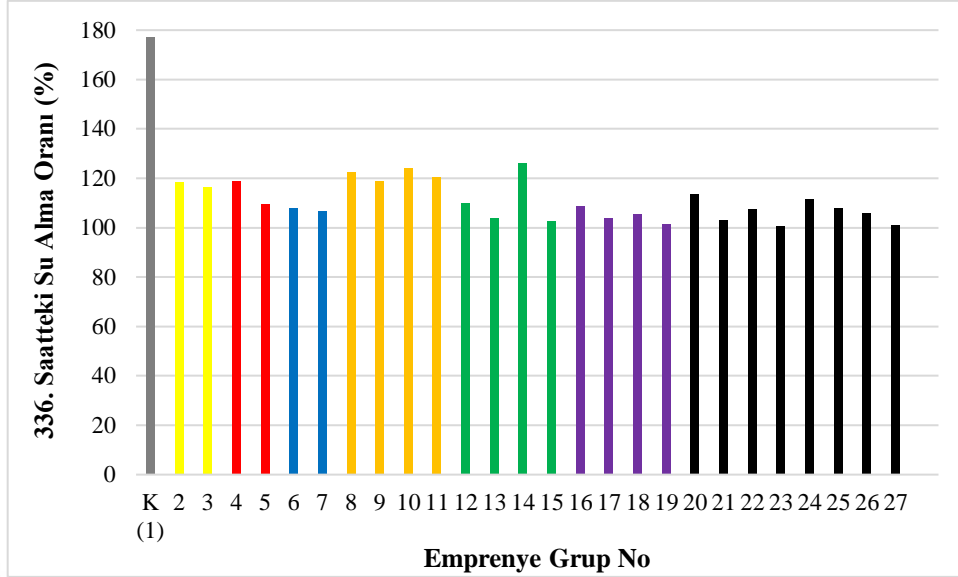
### 4.3.2. Üçüncü Bölüm Örneklerinin Bazı Fiziksel, Mekanik ve Biyolojik Performansları

#### 4.3.2.1. Su Alma Oranı

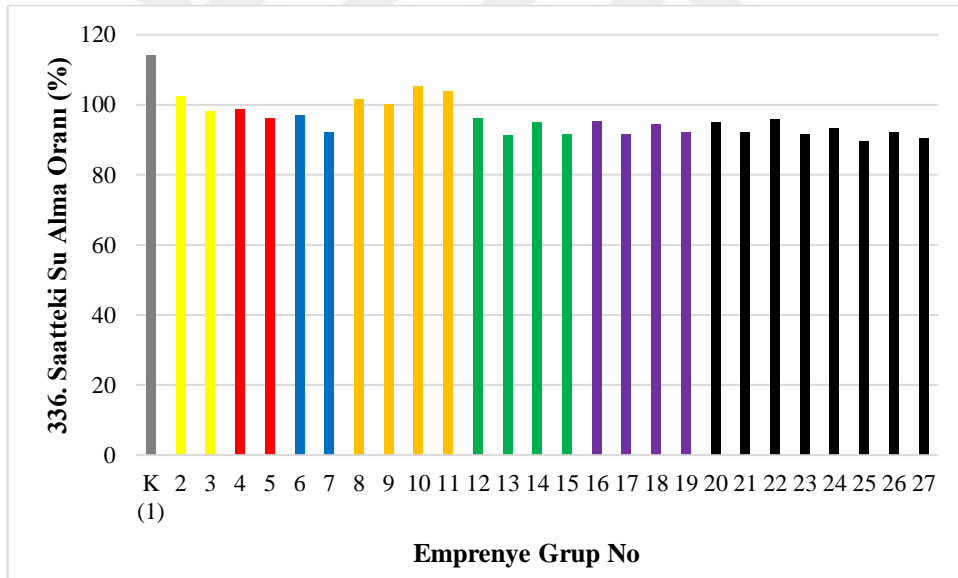
Üçüncü bölüm kapsamında da çalışılan örneklerin 2, 4, 8, 24, 48, 72, 168 ve 336. saatteki su alma oranları hesaplanmıştır. Fakat her kimyasalın su alma hızının aynı olmamasından dolayı odun örneklerinin su alma oranının en yüksek olduğu 336. saat baz alınmıştır. Yanı sıra modellemeler ve optimizasyon hesaplamaları da 336. saatteki su alma oranlarının verileri kullanılarak yapılmıştır.

Test gruplarındaki değerlerin grafiğe dökülmesi sırasında mevcut kombinasyonlardan elde edilen sonuçların daha rahat değerlendirilmesi açısından renklendirmeler 3 ana renk ve bu renklerin karışımından oluşan ara renkler kullanılarak yapılmıştır. Yapay antioksidanla emprenye edilen gruplar sarı, GRAS bileşikleriyle emprenye edilen gruplar kırmızı, nano-oksitler ile emprenye edilen gruplar ise mavi renk ile gösterilmiştir. Dolayısıyla yapay antioksidan ve GRAS bileşiklerin karışımıyla emprenye edilen gruplar sarı ve kırmızının karışımı olan turuncu ile, yapay antioksidan ile nano-oksitlerin karışımıyla emprenye edilen gruplar sarı ve mavinin karışımı olan yeşil, GRAS bileşikleri ve nano-oksitlerin karışımıyla emprenye edilen gruplar ise kırmızı ve mavinin karışımı olan mor renk ile gösterilmiştir. Üçlü kombinasyonun olduğu gruplar ise 3 ana rengin karışımıyla oluşan siyah renk ile gösterilmiştir.

Sarıçam ve kayın odunu örneklerinin 336. saatteki su alma oranları sırasıyla Şekil 85 ve 86'da verilmiştir.



Şekil 85. Sarıçam odunu örneklerinin 336. saatteki su alma oranları

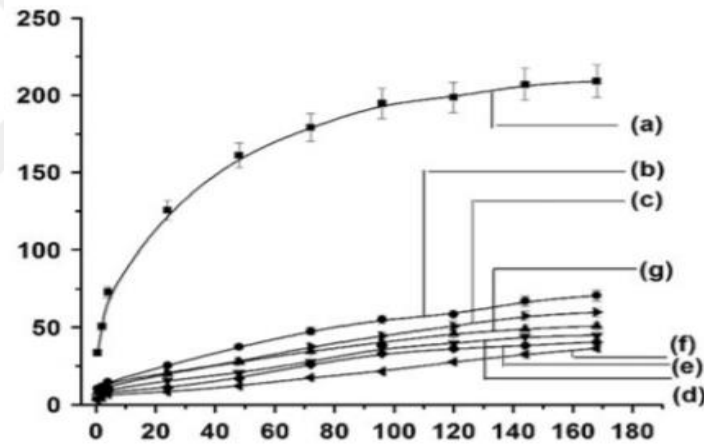


Şekil 86. Kayın odunu örneklerinin 336. saatteki su alma oranları

Şekil 85 ve 86 incelendiğinde emprenye edilen tüm grupların kontrol örneğinden daha az su alma oranı değerleri verdiği görülmektedir. Tekli kombinasyonlar incelendiğinde kimyasal maddenin konsantrasyonunun artmasıyla üç kimyasal grup için de su alma oranının azaldığı tespit edilmiştir. İkili kombinasyonlar incelendiğinde ise ilginç şekilde yapay antioksidan ve GRAS bileşikleri kombinasyonunun su alma oranlarının arttığı görülmektedir. Bu durum hem sarıçam hem de kayın odun örnekleri için geçerlidir. Nano-

oksit ile ikili kombinasyon yapıldığı zaman ise örneklerin su alma oranlarının azaldığı tespit edilmiştir. Sarıçam odun örnekleri üçlü kombinasyonlarla emprenye edildiği zaman en düşük su alma oranı 23. gruptaki (%0,5'lik Sodyum askorbat+%1,0'lik Sodyum benzoat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) örneklerde tespit edilmiştir. Kayın odun örneklerinde ise en düşük su alma oranı 25. gruptaki (%1,0'lik Sodyum askorbat+%0,5'lik Sodyum benzoat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) örneklerde hesaplanmıştır.

Devi ve Maji (2012) stiren akrilonitril kopolimer (SAN),  $\gamma$ -trimetoksi stiren propil metakrilat (MSMA) ile modifiye edilmiş  $\text{SiO}_2$  nanopartikülleri ve nano kilin 3'lü kombinasyonunu hazırlayıp ahşabı emprenye ederek nano- $\text{SiO}_2$  bazlı ahşap polimer nanokompozitler (WPNC) elde etmiş ve bu nanokompozit malzemelerin su alma oranları dahil birtakım testlerini yapmışlardır. Çalışmadaki kombinasyonlarla hazırlanan örneklerin su alma oranları Şekil 87'de verilmiştir.

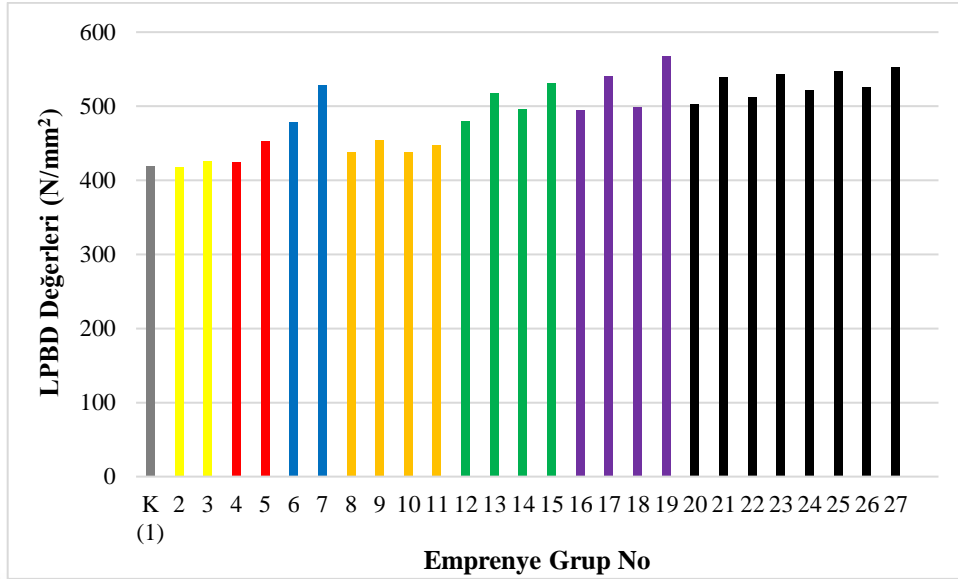


Şekil 87. Devi ve Maji, (2012)'nin çalışmasındaki su alma oranları

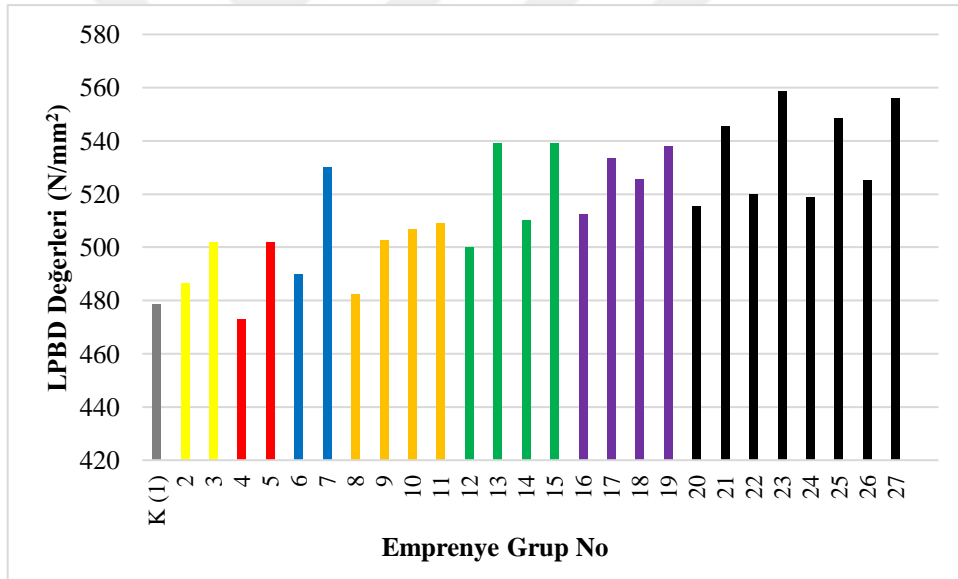
Şekil 87'de (a) kontrol örneğini, (b) SAN, (c) SAN/ $\text{SiO}_2$  (%0,5), (d) SAN/ $\text{SiO}_2$  (%0,5)/nanokil(%0,125), (e) SAN/ $\text{SiO}_2$ (%0,5)/nanokil(%2,0), (f) SAN/ $\text{SiO}_2$  (%0,5)/nanokil (%0,5) ve (g) SAN/nanokil (%0,5) kombinasyonlarıyla emprenye edilmiş odun örneklerinin su alma oranlarını temsil etmektedir. Bu çalışmada da  $\text{SiO}_2$  ile tüm kombinasyonların kontrol örneğine göre su alma oranını azalttığı görülmektedir.

#### 4.3.2.2. Liflere Paralel Basınç Direnci

Sarıçam ve kayın odunu örneklerinin LPBD değerleri sırasıyla Şekil 88 ve 89'da verilmiştir.



Şekil 88. Sarıçam odunu örneklerinin liflere paralel basınç direnci değerleri



Şekil 89. Kayın örneklerinin LPBD değerleri

Şekil 88 ve 89 incelendiğinde, sarıçam odunu örneklerinin 2 nolu varyasyonu (%0,5'lik Sodyum askorbat) ile kayın odunu örneklerinin 4 varyasyonu nolu (%0,5'lik Sodyum benzoat) hariç emprenye edilen tüm test gruplarının kontrole oranla daha yüksek LPBD değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Tekli gruplar incelendiğinde kimyasal madde konsantrasyonunun artmasıyla üç kimyasal grup için de LPBD değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Adanur (2015) bazı tanenler ve borlu bileşikler ile emprenye edilen doğu kayını (*Fagus orientalis L.*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Emprenye

edilen örneklerin liflere paralel basınç direnci değerlerinin kontrol örneğine oranla arttığını bildirmiştir. Ayrıca, %3,0 konsantrasyonda hazırladığı empenye çözeltileriyle empenye edilen örneklerin %1,0 konsantrasyonda hazırladığı empenye çözeltileriyle empenye edilen örneklerle göre daha yüksek değerler verdiğini ifade etmiştir.

Tek madde ile empenye edilen gruplar kendi arasında değerlendirildiği zaman, sadece nano-oksit ile empenye edilen grubun her iki ağaç türü için de diğer iki gruptan daha yüksek LPBD değerleri verdiği görülmektedir. Özellikle sarıçam odunu örneklerinde sadece GRAS bileşiği ile empenye edilen gruplar sadece yapay antioksidan ile empenye edilen gruplardan bir miktar daha yüksek LPBD değerlerine ulaşmıştır.

İkili kombinasyonlar kendi aralarında değerlendirildiğinde, sarıçam odunu için GRAS ve nano-oksit kombinasyonlarından 17 (%0,5'lik Sodyum benzoat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) 18 (%1,0'lik Sodyum benzoat+%0,5'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) ve 19 (%1,0'lik Sodyum benzoat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) nolu varyasyonların en yüksek LPBD değerlerini verdiği görülmektedir. Bu sırayı yüksekten aza doğru olmak üzere yapay antioksidan ve nano-oksit karışımı ve daha sonra yapay antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonları izlemiştir. Bu durum kayın odunu için farklılaşmıştır. Özellikle 13. (%0,5'lik Sodyum askorbat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) ve 15. (%1,0'lik Sodyum askorbat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) varyasyonlar olmak üzere yapay antioksidan ve nano-oksit kombinasyonları en yüksek LPBD değerlerini verirken bu sırayı GRAS bileşiği ve nano-oksit kombinasyonları ve daha sonra yapay antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonu takip etmiştir. Antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonlarıyla empenye edilen örnekler her iki ağaç türü için de ikili kombinasyonlar arasında en düşük değerleri veren grup olarak tespit edilmiştir.

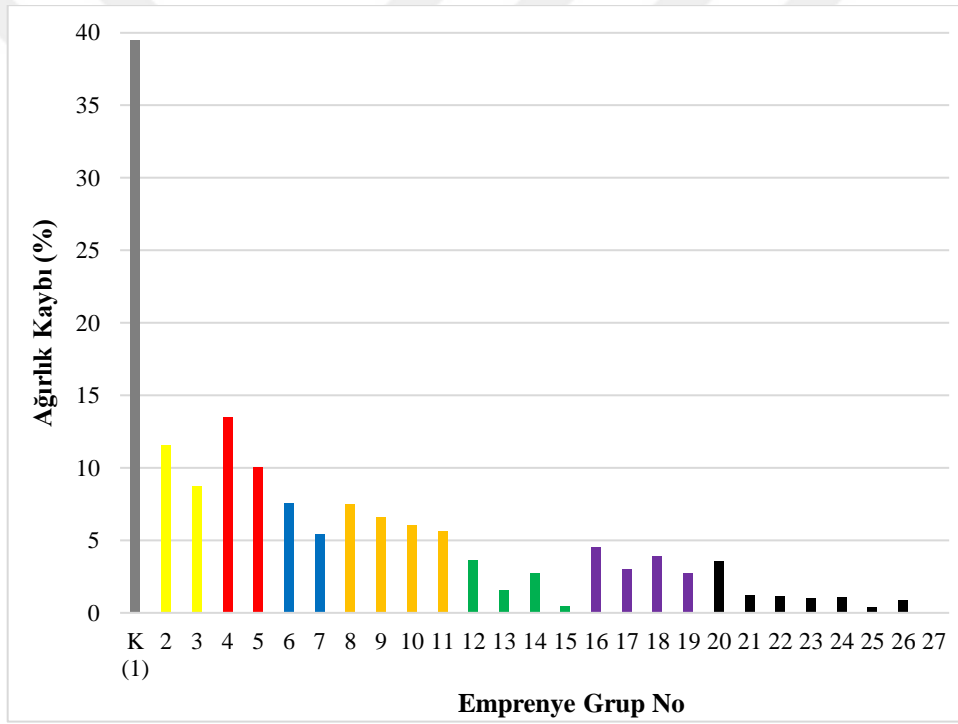
Üçlü kombinasyonlar kendi arasında değerlendirildiği zaman ise nano-oksitin konsantrasyon oranının arttırıldığı her grupta LPBD değerleri yükselmiştir. Bu durum her iki ağaç türü için de geçerlidir. Sarıçam odunu örneklerinde en yüksek LPBD değeri 19. grup (%1,0'lik Sodyum benzoat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) örnekleri vermiştir. Kayın örneklerinde ise en yüksek LPBD değeri 23. grup (%0,5'lik Sodyum askorbat+%1,0'lik Sodyum benzoat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) örneklerinde tespit edilmiştir.

Devi vd. (2013) yaptıkları bir çalışmada stiren akrilonitril kopolimer (SAN),  $\gamma$ -trimetoksi silil propil metakrilat ile modifiye edilmiş TiO<sub>2</sub> nanopartiküller ve nanokilin 3'lü

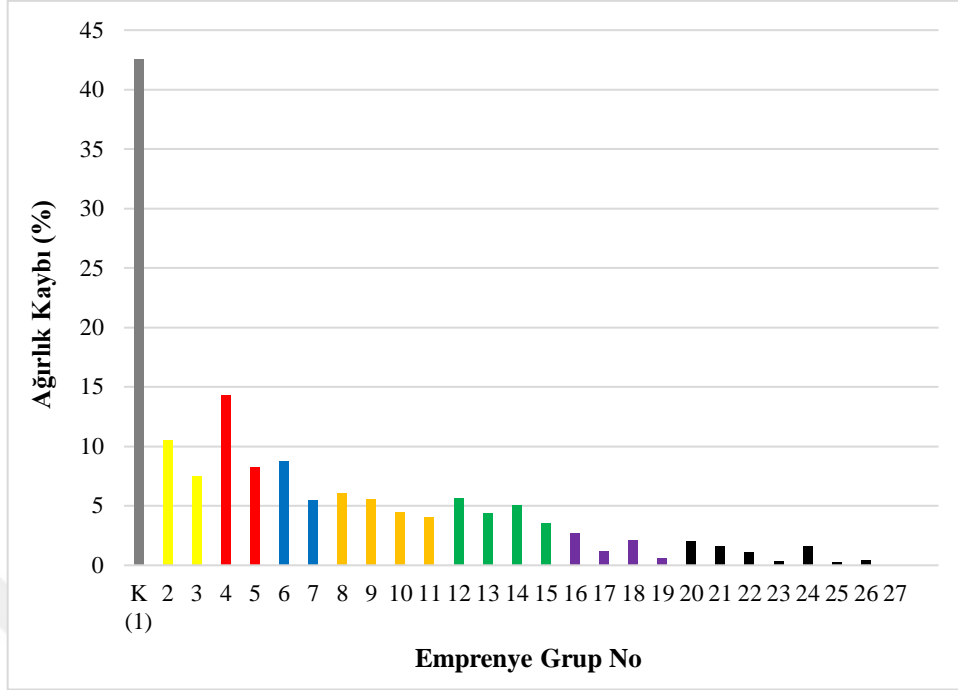
kombinasyonunu hazırlayıp ahşabı empenye ederek, nano-TiO<sub>2</sub> bazlı ahşap polimer nanokompozitler (WPNC) elde etmiş ve bu nanokompozit malzemelerin mekanik testlerini (eğilme direnci) testlerini yapmışlardır. Tüm kombinasyonların direnç değerlerinin kontrol örneğine oranla arttığını ve en yüksek direnci, SAN/TiO<sub>2</sub>(%0,5)/nanokil(%0,5) kombinasyonlarıyla empenye edilmiş örnek grubunda bulduklarını belirtmişlerdir.

#### 4.3.2.3. Mantar Çürüklük Testi

Sarıçam ve kayın odunu örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kayıpları değerleri sırasıyla Şekil 90 ve 91’de verilmiştir.



Şekil 90. Sarıçam odunu örneklerinin ağırlık kaybı



Şekil 91. Kayın örneklerinin ağırlık kaybı

Şekil 90 incelendiğinde, tek madde ile empenye edilen gruplar kendi arasında değerlendirildiği zaman, sadece nano-oksit ile empenye edilen sarıçam odunu örneklerinin diğer iki gruptan daha düşük ağırlık kaybına uğradığı görülmektedir. Tek maddeyle empenye edilen gruplar arasındaki en düşük ağırlık kaybı her iki ağaç türünde de nano-oksitle empenye edilen 7 nolu varyasyonda (%1,0'lik Silisyum dioksit) tespit edilmiştir. EN 113 test standardına göre, test örneklerinde aşılmaması gereken %3,0 ağırlık kaybı oranına en uzak ağırlık kaybı değerleri her iki ağaç türünde de gras bileşiği ile empenye edilen 4 nolu varyasyonlarda (%0,5'lik Sodyum benzoat) %13-%14 civarındaki değerler ile gözlenmiştir.

İkili kombinasyonlar kendi aralarında değerlendirildiğinde, sarıçam odunu için yapay antioksidan ve nano-oksit kombinasyonları ile empenye edilen örnekler en düşük ağırlık kaybına uğramıştır. Bu sırayı azdan yükseğe doğru olmak üzere GRAS bileşiği ve nano-oksit karışımı ve daha sonra yapay antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonları izlemiştir. Bu durum kayın odunu için farklılaşmıştır. GRAS bileşiği ve nano-oksit kombinasyonları en düşük ağırlık kaybı değerlerini verirken bu sırayı yapay antioksidan ve nano-oksit kombinasyonları ve daha sonra yapay antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonu ile empenye edilen gruplar takip etmiştir. Antioksidan ve GRAS bileşiği



kombinasyonlarıyla emprenye edilen örnekler her iki ağaç türü için de ikili kombinasyonlar arasında genel olarak en yüksek ağırlık kaybı değerlerini veren grup olarak tespit edilmiştir.

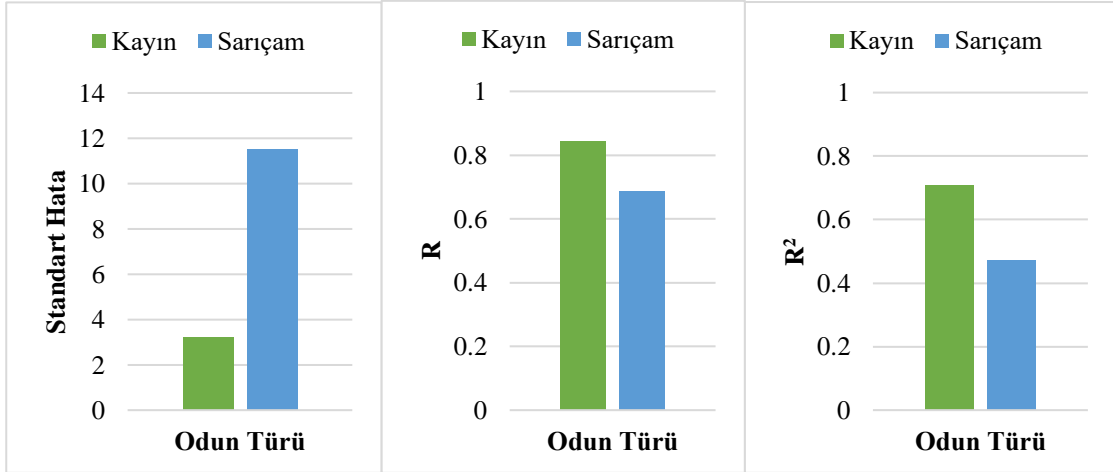
Üçlü kombinasyonlar kendi aralarında değerlendirildiği zaman ise nano-oksitin konsantrasyon yüzdesinin arttırıldığı varyasyonlarda ağırlık kaybı değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu durum her iki ağaç türü için de geçerlidir. Sarıçam odunu örneklerinde en düşük ağırlık kaybı 27. grup (%1,0'lik Sodyum askorbat+%1,0'lik Sodyum benzoat+%1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) örnekleri vermiştir. Aynı durum kayın odunu örnekleri için de geçerlidir.

### **4.3.3. Elde Edilen Verilerin Modellenmesi ve Optimizasyonunun Yapılması**

#### **4.3.3.1. Modelleme**

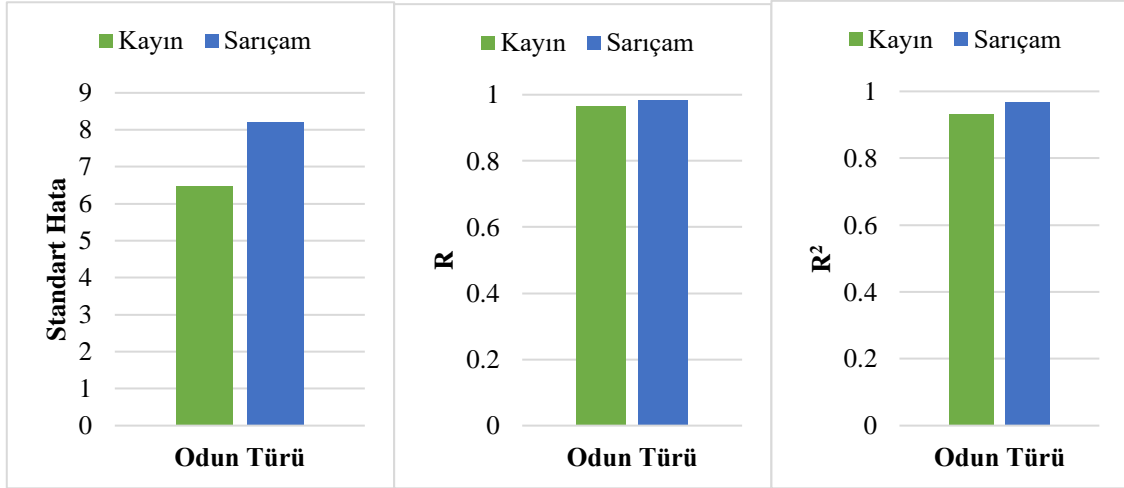
##### **4.3.3.1.1. Çoklu Regresyon**

İlk olarak kayın ve sarıçam odunu örneklerindeki su alma oranını modellemek için elde edilen çoklu doğrusal regresyon modellerinin analizi yapılmıştır. Şekil 92'de her iki odun türü için elde edilmiş regresyon modelinin standart hata, R ve  $R^2$  değerleri gösterilmiştir. Kayın ve sarıçam için standart hata sırasıyla 3,19 ve 11,49 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar elde edilen regresyon modellerinin su alma oranını tahmin ederken kayın örnekleri için 3,19 birim ortalama hataya sahip olduğu sarıçam örnekleri için ise 11,49 birim ortalama hataya sahip olduğunu göstermektedir. Daha sonra korelasyon katsayıları (R) hesaplanmıştır. Regresyon denklemi ile elde edilen tahmin değerinin, deneysel olarak elde edilen gerçek değerle ne derece ilişkili olduğunu anlamak için yapılan bu hesaba göre kayın örneği için R değeri 0,84 çıkarken sarıçam için R değeri 0,68 olarak hesaplanmıştır. R değeri 1'e ne kadar yakın olursa elde edilen modelin geçerliliği o kadar yüksek olmaktadır. Dolayısıyla bu değerler kayın için makul görünmekle beraber sarıçam için yetersiz bir model olarak değerlendirilmektedir. Son olarak  $R^2$  değerleri kayın ve sarıçam için sırasıyla 0,70 ve 0,47 olarak hesaplanmıştır.



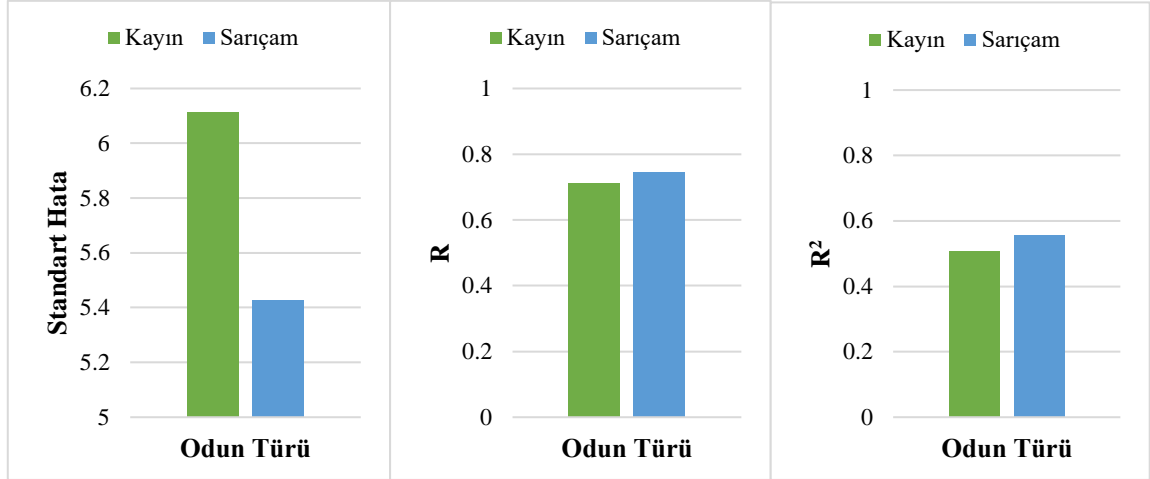
Şekil 92. Su alma oranı modellerinin standart hata, R ve R<sup>2</sup> değerleri

Su alma oranı modellerinden sonra liflere paralel basınç direnci değerleri için de modellemeler yapılmıştır. Şekil 93'te her iki odun türü için elde edilmiş regresyon modelinin standart hata, R ve R<sup>2</sup> değerleri gösterilmiştir. Kayın ve sarıçam için standart hata sırasıyla 6,48 ve 8,22 çıkmıştır. Bu sonuçlar elde edilen regresyon modellerinin liflere paralel basınç direnci değerlerini tahmin ederken kayın örnekleri için 6,48 birim ortalama hataya sahip olduğu, sarıçam örnekleri için ise 8,22 birim ortalama hataya sahip olduğunu göstermektedir. Daha sonra korelasyon katsayıları (R) hesaplanmıştır. Regresyon denklemi ile elde edilen tahmin değerinin deneysel olarak elde edilen gerçek değerle ne derece ilişkili olduğunu anlamak için yapılan bu hesaba göre kayın örneği için R değeri 0,96 çıkarken sarıçam için R değeri 0,98 olarak hesaplanmıştır. R değeri 1,0'e ne kadar yakın olursa elde edilen modelin geçerliliği o kadar yüksek olmaktadır. Dolayısıyla bu değerler makul değerler olarak nitelendirilmektedir. Son olarak R<sup>2</sup> değerleri kayın ve sarıçam için sırasıyla 0,93 ve 0,96 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 93. LPBD değerleri modellerinin standart hata, R ve R<sup>2</sup> değerleri

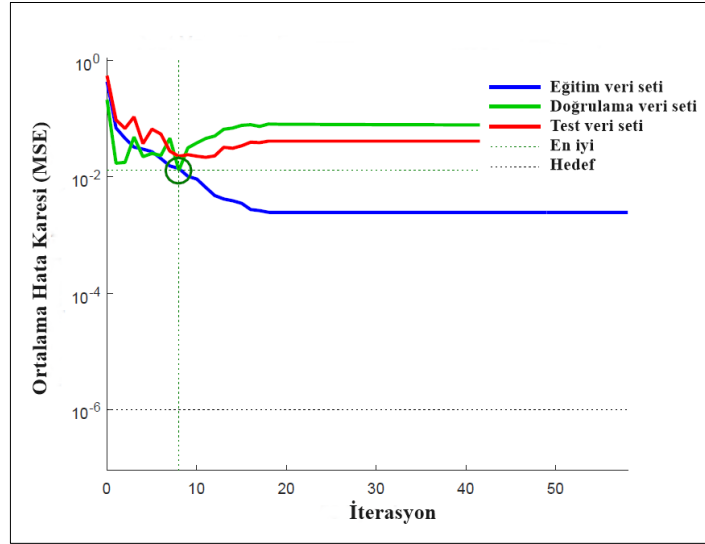
Bu bölümde son olarak ağırlık kaybı oranı modellemeleri yapılmıştır. Şekil 94'te her iki odun türü için elde edilmiş regresyon modelinin standart hata, R ve R<sup>2</sup> değerleri gösterilmiştir. Kayın ve sarıçam için standart hata sırasıyla 6,11 ve 5,42 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar elde edilen regresyon modellerinin liflere paralel basınç direnci değerlerini tahmin ederken kayın için 6,11 birim ortalama hataya sahip olduğu sarıçam için ise 5,42 birim ortalama hataya sahip olduğunu göstermektedir. Daha sonra korelasyon katsayıları (R) hesaplanmıştır. Regresyon denklemi ile elde edilen tahmin değerinin, deneysel olarak elde edilen gerçek değerle ne derece ilişkili olduğunu anlamak için yapılan bu hesaba göre kayın örneği için R değeri 0,71 çıkarken sarıçam örnekleri için R değeri 0,745 olarak hesaplanmıştır. R<sup>2</sup> değerleri ise kayın ve sarıçam için sırasıyla 0,50 ve 0,55 olarak hesaplanmıştır. R ve R<sup>2</sup> değerleri incelendiğinde, bu değerlerin makul değerler olmadığı görülmektedir. Sonuç olarak regresyon denklemlerinin ağırlık kaybını modellemede yetersiz kaldığı söylenebilir.



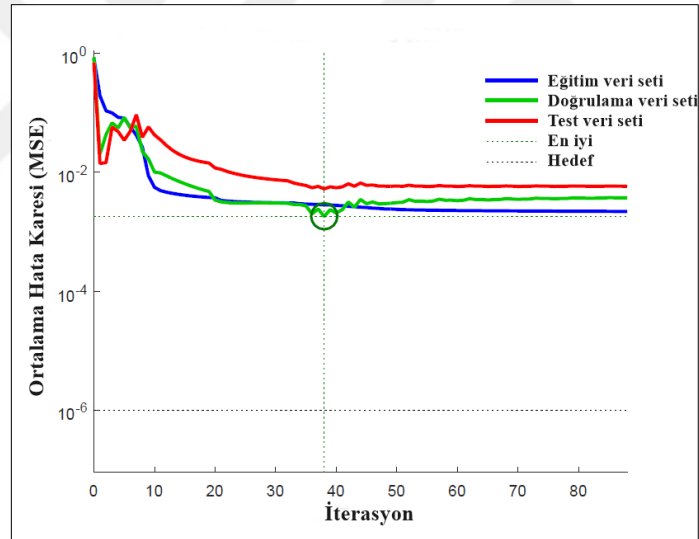
Şekil 94. Ağrlık kaybı modellerinin standart hata, R ve R<sup>2</sup> değerleri

#### 4.3.3.1.2. YSA

İlk olarak her iki odun türü için su alma oranı değerlerinin modellenmesi yapılmıştır. Kayın için yapılan denemelerde en uygun ağ yapısı 3 gizli nöron ile elde edilirken sarıçam için 4 gizli nöronunda en verimli ağ elde edilmiştir. Şekil 95'te kayın örneklerinin su alma oranını tahmin eden YSA modelinin eğitim sürecindeki performans eğrisi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi ağın eğitimi 8. iterasyonda tamamlanmış olup bu noktadan sonra ağın genelleme kabiliyeti düşmekte ve ağ ezberleme eğilimine girmektedir. Şekil 96'da ise sarıçam örneklerinin su alma oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi gösterilmiştir. Sarıçam için ağ eğitimi ise 38. iterasyonda tamamlanmış olup bu noktadan sonra ağ ezberleme eğilimine girmiştir.



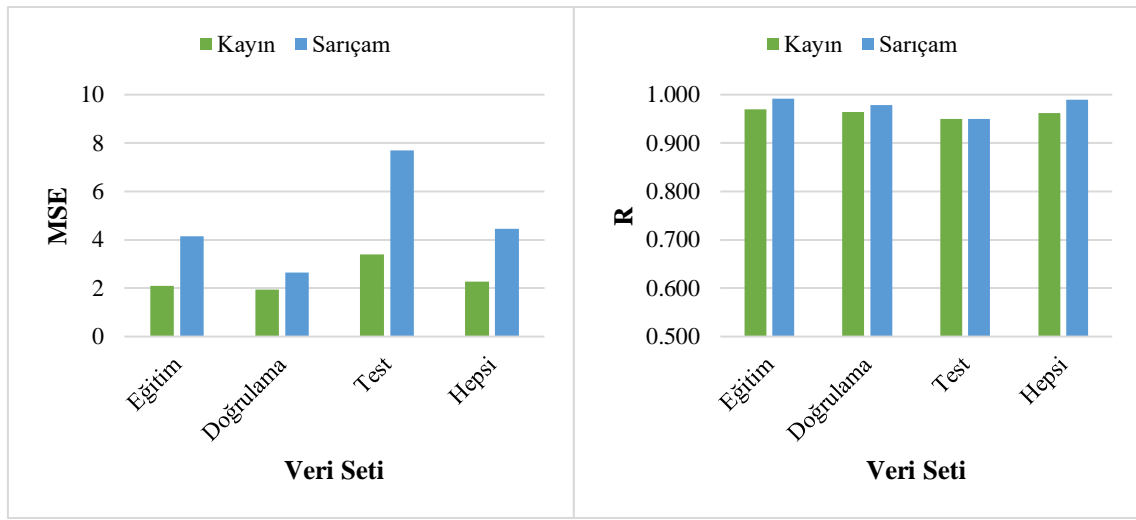
Şekil 95. Kayın örneklerinin su alma oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi



Şekil 96. Sarıçam örneklerinin su alma oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi

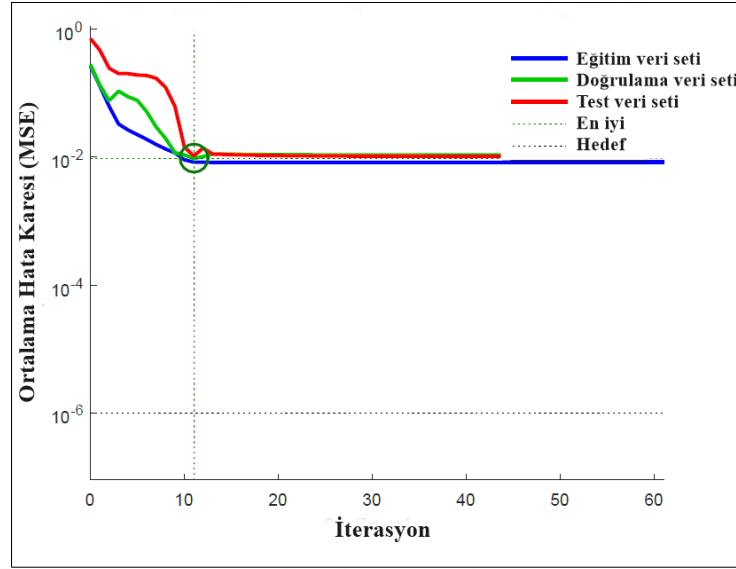
Ağın eğitimi yapıldıktan sonra elde edilen modellerin performansını belirlemek amacıyla her bir veri seti için MSE ve R değerleri hesaplanmıştır. Kayın ve sarıçam örneklerinde su alma oranını modellemek için sunulan YSA modellerinin MSE ve R değerleri Şekil 97’de verilmiştir. Kayın örneği için MSE değerlerine bakıldığında, üç veri seti için de hatanın makul seviyede olduğu görülmekte olup en yüksek MSE değeri test veri seti için 3,39 olarak hesaplanmıştır. MSE değerleri açısından sarıçam örnekleri için de benzer sonuçlar çıkmıştır. Burada en yüksek MSE değeri test veri setinde 2,41 olarak elde

edilmiştir. Bir diğer performans göstergesi olan korelasyon katsayısı (R) her iki odun türü için de kabul edilebilir seviyededir. Kayın örneği için R değerleri üç veri seti içinde 1'e oldukça yakın çıkmış olup en düşük değer test veri seti için 0,95 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam türünde de tüm veri setleri için R değeri makul seviyede olup en düşük R değeri test için 0,95 olarak hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar beraber düşünüldüğünde her iki odun türü için su almayı modellemek amacıyla geliştirilen YSA modellerinin eğitiminin oldukça başarılı olduğu, ezberleme yapmadığı ve genelleme kabiliyetinin yüksek olduğu görülmektedir.

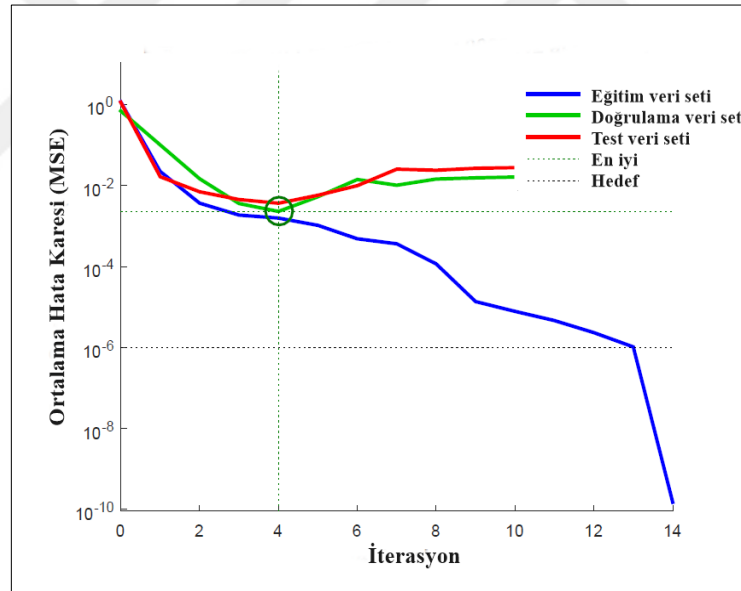


Şekil 97. Su alma oranını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin MSE ve R değerleri

Su alma oranı modellemesi yapıldıktan sonra liflere paralel basınç direnci değerlerinin modellemesi yapılmıştır. Kayın için yapılan denemelerde en uygun ağ yapısı 2 gizli nöron ile elde edilirken sarıçam için 6 gizli nörona en verimli ağ elde edilmiştir. Şekil 98'de kayın örneklerinin liflere paralel basınç direncini tahmin eden YSA modelinin eğitim sürecindeki performans eğrisi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi ağın eğitimi 11. iterasyonda tamamlanmış olup bu noktadan sonra ağın genelleme kabiliyeti düşmekte ve ağ ezberleme eğilimine girmektedir. Sarıçam örneklerinin YSA modelinin performans eğrisi ise Şekil 99'da gösterilmiştir. Sarıçam için ağ eğitimi 14. iterasyonda hedef değere ulaşarak sonlandırılmıştır.



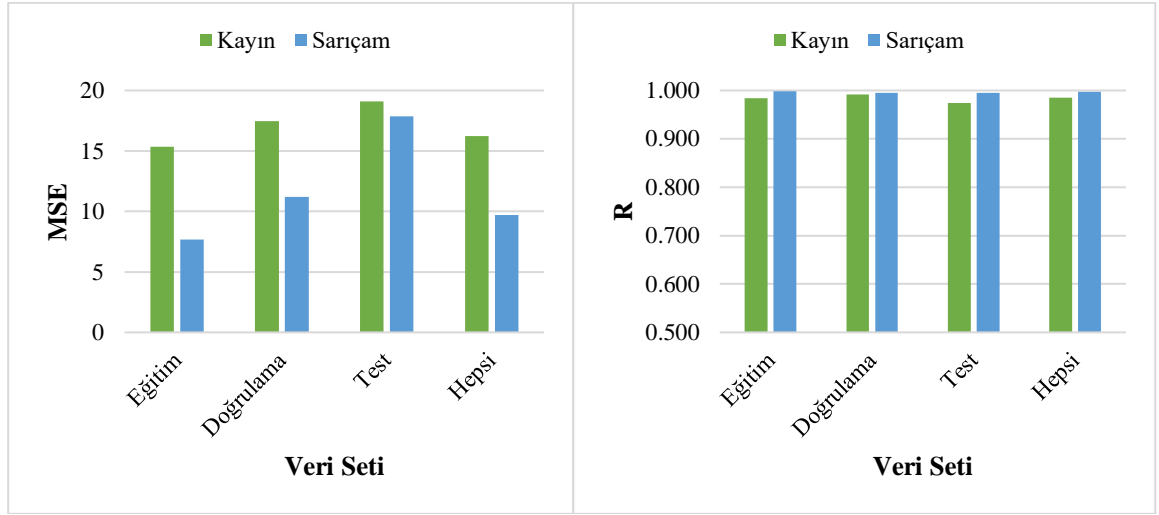
Şekil 98. Kayın için liflere paralel basınç direncini tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi



Şekil 99. Sarıçam için liflere paralel basınç direncini tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi

Ağın eğitimi yapıldıktan sonra elde edilen modellerin performansını belirlemek amacıyla her bir veri seti için MSE ve R değerleri hesaplanmıştır. Kayın ve sarıçam örneklerinde liflere paralel basınç direncini modellemek için sunulan YSA modellerinin MSE ve R değerleri Şekil 100'de verilmiştir. Kayın örnekleri için MSE değerlerine bakıldığında üç veri seti için de hatanın makul seviyede olduğu görülmekte olup en yüksek MSE değeri test veri seti için 19,08 olarak hesaplanmıştır. MSE değerleri açısından sarıçam

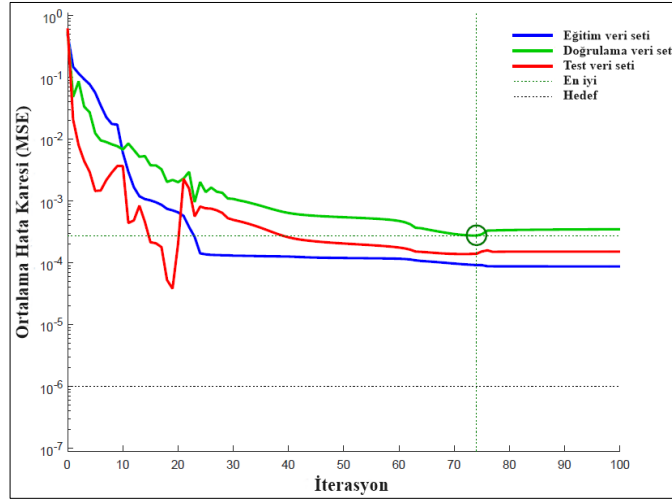
için de benzer sonuçlar çıkmıştır. Burada en yüksek MSE değeri test veri setinde 17,85 olarak elde edilmiştir. Bir diğer performans göstergesi olan korelasyon katsayısı (R) her iki odun türü için de kabul edilebilir seviyededir. Kayın örneği için R değerleri üç veri seti içinde 1'e oldukça yakın çıkmış olup en düşük değer, test veri seti için 0,97 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam türünde de tüm veri setleri için R değeri makul seviyede olup en düşük R değeri, test veri seti için 0,99 olarak hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar beraber düşünüldüğünde her iki odun türü için liflere paralel basınç direncini modellemek amacıyla geliştirilen YSA modellerinin eğitiminin oldukça başarılı olduğu, ezberleme yapmadığı ve genelleme kabiliyetinin yüksek olduğu görülmektedir.



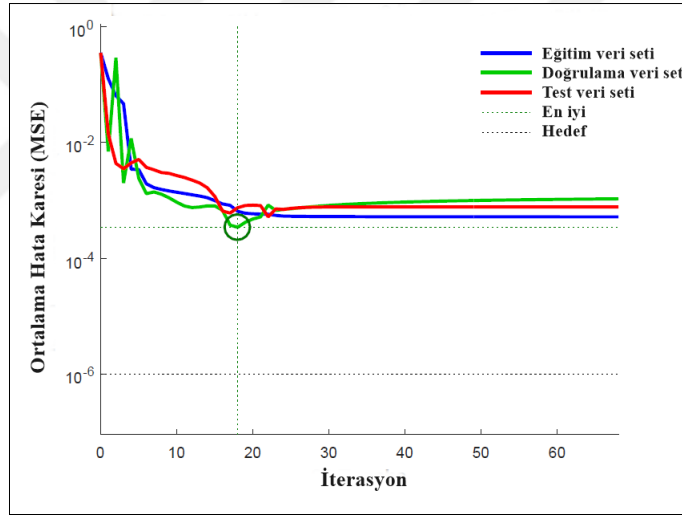
Şekil 100. Liflere paralel basınç direncini tahmin için geliştirilen YSA modellerinin MSE ve R değerleri

Liflere paralel basınç direncinin modellenmesi tamamlandıktan sonra ağırlık kaybı oranlarının modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Kayın ve sarıçam için yapılan denemelerde en uygun ağ yapısı 3 gizli nöron ile elde edilmiştir. Şekil 101'de kayın için ağırlık kaybını tahmin eden YSA modelinin eğitim sürecindeki performans eğrisi görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi ağın eğitimi maksimum iterasyon sayısına ulaşarak 100. iterasyonda tamamlanmıştır. Şekil 102'de ise sarıçam için YSA modelinin performans eğrisi gösterilmiştir. Sarıçam için ağ eğitimi 18. iterasyonda tamamlanmış olup bu noktadan sonra ağ, ezberleme eğilimine girmektedir.





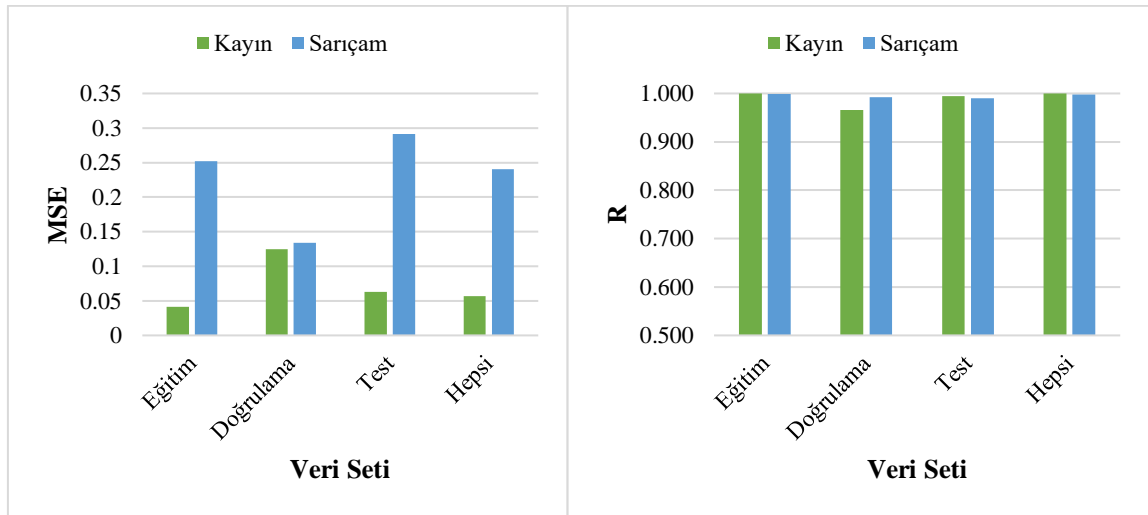
Şekil 101. Kayın örneklerinin ağırlık kaybı oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi



Şekil 102. Sarıçam örnekleri ağırlık kaybı oranını tahmin eden YSA modelinin performans eğrisi

Ağın eğitimi yapıldıktan sonra elde edilen modellerin performansını belirlemek amacıyla her bir veri seti için MSE ve R değerleri hesaplanmıştır. Kayın ve sarıçam örneklerinde ağırlık kaybı oranını modellemek için sunulan YSA modellerinin MSE ve R değerleri Şekil 103'te verilmiştir. Kayın örneği için MSE değerlerine bakıldığında, üç veri seti için de hatanın makul seviyede olduğu görülmekte olup en yüksek MSE değeri doğrulama veri seti için 0,12 olarak hesaplanmıştır. MSE değerleri açısından sarıçam örnekleri için de benzer sonuçlar çıkmıştır. Burada en yüksek MSE değeri test veri setinde 0,29 olarak elde edilmiştir. Bir diğer performans göstergesi olan korelasyon katsayısı (R)

her iki odun türü için de kabul edilebilir seviyededir. Kayın örneği için R değerleri üç veri seti içinde 1'e oldukça yakın çıkmış olup en düşük değer, doğrulama veri seti için 0,96 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam türünde de tüm veri setleri için R değeri makul seviyede olup en düşük R değeri, test veri seti için 0,99 olarak hesaplanmıştır. Tüm bu sonuçlar beraber düşünüldüğünde her iki odun türü için ağırlık kaybını modellemek amacıyla geliştirilen YSA modellerinin eğitiminin oldukça başarılı olduğu, ezberleme yapmadığı ve genelleme kabiliyetinin yüksek olduğu görülmektedir.

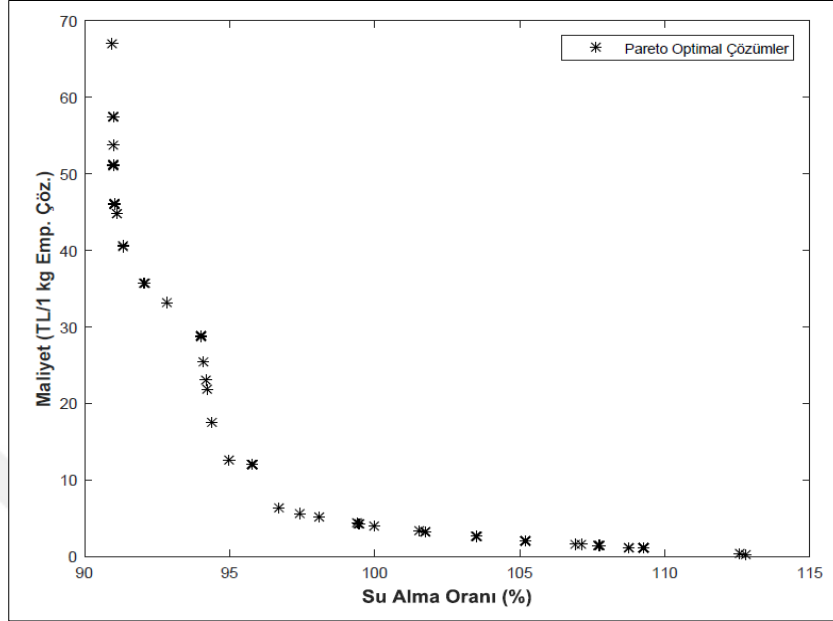


Şekil 103. Ağırlık kaybını tahmin için geliştirilen YSA modellerinin MSE ve R değerleri

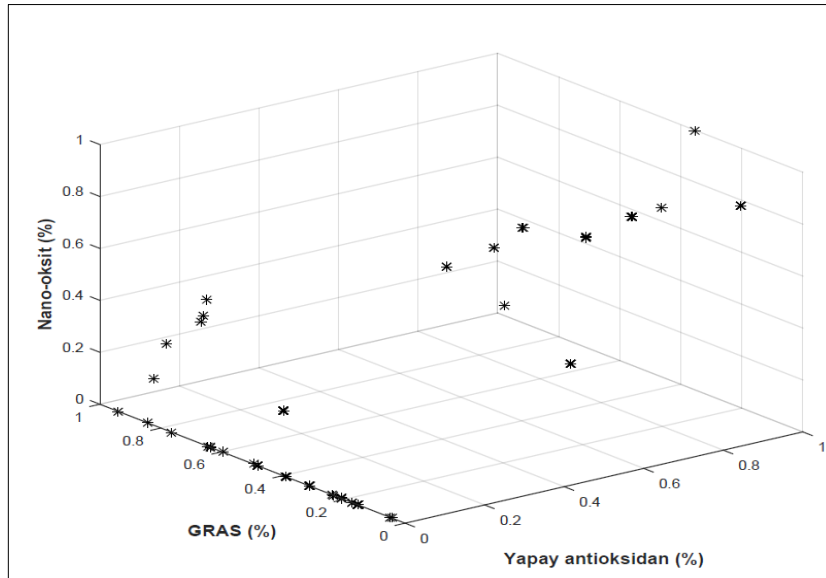
#### 4.3.3.2. Optimizasyon

YSA modellerinin performansı regresyon modellerinin performansından daha yüksek olduğu için optimizasyon yapılırken YSA modelleri kullanılmıştır. Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve su alma oranı olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 104'te gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 105'de verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 89'da gösterilmiştir. Tablo 89'dan görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat ve nano-silisyum dioksit oranı %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,94 olarak elde edilmiştir. Bu sonucun çıkmasında sodyum benzoatın diğerlerine göre daha ucuz olması etkili olmuştur. Sonuç

olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %96,68 ve maliyet 6,29 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 104. Kayın için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey

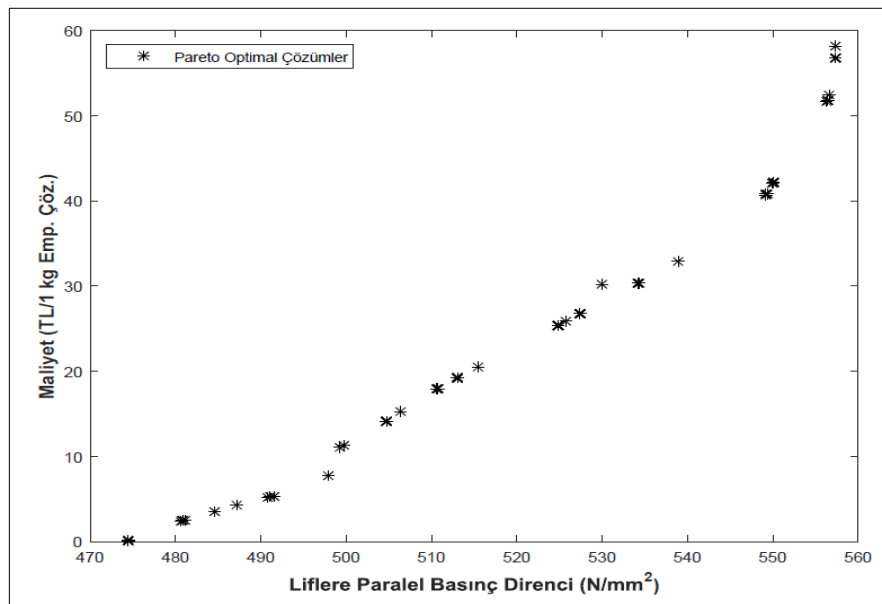


Şekil 105. Kayın için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

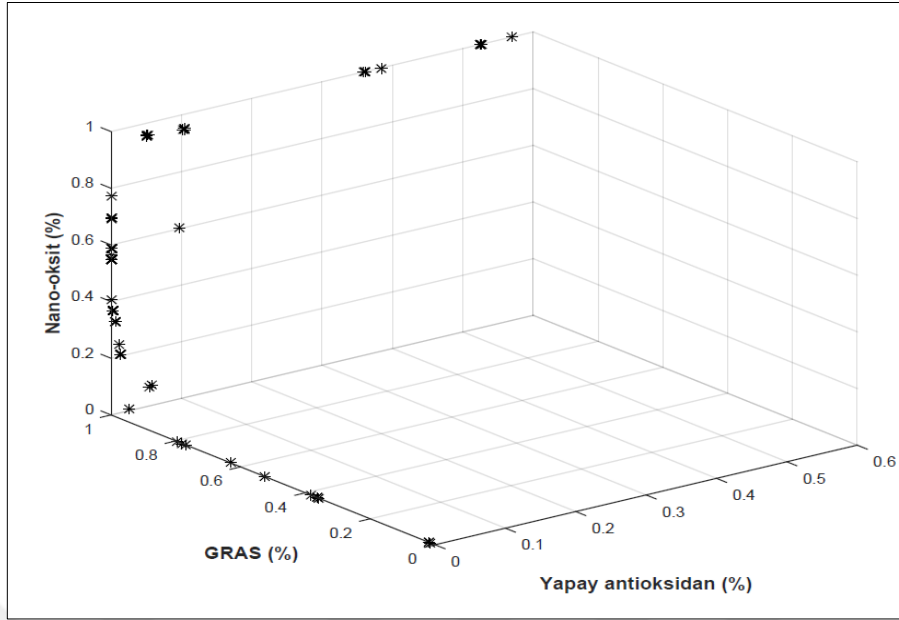
Tablo 89. Kayın için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,00
	Sodyum benzoat oranı (%)	0,94
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,00
<b>Amaç</b>	Su alma Oranı (%)	96,68
<b>Fonksiyonları</b>	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	6,29

Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve liflere paralel basınç direnci olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 106'da gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 107'de verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 90'da gösterilmiştir. Tablo 90'dan görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %1,00 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,77 olarak elde edilmiştir. Bu sonucun çıkmasında sodyum benzoatın diğerlerine göre daha ucuz olması ve nano-silisyum dioksitin liflere paralel basınç direncinde sodyum askorbata göre çok daha yüksek değerler sağlaması etkili olmuştur. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için liflere paralel basınç direnci 538,96 N/mm<sup>2</sup> ve maliyet 32,91 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 106. Kayın için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey

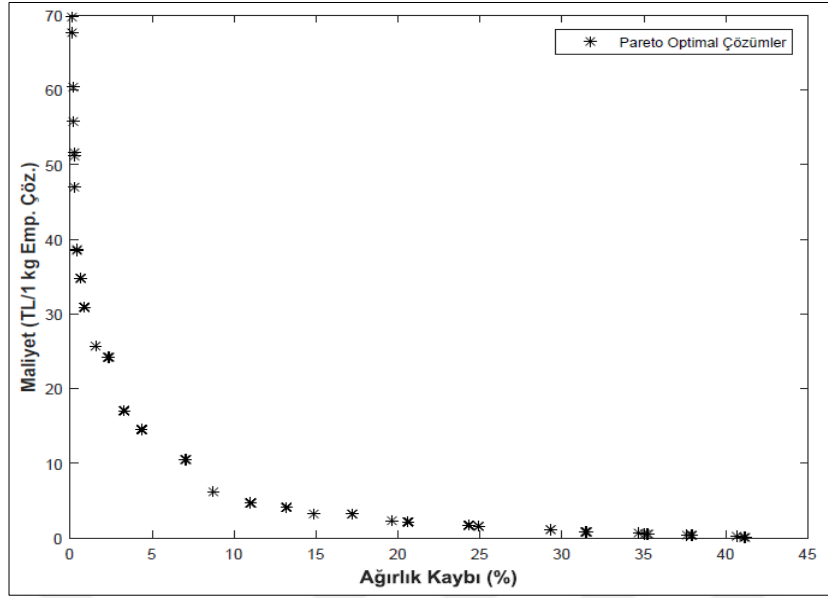


Şekil 107. Kayın için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

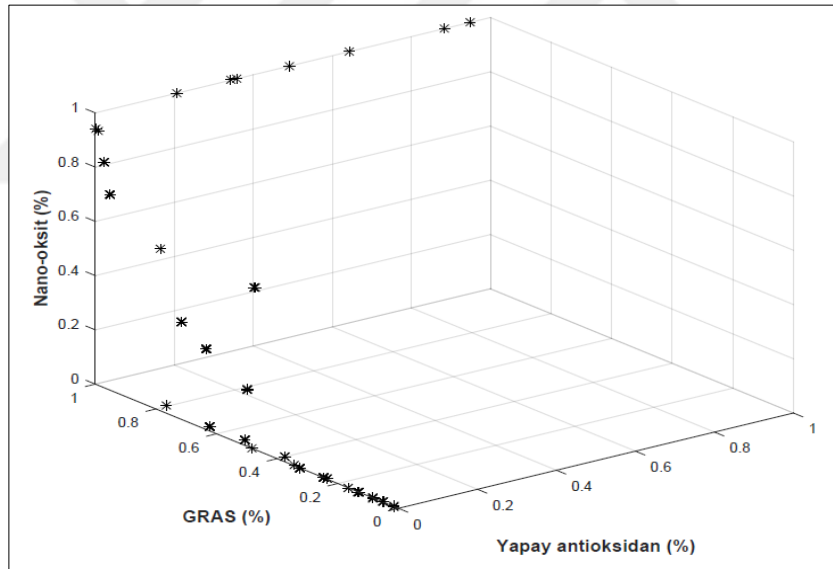
Tablo 90. Kayın için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,00
	Sodyum benzoat oranı (%)	1,00
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,77
<b>Amaç</b>	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	538,9
<b>Fonksiyonları</b>	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	32,91

Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve ağırlık kaybı olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 108’de gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 109’da verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 91’de gösterilmiştir. Tablo 91’den görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,76 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,03 olarak elde edilmiştir. Bu sonucun çıkmasında sodyum benzoatın diğerlerine göre daha ucuz olması etkili olmuştur. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak empenye edilen kayın örneği için ağırlık kaybı oranı %8,71 ve maliyet 6,14 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 108. Kayın için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey

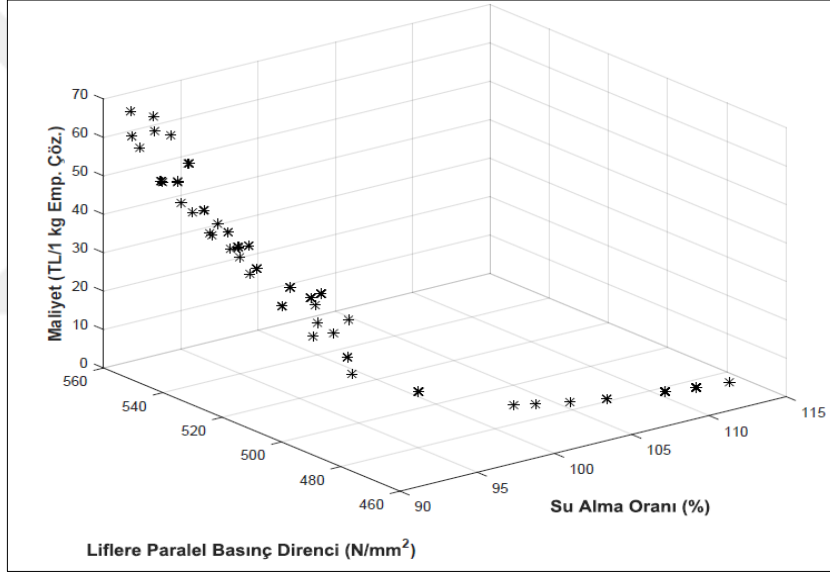


Şekil 109. Kayın için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

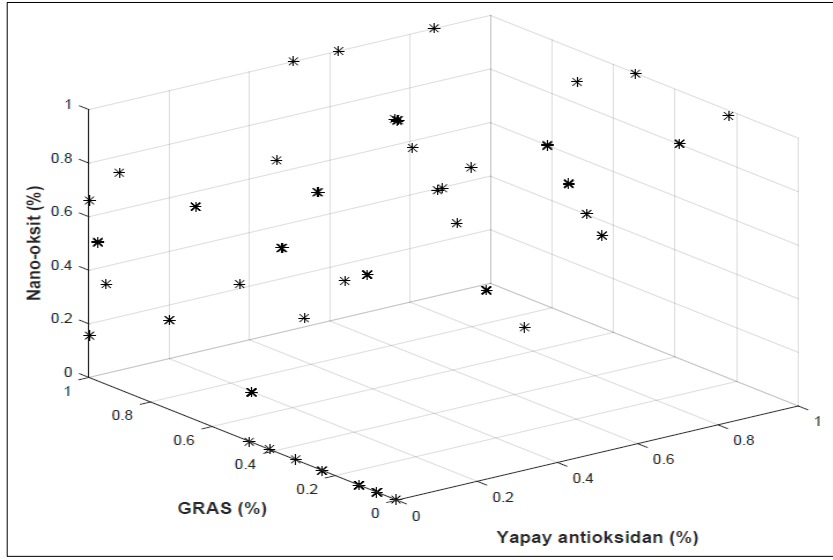
Tablo 91. Kayın için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,00
	Sodyum benzoat oranı (%)	0,76
	Nano-Silisyum dioksit oranı (%)	0,03
<b>Amaç</b>	Ağırlık kaybı (%)	8,71
<b>Fonksiyonları</b>	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	6,14

Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı ve liflere paralel basınç direnci olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 110'da gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 111'de verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her üç amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 92'de gösterilmiştir. Tablo 99'den görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,03 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,94 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,77 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %94,05, liflere paralel basınç direnci 538,32 N/mm<sup>2</sup> ve maliyet 33,82 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 110. Kayın için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey



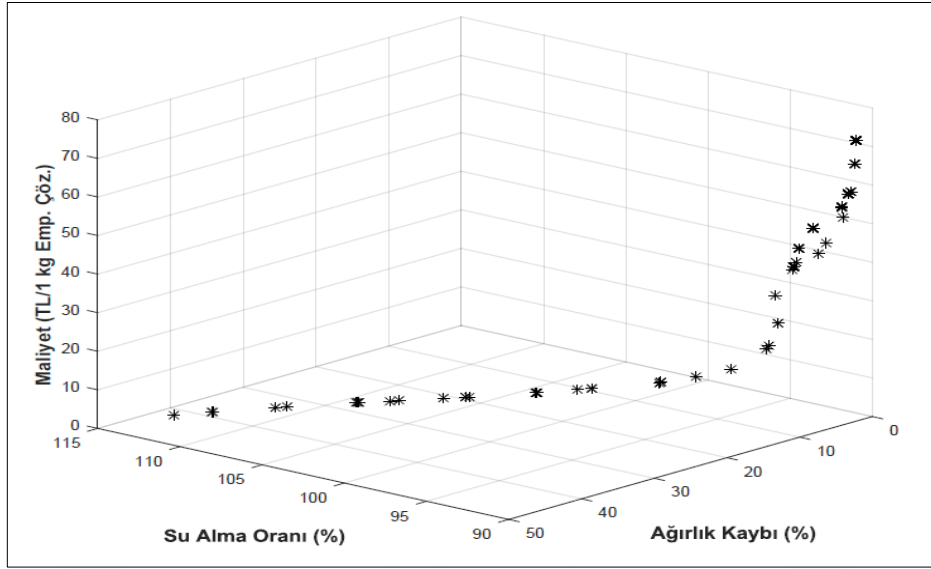
Şekil 111. Kayın için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

Tablo 92. Kayın için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

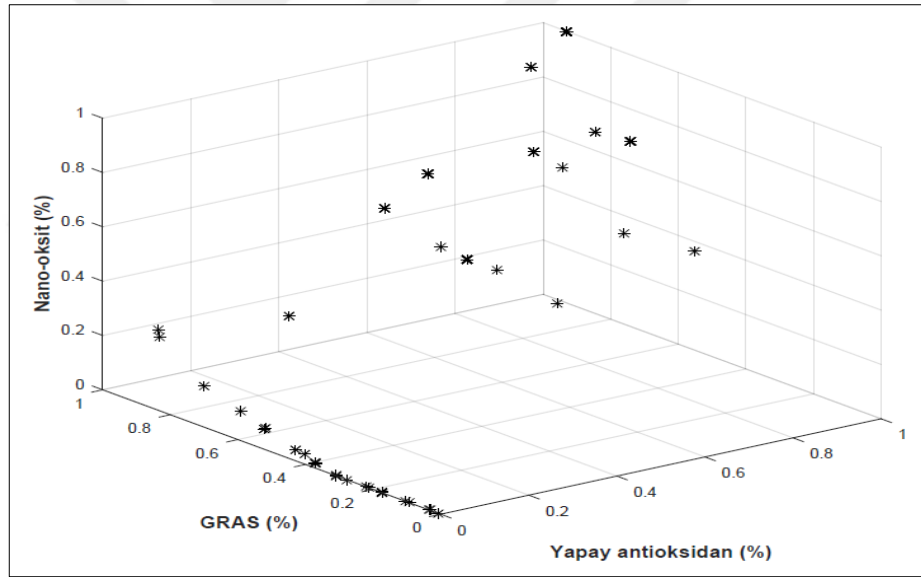
<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,03
	Sodyum benzoat oranı (%)	0,94
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,77
<b>Amaç Fonksiyonları</b>	Su alma Oranı (%)	94,05
	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	538,32
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	33,82

Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı ve ağırlık kaybı olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 112’de gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 113’te verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her üç amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 93’te gösterilmiştir. Tablo 93’ten görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,07 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,92 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,20 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %94,62, ağırlık kaybı oranı %4,21 ve maliyet 15,35 TL olarak hesaplanmıştır.





Şekil 112. Kayın için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey

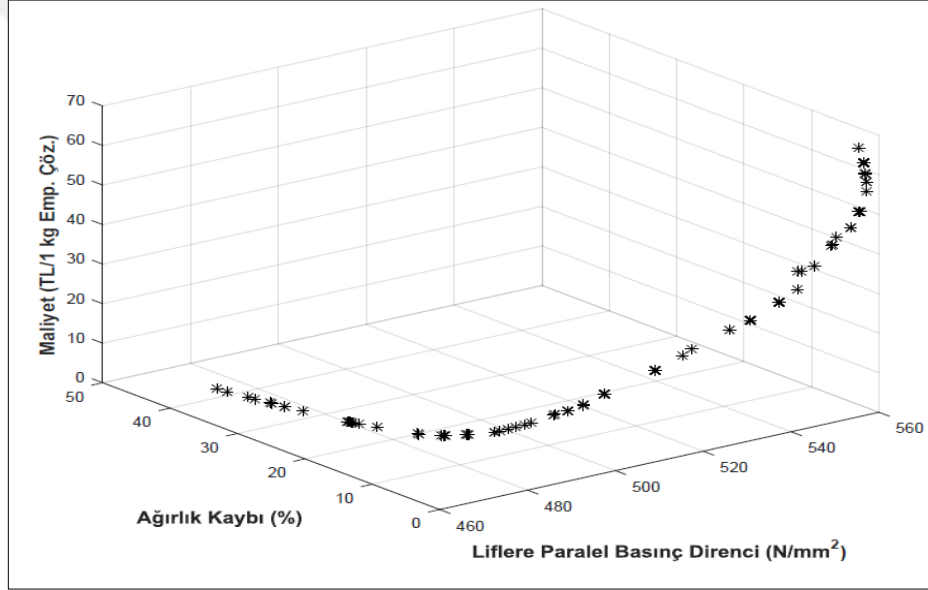


Şekil 113. Kayın için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

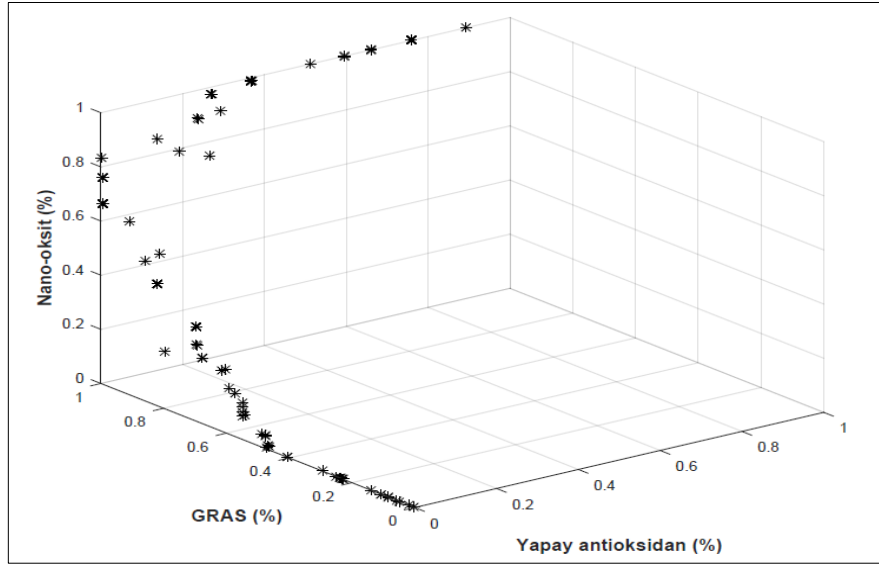
Tablo 93. Kayın için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,07
	Sodyum benzoat oranı (%)	0,92
	Nano-Silisyum dioksit oranı (%)	0,20
<b>Amaç Fonksiyonları</b>	Su alma Oranı (%)	94,62
	Ağırlık kaybı (%)	4,21
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	15,35

Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, ağırlık kaybı ve liflere paralel basınç direnci olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 114'te gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 115'te verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her üç amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 94'te gösterilmiştir. Tablo 94'ten görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %1,00 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,89 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için liflere paralel basınç direnci  $542,35 \text{ N/mm}^2$ , ağırlık oranı %0,60 ve maliyet 34,99 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 114. Kayın için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey



Şekil 115. Kayın için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

Tablo 94. Kayın için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,00
	Sodyum benzoat oranı (%)	1,00
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,83
<b>Amaç Fonksiyonları</b>	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	542,35
	Ağırlık kaybı (%)	0,60
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	34,99

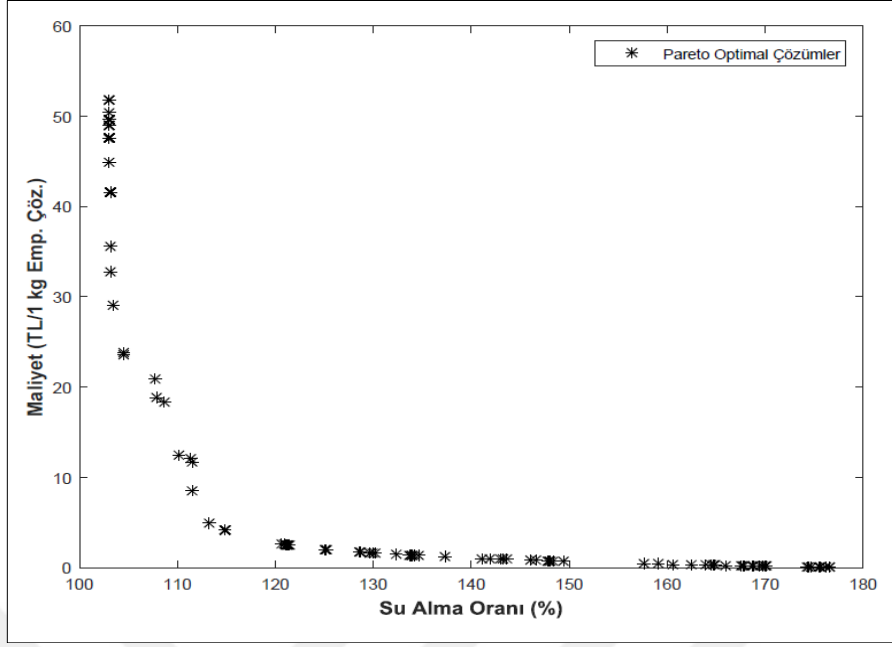
Test edilen tüm analizler ve maliyet göz önüne alınarak yani 4 amaç fonksiyonu kullanılarak iki farklı optimizasyon yapılmıştır. Burdaki farklılık amaç fonksiyonlarının önem dereceleridir. İlk olarak tüm amaç fonksiyonların önem derecesi eşit kabul edilerek 0,25 olarak alınmıştır. İkinci seçim alternatifinde ise maliyet fonksiyonunun önem derecesi artırılarak 0,34 olarak alınmış, diğer amaç fonksiyonlarının önem derecesi birbirine eşit olacak şekilde seçildiği için 0,22'ye düşürülmüştür. Böylece maliyetin seçim sürecine nasıl etki ettiği analiz edilmiştir. Kayın örnekleri için her dört amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında ve değiştirildiğinde elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 95'te gösterilmiştir. Tablo 95'ten görüldüğü gibi amaç fonksiyonlarının önem dereceleri eşit alındığında en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,17 çıkarken sodyum benzoat oranı %1,89 ve nano-silisyum dioksit oranı %1,00 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %93,60, liflere

paralel basınç direnci 550,81 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %0,34 ve maliyet 45,21 TL olarak hesaplanmıştır. Amaç fonksiyonlarının önem dereceleri maliyet hariç eşit alındığında ve maliyet fonksiyonunun önem derecesi artırıldığında en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,00 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,96 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,69 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %94,10, liflere paralel basınç direnci 533,26 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %0,96 ve maliyet 30,08 TL olarak hesaplanmıştır.

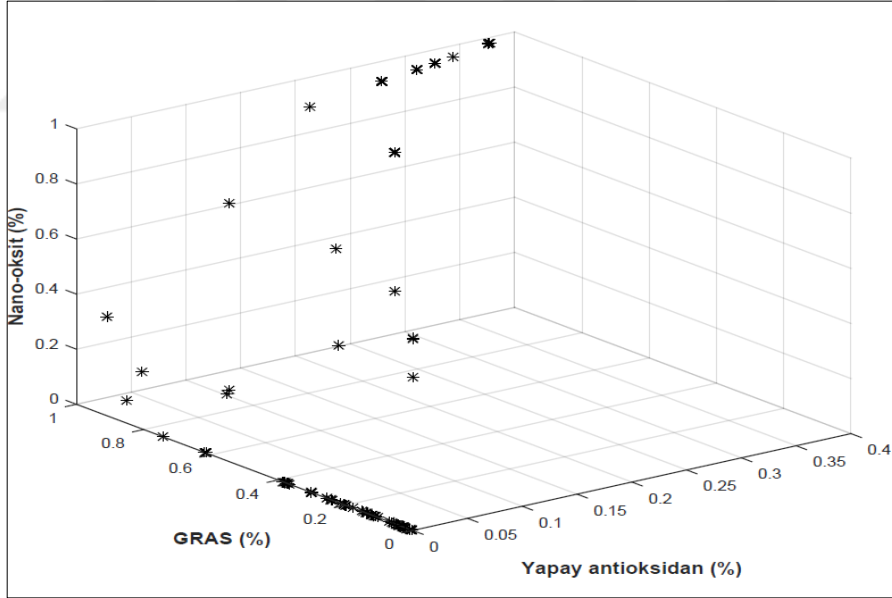
Tablo 95. Kayın için 7 ve 8 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

		<b>Optimizasyon Çalışması:7</b>	<b>Optimizasyon Çalışması:8</b>
<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,17	0,00
	Sodyum benzoat oranı (%)	0,89	0,96
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	1,00	0,69
<b>Amaç Fonksiyonları</b>	Su alma oranı (%)	93,60	94,10
	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	550,81	533,26
	Ağırlık kaybı (%)	0,34	0,96
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	45,21	30,08

Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve su alma oranı olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 116'da gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 117'de verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 96'te gösterilmiştir. Tablo 96'dan görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat ve nano-silisyum dioksit oranı %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,74 olarak elde edilmiştir. Bu sonucun çıkmasında sodyum benzoatın diğerlerine göre daha ucuz olması etkili olmuştur. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için su alma oranı %113,29 ve maliyet 4,97 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 116. Sarıçam için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey

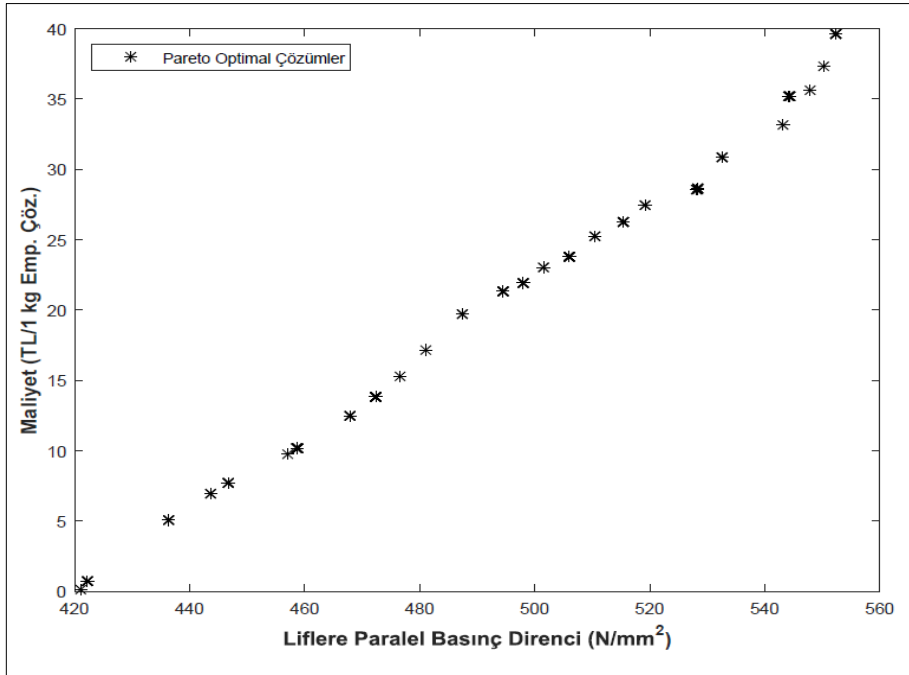


Şekil 117. Sarıçam için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

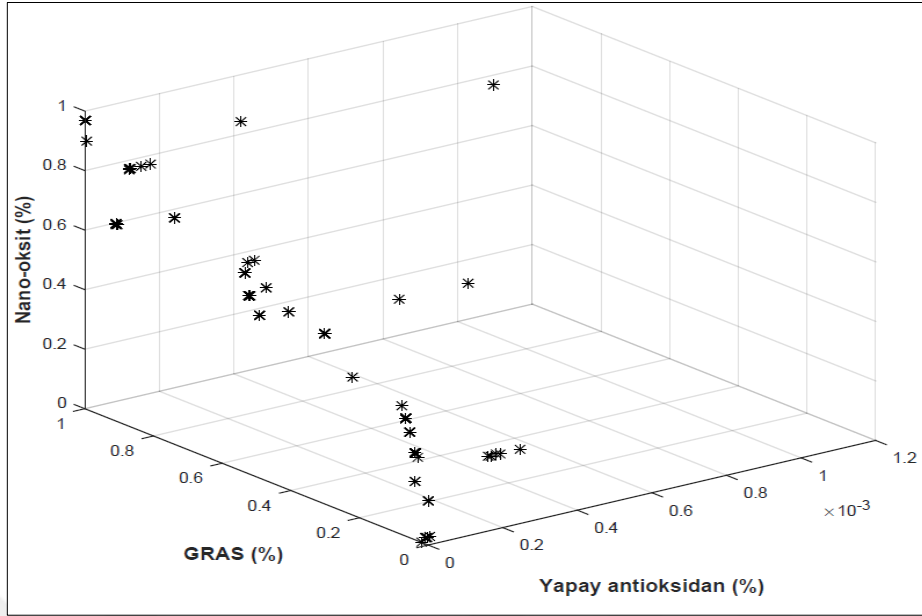
Tablo 96. Sarıçam için 1 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

Karar Değişkenleri	Sodyum askorbat oranı (%)	0,00
	Sodyum benzoat oranı (%)	0,74
	Nano-Silisyum dioksit oranı (%)	0,00
Amaç Fonksiyonları	Su alma oranı (%)	113,29
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	4,97

Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve liflere paralel basınç direnci olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 118’de gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 119’da verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 97’de gösterilmiştir. Tablo 97’den görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,90 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,66 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak empenye edilen sarıçam örneği için liflere paralel basınç direnci 528,44 N/mm<sup>2</sup> ve maliyet 28,63 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 118. Sarıçam için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey

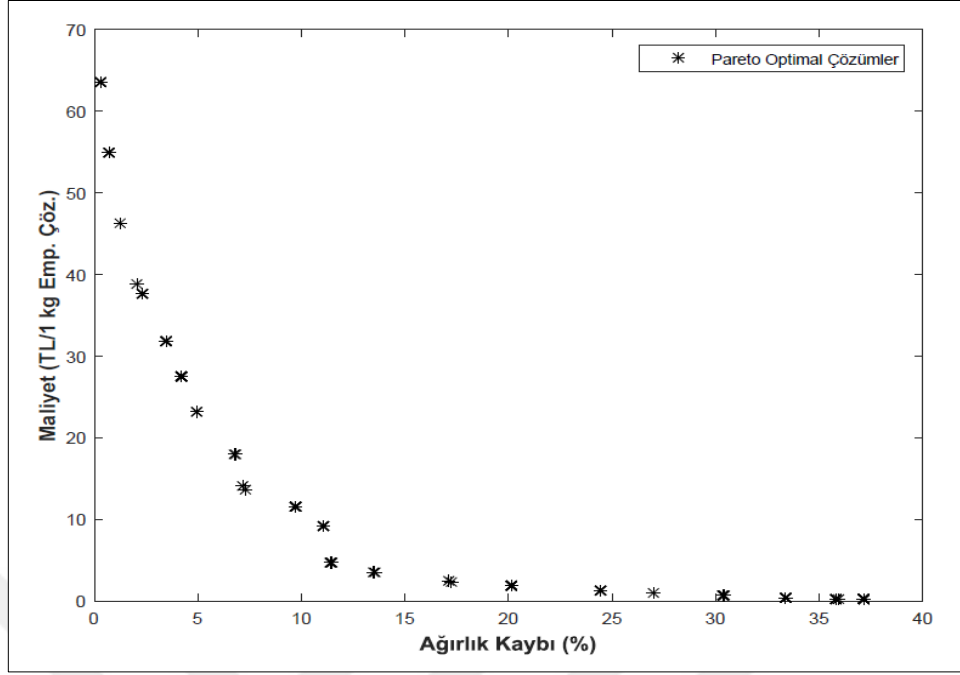


Şekil 119. Sarıçam için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

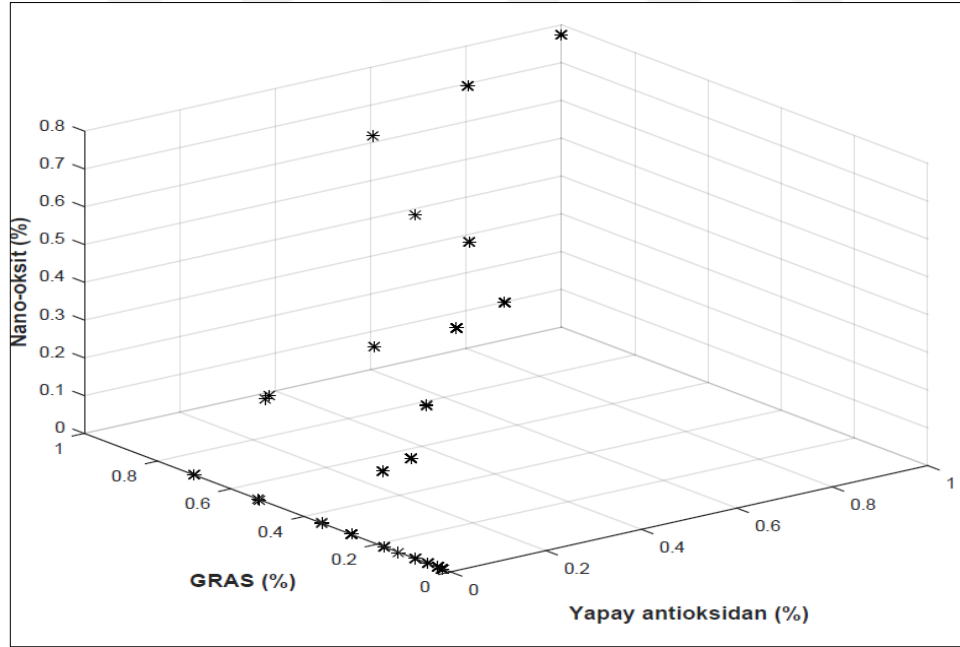
Tablo 97. Sarıçam için 2 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

Karar Değişkenleri	Sodyum askorbat oranı (%)	0,00
	Sodyum benzoat oranı (%)	0,90
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,66
Amaç Fonksiyonları	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	528,44
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	28,63

Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve ağırlık kaybı olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 120’de gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 121’de verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 98’de gösterilmiştir. Tablo 98’den görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat ve nano-silisyum dioksit oranı %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,70 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için ağırlık kaybı oranı %11,42 ve maliyet 4,69 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 120. Sarıçam için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey



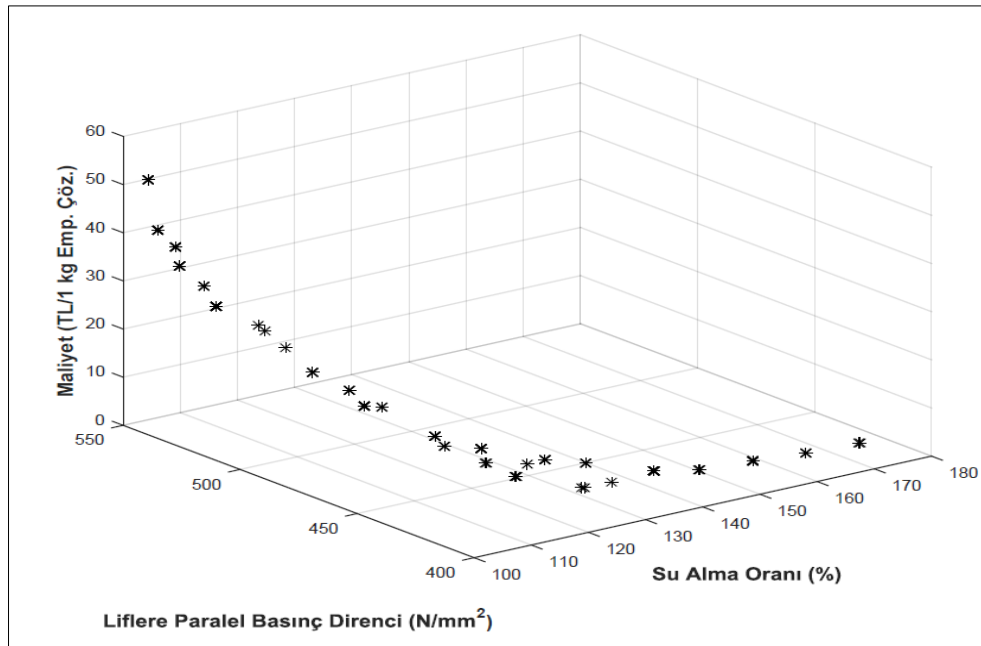
Şekil 121. Sarıçam için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set



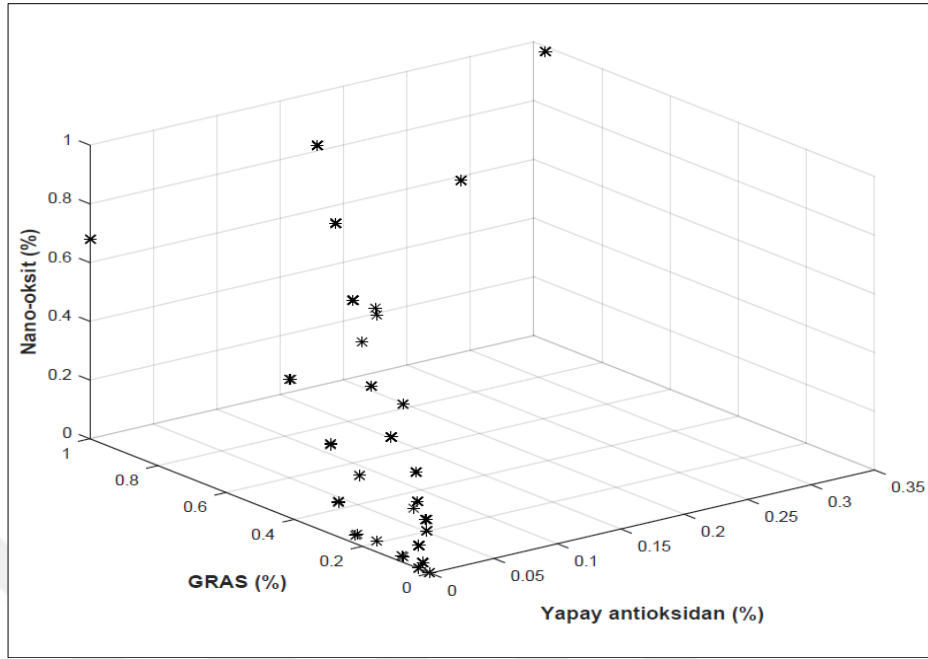
Tablo 98. Sarıçam için 3 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

Karar	Sodyum askorbat oranı (%)	0,00
Değişkenleri	Sodyum benzoat oranı (%)	0,70
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,00
Amaç	Ağırlık kaybı (%)	11,42
Fonksiyonları	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	4,69

Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı ve liflere paralel basınç direnci olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 122’te gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 123’te verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her üç amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 99’da gösterilmiştir. Tablo 99’dan görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,00 çıkarken sodyum benzoat oranı %1,00 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,68 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için su alma oranı %107,50, liflere paralel basınç direnci 533,74 N/mm<sup>2</sup> ve maliyet 29,85 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 122. Sarıçam için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey



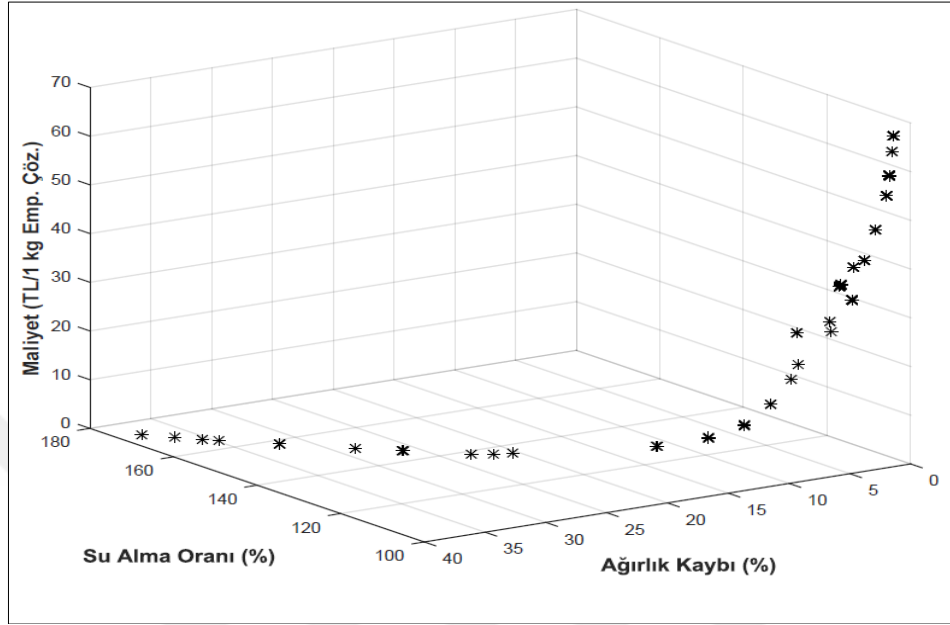
Şekil 123. Sarıçam için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

Tablo 99. Sarıçam için 4 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

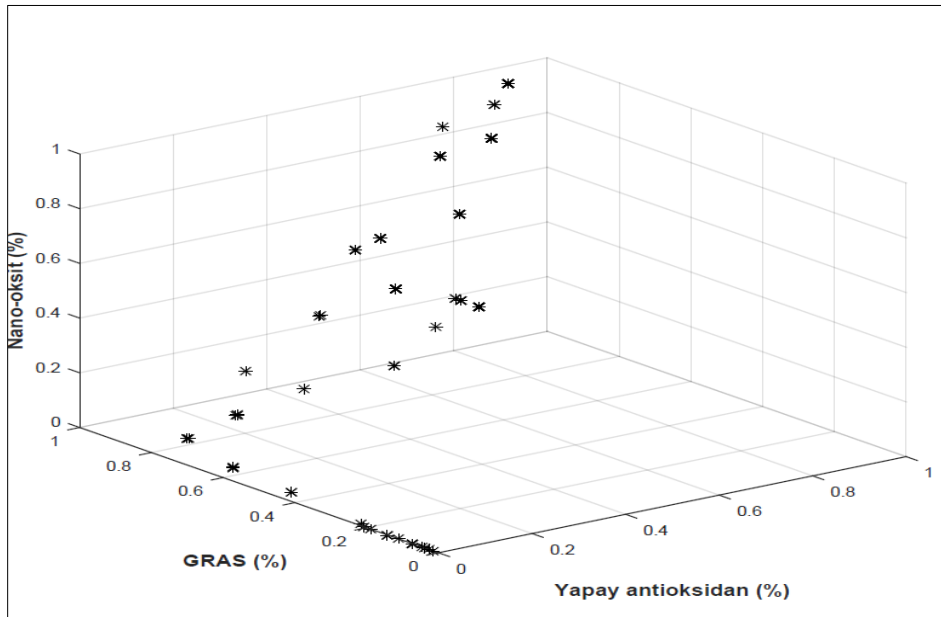
<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,001
	Sodyum benzoat oranı (%)	1,00
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,68
<b>Amaç Fonksiyonları</b>	Su alma oranı (%)	107,50
	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	533,74
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	29,85

Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı ve ağırlık kaybı olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 124'te gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 125'ta verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her üç amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 100'de gösterilmiştir. Tablo 100'den görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,001 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,56 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,24 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı

kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için su alma oranı %111,17, ağırlık kaybı oranı %7,67 ve maliyet 12,15 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 124. Sarıçam için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey

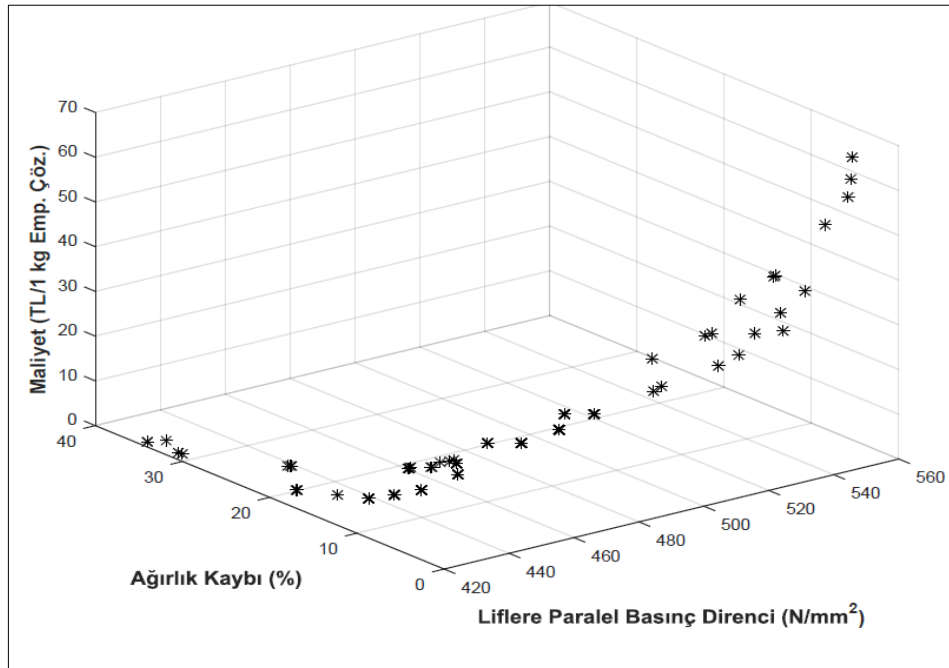


Şekil 125. Sarıçam için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

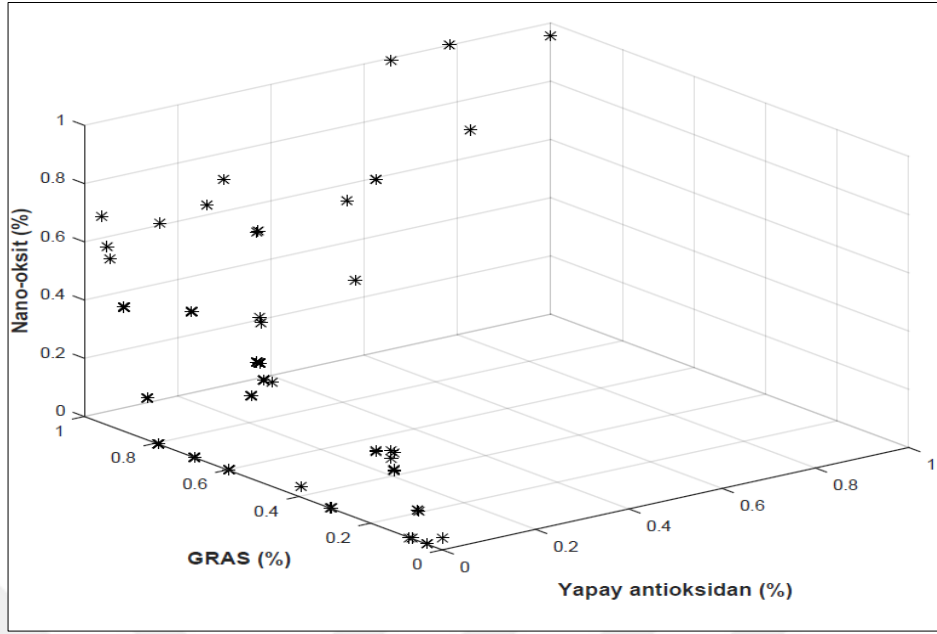
Tablo 100. Sarıçam için 5 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,001
	Sodyum benzoat oranı (%)	0,56
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,24
<b>Amaç Fonksiyonları</b>	Su alma Oranı (%)	111,17
	Ağırlık kaybı (%)	7,67
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	12,15

Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, ağırlık kaybı ve liflere paralel basınç direnci olan optimizasyon işlemi sonucu elde edilen pareto optimal çözümlerden oluşan pareto optimal yüzey Şekil 126'da gösterilmiştir. Bu değerlerin oluşmasını sağlayan pareto set ise Şekil 127'de verilmiştir. Pareto çözümler elde edildikten sonra seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Her üç amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 101'de gösterilmiştir. Tablo 101'den görüldüğü gibi en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,03 çıkarken sodyum benzoat oranı %1,00 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,67 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için liflere paralel basınç direnci 532,79 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık oranı %3,15 ve maliyet 30,75 TL olarak hesaplanmıştır.



Şekil 126. Sarıçam için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal yüzey



Şekil 127. Sarıçam için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait pareto optimal set

Tablo 101. Sarıçam için 6 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

<b>Karar Değişkenleri</b>	Sodyum askorbat oranı (%)	0,03
	Sodyum benzoat oranı (%)	1,00
	Nano-Silisyum dioksit oranı (%)	0,67
<b>Amaç Fonksiyonları</b>	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	532,79
	Ağırlık kaybı (%)	3,15
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	30,75

Sarıçam örnekleri için her dört amaç fonksiyonunun önem derecesi eşit alındığında ve değiştirildiğinde elde edilen nihai seçime ait bilgiler Tablo 102’de gösterilmiştir. Tablo 102’den görüldüğü gibi amaç fonksiyonlarının önem dereceleri eşit alındığında en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,23 çıkarken sodyum benzoat oranı %1,00 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,92 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %103,246, liflere paralel basınç direnci 547,81 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %1,83 ve maliyet 45,31 TL olarak hesaplanmıştır. Amaç fonksiyonlarının önem dereceleri maliyet hariç eşit alındığında ve maliyet fonksiyonunun önem derecesi artırıldığında en uygun seçim için sodyum askorbat oranı %0,10 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,484 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,66 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği

için su alma oranı %105,66, liflere paralel basınç direnci 516,19 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %3,96 ve maliyet 29,09 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 102. Sarıçam için 7 ve 8 numaralı optimizasyon çalışmasına ait nihai seçim

		<b>Optimizasyon Çalışması:7</b>	<b>Optimizasyon Çalışması:8</b>
Karar Değişkenleri	Sodyum askorbat oranı (%)	0,23	0,10
	Sodyum benzoat oranı (%)	1,00	0,48
	Nano-silisyum dioksit oranı (%)	0,92	0,66
Amaç Fonksiyonları	Su alma oranı (%)	103,24	105,66
	Liflere paralel basınç direnci (N/mm <sup>2</sup> )	547,81	516,19
	Ağırlık kaybı (%)	1,83	3,96
	Maliyet (TL/1 kg emp. çöz.)	45,31	29,09

## 5. SONUÇLAR

“Multi-fonksiyonel bazı bileşiklerin odun korumada sinerjik etkilerinin belirlenmesi, modellenmesi ve optimizasyonu” adlı bu tez çalışması üç ana bölüme ayrılarak yürütülmüştür. Elde edilen önemli bulgular/sonuçlar da yine üç ana başlık altında incelenmiştir. İlk bölümde sadece sarıçam odunu örnekleriyle 14 farklı kimyasal kullanılarak çalışılmıştır. İkinci ve üçüncü bölümlerde ise sarıçam ve kayın odunu örnekleri ile çalışılmış, elde edilen sonuçlar yapraklı ve iğne yapraklı ağaçları temsil eden söz konusu türler üzerinden yorumlanmıştır.

### Çalışmanın Birinci Bölümüne Ait Sonuçlar:

- Sarıçam odunu örneklerinin, yaz odunu traheidleri incelendiğinde teğet ve radyal yöndeki boyutları sırasıyla  $11,22 \pm 2,84$  ve  $5,15 \pm 1,81$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Özışını genişliği  $15,72 \pm 7,85$  bulunurken, özışını uzunluğu  $163,03 \pm 25,92$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Tek çeper çapları ise ilkbahar odunu ve yaz odunu için sırasıyla  $3,43 \pm 0,77$  ve  $7,914 \pm 2,09$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.
- Kayın odunu örneklerinin, Yapılan ölçümlere göre teğet yöndeki ilkbahar odunu trahesi  $63,50 \pm 7,86$ , radyal yöndeki ilkbahar odunu trahesi ise  $55,51 \pm 6,07$   $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Yaz odunu traheleri incelendiğinde teğet ve radyal yöndeki boyutları sırasıyla  $36,83 \pm 8,00$  ve  $36,05 \pm 7,85$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Özışını genişliği  $25,03 \pm 7,45$  bulunurken, özışını uzunluğu  $283,88 \pm 52,90$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır. Tek çeper çapları ise ilkbahar odunu ve yaz odunu için sırasıyla  $2,02 \pm 0,56$  ve  $4,51 \pm 1,32$   $\mu\text{m}$  olarak hesaplanmıştır.
- Sarıçam odununun hava kuru özgül ağırlığı  $0,50 \pm 0,05$   $\text{g/cm}^3$  ve tam kuru özgül ağırlığı  $0,45 \pm 0,05$   $\text{g/cm}^3$  olarak bulunmuştur.
- Kayın odununun hava kuru özgül ağırlığı ise  $0,70 \pm 0,04$   $\text{g/cm}^3$  ve tam kuru özgül ağırlığı  $0,65 \pm 0,02$   $\text{g/cm}^3$  olarak hesaplanmıştır.
- Çalışılacak çözelti konsantrasyonunu belirlemek için %1,5, %1,0 ve %0,5 konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmış ve *C. puteana* mantarına karşı agar ortamında anti-fungal aktiviteleri belirlenmiştir. %1,5 konsantrasyonda hazırlanan tüm çözeltiler *C. puteana* mantarını %100 oranında inhibe etmiştir.

- %1,0 konsantrasyonda yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerin antifungal aktivite değerleri %86,79 ile %100,00 arasında değişmiştir. %0,5 konsantrasyonda ise bu değerler %32,49-%80,45 aralığında değişmiştir.
- %1,0 konsantrasyonda GRAS bileşikleriyle hazırlanan çözeltilerin antifungal aktivite değerleri %94,45 ile %100,00 arasında değişmiştir. %0,5 konsantrasyonda ise bu değerler %56,82-%75,54 aralığında değişmiştir.
- %1,0 konsantrasyonda nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerin antifungal aktivite değerleri %90,01 ile %98,71 arasında değişmiştir. %0,5 konsantrasyonda ise bu değerler %50,31-%55,90 aralığında değişmiştir.
- %1,0 konsantrasyonda hazırlanan tüm çözeltilerin mantarı inhibe etme oranı %85 in üzerinde olduğu için hem de diğer testlerle karşılaştırmalarının daha kolay olması açısından çalışılacak konsantrasyon %1,0 olarak seçilmiş ve çalışmanın geri kalan kısmına bu konsantrasyon üzerinden devam edilmiştir.
- %1,0 konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerden eritorbik asit ve potasyum disülfidin sırasıyla 3,17 ve 5,28 pH değerleriyle kuvvetli ve zayıf asit karakterli olduğu, diğer tüm çözeltilerin ise 6,2 ile 10,86 değerleri arasında değiştiği; nötr ya da zayıf alkali karakterli olduğu bulunmuştur.
- %1,0 konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerin antioksidan kapasiteleri en yüksek TBHQ ( $4775,57 \pm 13,03 \mu\text{molFeSO}_47\text{H}_2\text{O/g}$ ), en düşük titanyum dioksit çözeltilerinde ( $21,87 \pm 0,30 \mu\text{molFeSO}_47\text{H}_2\text{O/g}$ ) gözlenmiştir.
- 14 farklı kimyasalla hazırlanan çözeltilerin oduna nüfuz miktarları, en düşük dehidroasetik asit çözeltisiyle ( $4,505 \pm 0,834 \text{ kg/m}^3$ ), en yüksek ise titanyum dioksit çözeltisiyle ( $6,536 \pm 0,863 \text{ kg/m}^3$ ) emprenye edilen odun örneklerinde tespit edilmiştir. Yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucu retensiyon değerleri arasında gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.
- Odun örneklerinin emprenye öncesi tam kuru özgül ağırlıkları  $0,44-0,45 \text{ g/cm}^3$  değerleri arasında değişirken, emprenye sonrası tam kuru özgül ağırlık değerleri artış göstermiş ve  $0,45-0,45 \text{ g/cm}^3$  aralığında değişkenlik göstermiştir.
- Tez kapsamında çalışılan 14 farklı kimyasal arasından sadece kuvvetli asit karakterli olan eritorbik asit çözeltisinin emprenye öncesi 3,17 olan pH değeri  $3,34$ 'e yükselmiştir. Diğer 13 çözeltinin pH değeri emprenye sonrası bir miktar düşüş göstermiştir.



- %1,0 konsantrasyondaki 14 farklı çözeltiliyle emprenye edilen odun örneklerinin su alma oranları 336 saat üzerinden değerlendirildiğinde en yüksek su alma oranı kontrol (emprenyesiz) örneğinde (%177,17±6,87) en düşük su alma oranı ise ZnO ile emprenye edilen odun örneklerinde (%102,49±4,62) görülmüştür.
- Yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin su alma oranları %108,05±4,83 ile %134,25±5,56 arasında değişmiştir
- GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin su alma oranları %116,73±5,05 ile %119,56±4,51 arasında değişmiştir.
- Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin su alma oranları %102,49±4,62 ile %110,18±4,81 arasında değişmiştir.
- Yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin renk değişim analizlerinde açıklık koyuluğu ifade eden  $\Delta L^*$  değeri; 0,94±0,01 ile -25,08±2,28 arasında değişmiştir. Bu grupta, sodyum eritorbat hariç tüm örneklerin  $\Delta a^*$  değerleri pozitif yönde değişmiştir. Yani kırmızı renk yoğunluğu artmıştır. Ayrıca bu gruplardaki tüm örneklerin  $\Delta b^*$  değerleri pozitif yönde değişim göstermiştir yani sarı renk yoğunluğu artmıştır.
- GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin renk değişim analizlerinde açıklık koyuluğu ifade eden  $\Delta L^*$  değeri -2,97±0,44 ile -5,79±0,5 arasında değişmiştir. Bu gruptaki tüm örneklerin hem  $\Delta a^*$  hem de  $\Delta b^*$  değerleri pozitif yönde değişiklik göstermiştir. Tüm örneklerde sarı ve kırmızı renk yoğunluğu artmıştır.
- Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin renk değişim analizlerinde açıklık koyuluğu ifade eden  $\Delta L^*$  değeri -0,79±0,05 ile -9,93±0,26 arasında değişmiştir. Tüm örneklerin  $\Delta a^*$  değerleri pozitif yönde değişiklik göstermiştir. Ayrıca bu grupta, TiO<sub>2</sub> ile emprenye edilen örnekler hariç diğer kimyasallarla emprenye edilen örneklerin  $\Delta b^*$  değerleri pozitif yönde değişiklik göstermiştir
- $\Delta L^*$  değeri baz alındığında, sodyum eritorbat hariç diğer 13 kimyasal, odunun rengini koyulaştırmıştır. En fazla koyulaşma ise etoksikuin ve TBHQ ile emprenye edilen odun örneklerinde görülmüştür.

- Yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kayıpları  $7,76 \pm 1,02$  ile  $9,50 \pm 1,61$  arasında değişmiştir.
- GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kayıpları  $10,01 \pm 1,34$  ile  $11,45 \pm 1,50$  arasında değişmiştir.
- Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin mantar çürüklük testi sonrası ağırlık kayıplarının  $5,38 \pm 0,99$  ile  $7,75 \pm 1,28$  arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol örneğinin ağırlık kaybı ise  $39,47$  olarak bulunmuştur.
- Yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin LPBD değerleri  $404,46 \pm 10,86$  ile  $523,94 \pm 21,54$  N/mm<sup>2</sup> arasında değişmiştir.
- GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin LPBD değerleri  $427,34 \pm 13,11$  ile  $451,63 \pm 15,48$  arasında değişmiştir.
- Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin LPBD değerleri  $422,03 \pm 14,25$  ile  $529,52 \pm 22,20$  N/mm<sup>2</sup> arasında değişmiştir. Kontrol örneğinin LPBD değeri ise  $419,37 \pm 15,11$  N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.
- Yapay antioksidanlarla hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin LOI değerleri  $22,4$  ile  $25,5$  arasında değişmiştir.
- GRAS bileşikleri ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin LOI değerleri  $22,75$  ile  $23,7$  arasında değişmiştir.
- Nano-oksitler ile hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin LOI değerleri  $26,3$  ile  $27,5$  arasında değişmiştir. Kontrol örneğinin LOI değeri ise  $24,3$  olarak bulunmuştur.
- Yapay antioksidanlar kullanılarak hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin kimyasal bağlarında meydana gelen değişiklik,  $1030-1060$  cm<sup>-1</sup> arası pik (selüloz ve hemiselülozda C-O gerilmesi) baz alınarak değerlendirildiğinde çözücü olarak su kullanılan yapay antioksidanların etkisi azdan çoğa şu şekilde sıralanmıştır; eritorbik asit>potasyum disülfid>sodyum askorbat>sodyum eritorbat.
- GRAS kullanılarak hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örneklerinin kimyasal bağlarında meydana gelen değişiklik incelendiğinde, sorbik asitin etanolden daha fazla, dehidroasetik asitin ise etanolden daha az kimyasal değişiklik

meydana getirdiği gözlenmiştir. En az değişiklik ise sodyum benzoat ile emprenye edilen örneklerde görülmüştür.

- Nano-oksit kullanılarak hazırlanan çözeltilerle emprenye edilen odun örnekleri incelendiğinde, kimyasal değişikliğin çoktan aza doğru  $\text{SiO}_2 > \text{TiO}_2 > \text{CeO}_2 > \text{ZnO} > \text{MgO}$  şeklinde sıralandığı gözlenmiştir.
- SEM görüntülerine göre, yapay antioksidanlar ve GRAS bileşikleriyle emprenye edilen örneklerde hem enine hem radyal hem de teğet kesitte emprenye maddeleri odun hücrelerini tıkamış ve bulunduğu yerlere nüfuz etmiştir. Suda çözünmeyen ama suda disperse edilmiş nano-oksitlerde ise odun örneklerinden alınan SEM görüntüleri biraz daha farklı bulunmuş ve nano-oksitlerin odun içerisinde dağılımı daha belirgin bir şekilde görülmüştür.

#### Çalışmanın İkinci Bölümüne Ait Sonuçlar:

- Yapılan tüm analizler ve maliyetler göz önünde bulundurulduğunda ve öncelikli olarak “etkinlik” parametresi esas alındığında yapay antioksidanlar arasından sodyum askorbat, GRAS bileşiklerinden sodyum benzoat ve nano-oksitlerden ise  $\text{SiO}_2$  öne çıkan temel kimyasallar olmuş ve daha sonraki deneylere bu 3 kimyasal ile devam edilmiştir.
- Böcek testi sonuçlarına göre çalışılan kimyasalların böcek larvalarını öldürme oranı düşükten yükseğe; yapay antioksidan < GRAS bileşiği < nano-oksit şeklinde gerçekleşmiştir. Ayrıca bu kimyasalların ikili ve üçlü kombinasyonlarının hepsi test sırasında tüm larvaları öldürmüştür.
- Termit testi sonrası sarıçam örneklerinin görsel değerlendirme analizine göre GRAS ile emprenye edilen örneklerin kontrol örnekleriyle arasında bir fark olmadığı, diğer tekli ve ikili kombinasyonların aynı oranda iyileşme sağladığı ve üçlü kombinasyonun en iyi sonucu verdiği görülmüştür.
- Termit testi sonrası sarıçam örneklerinin termit ölüm oranlarına göre, tekli emprenye uygulamalarının en yüksekten en düşüğe performansı sıralaması; nano-oksit > GRAS > yapay antioksidan şeklinde gerçekleşmiştir. İkili kombinasyonlardaki performans sıralaması ise şu şekilde olmuştur;  $A+G > G+N > A+N$ . En yüksek termit ölüm oranı üçlü kombinasyonda görülmüştür.
- Termit testi sonrası sarıçam örneklerinin tekli emprenye uygulamalarındaki ağırlık kayıpları yüksekten düşüğe sırasıyla nano-oksit > antioksidan > GRAS şeklinde sıralanmıştır. İkili kombinasyonlarda ise ağırlık kaybı miktarları;  $A+N > G+N > A+G$

şeklinde gerçekleşmiştir. En düşük ağırlık kaybı yine üçlü kombinasyonda görülmüştür.

- Termit testi sonrası kayın örneklerinin görsel değerlendirmelerinde, tekli kombinasyonların hepsinin ve de A+G ikili kombinasyonlarının kontrol örnekleriyle arasında bir fark olmadığı görülmüştür.
- Termit testi sonrası kayın örneklerinin termit ölüm oranlarına göre, tekli empenye uygulamalarındaki yüksekte düşüğe performansı sıralaması; GRAS>antioksidan>nano-oksit şeklinde gerçekleşmiştir. Bu testte ikili kombinasyonlardaki A+G varyasyonu hariç diğer ikili kombinasyonlar ve üçlü kombinasyondaki varyasyonlarda termitlerin tamamı ölmüştür.
- Termit testi sonrası kayın örneklerinin ağırlık kayıplarında, tekli empenye uygulamaların birbirleri arasında pek bir fark olmadığı görülmüştür. İkili kombinasyonlarda ise çoktan aza doğru ağırlık kaybı sıralaması şu şekilde gerçekleşmiştir; A+G> G+N>A+N. En düşük ağırlık kaybı yine üçlü kombinasyonda görülmüştür.
- Mantar çürüklük testine maruz bırakılan sarıçam odunu örneklerinin tekli empenye uygulamalarında ağırlık kayıplarının yüksekte düşüğe doğru GRAS>antioksidan>nano-oksit şeklinde sıralandığı görülmüştür. İkili kombinasyonlardaki ağırlık kaybı sıralaması A+G> G+N> A+N olarak bulunmuştur. İkili kombinasyonlarda A+N kombinasyonu ile empenye edilen örnekler diğer iki kombinasyon ile empenye edilen örneklerden 4-10 kat daha az ağırlık kaybına uğramıştır. En düşük ağırlık kaybı ise üçlü kombinasyonda görülmüştür.
- Mantar çürüklük testine maruz bırakılan kayın odunu örneklerinin tekli empenye uygulamalarında ağırlık kayıplarının yüksekte düşüğe doğru sarıçam odunu örneklerinde olduğu gibi GRAS>antioksidan>nano-oksit şeklinde sıralandığı görülmüştür. İkili kombinasyonlardaki ağırlık kaybı sıralaması A+G>A+N>G+N olarak bulunmuştur. İkili kombinasyonlarda G+N kombinasyonu ile empenye edilen örnekler diğer iki kombinasyon ile empenye edilen örneklerden 4-6 kat daha az ağırlık kaybına uğramıştır. En düşük ağırlık kaybı ise yine üçlü kombinasyonda görülmüştür.
- Sarıçam odun örnekleri için antioksidan ve GRAS bileşiği ile GRAS bileşiği ve nano-oksit ikili kombinasyonu ile 3 kimyasal grubundan seçilerek hazırlanan üçlü kombinasyonun sinerjik etkiye sahip olduğu görülmüştür.

- Kayın örnekleri için antioksidan ve nano-oksit ikili kombinasyonunun sinerjik etki gösterdiği görülmüştür. Ayrıca sarıçam odununda olduğu gibi 3 kimyasal grubundan seçilerek hazırlanan üçlü kombinasyonun sinerjik etkiye sahip olduğu görülmüştür.

#### Çalışmanın Üçüncü Bölümüne Ait Sonuçlar:

- Emprenye edilen tüm grupların kontrol örneğinden daha az su alma oranı değerleri verdiği görülmüştür. Tekli kombinasyonlar incelendiğinde kimyasal maddenin konsantrasyonun artmasıyla üç kimyasal grup için de su alma oranının azaldığı tespit edilmiştir. İkili kombinasyonlar incelendiğinde ise ilginç şekilde yapay antioksidan ve GRAS bileşikleri kombinasyonunun su alma oranlarının arttığı görülmektedir. Bu durum hem sarıçam hem de kayın odun örnekleri için geçerlidir.
- Nano-oksit ile ikili kombinasyon yapıldığı zaman örneklerin su alma oranlarının azaldığı tespit edilmiştir.
- Sarıçam odun örnekleri üçlü kombinasyonlarla emprenye edildiği zaman en düşük su alma oranı 23. gruptaki (%0,5 Sodyum askorbat, %1,0 Sodyum benzoat ve %1,0 Silisyum dioksit kombinasyonu) örneklerde tespit edilmiştir.
- Kayın odun örneklerinde ise en düşük su alma oranı 25. gruptaki (%1,0 Sodyum askorbat, %0,5 Sodyum benzoat ve %1,0 Silisyum dioksit kombinasyonu) örneklerde hesaplanmıştır.
- Tek madde ile emprenye edilen gruplar arasında sadece nano-oksit ile emprenye edilen grubun her iki ağaç türü için de diğer iki gruptan daha yüksek LPBD değerleri verdiği görülmüştür. Sadece GRAS bileşiği ile emprenye edilen gruplar ise sadece yapay antioksidan ile emprenye edilen gruplardan bir miktar daha yüksek LPBD değerleri sergilemiştir ve bu durum da her iki ağaç türü için geçerlidir.
- İkili kombinasyonlar ile emprenye edilen örneklerde sarıçam odunu için GRAS ve nano-oksit kombinasyonları en yüksek LPBD değerlerini vermiştir. Bu sırayı yüksekten aza doğru olmak üzere yapay antioksidan ve nano-oksit karışımı ve daha sonra yapay antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonları izlemiştir. Bu durum kayın odunu için farklılaşmıştır. Yapay antioksidan ve nano-oksit kombinasyonları en yüksek LPBD değerlerini verirken bu sırayı GRAS bileşiği ve nano-oksit kombinasyonları ve daha sonra da yapay antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonu ile emprenye edilen gruplar takip etmiştir. Antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonlarıyla emprenye edilen örnekler her iki ağaç türü için de ikili kombinasyonlar arasında en düşük değerleri veren grup olarak tespit edilmiştir.

- Üçlü kombinasyonlarla emprenye edilen örneklerde nano-oksitin yüzde konsantrasyon miktarı arttıkça her grupta LPBD değerleri yükselmiştir. Bu durum her iki ağaç türü için de geçerlidir. Sarıçam odunu örneklerinde en yüksek LPBD değerini 19. grup %1,0'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) örnekleri vermiştir. Kayın örneklerinde ise en yüksek LPBD değeri 23. grup (%0,5'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) örneklerinde gözlenmiştir.
- Tek madde ile emprenye edilen gruptaki odun örneklerinin mantar çürüklük testinde, sadece nano-oksit ile emprenye edilen grubun her iki ağaç türü için de diğer iki gruptan daha düşük ağırlık kaybına uğradığı tespit edilmiştir. Sadece GRAS bileşiği ile emprenye edilen gruplar ise sadece yapay antioksidan ile emprenye edilen gruptan daha yüksek ağırlık kaybına uğramıştır ve bu durum her iki ağaç türü için geçerlidir.
- İkili kombinasyonlarla emprenye edilen gruptaki sarıçam odunu örneklerinin mantar çürüklük testinde, yapay antioksidan ve nano-oksit kombinasyonları ile emprenye edilen örneklerde, en düşük ağırlık kaybı değerlerine ulaşılmıştır. Bu sırayı düşükten yükseğe doğru olmak üzere GRAS bileşiği ve nano-oksit karışımı ve daha sonra yapay antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonları izlemiştir. Bu durum kayın odunu için farklılaşmıştır. GRAS bileşiği ve nano-oksit kombinasyonları en düşük ağırlık kaybı değerlerini verirken bu sırayı yapay antioksidan ve nano-oksit kombinasyonları ve daha sonra yapay antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonu ile emprenye edilen gruplar takip etmiştir. Antioksidan ve GRAS bileşiği kombinasyonlarıyla emprenye edilen örnekler her iki ağaç türü için de ikili kombinasyonlar arasında en yüksek ağırlık kaybı değerlerini veren grup olarak tespit edilmiştir.
- Üçlü kombinasyonlarla emprenye edilen gruptaki odun örneklerinin mantar çürüklük testinde nano-oksitin yüzde konsantrasyon miktarı arttıkça her gruptaki ağırlık kaybı değerleri azalmıştır. Bu durum her iki ağaç türü için de geçerlidir. Sarıçam odunu örneklerinde en düşük ağırlık kaybı 27. grup %1,0'lik Sodyum askorbat + %1,0'lik Sodyum benzoat + %1,0'lik Silisyum dioksit kombinasyonu) örneklerinde gözlenmiştir. Bu durum kayın odunu örnekleri için de geçerlidir.
- Su alma oranının regresyon ile modellenmesi sonucu elde edilmiş regresyon modelinin standart hatası kayın ve sarıçam için sırasıyla 3,19 ve 11,49 olarak

çıkmiştir. Bu modelin R değeri kayın için 0,84 iken sarıçam için 0,68 olarak hesaplanmıştır.  $R^2$  değerleri kayın ve sarıçam için sırasıyla 0,70 ve 0,47 olarak hesaplanmıştır.

- Liflere paralel basınç direnci değerlerinin regresyon ile modellenmesi sonucu elde edilmiş regresyon modelinin standart hatası kayın ve sarıçam için sırasıyla 6,48 ve 8,22 olarak çıkmıştır. Bu modelin R değeri kayın için 0,96 iken sarıçam için 0,98 olarak hesaplanmıştır.  $R^2$  değerleri kayın ve sarıçam için sırasıyla 0,93 ve 0,96 olarak hesaplanmıştır.
- Mantar çürüklük testi sonrası örneklerin ağırlık kaybı değerlerinin regresyon ile modellenmesi sonucu elde edilmiş regresyon modelinin standart hatası kayın ve sarıçam için sırasıyla 6,11 ve 5,42 olarak bulunmuştur. Bu modelin R değeri kayın için 0,71 iken sarıçam için 0,74 olarak hesaplanmıştır.  $R^2$  değerleri kayın ve sarıçam için sırasıyla 0,50 ve 0,55 olarak hesaplanmıştır.
- Her iki odun türü için su alma oranı değerlerinin modellenmesi YSA ile yapıldığı zaman, kayın için yapılan denemelerde en uygun ağ yapısı 3 gizli nöron ile elde edilirken sarıçam için 4 gizli nörona en verimli ağ elde edilmiştir.
- Su alma oranı YSA modelinin kayın örneği için en yüksek MSE değeri test veri setinde 3,39 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam örneği için en yüksek MSE değeri test veri setinde 2,41 olarak elde edilmiştir. Kayın örneği için R değerleri üç veri seti içinde 1'e oldukça yakın çıkmış olup en düşük değer test veri seti için 0,95 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam türünde de tüm veri setleri için R değeri makul seviyede olup en düşük R değeri test için 0,95 olarak hesaplanmıştır.
- Her iki odun türü için liflere paralel basınç direnci değerlerinin modellenmesi YSA ile yapıldığı zaman kayın için yapılan denemelerde en uygun ağ yapısı 2 gizli nöron ile elde edilirken sarıçam için 6 gizli nörona en verimli ağ elde edilmiştir.
- Liflere paralel basınç direnci YSA modelinin kayın örneği için en yüksek MSE değeri test veri setinde 19,08 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam örneği için en yüksek MSE değeri test veri setinde 17,85 olarak elde edilmiştir. Kayın örneği için R değerleri üç veri seti içinde 1'e oldukça yakın çıkmış olup en düşük değer test veri seti için 0,974 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam türünde de tüm veri setleri için R değeri makul seviyede olup en düşük R değeri test için 0,99 olarak hesaplanmıştır.

- Her iki odun türü için ağırlık kaybı değerlerinin modellenmesi YSA ile yapıldığı zaman, kayın ve sarıçam için yapılan denemelerde en uygun ağ yapısı 3 gizli nöron ile elde edilmiştir.
- Ağırlık kaybı oranları YSA modelinin kayın örneği için en yüksek MSE değeri doğrulama veri seti için 0,12 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam örneği için en yüksek MSE değeri test veri setinde 0,29 olarak elde edilmiştir. Kayın örneği için R değerleri üç veri seti içinde 1'e oldukça yakın çıkmış olup en düşük değer doğrulama veri seti için 0,96 olarak hesaplanmıştır. Sarıçam türünde de tüm veri setleri için R değeri makul seviyede olup en düşük R değeri test için 0,99 olarak hesaplanmıştır.
- YSA modellerinin performansı regresyon modellerinin performansından daha yüksek olduğu için optimizasyon yapılırken YSA modelleri kullanılmıştır.
- Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve su alma oranı (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat ve nano-silisyum dioksit için %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,94 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %96,68 ve maliyet 6,29 TL olarak hesaplanmıştır.
- Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve liflere paralel basınç direnci (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat için %0 çıkarken sodyum benzoat için %1,00 ve nano-silisyum dioksit için %0,77 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için liflere paralel basınç direnci 538,96 N/mm<sup>2</sup> ve maliyet 32,91 TL olarak hesaplanmıştır.
- Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve ağırlık kaybı (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat için %0 çıkarken sodyum benzoat için %0,76 ve nano-silisyum dioksit için %0,03 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için ağırlık kaybı oranı %8,71 ve maliyet 6,17 TL olarak hesaplanmıştır.
- Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı ve liflere paralel basınç direnci (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı, sodyum askorbat için %0,03 çıkarken sodyum benzoat için %0,94 ve nano-silisyum dioksit için %0,77 olarak elde



edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %94,05, liflere paralel basınç direnci 538,32 N/mm<sup>2</sup> ve maliyet 33,82 TL olarak hesaplanmıştır.

- Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı ve ağırlık kaybı (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat için %0,07 çıkarken sodyum benzoat için %0,92 ve nano-silisyum dioksit için %0,20 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %94,62, ağırlık kaybı oranı %4,21 ve maliyet 15,35 TL olarak hesaplanmıştır.
- Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, ağırlık kaybı ve liflere paralel basınç direnci (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat için %0 çıkarken sodyum benzoat için %1,00 ve nano-silisyum dioksit için %0,89 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için liflere paralel basınç direnci 542,35 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %0,60 ve maliyet 34,99 TL olarak hesaplanmıştır.
- Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybı (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, en uygun sodyum askorbat oranı %0,17 çıkarken sodyum benzoat oranı %1,89 ve nano-silisyum dioksit oranı %1,00 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %93,60, liflere paralel basınç direnci 550,81 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %0,34 ve maliyet 45,21 TL olarak hesaplanmıştır.
- Kayın örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybı (önem dereceleri maliyet hariç eşit ve maliyet fonksiyonunun önem derecesi daha yüksek) olan optimizasyon işlemi sonucu, en uygun sodyum askorbat oranı %0,00 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,96 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,69 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen kayın örneği için su alma oranı %94,10, liflere paralel basınç direnci 533,26 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %0,96 ve maliyet 30,08 TL olarak hesaplanmıştır.
- Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve su alma oranı (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat ve nano-silisyum dioksit için %0

çıkarken sodyum benzoat için %0,74 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için su alma oranı %113,29 ve maliyet 4,97 TL olarak hesaplanmıştır.

- Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve liflere paralel basınç direnci (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat için %0 çıkarken sodyum benzoat için %0,90 ve nano-silisyum dioksit için %0,66 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için liflere paralel basınç direnci 528,44 N/mm<sup>2</sup> ve maliyet 28,63 TL olarak hesaplanmıştır.
- Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet ve ağırlık kaybı (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı için sodyum askorbat ve nano-silisyum dioksit oranı %0 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,700 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için ağırlık kaybı oranı %11,42 ve maliyet 4,69 TL olarak hesaplanmıştır.
- Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı ve liflere paralel basınç direnci (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat için %0,00 çıkarken sodyum benzoat için %1,00 ve nano-silisyum dioksit için %0,68 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için %107,50, liflere paralel basınç direnci 533,74 N/mm<sup>2</sup> ve maliyet 29,85 TL olarak hesaplanmıştır.
- Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı ve ağırlık kaybı (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat için %0,001 çıkarken sodyum benzoat için %0,56 ve nano-silisyum dioksit için %0,24 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için su alma oranı %111,17, ağırlık kaybı oranı %7,67 ve maliyet 12,15 TL olarak hesaplanmıştır.
- Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, ağırlık kaybı ve liflere paralel basınç direnci (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, elde edilen en uygun konsantrasyon oranı sodyum askorbat için %0,03 çıkarken sodyum benzoat için %1,00 ve nano-silisyum dioksit için %0,67 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için liflere

paralel basınç direnci 532,79 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık oranı %3,15 ve maliyet 30,75 TL olarak hesaplanmıştır.

- Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybı (amaç fonksiyonlarının önem derecesi eşit) olan optimizasyon işlemi sonucu, en uygun sodyum askorbat oranı %0,23 çıkarken sodyum benzoat oranı %1,00 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,92 olarak elde edilmiştir. Bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için su alma oranı %103,24, liflere paralel basınç direnci 547,81 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %1,83 ve maliyet 45,31 TL olarak hesaplanmıştır.
- Sarıçam örnekleri için amaç fonksiyonları maliyet, su alma oranı, liflere paralel basınç direnci ve ağırlık kaybı (önem dereceleri maliyet hariç eşit ve maliyet fonksiyonunun önem derecesi daha yüksek) olan optimizasyon işlemi sonucu, en uygun sodyum askorbat oranı %0,10 çıkarken sodyum benzoat oranı %0,48 ve nano-silisyum dioksit oranı %0,66 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu karışım oranı kullanılarak emprenye edilen sarıçam örneği için su alma oranı %105,66, liflere paralel basınç direnci 516,19 N/mm<sup>2</sup>, ağırlık kaybı oranı %3,96 ve maliyet 29,09 TL olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması ahşap bilimi ve teknolojisine optimizasyon çalışması ile daha az madde kullanımı, daha az maliyet, daha az iş gücü, daha az çevre kirliliği, daha az zaman kaybı gibi birçok kazanım aynı anda katkı sağlamaktadır.

## 6. ÖNERİLER

“Multi-Fonksiyonel Bazı Bileşiklerin Odun Korumada Sinerjik Etkilerinin Belirlenmesi ve Çok Amaçlı Optimizasyonu” adlı bu tez çalışması üç ana bölüme ayrılarak yürütülmüştür. Her bir bölümden elde edilen bulgular bir sonraki bölümün alt basamağı olarak düşünülmüş, optimum sonuçları veren kimyasallarla sonraki bölümler için yeni deneme desenleri oluşturulmuştur. Bu çerçevede, iğne yapraklı ağaçları temsilen sarıçam, yapraklı ağaçları temsilen de kayın odunu örneklerinin ortaya koyduğu performans değerlendirmeleri; fiziksel, mekanik, biyolojik bazı testlerle ve çeşitli veri modelleme teknikleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

Bilindiği üzere odun esaslı ürünler konut yapımında, park bahçe elemanlarında, mobilya yapımında, tel direklerinde, demir yolu traverslerinde, zemin döşemelerinde ve bunlara benzer birçok uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer yandan, doğal ve organik bir malzeme olduğu için sürekli mantar ve böcek, yangın, rutubet gibi biyotik ve abiyotik zarar etmenlerinin olumsuz etkisine maruz kalmaktadır. Ahşabı biyotik ve abiyotik zararlılara karşı korumak üzere günümüze dek farklı birçok ön koruma yöntemi ve maddesi geliştirilmiştir. En fazla uygulanan yöntemlerden birisi basınç/vakum kullanılan ön koruma (emprenye) işlemidir. Piyasadaki emprenye maddelerinden bazıları çevre ve insan sağlığı açısından birtakım riskler taşımaktadır. Dolayısıyla, riskli olduğu düşünülen kimyasalların kullanımları insan temasının olup olmamasına göre yer yer kısıtlanmış ya da tamamen yasaklanmıştır. Sonuç olarak, daha çevre dostu, etkili, alternatif ahşap koruyuculara ihtiyaç vardır. Kullanılacak emprenye maddelerinin ve konsantrasyonlarının her ülkenin kendi ekosistemindeki ihtiyaçları kapsayacak genişlikte ve bir o kadar da spesifik çözümler sunacak yeterlilikte olması gerekir. Bu çerçevede son zamanlarda multi-fonksiyonel bileşiklerin odun koruma endüstrisinde kullanılabilirliğine dair çalışmaların ivme kazandığı görülmektedir. Bu tarz bileşiklerin aynı formülasyonda bir araya getirilmesiyle sinerjik etki oluşturmaları beklenmekte ve tek başlarına gösterecekleri etkinlikten çok daha fazlasını, tamamlayıcı bir başka bileşiklerle göstermeleri ümit edilmektedir. Bu tez çalışmasında da, yapay antioksidanların, GRAS bileşiklerinin ve nano-oksitlerin kendi aralarında odun koruma etkinliği bakımından sinerjik bir etkiye sahip olup olmadıkları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların hepsi yapay zekâ metotlarından yapay sinir ağları yöntemi ile modellenmiş ve karınca aslanı algoritması metoduyla optimize edilmiştir. Yapılan analizler sonrası odunu

koruma anlamında en iyi sonuçları veren gruplar belirlenmiş, bu grupların maliyet analizleri yapılmış ve böylece ekonomik fizibilite raporlarını da içeren çok yönlü bir bilimsel veri paketi ortaya koyulmuştur.

Tez kapsamında kullanılan kimyasallar arasında optimum sonucu veren kombinasyonları toprakla temas eden/etmeyen açık alan denemelerinde, yıkanma testlerinde, farklı tehlike sınıflarında denemek, yanı sıra deniz zararlılarına karşı mücadelede sınamak gerekir.

Nano-oksitlerin, kokusuz olmaları, uçucu olmamaları, uzun dönem etkili olmaları, odundaki mikro dağılımlarının yeterli ve homojen olması gibi pek çok olumlu özelliklerinden dolayı özellikle ladin gibi, okaliptüs gibi emprenyesi güç türlerde de denenmesi önerilmektedir.

Nanoparçacıklar, “yarı atomik” boyutları nedeniyle ahşap katmanlara daha kolay nüfuz ederek basınçlı emprenye ihtiyacını azaltır veya asgari penetrasyon gereksinimlerini karşılamak için gereken emprenye süresini en azından potansiyel olarak kısaltır. Buna ek olarak, daha derin penetrasyon sağlar. Dolayısıyla emprenye sırasında uygulanan basınç/vakum değerlerini ortalama değerlerin biraz daha altında tutmak, emprenye süresini kısaltmak ve elde edilecek sonuçları klasik emprenye uygulamalarıyla karşılaştırmak mümkün olabilir.

Bilindiği gibi lake, cila vernik gibi üst yüzey işlem maddeleri odun çalıştığında pul pul dökülebilmektedir. Nano-teknolojik kimyasalların bu tür olumsuzlukları azalttığı bildirilmektedir. Dolayısıyla üst yüzey işlem maddelerinin etkinliğini artırma potansiyellerini net olarak görmek açısından tez kapsamında çalışılan kimyasalların bu bakımdan da tahlil edilmesi yerinde olacaktır.

Nano-teknolojik kimyasalların kirlenme, çizilme ve aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur. Tez kapsamında çalışılan emprenye maddelerinin tekli, ikili ya da çoklu formlarının bu tip özelliklere karşı olan etkinliği araştırılabilir.

Nano-kimyasalların taşıyıcı (nano carrier) veya katalizör formlarda kullanıldığı farklı denemelere yer verilebilir. Bazı çalışmalarda OSB (Oriented Strand Board-Yönlendirilmiş yonga levha) gibi mühendislik malzemelerinin emprenyesinde de nano kimyasalların kullanıldığı bildirilmiştir. Nano boyutta olmayan bir kimyasal maddenin nano boyuttaki bir biyositle oduna taşınması halinde daha etkili bir koruma sağlanabileceği rapor edilmektedir. Ayrıca nanobiyositler kontrollü salınım (slow release) denen yapıya da uyumlanabilmektedir. Bir başka deyişle ortamda herhangi bir mantar ya da böcek riski söz

konusu olduğunda salınımına geçen, ancak olağanüstü hal durumunda aktifleşen bir moda geçebilmektedir. Örneğin yüksek rutubetli ortamlarda ahşaba yüklenen ‘biyosit malzeme, odun dokusu içerisinde daha çok salınsın’ gibi bir kodlama, sisteme entegre edilebilmektedir. Odun koruma endüstrisi için devrim niteliğinde olan bu tip çalışmalar tezin optimum varyasyonlarıyla birleştirilerek daha uç araştırmalara gidilebilir.

Bilindiği gibi nanopartiküller, yüksek yüzey alanları ve sınırlı kuantum-mekanik etkileri nedeniyle sıklıkla farklı manyetik, termal, optik ve elektriksel özellikler sergiler. Bu farklı durumların odun materyali üzerindeki yansımalarını görmek için uygun analizleri/testleri gerçekleştirmek ve elde edilen bulguları bilimsel/akademik çevreye paylaşmak, parlak sonuçları endüstrinin ilgili alanlarına uyarlayıp değerlendirmek gerekir.

Literatürde nano-kimyasalların ısı işlem ile entegre edildiği farklı modifikasyon yöntemleri de söz konusudur. Tez kapsamında kullanılan kimyasalların sinerjik etkilerini daha da arttırmak adına optimum sonuçların alındığı varyasyonları ısı işlem ile bir arada programlanarak tekrar optimizasyonu mümkün olabilir.

Ahşabı korumak için geliştirilen farklı maddeler/kimyasallar/kombinasyonlar; yapı ve inşaat malzemesi olarak kullanılan ahşaba yeni fırsatlar sunduğu gibi malzemede yeni sorunlara da yol açabilir. Gelişmekte olan bir ürünü pazara sunmadan önce çevreye ve insan sağlığına olan etkilerini dikkate almak şarttır. Bu bağlamda nanomalzemelerin potansiyel sağlık problemleri ve çevresel risk faktörleri açısından derinlemesine araştırılması gerekir. Bu mecburiyet ürünün sürdürülebilir kılınması açısından önemlidir. Nano kimyasalların olası olumsuz etkilerini bertaraf etmede ya da en aza indirmede bu tez çalışmasında da ele alındığı gibi daha çevre dostu bileşiklerle ikili veya çoklu kombinasyonlar oluşturma yoluna gidilebilir. Yanı sıra nano-malzemelerle emprenye edilmiş ahşap malzemelerin kullanım ömürleri sona erdiğinde nasıl bertaraf edileceklerine dair soru işaretlerinin önceden giderilmiş olmasında fayda vardır.

Nanobilimin ahşap temelli yapı malzemelerine dahil edilmesiyle, yeni nesil çok işlevli, yüksek performanslı, düşük bakım gerektiren, dayanıklı yapı malzemeleri ve bileşenleri elde edilebilir. Bu tez çalışması, odun koruma maddelerinin kullanımının bilimsel kanıtlara ve gerçeklere dayandırılarak uygulanması gerektiğini hatırlatması açısından önemli bir misyona sahiptir. Elde edilen sonuçların mesleki uygulayıcılara, akademik camiaya, ilgili kamu kurum ve kuruluşlarına, bilimsel literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda çalışmanın farklı ağaç türleriyle, farklı kimyasallarla ve kombinasyonlarla daha da genişletilerek uygulanması, yorumlanması doğru bir yaklaşım olacaktır.

Çalışılan kimyasalların performanslarının ve maliyetlerinin karşılaştırıldığı tabloya dayanarak yapılan optimum kimyasal seçiminde iyi bir performans gösterdiği düşünülen yapay antioksidanlardan sodyum eritrobatın da daha ileri analizlerini yapmak yerinde bir yaklaşım olabilir.

Optimizasyon çalışmaları mantar çürüklük testi amaç fonksiyonu olarak kullanıldığında, EN 113 (2006) standardına göre bir kimyasalın emprenye maddesi olarak piyasaya sürülebilmesi için emprenye edilen örneklerin mantar çürüklük testi sonrası sağlaması gereken maksimum ağırlık kaybı olan %3 değeri baz alınarak çalışılabilir.

Odun koruma endüstrisinde yapay zekâ tekniklerinin kullanılması bu tezi orijinal kılan önemli açılımlardan biridir. Modelleme sonucu elde edilen verilerin optimizasyonu ile söz konusu kimyasal maddeleri en doğru miktarda kullanmanın, en doğru eliminasyonları yapmanın, en ekonomik ve en etkili olanda karar kılmanın önü açılmıştır. Bu tür yaklaşımlar araştırmacıyı, akla gelen tüm konsantrasyonları/varyasyonları deneme yükünden kurtarmaktadır. Böylece daha az madde kullanımı, daha az maliyet, daha az iş gücü, daha az çevre kirliliği, daha az zaman kaybı gibi birçok kazanım aynı anda elde edilmektedir. Sonraki pek çok çalışmaya ışık tutacak nitelikte olan tezin bu kısmını, farklı modelleme-optimizasyon teknikleri kullanarak istenilen farklı amaçlara göre genişletmek mümkündür.

## 7. KAYNAKLAR

- Afrouzi, Y. M., Omidvar, A. ve Marzbani, P., 2013. Effect of Artificial Weathering on The Wood Impregnated with Nano-Zinc Oxide, World Applied Sciences Journal, 22,9, 1200-1203.
- Akhtari, M. ve Ganjipour, M., 2013. Effect of Nano-Silver and Nano-Copper and Nano Zinc Oxide on Paulownia Wood Exposed to White Rot Fungus, J Agric. Sci. Dev, 2, 116-119.
- Akhtari, M., Nicholas, D., Rowlen, A. ve Arefkhani, M. 2013. Effect of Nano and Micronized Particles as Wood Preservatives for Termite Control, The 44th Annual Meeting of International Research Group on Wood Protection, June, Stockholm, Sweden.
- Akhtari, M., Taghiyari, H. ve Kokandeh, M. G., 2013. Effect of Some Metal Nanoparticles on The Spectroscopy Analysis of Paulownia Wood Exposed to White-Rot Fungus, European Journal of Wood Wood Products, 71,2, 283-285.
- Amburgey, T. L., 2008. Insects that infest seasoned wood in structures, ACS Publications.
- Amil Usmani, M., Khan, I., H Bhat, A., S Pillai, R., Ahmad, N., K Mohamad Haafiz, M. ve Oves, M., 2017. Current trend in the application of nanoparticles for waste water treatment and purification: a review, Current Organic Synthesis, 14,2, 206-226.
- Anand, S. ve Sati, N., 2013. Artificial Preservatives and Their Harmful Effects: Looking Toward Nature for Safer Alternatives, International Journal of Pharmaceutical Sciences Research, 4,7, 2496.
- André, C., Castanheira, I., Cruz, J., Paseiro, P. ve Sanches-Silva, A., 2010. Analytical Strategies to Evaluate Antioxidants in Food: A Review, Trends in Food Science Technology, 21,5, 229-246.
- Arroyo, B. J., Bezerra, A. C., Oliveira, L. L., Arroyo, S. J., de Melo, E. A. ve Santos, A. M. P., 2020. Antimicrobial Active Edible Coating of Alginate and Chitosan add ZnO Nanoparticles Applied in Guavas (*Psidium guajava* L.), Food Chemistry, 309, 125566.
- Arslan, U., 2015. Evaluation of Antifungal Activity of Sulfur Containing Salts Against Phytopathogenic Fungi, Fresenius Environmental Bulletin, 24,5a, 1879-1886.
- ASTM-D2863-19, 2013, Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index).
- Auclair, N., Riedl, B., Blanchard, V. ve Blanchet, P., 2011. Improvement of Photoprotection of Wood Coatings by using Inorganic Nanoparticles as Ultraviolet Absorbers, Forest Products Journal, 61,1, 20-27.



- Aydın, Ö., 2011. Çeşitli Emprenye Maddelerinin Wenge Odununun Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Bak, M., Molnár, F. ve Németh, R., 2019. Improvement of Dimensional Stability of Wood by Silica Nanoparticles, Wood Material Science Engineering, 14,1, 48-58.
- Bak, M. ve Németh, R. J. B., 2018. Effect of Different Nanoparticle Treatments on The Decay Resistance of Wood, BioResources,13,4, 7886-7899.
- Bakhsous, B., Dumarcay, S., Gelhaye, E. ve Gérardin, P. 2006. Investigation of new wood preservation formulations based on synergies between antioxidant, 2-HPNO and propiconazole, 37th the International Research Group on Wood Protection, Wyoming, USA.
- Bakır, K., 2008. Türkiye Emprenye Endüstrisi Mevcut Durum, Sorunlar ve Çözüm Önerileri., Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Barnes, H., 2008. Wood preservation trends in North America, ACS Publications.
- Bayani, S., Taghiyari, H. R. ve Papadopoulos, A. N., 2019. Physical and Mechanical Properties of Thermally-Modified Beech Wood Impregnated with Silver Nano-Suspension and Their Relationship with the Crystallinity of Cellulose, Polymers, 11,10, 1-15.
- Beale, H. D., Demuth, H. B. ve Hagan, M., 1996. Neural Network Design, Pws, Boston.
- Benzie, I. F. ve Strain, J. J., 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": the FRAP Assay, Analytical Biochemistry, 239,1, 70-76.
- Berkel, A., 1970. Ağaç Malzeme Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Biggs, A. R., 1999. Effects of Calcium Salts on Apple Bitter Rot Caused by Two Colletotrichum spp, Plant Disease, 83,11, 1001-1005.
- Bledzki, A., Reihmane, S. A. ve Gassan, J., 1998. Thermoplastics Reinforced with Wood Fillers: A Literature Review, Polym.-Plast. Technol. Eng., 37,4, 451-468.
- Blee, A. ve Matison, J., 2008. Nanoparticles and the Conservation of Cultural Heritage, Materials Forum, 32, 121-128.
- Borges, C. C., Tonoli, G. H. D., Cruz, T. M., Duarte, P. J. ve Junqueira, T. A., 2018. Nanoparticles-Based Wood Preservatives: The Next Generation of Wood Protection?, Cerne, 24,4, 397-407.
- Bozkurt, Ö., 2008. Tarihi Yapıların Restorasyonunda, Ahşabın Biyolojik Bozulmalarına Karşı Yerinde Emprenye Tekniklerinin Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

- Bozkurt, Y. ve Göker, Y., 1987. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi: Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Carocho, M., Morales, P. ve Ferreira, I. C., 2018. Antioxidants: Reviewing the Chemistry, Food Applications, Legislation and Role as Preservatives, Trends in Food Science Technology, 71, 107-120.
- Carrillo-Parra, A., Hapla, F., Mai, C. ve Garza-Ocanas, F., 2011. Durability of wood of *Prosopis laevigata* and the effect of its extractives on wood-decaying fungus, Madera y Bosques, 17,1, 7-21.
- Chau, C.-F., Wu, S.-H. ve Yen, G.-C., 2007. The Development of Regulations for Food Nanotechnology, Trends in Food Science Technology, 18,5, 269-280.
- Chittenden, C., Thamelt, K. ve T., S. 2007. Efficacy of chitosan in combination with GRAS (Generally Recognised As Safe) compounds as a potential wood preservative, The 38th Annual Meeting of International Research Group on Wood Protection, Wyoming, USA.
- Civardi, C., Schlagenhauf, L., Kaiser, J.-P., Hirsch, C., Mucchino, C., Wichser, A., Wick, P. ve Schwarze, F. W., 2016. Release of Copper-Amended Particles from Micronized Copper-Pressure-Treated Wood During Mechanical Abrasion, Journal of Nanobiotechnology, 14,1, 77.
- Civardi, C., Schwarze, F. W. ve Wick, P., 2015. Micronized Copper Wood Preservatives: An efficiency and Potential Health Risk Assessment for Copper-Based Nanoparticles, Environmental Pollution, 200, 126-132.
- Clausen, C. A. 2007. Nanotechnology: Implications for the Wood Preservation Industry, 38<sup>th</sup> International Research Group On Wood Protection, Stockholm, Sweden.
- Clausen, C. A., Green, F. ve Kartal, S. N., 2010. Weatherability and Leach Resistance of Wood Impregnated with Nano-Zinc Oxide, Nanoscale Research Letters, 5,9, 1464-1467.
- Clausen, C. A. ve Yang, V., 2007. Protecting wood from mould, decay, and termites with multi-component biocide systems, International Biodeterioration Biodegradation, 59,1, 20-24.
- Clausen, C. A. ve Yang, V. W., 2003. Mold Inhibition on Unseasoned Southern Pine, 34th Annual Meeting of the International Research Group on Wood Preservation, , Brisbane, Queensland, Australia,
- Clausen, C. A. ve Yang, V. W., 2005. Azole-Based Antimycotic Agents Inhibit Mold on Unseasoned Pine, International Biodeterioration Biodegradation, 55,2, 99-102.
- Clausen, C. A. ve Yang, V. W., 2007. Multi-Component Biocide Protects Wood from Fungi and Insects in UC2 Applications, 103rd Annual Meeting of the American Wood Protection Association, May 2007, St. Louis, Missouri, 31-35.

- Coello, C. A. C., Pulido, G. T. ve Lechuga, M. S., 2004. Handling multiple objectives with particle swarm optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 8,3, 256-279.
- Colby, S., 1967. Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicide combinations, Weeds, 15,1, 20-22.
- Cristea, M. V., Riedl, B. ve Blanchet, P., 2011. Effect of Addition of Nanosized UV Absorbers on the Physico-Mechanical and Thermal Properties of an Exterior Waterborne Stain for Wood, Progress in Organic Coatings, 72,4, 755-762.
- Croitoru, C., Patachia, S. ve Lunguleasa, A., 2015. New Method of Wood Impregnation with Inorganic Compounds Using Ethyl Methylimidazolium Chloride as Carrier, Journal of Wood Chemistry Technology, 35,2, 113-128.
- Da Silva, I. N., Spatti, D. H., Flauzino, R. A., Liboni, L. H. B. ve dos Reis Alves, S. F., 2017. Artificial Neural Networks, Cham: Springer International Publishing, 39.
- Dağlıoğlu, Y. ve Özkan Yılmaz, H., 2018. Nanopartikül Karakterizasyon Yöntemleri ve Ekotoksisite Deneylerindeki Önemi, Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 30,1, 1-17.
- De Filpo, G., Palermo, A. M., Rachiele, F. ve Nicoletta, F. P. J., 2013. Preventing Fungal Growth in Wood by Titanium Dioxide Nanoparticles, International Biodeterioration Biodegradation, 85, 217-222.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. ve Meyarivan, T., 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6,2, 182-197.
- Devi, R. R., Gogoi, K., Konwar, B. K. ve Maji, T. K., 2013. Synergistic Effect of NanoTiO<sub>2</sub> and Nanoclay on Mechanical, Flame Retardancy, UV stability, and Antibacterial Properties of Wood Polymer Composites, Polymer Bulletin, 70,4, 1397-1413.
- Dias, K. B. ve Barreiros, R. M., 2017. Derivatives from Black Liquor as a Wood Preservant: A Review, American Journal of Heterocyclic Chemistry, 3,6, 74-77.
- Dizman Tomak, E., 2011. Masif odundan Bor Bileşiklerinin Yıkanmasını Önlemede Yağlı Isıl İşlemin ve Emülsiyon Teknikleri ile Emprenye İşleminin Etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Dizman Tomak, E., Yazici, O. A., Parmak, E. D. S. ve Gonultas, O., 2018. Influence of Tannin Containing Coatings on Weathering Resistance of Wood: Combination with Zinc and Cerium Oxide Nanoparticles, Polymer Degradation Stability, 152, 289-296.
- Dong, Y., Yan, Y., Zhang, S., Li, J. ve Wang, J., 2015. Flammability and Physical–Mechanical Properties Assessment of Wood Treated with Furfuryl Alcohol and Nano-SiO<sub>2</sub>, European Journal of Wood Wood Products, 73,4, 457-464.

- Dorigo, M., Colorni, A. ve Maniezzo, V., 1991. Distributed optimization by ant colonies. Proceedings of the first European conference on artificial life, Elsevier Publishing, Paris, France, pp. 134-142.
- Du, L., Li, R., Miao, G., Liu, H. ve Liu, H., 2007. Nano antibacterial water woodenware paint and preparing method thereof, China Patent No. CN101016431A.
- Duncan, C. G. ve Deverall, F. J., 1964. Degradation of Wood Preservatives by Fungi, Applied Microbiology, 12,1, 57-62.
- Eça, K. S., Sartori, T. ve Menegalli, F. C., 2014. Films and Edible Coatings Containing Antioxidants-A Review, Brazilian Journal of Food Technology, 17,2, 98-112.
- EFSA, 2020 <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2016.4360> 11 Ekim 2020.
- Elliott, J. G., 1999. Application of Antioxidant Vitamins in Foods and Beverages: Developing Nutraceuticals for The New Millenium, Food Technology, 53,2, 46-48.
- Embuscado, M. E., 2015. Spices and Herbs: Natural Sources of Antioxidants–A Mini Review, Journal of Functional Foods, 18, 811-819.
- EN-47, 2005. Wood preservatives. Determination of the Toxic Values Against Larvae of *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus) - (Laboratory method), European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- EN-113, 2006. Wood Preservatives-Test Method for Determining the Protective Effectiveness Against Wood Destroying Basidiomycetes-Determination of the Toxic Values, European Standard, Brussels, Belgium.
- EN-117, 2013. Wood preservatives. Determination of toxic values against *Reticulitermes species* (European termites) (Laboratory method), European Committee for Standardization Brussels, Belgium.
- EN-350-1, 1996. Durability of wood and wood-based products. Natural Durability Of Solid Wood. Guide to the Principles of Testing and Classification of Natural Durability of Wood, European Committee for Standardization.
- Erdin, N. ve Bozkurt, Y., 2013. Odun Anatomisi, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Evans, P., Thay, P. ve Schmalzl, K., 1996. Degradation of Wood Surfaces during Natural Weathering. Effects on Lignin and Cellulose and on the Adhesion of Acrylic Latex Primers, Wood Science Technology, 30,6, 411-422.
- Favarim, H. R. ve Leite, L. O., 2018. Performance of ZnO Nanoparticles for Fire Retardant and UV Protection of Pine Wood, BioResources, 13,3, 6963-6969.

- Feng, L., Li, S., Li, Y., Li, H., Zhang, L., Zhai, J., Song, Y., Liu, B., Jiang, L. ve Zhu, D., 2002. Super-Hydrophobic Surfaces: from Natural to Artificial, Advanced Materials, 14,24, 1857-1860.
- Fernandes, J., Kjellow, A. W. ve Henriksen, O., 2012. Modeling and optimization of the supercritical wood impregnation process—Focus on pressure and temperature, The Journal of Supercritical Fluids, 66, 307-314.
- Findlay, W. P. K., 1967. Timber Pests and Diseases, Pergamon Press Ltd., London.
- Finley, J. W., Kong, A.-N., Hintze, K. J., Jeffery, E. H., Ji, L. L. ve Lei, X. G., 2011. Antioxidants in Foods: State of The Science Important to The Food Industry, Journal of Agricultural Food Chemistry, 59,13, 6837-6846.
- Freeman, M. H. ve McIntyre, C. R., 2008. Copper-Based Wood Preservatives, Forest Products Journal, 58,11, 6-27.
- Freeman, M. H., Shupe, T. F., Vlosky, R. P. ve Barnes, H., 2003. Past, Present, and Future of The Wood Preservation Industry, Forest Products Journal, 53,10, 8.
- Fufa, S. M. ve Hovde, P. J., 2010. Nano-Based Modifications of Wood and Their Environmental Impact, World Conference on Timber Engineering (WCTE), June, Riva del Garda, Italy,
- García, J., Ruiz-Durántez, E. ve Valderruten, N., 2017. Interpenetrating Polymer Networks Hydrogels of Chitosan and Poly (2-hydroxyethyl methacrylate) for Controlled Release of Quetiapine, Reactive Functional Polymers, 117, 52-59.
- Gascón-Garrido, P., Thévenon, M.-F., Mainusch, N., Miltz, H., Viöl, W. ve Mai, C., 2017. Siloxane-Treated and Copper-Plasma-Coated Wood: Resistance to the Blue Stain Fungus *Aureobasidium pullulans* and the Termite *Reticulitermes flavipes*, International Biodeterioration Biodegradation, 120, 84-90.
- Gerçek, Z., 1984. Türkiye’de Yetiştirilen *Camellia sinensis* (L.) Kuntze’nin İç Morfolojik Özellikleri ve Farklı Yetiştirme Koşullarının Bu Özellikler Üzerine Etkisi, KÜ Basımevi, Trabzon.
- Gladis, F., Eggert, A., Karsten, U. ve Schumann, R., 2010. Prevention of Biofilm Growth on Man-Made Surfaces: Evaluation of Antialgal Activity of Two Biocides and Photocatalytic Nanoparticles, Biofouling, 26,1, 89-101.
- Goffredo, G. B., Accoroni, S., Totti, C., Romagnoli, T., Valentini, L. ve Munafò, P., 2017. Titanium Dioxide Based Nanotreatments to Inhibit Microalgal Fouling on Building Stone Surfaces, Building Environmental Pollution, 112, 209-222.
- Goktas, O., Mammadov, R., Duru, M. E., Ozen, E. ve Colak, A. M., 2007. Application of Extracts from the Poisonous Plant, *Nerium oleander* L., as a wood preservative, African Journal of Biotechnology, 6,17, 2000-2003.

- González-Laredo, R. F., Rosales-Castro, M., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Moreno-Jiménez, M. R. ve Karchesy, J. J., 2015. Wood Preservation Using Natural Products, Madera y Bosques, 21, 63-76.
- Goodenough, J., McGuire, B. ve Jakob, E., 2009. Perspectives on Animal Behavior, John Wiley & Sons.
- Gowda, N., Malathi, V. ve Suganthi, R., 2004. Effect of Some Chemical and Herbal Compounds on Growth of *Aspergillus parasiticus* and Aflatoxin Production, Animal Feed Science Technology, 116,3-4, 281-291.
- Green, F. ve Clausen, C. A., 2005. Copper Tolerance of Brown-rot Fungi: Oxalic Acid Production in Southern Pine Treated with Arsenic-Free Preservatives, International Biodeterioration Biodegradation, 56,2, 75-79.
- Griffiths, D., 1986. Pit Construction by Ant-Lion Larvae: A Cost-Benefit Analysis, The Journal of Animal Ecology, 39-57.
- Gürgen, A., Yıldız, S., Yıldız, Ü.C. ve Palanti, S., 2020. Evaluation of Essential Properties of Impregnating Agents for Preserving Wood by AHP method in Fuzzy Environment, Turkish Journal of Forestry, 21,1, 70-76.
- Hafizoğlu, H., 1987. Studies on the Chemistry of *Cedrus libani* A. Rich.-I. Wood Extractives of *Cedrus libani*, Holzforschung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics Technology of Wood, 41,1, 27-38.
- Harandi, D., Ahmadi, H. ve Mohammadi Achachluei, M. S., 2015. Evaluation of Color and Structural Changes in Wood Modified Nano-TiO<sub>2</sub> and Nano-ZnO as UV Protection, Color. Technol., 9, 207-216.
- Haykin, S., 1994. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Prentice Hall PTR.
- Hazarika, A. ve Maji, T. K., 2014. Modification of Softwood by Monomers and Nanofillers, Defence Science Journal, 64,3, 262.
- He, S., Wu, W., Zhang, M., Qu, H. ve Xu, J., 2017. Synergistic Effect of Silica Sol and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> on Flame-Retardant and Thermal Properties of Wood, Journal of Thermal Analysis Calorimetry, 128,2, 825-832.
- Highley, T. L. 1999. Biodeterioration of Wood, Wood Handbook: Wood as An Engineering Material, Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory 113, 13.11-13.16.
- Holland, J. H., 1992. Genetic Algorithms, Scientific American, 267,1, 66-73.
- Holy, S., 2018. Effect of nano-sized compounds on wood protection, Master Thesis, Karadeniz Technical University, The Graduate School of Natural And Applied Sciences, Trabzon.

- Hughes, A., 2004. Final Workshop COST Action E22 'Environmental optimisation of Wood Protection, The Tools at Our Disposal, March, Lisboa, Portugal.
- Humar, M., Kalan, P., Šentjurc, M. ve Pohleven, F., 2005. Influence of Carboxylic Acids on Fixation of Copper in Wood Impregnated with Copper Amine Based Preservatives, Wood Science Technology, 39,8, 685.
- Hwang, W. J., Kartal, S. N., Yoshimura, T. ve Imamura, Y., 2007. Synergistic effect of heartwood extractives and quaternary ammonium compounds on termite resistance of treated wood, Pest Management Science: formerly Pesticide Science, 63,1, 90-95.
- ISO-7724, 2003. Paints and Varnishes – Colorimetry – Part 1: Principles.
- Ives, E., 2001. A Guide to Wood Microtomy, Suffolk Offset, UK.
- Jones, D. T. ve Eggleton, P., 2010. Biology of Termites: A Modern Synthesis, Global Biogeography of Termites: A Compilation of Sources, Springer, 477-498.
- Karaboga, D. ve Basturk, B., 2007. A powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm, Journal of Global Optimization, 39,3, 459-471.
- Kartal, S., Green, F. ve Clausen, C. A., 2009. Do The Unique Properties of Nanometals Affect Leachability or Efficacy Against Fungi and Termites?, International Biodeterioration Biodegradation, 63,4, 490-495.
- Kartal, S., Yoshimura, T. ve Imamura, Y., 2004. Decay and Termite Resistance of Boron-Treated and Chemically Modified Wood by in situ Co-polymerization Of Allyl Glycidyl Ether (AGE) with Methyl Methacrylate (MMA), International biodeterioration biodegradation, 53,2, 111-117.
- Kennedy, J. ve Eberhart, R. 1995. Particle Swarm Optimization, Proceedings of ICNN'95-International Conference On Neural Networks, 4, 1942-1948.
- Kim, H.-S., Kim, S., Kim, H.-J. ve Yang, H.-S., 2006. Thermal Properties of Bio-Flour-Filled Polyolefin Composites with Different Compatibilizing Agent Type and Content, Thermochimica Acta, 451,1-2, 181-188.
- Koca, N. ve Karadeniz, F., 2003. Production Mechanisms of Free Radical and Antioxidant Defence Systems in The Body, Gıda Mühendisliği Dergisi, 16, 32-37.
- Kong, F.-Y., Zhang, J.-W., Li, R.-F., Wang, Z.-X., Wang, W.-J. ve Wang, W., 2017. Unique Roles of Gold Nanoparticles in Drug Delivery, Targeting and Imaging Applications, Molecules, 22,9, 1445.
- Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J. ve Stroeve, P., 2009. Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production, Industrial Engineering Chemistry Research, 48,8, 3713-3729.

- Lebow, S. T. 2010. Wood preservation, Wood handbook: wood as an engineering material, Madison, WI: US 190: 15.11-15.28.
- Leightley, L. E., 2003. Protection of wood using combinations of biocides, ACS Publications.
- Lepage, E., Salis, A. ve Guedes, E., 2017. Tecnologia de proteção da madeira, São Paulo.
- Li, J., Yu, H., Sun, Q., Liu, Y., Cui, Y. ve Lu, Y., 2010. Growth of TiO<sub>2</sub> Coating on Wood Surface Using Controlled Hydrothermal Method at Low Temperatures, Applied Surface Science, 256,16, 5046-5050.
- Lin, L., Yang, Y., Via, B. K., Liu, Y., Guo, H. ve Zhang, F., 2018. Modification and Characterization of Nano-Ag/TiO<sub>2</sub> Antimold Agent for Wood Materials, Forest Products Journal, 68,1, 70-77.
- Liu, R., Liu, X., Zhang, Y., Liu, J., Gong, C., Dong, Y., Li, J., Shi, J. ve Wu, M., 2020. Paraffin Pickering Emulsion Stabilized with Nano-SiO<sub>2</sub> Designed for Wood Impregnation, Forests, 11,7, 726.
- Lowden, L. A. ve Hull, T. R., 2013. Flammability Behaviour of Wood and A Review of the Methods for its Reduction, Fire Science Reviews, 2,1, 4.
- Mahltig, B., Swaboda, C., Roessler, A. ve Böttcher, H., 2008. Functionalising Wood by Nanosol Application, Journal of Materials Chemistry, 18,27, 3180-3192.
- Mahr, S., M. 2013. Wood Modification with Titania and Silica Based Precursors: A Novel Approach to prepare Multifunctional Sol-gel Derived TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> Wood-inorganic Composites, Degree Doctor of Philosophy, University Göttingen, Georg.
- Mankowski, M. ve Morrell, J. J., 2000. Incidence of Wood-Destroying Organisms in Oregon Residential Structures, Forest Products Journal, 50,1.
- Mantanis, G., Terzi, E., Kartal, S. N. ve Papadopoulos, A., 2014. Evaluation of Mold, Decay and Termite Resistance of Pine Wood Treated with Zinc-and Copper-Based Nanocompounds, International Biodeterioration Biodegradation, 90, 140-144.
- Mantanis, G. I. ve Papadopoulos, A. N., 2010. Reducing the Thickness Swelling of Wood Based Panels by Applying a Nanotechnology Compound, European Journal of Wood Wood Products, 68,2, 237-239.
- Marzbani, P. ve Mohammadnia-afrouzi, Y., 2014. Investigation on Leaching and Decay Resistance of Wood Treated with Nano-Titanium Dioxide, Advances in Environmental Biology, 974-979.
- Meijer, M., 2001. Review on The Durability of Exterior Wood Coatings with Reduced VOC-Content, Progress in Organic Coatings, 43,4, 217-225.
- Mirjalili, S., 2015. The Ant Lion Optimizer, Advances in Engineering Software, 83, 80-98.



- Mirjalili, S., Jangir, P. ve Saremi, S., 2017. Multi-Objective Ant Lion Optimizer: A Multi-Objective Optimization Algorithm for Solving Engineering Problems, Applied Intelligence, 46,1, 79-95.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. ve Lewis, A., 2014. Grey Wolf Optimizer, Advances in Engineering Software, 69, 46-61.
- Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S. M. ve Coelho, L. d. S., 2016. Multi-Objective Grey Wolf Optimizer: A Novel Algorithm for Multi-Criterion Optimization, Expert Systems with Applications, 47, 106-119.
- Morris, P., 2000. Integrated Control of Subterranean Termites: The 6S Approach, Proc. American Wood Preservers' Assoc, 96, 93-106.
- Moya, R., Rodriguez-Zuñiga, A., Berrocal, A. ve Vega-Baudrit, J., 2017. Effect of Silver Nanoparticles Synthesized with NPsAg-ethylene Glycol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>) on Brown Decay and White decay Fungi of Nine Tropical Woods, Journal of Nanoscience Nanotechnology, Science Applications, 17,8, 5233-5240.
- Muḫçu, D., 2015. Ahşap konservasyon ve konsolidasyonunda nano partiküller, İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mukhopadhyay, S. S., 2014. Nanotechnology in Agriculture: Prospects and Constraints, Nanotechnology, Science Applications, 7, 63.
- Müller, M., Radovanovic, I., Grüneberg, T., Miltz, H. ve Krause, A., 2012. Influence of Various Wood Modifications on The Properties of Polyvinyl Chloride/Wood Flour Composites, Journal of Applied Polymer Science, 125,1, 308-312.
- Nagarajappa, G. B., Nair, S., Srinivas, K., Subba Rao, A. N. ve Pandey, K. K., 2020. Photostability of Acetylated Wood Coated with Nano Zinc Oxide, Maderas. Ciencia y Tecnología, 22,3, 365-374
- Nair, M. S., Saxena, A. ve Kaur, C., 2018. Effect of Chitosan and Alginate Based Coatings Enriched with Pomegranate peel Extract to Extend the Postharvest Quality of Guava (*Psidium guajava* L.), Food Chemistry, 240, 245-252.
- Nair, S., Pandey, K. K., Giridhar, B. ve Vijayalakshmi, G., 2017. Decay Resistance of Rubberwood (*Hevea brasiliensis*) Impregnated with ZnO and CuO Nanoparticles Dispersed in Propylene Glycol, International Biodeterioration Biodegradation, 122, 100-106.
- Nascimento, M., Santana, A., Maranhão, C., Oliveira, L. ve Bieber, L., 2013. Phenolic Extractives and Natural Resistance of Wood, Biodegradation—Life of Science, 349-370.
- Nazari, L. ve Hosseinihashemi, S. K., 2017. Laboratory Study of Synergistic Effects of Mixtures of Organic Biocides, Metal Chelator, and Antioxidant Materials Against

- Rainbow White-Rot Fungus, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research 32,3, 421-435.
- Németh, R., Bak, M., Mbouyem Yimmou, B., Csupor, K., Molnár, S. ve Csóka, L., 2013. Nano-Zinc as An Agent Against Wood Destroying Fungi, 5th Int. Symp. on the Interaction of Wood with Various Forms of Energy, September, Slovakia, 59-63.
- Nicholas, D. D., 1982. Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments: Volume 1: Degradation and Protection of Wood, Syracuse University Press.
- Nigro, F., Schena, L., Ligorio, A., Pentimone, I., Ippolito, A. ve Salerno, M. G., 2006. Control of Table Grape Storage Rots by Pre-Harvest Applications of Salts, Postharvest Biology Technology, 42,2, 142-149.
- Nikolic, M., Lawther, J. M. ve Sanadi, A. R., 2015. Use of Nanofillers in Wood Coatings: A Scientific Review, Journal of Coatings Technology Research 12,3, 445-461.
- Niska, K. O. ve Sanadi, A. R., 2008. Interactions Between Wood and Synthetic Polymers, Wood-Polymer Composites, 41-71.
- Nosal, E. ve Reinprecht, L. J., 2018. Preparation and Application of Silver and Zinc Oxide Nanoparticles in Wood Industry: The Review, Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen res Publica Slovaca, 60,2, 5-23.
- Ottersbach, P. ve Anders, C., 1999. Process for the Preparation of Antimicrobial Plastics. US Patent 5,967,714.
- Örs, Y., 1986. Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi, I. Odunun Fiziksel Özellikleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Örs, Y., 1987. Kama Dişli Birleşmeli Masif Ağaç Malzemede Mekanik Özellikler: Yardımcı Ders Kitabı, Karadeniz Üniversitesi.
- Örs, Y. ve Keskin, H., 2001. Ağaç Malzeme Bilgisi, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Pal, S., Tak, Y. K. ve Song, J. M., 2007. Does the Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Depend on the Shape of the Nanoparticle? A study of the Gram-Negative Bacterium *Escherichia coli*, Applied Environmental Microbiology, 73,6, 1712-1720.
- Pankras, S., Cooper, P. A. ve Wylie, S., 2012. Relationship Between Copper Species in Solution and Leaching from Alkaline Copper Quat (ACQ) Treated Wood, Holzforschung, 66,4, 505-514.
- Panshin, A. J. ve Carl, D. Z., 1980. Textbook of Wood Technology, McGraw Hill Book Company, New York, United State of America.
- Papadopoulos, A. N. ve Taghiyari, H. R., 2019. Innovative Wood Surface Treatments Based on Nanotechnology, Coatings, 9,12, 866.

- Patachia, S. ve Croitoru, C., 2016. Biopolymers for Wood Preservation, Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials, 305-332.
- Polo, A., Diamanti, M. V., Bjarnsholt, T., Høiby, N., Villa, F., Pedferri, M. P. ve Cappitelli, F., 2011. Effects of Photoactivated Titanium Dioxide Nanopowders and Coating on Planktonic and Biofilm Growth of *Pseudomonas aeruginosa*, Photochemistry Photobiology, 87,6, 1387-1394.
- Qu, L., Wang, Z., Qian, J., He, Z. ve Yi, S. J., 2019. Effect of Combined Aluminum-Silicon Synergistic Impregnation and Heat Treatment on The Thermal Stability, Chemical Components, and Morphology of Wood, Bioresources, 14,1, 349-362.
- Ragaei, M. ve Sabry, A.-k. H., 2014. Nanotechnology for Insect Pest Control, International Journal Of Science, Environmenttechnology, 3,2, 528-545.
- Ragauskas, A. J., Nagy, M., Kim, D. H., Eckert, C. A., Hallett, J. P. ve Liotta, C. L., 2006. From Wood to Fuels: Integrating Biofuels and Pulp Production, Industrial Biotechnology, 2,1, 55-65.
- Rajabioun, R., 2011. Cuckoo Optimization Algorithm, Applied Soft Computing, 11,8, 5508-5518.
- Rashedi, E., Nezamabadi-Pour, H. ve Saryazdi, S., 2009. GSA: a Gravitational Search Algorithm, Information Sciences, 179,13, 2232-2248.
- Rassam, G., Ghofrani, M., Taghiyari, H. R., Jamnani, B. ve Khajeh, M. A., 2012. Mechanical Performance and Dimensional Stability of Nano-Silver Impregnated Densified Spruce Wood, European Journal of WoodWood Products, 70,5, 595-600.
- Ratnayake, R., Sumithra, H., Fernando, M. ve Palipane, K. B., 2009. Effect of GRAS Compounds on *Aspergillus Rot* of Wood-Apple (*Feronia limonia*), Phytoparasitica, 37,5, 431.
- Reinprecht, L. ve Vidholdova, Z., 2017. Growth Inhibition of Moulds on Wood Surfaces in Presence of Nano-Zinc Oxide and Its Combinations with Polyacrylate and Essential Oils, Wood Research, 62,1, 37-44.
- Reinprecht, L., Vidholdova, Z. ve Kozienka, M., 2015. Decay Inhibition of Lime Wood with Zinc Oxide Nanoparticles Used in Combination with Acrylic Resin, Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 57,1, 43-52.
- Reyes-Chilpa, R., Gomez-Garibay, F., Moreno-Torres, G., Jimenez-Estrada, M. ve Quiroz-Vasquez, R., 1998. Flavonoids and Isoflavonoids with Antifungal Properties from *Platymiscium yucatanum* heartwood, Holzforchung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics Technology of Wood, 52,5, 459-462.

- Reyes-Chilpa, R., Viveros-Rodriguez, N., Gomez-Garibay, F. ve Alavez-Solano, D., 1995. Antitermitic Activity of *Lonchocarpus castilloi* Flavonoids and Heartwood Extracts, Journal of Chemical Ecology, 21,4, 455-463.
- Rezai, V., Usefi, A. ve Soltani, M., 2011. Wood protection by nano silver against white rot, 42nd Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection 2011, Queenstown, New Zealand.
- Richardson, B. A., 2002. Wood preservation, Routledge, Londons.
- Ridout, B., 2000. Timber decay in buildings: the conservation approach to treatment, Taylor & Francis.
- Rochette, P., 1964. Le bois: sa structure, ses propriétés, ses utilisations, Dunod, Paris, France.
- Rowell, R. M., 1990. Materials Science of Lignocellulosic, Proceedings of The Materials Research Society Symposium, 197, 3-9.
- Rowell, R. M., 2006. Chemical Modification: A Non-Toxic Approach to Wood Preservation. 2nd International Conference on Environmentally-Compatible Forest Products, September, Oporto, Portugal, p. 227-237.
- Rowell, R. M., 2012. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, CRC press.
- Salleh, N. G. N., Alias, M. S., Gläsel, H. ve Mehnert, R., 2013. High Performance Radiation Curable Hybrid Coatings, Radiation Physics Chemistry, 84, 70-73.
- Saratale, R. G., Karuppusamy, I., Saratale, G. D., Pugazhendhi, A., Kumar, G., Park, Y., Ghodake, G. S., Bharagava, R. N., Banu, J. R. ve Shin, H. S., 2018. A Comprehensive Review on Green Nanomaterials Using Biological Systems: Recent Perception And Their Future Applications, Colloids Surfaces B: Biointerfaces, 170, 20-35.
- Scharf, I. ve Ovadia, O., 2006. Factors Influencing Site Abandonment And Site Selection In A Sit-And-Wait Predator: A Review of Pit-Building Antlion Larvae, Journal of Insect Behavior, 19,2, 197-218.
- Scharf, I., Subach, A. ve Ovadia, O., 2008. Foraging Behaviour and Habitat Selection In Pit-Building Antlion Larvae In Constant Light Or Dark Conditions, Animal Behaviour, 76,6, 2049-2057.
- Scheffer, T. C. ve Morrell, J. J., 1998. Natural durability of wood: A worldwide checklist of species, Technical Report, Research contribution, Oregon State University, Forest Research Laboratory.
- Schultz, T. P. ve Nicholas, D. D., 2000. Naturally Durable Heartwood: Evidence for a Proposed Dual Defensive Function of the Extractives, Phytochemistry, 54,1, 47-52.

- Schultz, T. P. ve Nicholas, D. D., 2002. Development of Environmentally-Benign Wood Preservatives Based on the Combination of Organic Biocides with Antioxidants and Metal Chelators, Phytochemistry, 61,5, 555-560.
- Schultz, T. P. ve Nicholas, D. D., 2003. A Brief Overview of Non-Arsenical Wood Preservative Systems, ACS Publications.
- Schultz, T. P., Nicholas, D. D. ve Preston, A. F., 2007. A Brief Review of The Past, Present and Future of Wood Preservation, Pest Management Science: formerly Pesticide Science, 63,8, 784-788.
- Sehwag, S. ve Das, M., 2013. Antioxidant Activity: An Overview, Research Reviews: Journal of Food Science Technology, 2,3, 1-11.
- Sen, S., Hafızoglu, H. ve Digrak, M., 2002. Investigation of Wood Preservative Activities of Some Plant Extracts as Fungicide, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, 5,1, 86-98.
- Sharmila, G., Muthukumar, C., Sangeetha, E., Saraswathi, H., Soundarya, S. ve Kumar, N. M., 2019. Green Fabrication, Characterization of *Pisonia alba* Leaf Extract Derived MgO Nanoparticles and Its Biological Applications, Nano-Structures Nano-Objects, 20, 100380.
- Siegel, R., Hu, E. ve Roco, M., 1999. Nanostructure Science and Technology, Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Silva, N. K. V. d., Sabino, L. B. d. S., Oliveira, L. S. d., Torres, L. B. d. V. ve Sousa, P. H. M. d., 2016. Effect of Food Additives on the Antioxidant Properties and Microbiological Quality of Red Guava Juice, Revista Ciência Agronômica, 47,1, 77-85.
- Singh, J. ve Tripathi, N., 1999. Inhibition of Storage Fungi of Blackgram (*Vigna mungo* L.) by some essential oils, Flavour Fragrance Journal, 14,1, 1-4.
- Singh, T. ve Singh, A. P., 2012. A Review on Natural Products as Wood Protectant, Wood Science Technology, 46,5, 851-870.
- Sivakumar, D., Hewarathgamagae, N., Wijeratnam, R. W. ve Wijesundera, R., 2002. Effect of Ammonium Carbonate and Sodium Bicarbonate on Anthracnose of Papaya, Phytoparasitica, 30,5, 486-492.
- Sivrikaya, H., 2003. Diri ve Öz Odunun Emprenye Edilebilirliği ve Dayanım Özellikleri, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Sivrikaya, H., 2004. Odunu Tahrip Eden Başlıca Deniz Zararlıları, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 6,6, 136-141.
- Sjöström, E. ve Alén, R., 2013. Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking, Springer Science & Business Media.

- Soltani, M., Najafi, A., Yousefian, S., Naji, H. R. ve Bakar, E. S., 2013. Water Repellent Effect and Dimension Stability of Beech Wood Impregnated with Nano-Zinc Oxide, BioResources, 8,4, 6280-6287.
- Sundararaj, R., Shanbhag, R. R., Nagaveni, H. ve Vijayalakshmi, G., 2015. Natural Durability of Timbers under Indian Environmental Conditions—An Overview, International Biodeterioration Biodegradation, 103, 196-214.
- Sümerkan, B. ve Gökahmetoğlu, S., 1998. MIC, MBC Testleri, Rutindeki Önemi ve Uygulamaları, Flora, 3,2, 91-95.
- Taghiyari, H., Esmailpour, A. ve Papadopoulos, A., 2019. Paint Pull-Off Strength and Permeability in Nanosilver-Impregnated and Heat-Treated Beech Wood, Coatings, 9,11, 723.
- Taghiyari, H. R., Kalantari, A., Ghorbani, M., Bavaneghi, F. ve Akhtari, M., 2015. Effects of Fungal Exposure on Air and Liquid Permeability of Nanosilver-and Nanozinc-oxide-Impregnated Paulownia wood, International Biodeterioration Biodegradation, 105, 51-57.
- Teizer, J., Venugopal, M., Teizer, W. ve Felkl, J., 2012. Nanotechnology and its Impact on Construction: Bridging the Gap between Researchers and Industry Professionals, Journal of Construction Engineering Management, 138,5, 594-604.
- Temiz, A., Yildiz, U. C. ve Nilsson, T., 2006. Comparison of Copper Emission Rates from Wood Treated with Different Preservatives to The Environment, Building Environment, 41,7, 910-914.
- Terzi, E., Kartal, S. N., Yılıgör, N., Rautkari, L. ve Yoshimura, T., 2016a. Role of Various Nano-Particles in Prevention of Fungal Decay, Mold Growth and Termite Attack in Wood, and Their Effect on Weathering Properties and Water Repellency, International Biodeterioration Biodegradation—Life of Science, 107, 77-87.
- Terzi, E., Kartal, S. N., Yılıgör, N., Rautkari, L. ve Yoshimura, T. J., 2016b. Role of Various Nano-Particles in Prevention of Fungal Decay, Mold Growth and Termite Attack in Wood, and Their Effect on Weathering Properties and Water Repellency, International Biodeterioration Biodegradation, 107, 77-87.
- Thomas, S., Kumar Mishra, P. ve Talegaonkar, S., 2015. Ceramic Nanoparticles: Fabrication Methods and Applications in Drug Delivery, Current Pharmaceutical Design, 21,42, 6165-6188.
- Tiede, K., Boxall, A. B., Tear, S. P., Lewis, J., David, H. ve Hassellöv, M., 2008. Detection and Characterization of Engineered Nanoparticles in Food and the Environment, Food Additives Contaminants, 25,7, 795-821.
- TS-2470, 1976. Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler için Numune Alma Metotları ve Genel Özellikler, TSE, Ankara.

- TS-2471, 1976. Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyleer için Rutubet Miktarı Tayini, TSE, Ankara.
- TS-2472, 1976. Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyleer İçin Birim Hacim Ağırlığı Tayini, TSE, Ankara.
- TS-2595, 1977. Odunun Liflere Paralel Doğrultuda Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuduce Trăistaru, A. A., Crina Anca Sandu, I., Cristina Timar, M., Lucia Dumitrescu, G. ve Sandu, I., 2013. SEM-EDX, Water Absorption, and Wetting Capability Studies on Evaluation of The Influence of Nano-Zinc Oxide as Additive to Paraloid B72 Solutions Used for Wooden Artifacts Consolidation, Microscopy Research Technique, 76,2, 209-218.
- Turan, M., 2019. Hidrolize Keratin ile Ağıaç Malzemenin Emprenye Edilmesi ve Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla.
- URL-1, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Erythorbic-acid#section=Solubility> 11 Eylül 2020.
- URL-2, <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/280.htm> 11 Eylül 2020.
- URL3, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassiummetabisulfite#section=Solubility> 11 Eylül 2020.
- URL-4, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-ascorbate#section=Solubility> 11 Eylül 2020.
- URL5, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodiumerythorbate#section=Solubility> 11 Eylül 2020.
- URL6, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/tertbutylhydroquinone#section=Soubility> 11 Eylül 2020.
- URL-7, [https://ansiklopedi.halisinden.com/Eritorbik\\_Asit\\_\(E315\)](https://ansiklopedi.halisinden.com/Eritorbik_Asit_(E315)) 11 Eylül 2020.
- URL-8, <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethoxyquin> 11 Eylül 2020.
- URL-9, <http://www.food-info.net/tr/e/e224.htm> 11 Eylül 2020.
- URL-10, <http://www.tunckaya.com/tr/main/urunler/p/347-sodyum-askorbat> 11 Eylül 2020.
- URL-11, <http://www.biokimkimya.com/content.asp?id=14&v=c&d=p&pid=1087&l=tr> 11 Eylül 2020.
- URL-12, [https://ansiklopedi.halisinden.com/Tersinir-butil\\_Hidrokinon\\_\(E319\)](https://ansiklopedi.halisinden.com/Tersinir-butil_Hidrokinon_(E319)) 11 Eylül 2020.

- URL13, <http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFF679A66406202CCB09E71E2320F284E32#:~:text=GRAS%3A%20Genel%20olarak%20g%C3%BCvenilir%20zarars%C4%B1z,uyuldu%C4%9Funda%20GRAS%20olarak%20kabul%20etmi%C5%9Ftir> 11 Eylül 2020.
- URL14, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Dehydroaceticacid#section=Solubility> 11 Eylül 2020.
- URL-15, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sorbic-acid#section=Solubility> 11 Eylül 2020.
- URL-16, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodiumbenzoate#section=Solubility> 11 Eylül /2020.
- URL-17, [https://en.wikipedia.org/wiki/Dehydroacetic\\_acid](https://en.wikipedia.org/wiki/Dehydroacetic_acid) 11 Eylül 2020.
- URL-18, <http://www.askimya.com/urunler/sorbik-asit-126.html> 11 Eylül 2020.
- URL-19, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Sodyum\\_benzoat](https://tr.wikipedia.org/wiki/Sodyum_benzoat) 11 Eylül 2020.
- URL-20, <http://www.askimya.com/urunler/magnezyum-oksit-60.html> 11 Eylül 2020.
- URL-21, [https://tr.hwnanomaterial.com/magnesium-oxide-nano-particles-antibacterial-20-30nm\\_p879.html](https://tr.hwnanomaterial.com/magnesium-oxide-nano-particles-antibacterial-20-30nm_p879.html) 11 Eylül 2020.
- URL-22, <https://www.makaleler.com/seryum-nedir> 11 Eylül 2020.
- URL-23, [https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87inko\\_oksit](https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87inko_oksit) 11 Eylül 2020.
- URL-24, <https://nanokar.com/blog/makale/Silikon-Dioksit-ve-Kullanim-Alanlari-36.html> 11 Eylül 2020.
- URL-25, <https://www.gelgez.net/nanoteknoloji-parcacigi-titanyum-dioksit-nedir/> 11 Eylül 2020.
- Uyup, M. K. A., Khadiran, T., Husain, H., Salim, S., Siam, N. A. ve Hua, L. S., 2019. Resistance Improvement of Rubberwood Treated with Zinc Oxide Nanoparticles and Phenolic Resin Against White-Rot Fungi, *Pycnoporus sanguineus*, Maderas. Ciencia y tecnología, 21,4, 457 – 466.
- Venditti, T., Molinu, M., Dore, A., D hallewin, G., Fiori, P., Tedde, M. ve Agabbio, M., 2005. Treatments with GRAS Compounds to Keep Fig Fruit (*Ficus carica* L.) Quality During Cold Storage, Communications in Agricultural Applied Biological Sciences, 70,3, 339.
- Wang, J., Stirling, R., Morris, P. I., Taylor, A., Lloyd, J., Kirker, G., Lebow, S., Mankowski, M., Barnes, H. ve Morrell, J. J., 2018. Durability of Mass Timber Structures: A Review of the Biological Risks, Wood Fiber Science, 110-127.



- Weichelt, F., Emmeler, R., Flyunt, R., Beyer, E., Buchmeiser, M. R. ve Beyer, M., 2010. ZnO-Based UV Nanocomposites for Wood Coatings in Outdoor Applications, Macromolecular Materials Engineering, 295,2, 130-136.
- Weitz, I., Knani, K., Maoz, M., Freitag, C. ve Morrell, J., 2011. The potential for using CuO nanoparticles as a wood preservative, 42nd Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection 2011, Queenstown, New Zealand.
- Weitz, I. S., Maoz, M., Panitz, D., Eichler, S. ve Segal, E., 2015. Combination of CuO Nanoparticles and Fluconazole: Preparation, Characterization, and Antifungal Activity Against *Candida albicans*, Journal of Nanoparticle Research, 17,8, 342.
- Wolpert, D. H. ve Macready, W. G., 1997. No Free Lunch Theorems for Optimization, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1,1, 67-82.
- Xia, Y., Ma, C., Wang, H., Sun, S., Wen, J. ve Sun, R., 2020. Multiple Analysis and Characterization of Novel and Environmentally Friendly Feather Protein-Based Wood Preservatives, Polymers, 12,1, 237.
- Xu, E., Zhang, Y. ve Lin, L., 2020. Improvement of Mechanical, Hydrophobicity and Thermal Properties of Chinese Fir Wood by Impregnation of Nano Silica Sol, Polymers, 12,8, 1632.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Zheng, C., Lee, D. H. ve Liang, D. T., 2006. In-Depth Investigation of Biomass Pyrolysis Based on Three Major Components: Hemicellulose, Cellulose and Lignin, Energy Fuels, 20,1, 388-393.
- Yang, X., 2010. Firefly algorithm in engineering optimization, John Wiley & Sons, New York, USA
- Yıldız, Ü. C., 2000. Odun Zararlıları, KTÜ Orman Fakültesi, Trabzon.
- Yıldız, Ü. C., 2005. Odun koruma ders notları (basılmamış), Trabzon.
- Yu, L., Cai, J., Wang, Y., Tang, Z. ve Zhu, J., 2017. Improved Dimensional Stability of Nano-SiO<sub>2</sub>/Wax Modified ACQ-Treated Southern Pine, BioResources, 12,4, 7515-7524.
- Zabel, R. A. ve Morrell, J. J., 2012. Wood Microbiology: Decay and Its Prevention, Academic press.
- Zayat, M., Garcia-Parejo, P. ve Levy, D., 2007. Preventing UV-Light Damage of Light Sensitive Materials using A Highly Protective UV-Absorbing Coating, Chemical Society Reviews, 36,8, 1270-1281.
- Zhang, S., Yu, A., Song, X. ve Liu, X., 2013. Synthesis and Characterization of Waterborne UV-Curable Polyurethane Nanocomposites Based on the Macromonomer Surface Modification of Colloidal Silica, Progress in Organic Coatings, 76,7-8, 1032-1039.

Zhu, J., Shi, Y., Feng, X., Wang, H. ve Lu, X., 2009. Prediction on Tribological Properties of Carbon Fiber and TiO<sub>2</sub> Synergistic Reinforced Polytetrafluoroethylene Composites With Artificial Neural Networks, MaterialsDesign, 30,4, 1042-1049.



## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Adıyaman'da tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırdı. 2012 yılında lisans eğitimini tamamladı ve Orman Endüstri Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2012 yılında KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2015 yılında aynı anabilim dalında doktora eğitime başladı. Doktora tez çalışmasının bir bölümü, TÜBİTAK 2214-A Doktora Sırası Araştırma Bursu ile İtalya'nın Floransa şehrindeki araştırma enstitüsünde yürütülmüştür. Çalışma alanları: mobilya sanayi başta olmak üzere diğer sanayilerde kullanılan ahşap malzemelerin korunması, yapay sinir ağlarıyla modelleme ve metasezgisel algoritmalarla optimizasyon olarak sıralanabilir. İyi derecede İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.