



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



[Handwritten signature]

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMAL MODİFİKASYON VE YÜZEY İŞLEMİ UYGULANMIŞ
AHŞABIN ABİYOTİK VE BİYOTİK ETKENLERE KARŞI
PERFORMANSI**

Melih Tolga DİLMAÇ

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Endüstri Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Coşkun KÖSE**

Temmuz, 2018

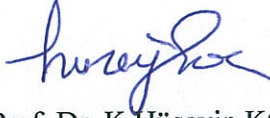
İSTANBUL

Bu çalışma, 6.07.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Endüstri Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Prof. Dr. Coşkun KÖSE(Danışman)
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Orman Fakültesi



Prof. Dr. K.Hüseyin KOÇ
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Orman Fakültesi



Prof. Dr. Öner ÜNSAL
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Orman Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Evren TERZİ
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Orman Fakültesi



Dr. Öğr. Üyesi Dilek EKŞİ AKBULUT
Yıldız Teknik Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlamış olduğum “Termal modifikasyon ve yüzey işlemi uygulanmış ahşabın abiyotik ve biyotik etkenlere karşı performansı” adlı Yüksek Lisans Tez’inde hiçbir konuda desteğini ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Coşkun KÖSE’ye sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmasının laboratuvar aşamalarındaki yardımlarından ötürü Dr. Öğr. Üyesi Evren TERZİ ve Arş. Gör. Davut BAKIR’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması için kullanılan ağaç malzemenin temini ve ısıtma işlemin gerçekleşmesindeki katkıları nedeniyle, Prof. Dr. Süleyman KORKUT, Gökhan ÇOLAK ve Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.’ye teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yaptığı yabancı dil desteğinden ötürü Elif KARAMANOĞLU’na ve teknik desteklerinden ötürü kuzenim Buğra KARAMANOĞLU’na da teşekkür ederim.

Tez çalışmamda kullanılan yaşlandırma cihazının elektronik sisteminin geliştirilmesinde katkı sağlayan arkadaşım Selahattin BİRERLER’e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere ulaşmamı sağlayan ve her konuda yanımda olan, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, manevi gücünü her an hissettiğim merhum babam R. Alp DİLMAÇ’a ve hayattaki en önemli desteğim kıymetli annem Nurfer DİLMAÇ’a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Temmuz 2018

Melih Tolga DİLMAÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. ODUNDA YAŞLANMA VE FOTOKİMYASAL ETKİ.....	6
2.1.1. Odunda Meydana Gelen Fiziksel Değişimler.....	6
2.1.2. Odunda Meydana Gelen Kimyasal Değişimler	7
2.1.2.1. Odunu Oluşturan Selüloz, Hemiselüloz, Lignin ve Ekstraktiflerin Işığı Absorbe Etme Özelliği	7
2.2. UV IŞINI KAYNAKLI SERBEST RADİKALLER	11
2.2.1. Foto Oksidatif Olarak Uyarılmış Odun Yüzeyindeki Serbest Radikallerin Özellikleri	11
2.2.2. Selüloz Ve Hemiselülozlarda Meydana Gelen Serbest Radikal Reaksiyonlar	12
2.2.3. Ligninde Oluşan Serbest Radikal Reaksiyonları	14
2.3. FOTOİRADYASYONA UĞRAMIŞ ODUNDA HİDROPEROKSİDASYON	16
2.4. ISIL İŞLEM	18
2.5. AĞAÇ MALZEME YAŞLANDIRMA TESTLERİ.....	20
2.5.1. Xenon Lambası ile Hızlandırılmış Yaşlandırma	23
2.6. AĞAÇ MALZEMENİN FOTODEGREDASYONUNA İLİŞKİN YAPILAN ÇALIŞMALAR	25
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	30
3.1. MALZEME	30
3.1.1. Araştırmada Kullanılan Ağaç Türleri	30
3.1.1.1. Akçaağaç.....	30
3.1.1.2. Sapelli	32

3.1.2. Araştırmada Kullanılan Mantarlar.....	33
3.1.2.1. <i>Trichoderma harzianum</i> Rifai.....	33
3.1.2.2. <i>Aspergillus niger</i> van Tieghem	34
3.1.2.3. <i>Penicillium fellutanum</i> Biourge.....	35
3.2. YÖNTEM.....	36
3.2.1. Örneklerin Hazırlanması	36
3.2.2. Örneklerle Vernik-Boya ve Nano Partiküllerin Uygulanması	36
3.2.4. Renk Farklılığı.....	42
3.2.5. Küflenme Testi	43
4. BULGULAR.....	45
4.1. NANO PARTİKÜLLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VERNİK VE BOYA İLE İŞLEME TABİ TUTULAN ODUN ÖRNEKLERİNDEKİ TOPLAM RENK DEĞİŞİKLİĞİ ANALİZ SONUÇLARI	45
4.2. NANO PARTİKÜLLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VERNİK VE BOYA İLE İŞLEME TABİ TUTULAN YAŞLANDIRILMIŞ VE YAŞLANDIRILMAMIŞ ODUN ÖRNEKLERİNDEKİ KÜF MANTARLARININ OLUŞTURDUĞU KÜF GELİŞİMİ ANALİZ SONUÇLARI.....	67
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	88
KAYNAKLAR.....	95
EKLER	110
EK 1: Yaşlandırılmış Örneklerin L, a, b Değerleri.	110
ÖZGEÇMİŞ	117

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Odundaki bağların yaklaşık enerjisi (Hon, 2001).....	8
Şekil 2.2: Ultraviyole spektra, (a) odun, (b) lignin ve (c) selüloz (Hon, 2001).....	9
Şekil 2.3: UV ışık etkisi sonucu selülozda serbest radikal oluşumu 340 nm altında (Hon, 2001)....	13
Şekil 2.4: UV ışık etkisi sonucu selülozda serbest radikal oluşumu 280 nm altında (Hon, 2001).....	13
Şekil 2.5: UV ışık etkisi sonucu ligninde o- ve p-kinon oluşumu (Hon, 2001).....	15
Şekil 2.6: Ligninde Norrish Tip I Fotoreaksiyonu (Hon, 2001).....	16
Şekil 2.7: Gün ışığı, UVA ve UVB ışığının dalga boyu analizi (Anon., 2018).....	21
Şekil 2.8: Ahşap yüzeyinde UV ışınları ve rutubet etkisi ile oluşan bozunmanın şematik görünüşü (a) normal odun; (b) başlangıç aşamasındaki yaşlandırmanın etkisiyle liflerin gevşemesi; (c) lif kaybı; (d) düşük yoğunluktaki ilkbahar odununda görülen oluklaşma (Mc Donald ve diğ.,1996).....	22
Şekil 2.9: Borosilikat filtreli xenon-ark lambası ışığı ve güneş ışığının karşılaştırılması (Suits ve Hsuan,2003).....	23
Şekil 2.10: Gün ışığı, Xenotest Alpha ve Xenotest Beta ışığının dalga boyu Analizi (Anon.,2018)	24
Şekil 3.1: <i>Trichoderma harzianum</i> (a) Patates dekstroza agar besi ortamında 7 gün sonundaki koloni yapısı. (b) Sentetik besin ortamında gelişen konidiofor ve konidiumlara ait SEM görüntüsü (Skala 10 µm).....	34
Şekil 3.2: Denemelerde kullanılan boya-vernik ve nano partikülleri içeren ürünler	37
Şekil 3.3: Yüzey uygulaması ölçüm tarağı.....	38
Şekil 3.4: Son kat yüzey işlemi uygulanıp gruplandırılmış numuneler.....	39
Şekil 3.5: Son kat yüzey işlemi uygulanıp gruplandırılmış numuneler.....	40
Şekil 3.6: Son kat yüzey işlemi uygulanıp gruplandırılmış numuneler.....	41
Şekil 3.7: Yaşlandırma öncesi ve sonrası numunelerin gruplandırılması.....	41
Şekil 3.8: CIELab renk sistemine göre L*, a* ve b* değerlerinin belirlenmesi (Çolak,2014)	42
Şekil 4.1: Isıl işlem uygulanmamış sapelli kontrol numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi görünümü.....	45

Şekil 4.2: Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç kontrol numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi görünümü.....	46
Şekil 4.3: Isıl işlem uygulanmamış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.....	47
Şekil 4.4: Isıl işlem uygulanmamış sapelli örneğinin nano TiO ₂ ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma öncesi ve sonrasındaki görünümü.....	47
Şekil 4.5: Isıl işlem uygulanmamış uygulanmamış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi	48
Şekil 4.6: Isıl işlem uygulanmamış sapelli örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO ₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO ₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.....	49
Şekil 4.7: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişim	50
Şekil 4.8: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinin, nano kil+nano TiO ₂ ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı	50
Şekil 4.9: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi	51
Şekil 4.10: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO ₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO ₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı....	52
Şekil 4.11: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.....	53
Şekil 4.12: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinin nano kil+nano ZnO ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı	54
Şekil 4.13: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi	55
Şekil 4.14: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO ₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO ₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı....	56
Şekil 4.15: Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.....	57
Şekil 4.16: Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç örneklerinin nano kil ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı	58
Şekil 4.17: Isıl işlem uygulanmamış uygulanmamış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi	59
Şekil 4.18: Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO ₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO ₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı....	60

Şekil 4.19: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi	61
Şekil 4.20: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneklerinin nano TiO ₂ ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı	61
Şekil 4.21: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi	62
Şekil 4.22: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO ₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO ₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı	63
Şekil 4.23: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi	64
Şekil 4.24: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneklerinin nano kil+nano ZnO ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı	64
Şekil 4.25: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi	65
Şekil 4.26: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO ₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO ₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı	66
Şekil 4.27: Isıtma işlemi ve yaşlandırma uygulanmamış vernikli sapelli örneğinin küf gelişim değerleri.	68
Şekil 4.28: Isıtma işlemi ve yaşlandırma uygulanmamış boyalı sapelli örneğinin küf gelişim değerleri....	68
Şekil 4.29: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri	69
Şekil 4.30: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	69
Şekil 4.31: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmamış sapelli örneğinde 3. Hafta sonunda oluşan küf gelişimi	70
Şekil 4.32: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	71
Şekil 4.33: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	71
Şekil 4.34: Isıtma işlemi ve yaşlandırma uygulanmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	72
Şekil 4.35: Isıtma işlemi uygulanmamış ve yaşlandırılmamış akçaağaç örneğinde 4. Hafta sonundaki küf gelişimi	73
Şekil 4.36: Isıtma işlemi ve yaşlandırma uygulanmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	74

Şekil 4.37: Isıl işlem uygulanmamış ve yaşlandırılmamış akçaağaç örneğinde 4. Hafta sonunda oluşan küf gelişimi	74
Şekil 4.38: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	75
Şekil 4.39: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	76
Şekil 4.40: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış veya yaşlandırılmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri	77
Şekil 4.41: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış veya yaşlandırılmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri	77
Şekil 4.42: Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	78
Şekil 4.43: Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	79
Şekil 4.44: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	80
Şekil 4.45: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	80
Şekil 4.46: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	81
Şekil 4.47: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.....	82
Şekil 4.48: Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	83
Şekil 4.49: Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	83
Şekil 4.50: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	84
Şekil 4.51: 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	85
Şekil 4.52: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	86
Şekil 4.53: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.....	86
Şekil 4.54: 864 saat yaşlandırılmış ve 212°C ısıtma işlemi uygulanmış akçaağaç örneğinin 1.Hafta sonundaki küflenme durumu	87

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Akçaağaç odununun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 2013)...	31
Tablo 3.2: Akçaağaç odununun kimyasal özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2013).....	31
Tablo 3.3: Sapelli odununun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 1989).....	32
Tablo 3.4: Sapelli odununun kimyasal özellikleri (Bozkurt ve Erdin 1989).....	33
Tablo 3.5: Örneklere uygulanan yüzey işlem maddeleri ve ilave edilen nano partiküller.....	36

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

°	: Derece
---	----------

%	: Yüzde
---	---------

Kisaltmalar	Açıklama
-------------	----------

ASTM	: Amerikan Malzeme Test Birliği
------	---------------------------------

a*	: Kırmızı renk tonu
----	---------------------

b*	: Sarı renk tonu
----	------------------

C	: Santigrad
---	-------------

cm	: Santimetre
----	--------------

DIN	: Deutsches Institut für Normung
-----	----------------------------------

FT-IR	: Fourier Transform Infrared Spectroscopy
-------	---

g	: Gram
---	--------

ISO	: International Organization For Standardization
-----	--

kg	: Kilogram
----	------------

L*	: Renk açısı
----	--------------

m ³	: Metreküp
----------------	------------

n	: Nano
---	--------

nm	: Nanometre
----	-------------

SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
-----	--------------------------------

TiO ₂	: Titanyum dioksit
------------------	--------------------

TS	: Türk Standartları
----	---------------------

UV	: Ultraviyole
----	---------------

ZnO	: Çinko oksit
-----	---------------

µm	: Mikrometre
----	--------------

ΔE	: Toplam renk farklılığı
----	--------------------------

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TERMAL MODİFİKASYON VE YÜZEY İŞLEMİ UYGULANMIŞ AHŞABIN ABİYOTİK VE BİYOTİK ETKENLERE KARŞI PERFORMANSI

Melih Tolga DİLMAÇ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Coşkun KÖSE

Ahşap, insan yaşamında çok uzun yıllardır yer alan farklı alanlarda başarıyla faydalanan doğal polimer bir kompozit malzemedir. Kullanıldığı alanlarda gerek fiziksel- mekanik gerek dayanıklılık özellikleri bakımından birçok malzemeye kıyasla üstünlükler sunmaktadır. Estetik özellikleri bakımından da kullanıldığı alanlarda olumlu bir etki yaratmaktadır. Ancak doğal bir malzeme olan ahşap bulunduğu yere bağlı olarak açık hava koşullarından olumsuz etkilenebilmektedir. Başta güneşin ultra viyole (UV) ışınları ve yağış olmak üzere rüzgar, havanın bağıl nemi ve sıcaklığı gibi atmosfer koşulları bu etkinin sorumlularıdır. UV ışınları odunda fotokimyasal tahribat sürecini başlattığından rengin solması, parlaklık kaybı gibi istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır.

Bu tez çalışmasında, özellikle dış hava koşullarında kullanılan ağaç malzemedeki belirtilen bu olumsuzlukları en aza indirmek amacıyla ısıtma işlemi uygulanmamış, 190°C ve 212°C sıcaklıkta ısıtma işlemi uygulanmış sapelli ve akçaağaç örneklerine vernik ve boya uygulanmıştır. Bu uygulamada kullanılan vernik ve boyaya %1 konsantrasyonda farklı kombinasyonlarda nano titanyum dioksit, nano kil, nano çinko oksit partikülleri ilave edilmiştir. Çalışmada hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış kontrol örnekleri, sadece vernik ve boya uygulanmış örnekler ile nano partiküller eklenmiş kombinasyonlarının laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen hızlandırılmış yaşlandırma testlerine karşı gösterdiği performans incelenmiştir. Tüm gruplara uygulanan 864 saat yapay yaşlandırma işlemi (144'er saatlik periyotlarla) sonucunda CIELab

sistemine göre L, a ve b değerleri renk ölçüm cihazıyla belirlenmiş ve toplam renk değişimi (ΔE) hesaplanmıştır.

Isıl işlem görmüş ancak hiçbir yüzey işlemi uygulanmamış kontrol örnekleri ve sadece vernik-boya uygulanmış örneklerin, nano partikül eklenmiş örneklerle göre renk stabilizasyonu konusunda zayıf performans gösterdiği belirlenmiştir. Ancak boya uygulamasının doğal olarak tüm örnek gruplarında verniğe kıyasla çok daha başarılı olduğu görülmüştür. Nano partikül bazında karşılaştırmalarda odunun renk solmasına en güçlü direncin nano kil eklenmiş örneklerde görüldüğü tespit edilmiştir. Nano çinko oksit pariküllerinin eklendiği örnek gruplarının da fotodegradasyona karşı koruma sağladığı görülmüştür. Nano kil ve diğer nano partiküller eklenerek oluşturulan kombinasyonunda fotodegradasyona karşı başarılı sonuçlar alınmıştır. Tez çalışmasında kullanılan sapelli ve akçaağaç örneklerinin farklı ısıl işlem sıcaklıklarında renk stabilizasyonu konusunda benzer özellikler gösterdiği belirlenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci kısmında ise yukarıda belirtilen örnek gruplarında yaşlandırma işleminin küflenmeye karşı etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yaşlandırma işlemi uygulanmamış ve toplam 864 saat yaşlandırma işlemi uygulanmış örnekler *Penicilium fellutanum*, *Aspergillus niger* ve *Trichoderma harzianum* küf mantarlarının etkisine maruz bırakılmıştır. ASTM D4445 standart prosedürüne göre yürütülen denemelerde dört hafta boyunca küf gelişiminin örnek yüzeylerinde kapladığı alan esas alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır.

İncelemeler sonucunda yaşlandırma işleminin her iki ağaç türüne ait tüm gruplarda küf mantarlarına karşı performansı düşürücü etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Dört haftalık ölçüm sonucunda ısıl işlem sıcaklığının artmasının odunda küflenmeyi önleyici belirgin bir etki sağlamadığı hem sapelli hem de akçaağaç örneklerinde görülmüştür. Boya uygulanan gruplarda küflenme en az gerçekleşirken, vernik uygulanmamış kontrol örneklerinde vernik uygulanmış örneklerden daha fazla küflenme görülmüştür. Nano partikül uygulanmış örneklerde ise küflenmeye karşı benzer olarak direnç oluştuğu görülmüştür.

Temmuz 2018, .133 sayfa.

Anahtar kelimeler: Isıl işlem, Yapay yaşlandırma, Nano partiküller, Küflenme, Abiyotik ve biyotik etkenler.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

PERFORMANCE OF THERMALLY MODIFIED AND SURFACE TREATED WOOD AGAINST ABIOTIC AND BIOTIC FACTORS

Melih Tolga DİLMAÇ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Forest Industry Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Coşkun KÖSE

Wood is a natural polymer composite material which has been utilized successfully in various areas in human life for many years. Compared to many other materials, it achieves superiority not only physically but also in durability related aspects. Aesthetically it gives positive influence in the places where it is used. However, wood which is a natural material can be affected negatively by outdoor weather conditions. Atmospheric conditions particularly UV lights and rain, relative humidity of air and temperature can be held responsible for this effect. UV lights start the photochemical destruction process in wood which results in undesired consequences such as discoloration (fading) and loss of gloss.

In this thesis study, in order to minimize the negative outdoor conditions of the forementioned wooden material, heat treatment was not applied, but paint and varnish were applied to sapele and maple samples which were heat treated 190°C and 212°C. In this application, 1% concentration from various combinations of nano titanium dioxide, nano clay and nano zinc oxide particles were added to the paint and varnish. In this study, performance of accelerated ageing tests on surface finishing not applied control samples, only varnish and paint applied samples and nano particles added combinations conducted in lab conditions were examined. As a result of artificial ageing process which was applied to all groups for 864 hours (in 144 hours of time periods), according to CIELab system, L, a and b values were determined by color measuring device and total color change was calculated.

Compared to nano particles added samples, heat treated but surface finishing not applied control samples and varnish-paint applied samples show poor performance in color stabilization. However, naturally in all sample groups, paint application occurred much more successful in comparison with varnish. In nano particles based comparisons, nano clay added samples had the strongest resistance against discoloration of wood. Nano zinc oxide particles added samples show protection against photodegradation. Nano clay and other nano particles added combinations achieved desired results against photodegradation. Sapele and maple samples used in this thesis study show similar qualities in color stabilization in different heat treatment temperatures.

In the second part of this thesis study, moulding effect of ageing process in forementioned sample groups were tried to be specified. Ageing process not applied and total 864 hours of ageing process applied samples were exposed to *Penicilium fellutanum*, *Aspergillus niger* and *Trichoderma harzianum* fungus. According to the standard procedure of ASTM D4445, assessments were made based on conducted tests of mould growth coated on the surfaces for four weeks.

As a result of the observations, ageing process has a performance decreasing effect on fungus among all groups of the two tree species. In consequence of measurements for four weeks, the temperature increase in heat treatment did not have a distinctive inhibitive effect on mould growth on wood in both sapele and maple samples. Mould growth least occurred in paint applied groups, whereas moulding was observed more in varnish not applied samples compared to varnish applied samples. Similar resistance against mould growth was observed in nano particles applied samples.

July 2018, 133 pages.

Keywords: Thermowood, Weathering, Nano particle, Wood, Abiotic and biotic factors.

1. GİRİŞ

Ahşap geçmişten günümüze kadar birçok alanda kullanılagelen ve faydalandığı alanlarda başarılı sonuçlar sağlayan doğal bir malzemedir. Basit ev aletlerinden ev dekorasyon ürünlerine, otomotiv sektöründen profesyonel inşaat sektörüne ve birçok alana hizmet eden üstün özelliklere sahip ahşap insanlık için vageçilmez ve yeri doldurulamaz bir malzemedir.

Selüloz, hemiselüloz, lignin ve ekstraktif maddelerden oluşan doğal bir polimer yapıya sahip olan ahşap, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında taşıdığı üstün özellikleri nedeniyle tercih edilir kılmaktadır. Bu özelliklerin başında, doğal bir malzeme olması, kolay işlenmesi, geri dönüşümünün mümkün olması, estetik görünüş özelliklere sahip olması, düşük özgül ağırlık ve düşük termal genişleme katsayısına karşın yüksek mekanik özelliklere sahip olması sayılabilir (Miller, 1999; Hon, 2001).

Ahşabın bu olumlu özellikleri yanı sıra bazı kullanım yerlerinde arzu edilmeyen, farklı uygulamalarla en aza indirilebilen veya tamamen ortadan kaldırılabilen özelliklere de sahiptir. Örneğin abiyotik ve biyotik faktörler organik bir malzeme olan ahşabın hizmet ömrünün kısılmasına neden olabilmektedir (Matsunaga ve diğ., 2009). Ağaç malzemenin bu arzu edilmeyen özelliklerini en aza indirmek, olumlu özelliklerini daha da iyileştirmek için yapılan çalışmaları esas alan yöntemlere “odun modifikasyon yöntemleri” denmektedir (Rowell, 1987; Hill, 2006). Ahşabın dayanıklılığını artırmak için kullanılan bu modifikasyon yöntemlerinden biri de termal modifikasyondur. Isıl işlem (termal modifikasyon) ağaç malzemenin 150 °C’nin üzerindeki sıcaklık derecelerinde kısıtlı bir atmosfer ortamında ısıtılmasıdır. Bu süreçte meydana gelen kimyasal değişikliklerle odunda belirli oranda bozunma ve hücre çeperinde daha sıkı bağlı yapılar oluşmaktadır. Isıl işlem uygulanan ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonu iyileşmekte, higraskopisitesi düşmekte, biyotik etkenlere karşı performansı iyileşmekte, buna karşın direnç değerleri ile birlikte ağaç malzemenin rengi koyulaşmaktadır (Suttie ve Thompson, 2004; Hill, 2006).

Yapılan çok sayıda çalışmada, güneş ışığındaki ultraviyole (UV) ışınları, yağış ve mantarların ahşabın fiziksel, mekaniksel ve kimyasal özelliklerinde oluşturduğu olumsuz etkiler ve koruma uygulamalarına değinilmektedir. Örneğin, uzun süre güneş ışığına maruz kalmış iç veya dış mekan mobilyalarında rengin solması, açılması gibi olumsuz etkiler görülmektedir. Yağmur

etkisine maruz kalmış dış mekan mobilyalarında ahşabın çalışması yanı sıra rutubet artışına bağlı olarak küf ve çürüklük mantarlarının arız olması sonucu hem görsel hem fiziksel bazı olumsuzluklar görülebilmektedir.

Günümüzde ahşaba zarar veren abiyotik ve biyotik etkenlere karşı ısıtıl işlem (termal modifikasyon), emprenye işlemleri ön planda yer almaktadır. Çevresel kaygılar nedeniyle bir çok alanda emprenye edilmiş ağaç malzemeye alternatif olarak ısıtıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanıldığı görülmektedir. Isıtıl işlem uygulamaları odunun doğal rengini değiştirerek koyu kahverengi bir ton meydana getirmektedir. Ancak ısıtıl işlem görmüş ağaç malzeme bir koruyucu işlem uygulanmadan dış çevre koşullarına maruz bırakıldığında bu koyu renkte açılmalar meydana gelmekte ve sonunda ağaç türüne göre değişiklik göstermekle birlikte odunun rengi grimsi beyazımsı bir hale dönmektedir.

Son yıllarda ahşabın hizmet ömrünü uzatmak için yapılan çalışmalar incelendiğinde nano kimyasal maddelerin bu alanda başarı ile uygulandığı çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Boyutları 1-100 nm arasında değişen taneciklerden meydana gelen nano partiküllerin her bir tanesi milyonlarca atom içermektedir. Nano partiküllerin karakteristik özelliği 100 nm veya daha altındaki ölçülere sahip olmalarıdır (Baglioni ve diğ., 2006).

Boyutlar atomik seviyelerde olan malzemelerin özellikleri değişmektedir (Rai ve diğ., 2011). Nano partiküller çok yüksek elektriksel, elektronik, magnetik, kimyasal ve mekanik özelliklere sahiptirler (Blee ve diğ., 2008; Kartal ve diğ., 2009; Clausen ve diğ., 2010-2011). Normal boyuttaki malzemelerden farklı olarak nano boyuttaki malzemelerin davranışlarındaki farklılaşmanın nedeni yüzey etkisi ve kuantum etkisidir. Bu etkenler malzemenin mekanik, elektrik ve magnetik özellikleri yanı sıra kimyasal özelliklerini de etkilemektedir (Buzea ve diğ., 2007). Nano metal olarak kullanılan çinko, mikrokristal yapısı, antibakteriyel özellikleri, mantar ve termitlere karşı dayanıklılık sağlaması, UV ışınlarına ve yıkanmaya karşı gösterdiği iyi performans gibi bu boyutlarda üstün özellik göstermektedir (Kartal ve diğ., 2009).

Nano partiküller polimer bir yapı içerisinde dolgu maddesi olarak rol alması yanında her bir yüzeyin kaplanabilmesi için ve yeni katılan dolgu maddelerinin yapışacağı bir yüzey oluşturma için kullanılabilir. Nano partiküller odunun hücre çeperine iyi bir şekilde nüfuz edebilmek, bu nedenle uygulamanın etkinliğini artırabilmektedir. Yüksek dispersiyon

özellikleri sağlamaları nedeniyle nano partiküller odun hücre çeperlerinde daha homojen bir dağılım göstermektedirler. Ayrıca nano metal çözeltilerin düşük viskoziteleri nedeniyle birçok uygulamada kolaylık sağlamaktadırlar (Blee ve diğ., 2008; Kartal ve diğ., 2009; Clausen ve diğ., 2007-2010-2011).

Günümüzde nano teknoloji gelişmekte olan bir bilim dalı olarak, birçok alanda kullanılmaktadır. Farklı alanlarda farklı özellikleri esas alınarak çok sayıda problemin çözülmesine katkı sağlayabilecek olması, fizik, kimya ve biyoloji gibi farklı bilim dallarında çok çeşitli alanda kullanılmasına neden olmuştur (Ingle ve diğ., 2013). Gelişen teknolojiyle birlikte nano teknolojiden faydalanma alanları da genişlemiş, ilaç, kozmetik, giyim, gıda, otomotiv gibi alanlarda kullanılmıştır (Rai ve Bai, 2011).

Orman ürünleri endüstrisinde ise TiO_2 , ZnO , CuO gibi metal oksitler doğrudan veya diğer maddelere katılarak kullanılmaktadır (Fufa ve diğ., 2010). Nano partiküllerin, odun hücre çeperindeki por büyüklüğünü ve alanını azalttığı, böylece su moleküllerinin odun içerisine girmesini engellediği, yüksek alan/hacim oranı ile ağaç malzemenin zayıf UV dayanımını iyileştirdiği, suyun odun içerisine girişini kısıtlayıcı etkisiyle odun rutubetini düşürerek antimikrobiyel özellikleri iyileştirdiği ve odundaki boşlukların dolmasını sağlayarak sertliği arttırdığı belirtilmektedir (Fufa ve diğ., 2010). Ahşaba uygulanan bu nano partiküller sayesinde UV ışınlarının sebebiyet verdiği renk solması ve küflenme gibi olumsuz etkilerin en aza indirildiği veya tamamen yok edildiği görülmektedir.

Biyotik ve abiyotik etkenlere maruz kalan ağaç malzemenin farklı kullanım alanlarında korunmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında, ısıtılmış işlem uygulanmamış kontrol örnekleri ile, 190-212°C sıcaklık koşulunda 2 saat süreyle ısıtılmış işlem uygulanmış sapelli ve akçaağaç odun örneklerine vernik ve boya içerisinde farklı kombinasyonlarda %1 konsantrasyonda nano çinko oksit, nano titanyum dioksit ve nano kil eklenmiştir. Hazırlanan ahşap örnekler laboratuvar koşullarında, güneşin UV ışınları ve yağmur etkisine benzer koşullar sağlanan yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. İşlem, ilgili standart gereğince 144' er saatlik periyotlarla toplamda 864 saat sürmüştür. Ayrıca yaşlandırmanın küflenmeye olan etkisini tespit etmek amacıyla yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış odun örneklerine *Penicillium fellutanum*, *Trichoderma harzianum* ve *Aspergillus niger* mantarlarının etkisine bırakılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasıyla;

- Uygulanan vernik ve boyaya eklenen nano partiküllerin tek tek ve farklı kombinasyonlarda ağaç malzemenin renk stabilizasyonunu ne derecede sağladığının,
- Isıl işlem ve ağaç türünün bu deneme deseninde renk stabilizasyonu üzerindeki etkisinin,
- Uygulanan vernik ve boyaya eklenen nano partiküllerin tek tek ve farklı kombinasyonlarda yaşlandırma uygulaması sonrasında ağaç malzemenin küflenmesine olan etkisinin,
- Isıl işlemin ve ağaç türünün küf mantarlarına karşı dayanıklılığa etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

Ahşap yüzyıllardan beri hem dış ortamda hem de iç ortamda kullanılagelen malzemedir. Ağaç malzeme gerek estetik özellikleri gerekse düşük yoğunluğu ve düşük termal genişleme özelliğine karşın göstermiş olduğu yüksek mekanik özelliklerinden dolayı dünyada önemli bir yere sahiptir. Ahşap, Amerika Birleşik Devletleri'nde metal, çelik, alüminyum ve plastik ürünlerinden fazla bir pazar payına sahiptir. Ahşap inşaat sektörünün %40'ında kereste ve kontrplak üretiminde faydalanmak üzere kullanılmaktadır. Özellikle dış cephelerde %50'den fazla oranda ahşap ve odun esaslı ürünler kullanılmakta, yıllık 1,2 milyar m² den fazla kullanım alanı bulunmaktadır (Forest Products Laboratory, 2010; Hon, 2001; Rowell, 2005; Shumlsky ve diğ., 2014).

Ahşap uzun ömürlü ve hoş, aynı zamanda da işlenmesi kolay bir malzemedir. Odun esaslı ürünlerine dokunulduğu zaman sıcaklığını yansıtır. Fakat bu doğal ve estetik güzelliklerine rağmen çeşitli koruma işlemleri (emprenye, vernik, üst yüzey işlemleri gibi) uygulanmamış ahşap, yaşlandırma, foto oksidatif bozulma ve asit yağmurlarına karşı oldukça hassastır. Ağaç malzemede yaşlanma, solar radyasyon etkisi (Ultra viyole (UV) ışık, görünür kırmızıötesi ışıklar), rutubet (çığ, yağmur, kar ve nem), sıcaklık, oksijen ve hava kirliliği gibi pek çok çevresel etkiye bağlı olmasına karşın, genellikle odunun yaşlanmasında ve oksidatif bozulmasında esas foto kimyasal süreci başlattığı için sadece UV ışınları ve güneş ışınlarının elektromanyetik etkisinden olduğu kabul edilir. Ahşap bazı özelliklerinden dolayı iyi ışık absorbe eden bir kaynaktır. Odun, güneş ışınlarını ve UV ışınları içeren tüm dalga boylarındaki elektromanyetik enerjiyle etkileşime girer. Odunun yüzeyinde dağılmış halde bulunan son derece karmaşık kimyasal ve fiziksel yapıda olan polimerik bileşiklerle fotonlar etkileşim halindedir. Kimyasal açıdan baktığımız zaman, odunun yapısındaki temel kimyasalların (selüloz, hemiselülozlar, lignin ve ekstraktifler) UV ışığının bozundurucu etkisine karşı hassas olması hiç te şaşırtıcı değildir. Bu fotokimyasal etkilşim sonucunda, rengin solması, parlaklık kaybı ve rengin açılması gibi odunun dış görünüşünde oldukça belirgin değişikliklere sebep olurken yüzey pürüzlülüğü ve mekanik özelliklerinde de azalma gerçekleşir (Hon, 1996).

2.1. ODUNDA YAŞLANMA VE FOTOKİMYASAL ETKİ

2.1.1. Odunda Meydana Gelen Fiziksel Değişimler

Ahşap yüzeyinde ışık ve rutubet etkisiyle renk koyulaşmaları oluşmakta ve bunların etkisiyle gözle görülebilen çatlaklar oluşmaktadır. Odun hücre çeperinde bağların dayanımı azalmakta ve bunun sonucu olarak degradasyon gerçekleşmektedir. Dış hava koşulları devam ettiği sürece bozulmaya uğrayan kısımlar yağış nedeniyle yıkanmakta ve yüzey erozyonu devam etmektedir (Feist ve diğ., 1984).

Dış ortam etkisine bırakılan odun yüzeyindeki ilk değişiklik yüzeyin sararmasıdır. Bekletme süresine bağlı olarak, sararan ahşap yüzeyi daha sonra ağarmakta ve en sonunda da esmer renge dönmektedir. Odun rengindeki bu değişimin, 300 ile 400 nm dalga boyları arasındaki UV ışınlarını absorbe eden lignindeki kromoforik grupların modifikasyonundan kaynaklandığı kabul edilmektedir. 396 nm den daha düşük dalga boyları odunun sararmasında etkili olurken, daha uzun dalga boylarının odunun ağarmasında etkili olduğu belirtilmektedir (Fengel ve diğ., 1984).

UV ışını odun yüzeyinde erozyona sebep olmakla birlikte bu degradasyon olayı oldukça yavaş gelişmekte, degradasyonun oranı, iklim, ağaç türü, ilkbahar-yaz odunu oranı, odunun radyal ve teğet kesilme şekli, büyüme hızı, lignin ve ekstraktif madde miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Erozyon oranı esas olarak ağaç malzeme yoğunluğuna ve hücre çeper kalınlığına bağlı olarak değişmekte, genel olarak yüksek yoğunluktaki odunlarda erozyon daha düşük seviyede gerçekleşmektedir. Dış ortam etkisiyle oluşan bu bozulmalar uygun işlemler ile durdurulabilmekte veya en aza indirilebilmektedir (Feist ve diğ., 1984; Fengel ve diğ., 1984; Hon, 1996).

Genel olarak iki ay boyunca güneş ışığına maruz kalan odun yüzeylerinde bir sararma veya kahverengileşme başlamakta ve bu süre uzadıkça yüzey gri bir renk almaktadır. Bunlara ek olarak koyu renkli ahşapta ise güneş ışığı etkisiyle renkte açılma, açık renkli ahşapta koyulaşma görülmektedir (Hill, 2006).

Miniutti (1964)'ye göre açık hava etkisi altında kalan iğne yapraklı ağaç odunlarında bozulmaların ilk işareti ilkbahar odunu traheidlerinin radyal çeperleri üzerlerindeki kenarlı geçitlerde genişlemeler ve çatlamların oluşmasıdır. Degradasyon süresinin ve şiddetinin

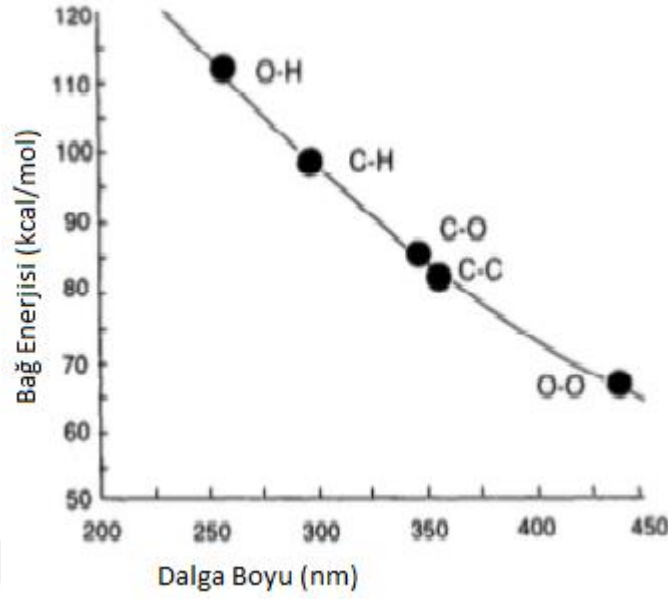
artmasıyla bu çatlaklar genişlemekte ve hücre çeperinde büyük kayıplar meydana gelmektedir (Kartal, 1995).

Son yıllarda odun esaslı ürün yelpazesindeki gelişme ve bu gelişmelere paralel olarak ürünlerin dış ortam uygulamalarında yoğun olarak kullanımıyla; odunun yaşlanması ve ışık kaynaklı kimyasal reaksiyonların (fotokimyasal reaksiyonlar) etkileri önem kazanmıştır. Bu nedenle ahşabı yaşlanma ve fotokimyasal bozulmalara karşı koruyacak ya da direnç kazandıracak, böylece ahşabın hizmet ömrünü uzatacak uygulamaların geliştirilmesine yoğun olarak ihtiyaç duyulmaktadır.

2.1.2. Odunda Meydana Gelen Kimyasal Değişimler

2.1.2.1. Odunu Oluşturan Selüloz, Hemiselüloz, Lignin ve Ekstraktiflerin Işığı Absorbe Etme Özelliği

Odun, kimyasal içeriğinden kaynaklı olarak ışığı ya yansıtır; bu özelliğinden dolayı estetik olarak güzel görünür ya da absorbe eder. Ne yazık ki ışığı absorbe etme özelliğinden dolayı çok küçük miktarda bir enerji absorbe edilse dahi, bu durum odunda foto kimyasal bozulmayı başlatmaya yetecek etkiye sahip olabilir. Bu foto kimyasal süreç odun yüzeyinde mekanik, fiziksel, kimyasal ve optik tüm özelliklerini değiştirebilir. Hatta Şekil 2.2' de görüldüğü üzere güneş ışığı spektrumunun en sonunda yer alan kısa dalga boylu UV ışınlarıyla birleşen kuantum enerjisi odunun temel içeriğini oluşturan selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi bileşiklerin kimyasal bağlarını koparmaya yetecek yeterli enerjiden daha fazlasını içerebilir. Örneğin ışığın bu kuantum enerjisi holoselüloz ve lignin gruplarını birbirine bağlayan karbon-karbon, karbon-hidrojen ve karbon-oksijen bağlarını aşınmaya uğratabilir veya bağ kuvvetinden daha yüksek bir enerjiye sahip ise bağları kopartabilir (Fengel ve diğ., 1984; Hon, 2001).

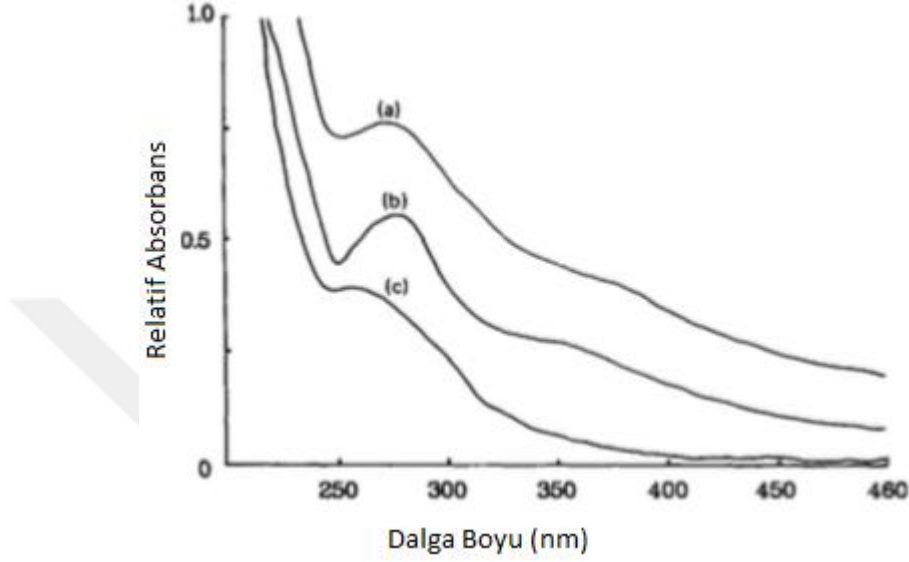


Şekil 2.1: Odundaki bağların yaklaşık enerjisi (Hon, 2001).

Odun, kromofor gibi ışığı absorbe edebilen çeşitli fonksiyonel gruplara veya sistemlere sahip bir kompozit malzemedir. Bu kromofor grupları veya sistemleri enerji-transfer esnasında alıcı veya verici görevinde bulundukları için fotokimyasal süreci kontrol edebilir. Odun polimerlerinde bulunan saf olmayan zincir yapıları zayıf bağ içerdiği veya enerji absorbe edebildiği için odunda fotokimyasal reaksiyonlara bağların parçalanmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

Odunun kimyasal içeriğinin (selüloz, hemiselüloz ve lignin) UV ışık altındaki absorpsiyon eğrisi kontrol edilmiştir. Şekil 2.2' de görüldüğü üzere selüloz, ışığı 200 nm ile 300 nm dalga boyları arasında yüksek oranda absorbe edilebilmekte, lignin ve polifenoller (ekstraktifler gibi) ise ışığı 200 nm dalga boyunun altındaki değerlerde yüksek oranda absorbe etmektedir. 280 nm'de güçlü bir tepe noktası yakalanmaktadır. Lignin ve selülozun UV absorpsiyon eğrilerinin kombinasyonu ile odunun absorpsiyon eğrisi oluşturulmaktadır. Absorpsiyonun %80-95'i lignin, %5-20'si karbonhidratlar ve yaklaşık %2'side ekstraktif maddeler tarafından oluşturulmaktadır. Saf selüloz ışığı absorbe edememektedir. Selülozun ışığı absorbe etmesinde ise karbonil gruplarının etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca karbonil gruplarına ek olarak, C1 pozisyonundaki indirgenmemiş glikoz birimlerinde bulunan, ketonik karbonil grupları ve asetal gruplarının da ışığın absorbe edilmesinde etkisi olduğu düşünülmektedir (Hon, 2001;

Rowell, 2005). Hemiselülozlar, selüloz ile benzer yapısal özelliklere sahip olduğundan ışığı absorbe etme karakterleri de benzerlik göstermektedir.



Şekil 2.2: Ultraviyole spektra, (a) odun, (b) lignin ve (c) selüloz (Hon, 2001).

Selüloz ve hemiselülozlardan farklı olarak lignin ışığı oldukça fazla oranda absorbe etme özelliğine sahiptir. Ligninin ışığı absorbe etmesi; moleküller arası kromoforik yapısal elemanlarında gerçekleşir. Hon ve Glasser (1979) olası kromoforik sistemleri şöyle sıralamıştır (Hon, 2001).

1. Kromoforik fonksiyonel gruplar: Fenolik hidroksil gruplar, çift bağlar, karbonil grupları.
2. Kromoforik sistemler: Kinonlar, kinonmetiller ve bifeniller.
3. Lökokromoforik sistemler: Metilenkinonlar, phenanthraequinones, fenil naftanalendioller, bimetilenkinonlar.
4. Aracılar: Serbest radikaller.
5. Kompleksler: Metal iyonu içeren şelat yapıları.

Lignin selüloza kıyasla ışığı daha fazla absorbe eder; dolayısıyla selüloza göre yapısı daha fazla bozulmaya uğrar. Ayrıca ligninin fenolik grupları, selüloz tarafından absorbe edilmiş olan foton

enerjisini geri emebilir ve bu enerjiyi lignine transfer edebilir. Bu sebepten dolayı, ortamda lignin var olduğu sürece selüloz bir dereceye kadar foto bozulmadan korunabilirken bunun sonucunda ligninde renk değişikliği ve bozulmalar başlar. Ligninin bu koruyucu etkisinin ligninin güçlü oto-oksidasyon kapasitesinden ve yüksek absorblama özelliğinden kaynaklandığını belirtmiştir (Hon, 2001).

Genellikle kromoforik gruplar ve sistemler odun yüzey bileşenleri içerisinde geniş bir alanda yayılmış olmasından dolayı ışık odunun içerisine kolayca nüfuz olamamaktadır. Ayrıca absorbe edilen ışık odun yüzeyinde fotokimyasal bozulmayı tetikleyerek renk değişimine sebep olduğu için odun yüzeyinin ışığı geçirmeyen koruyucular ile kaplanması gerekmektedir. Foto degradasyon sonucu odundaki renk değişiminin nasıl meydana geldiği hala tamamen aydınlatılmış değildir. Yapılan bazı çalışmalarda koyu kahverengi yüzeye sahip kızılçam ve sekoya örnekleri ışık etkisi altında bırakıldıklarında renk değişiminin sadece 0,5-2,5 mm altına kadar olduğu gözlemlenmiştir. Foto-oksidasyon ilerledikçe çoğu odun türünde renk grimsi bir hale döner ancak bu renk değişimi sadece 0,10-0,25 mm derinliğe kadar gerçekleşmektedir. Brown ve Simonsen (1957) tarafından yapılan çalışmada görünür (400-750 nm) ışık tarafından odun örnekleri yüzeyinde oluşan renk değişiminin 2540 µm derinliğe kadar olduğu gözlemlenmiştir. Gri odun yüzeyinin 125 µm kalınlıktaki tabakaya kadar olduğu, bu tabakanın altındaki kısımlarda ise 508-2540 µm kalınlıkları arasında rengin kahve ile gri arasında olduğu tespit edilmiştir (Forest Products Laboratory, 2010).

Yapılan bir başka çalışmada ise farklı odun türlerinden örneklerin yüzeyleri UV ışık kaynağı kullanılarak serbest radikal zincir reaksiyonun ölçümleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda UV ışığının örneklerin yüzeyinden 75 µm derinlikten ilerisine geçemediği tespit edilmiştir. Görünür ışığın ise 200 µm derinliğe kadar nüfuz edebildiği belirtilmiştir. Görünür ışık kaynağı her ne kadar odunun yüzeyinden daha derinlere kadar ulaşabiliyor olsa da görünür ışık kaynağının sahip olduğu enerji (400-700 nm dalga boyundaki maksimum 70 kcal/mol) odunun yapısını oluşturan (selüloz, hemiselüloz ve lignin) bileşiklerin kimyasal bağlarını koparmaya yetmemektedir (Şekil 2.1). Dolayısıyla, odunun yüzeyinden 508-2540 µm altında tespit edilen grimsi kahvemsiz renk değişimi görünür ışıktan kaynaklanmamaktadır. Bu renk değişiminin sebebi serbest radikal zincir reaksiyonundan kaynaklanmaktadır. Zincir reaksiyonu odunda bulunan bileşiklerin aromatik kısımlarının, odun yüzeyinden UV ışığını absorbe etmesiyle başlamaktadır. Absorbe edilen UV ışığın bir miktar enerji oluşturması ve bu enerjinin bir

molekülden diğer moleküle dağılmasıyla yeni serbest radikaller oluşmaktadır. ESR kullanılarak odunda serbest radikallerin görüldüğü bir çalışma görünür ışığa maruz bırakılan odunda ilk serbest radikallerin yüzeyin 80 µm altında meydana geldiği tespit edilmiştir (Hon ve diğ., 1980).

Enerji transfer süreci, elektronik olarak uyarılmış yüzey tabakasının dışında bulunan gruplar ile yüzey tabakasının altında bulunan gruplar arasında meydana gelmektedir. Transfer olan enerjinin fazlası odun yüzeyinin alt tarafında meydana gelen renk değişiminden sorumlu olan serbest radikalleri oluşturmaktadır. Ayrıca serbest radikaller oldukça yüksek enerjiye sahip olduklarından yakınlarındaki diğer radikalleri stabil tutabilmek için zincir reaksiyonu oluşturma eğilimindedirler. Sonuç olarak oluşan yeni serbest radikaller odunun derinlerine doğru göç ederek renk değişimini gerçekleştirmektedirler (Hon, 2001).

2.2. UV IŞINI KAYNAKLI SERBEST RADİKALLER

2.2.1. Foto Oksidatif Olarak Uyarılmış Odun Yüzeyindeki Serbest Radikallerin Özellikleri

Odunda normal şartlarda herhangi bir serbest radikal bulunmamaktadır fakat ESR spektroskopisi analizleri doğrultusunda odun, odun kompozitleri ve lignin içerisinde bir miktar stabil halde bulunan serbest radikallerin var olduğu tespit edilmiştir (Hon ve diğ., 1980). Taze kesilmiş odun örneklerinde oksijenli ortamda bir miktar stabil halde bulunan serbest radikaller mevcut olsa da stabil serbest radikallerin büyük bir kısmı odunda elektromanyetik olarak uyarıldığı zaman meydana gelmektedir. Serbest radikaller, UV ışınına maruz bırakılan selüloz, hemiselüloz ve lignin birimlerinde tespit edilebilmektedir. Serbest radikallerin formasyonu odun polimerlerinin bozulmaya başladığının bir belirtisidir. ESR çalışmaları göstermiştir ki; odun güneş ışığıyla, UV ışığıyla, floresan ışığıyla ve suni UV ışık kaynaklarıyla, açık hava ve vakum altında, kolayca etkileşim haline girerek serbest radikal oluşturma eğilimindedir (Şekil 2.3). Genel olarak vakum altında oluşan serbest radikaller, açık hava etkisinde oluşan serbest radikallere göre daha uzun sürede meydana gelmekte, ancak açık havada oluşanlara göre daha

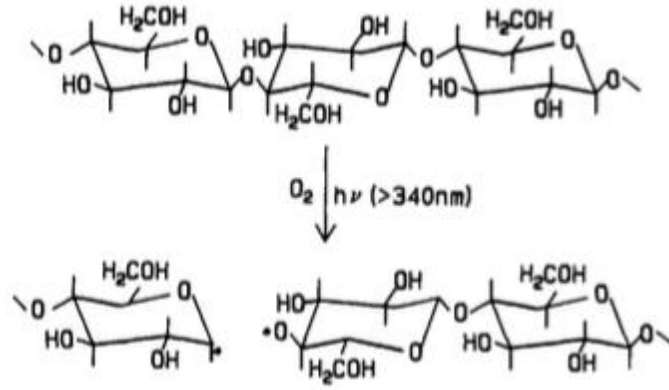
yüksek miktarları bulunmaktadır. Oksijen, odun yüzeyinde serbest radikallerin oluşmasında oldukça önemli elementtir (Hon, 2001).

2.2.2. Selüloz Ve Hemiselülozlarda Meydana Gelen Serbest Radikal Reaksiyonları

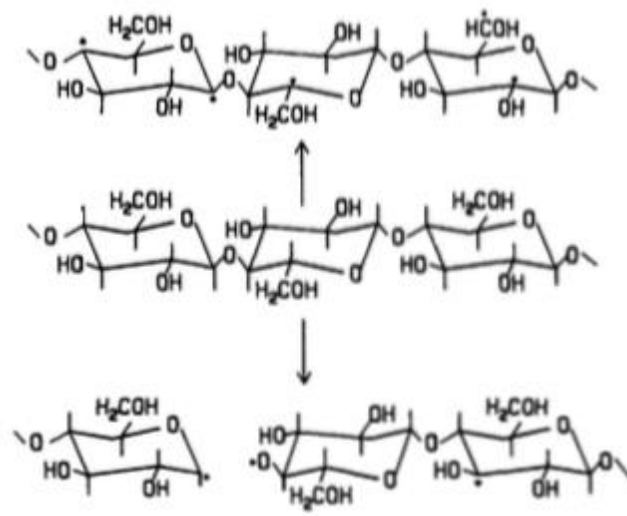
Selülozun ışığa karşı olan hassasiyeti yüzyıllar boyunca kabul görmüş bir düşüncedir. Witz (1883), doğada selülozun kimyasal olarak foto degradasyona uğradığını göstermiştir (Hon ve diğ., 2013). Bu çalışmadan sonra selülozun UV ışık altındaki davranışları pek çok araştırmada incelenmiştir. Serbest radikaller, foto degradasyon esnasında önemli bir aracı rolünde olduğuna inanılmaktadır. Yapılan pek çok ESR spektroskopi analizleri sonucunda selüloz ve hemiselülozlardan türeyen çoğu serbest radikal türleri başarıyla tespit edilebilmiştir. Selüloz ve hemiselülozlarda meydana gelen foto degradasyonun derecesi, ışık kaynağının yoğunluğu ve enerji dağılımına bağlıdır. (Hon, 1996).

Saf selüloz, vakum altında 340 nm üzerindeki dalga boylu ışık kaynağından hiçbir şekilde etkilenmemektedir. Elektromanyetik spektrum altında selülozun ışık tarafından degrade olması oldukça düşük bir bant boyunca sınırlı kalmaktadır. 340 nm dalga boyu üzerindeki ışık kaynağının selülozu degrade edebilmesi oldukça yavaş gerçekleşen bir olaydır. Selüloz güneş ışığına maruz bırakıldığında, polimerizasyon derecesi ve direnç değerlerinin azalmasında sorumlu olan glikozidik bağlarının parçalandığı tespit edilmiştir. ESR spektrometre analizleri sonucu C-1 ve C-4 pozisyonundaki bağları koparttığı için bu bölgelere yakın yerlerde serbest radikallerin bulunduğu tespit edilmiştir (Hon, 2001; Rowell, 2005).

Selüloz üzerinden açığa çıkan serbest radikallerin tipi ve oranı çoğunlukla ışık kaynağının ısıma enerjisi ve dalga boyuyla ilişkilidir. Çeşitli dalga boylarında selülozdan açığa çıkan serbest radikal formları ESR analizleri çalışmasında belirtilmiştir (Şekil 2.4-2.5-2.6). Vakum ortamında 340 nm dalga boyunun üzerinde ışık kaynaklarına maruz bırakılan selüloz birimlerinde herhangi bir serbest radikal oluşumu gözlemlenmemiştir. Buna karşın oksijenli ortamda glikozidik bağlar parçalandığı için alkoksi ve karbon radikallerinin varlığı tespit edilmiştir. Dalga boyu 280 nm üzerinde olduğu zamanda ise; selülozdaki zincirlerin parçalanmasına ek olarak tercihen C-1 ve C-5 pozisyonlarında dehidrojenasyon meydana geldiği belirlenmiştir (Hon, 2001; Rowell, 2015).



Şekil 2.3: UV ışık etkisi sonucu selülozda serbest radikal oluşumu 340 nm altında (Hon, 2001).



Şekil 2.4: UV ışık etkisi sonucu selülozda serbest radikal oluşumu 280 nm altında (Hon, 2001).

Selüloz birimleri 254 nm dalga boyundaki bir ışık kaynağına maruz bırakıldığında ise C-5 ve C-6 yan zincirlerinin parçalanmasından kaynaklı olan dehidrometoksilasyon olduğu gözlemlenmiştir. ESR sonuçlarına göre farklı ışık kaynakları tarafında selüloz birimlerinde karbon radikalleri, alkoksi radikalleri, formil radikalleri ve hidrojen atomlarının oluşabildiği tespit edilmiştir (Hon, 2001; Rowell, 2005).

Genel olarak selülozdan oluşan alkoksi radikalleri, karbon radikallerine kıyasla daha stabil yapıdadır. Karbon radikalleri oksijenli ortamda kendisini daha stabil hale getirebilmek için ortamdaki hidrojen iyonlarını özümseme eğilimi içerisinde. Bu eğilim doğrultusunda karbon radikalleri, hidrojen peroksit üretebilmek için çok hızlı bir şekilde hidrojen peroksit radikallerine dönüştürülür. Şayet ortamda uyarılmış oksijen grupları mevcut ise oksijenasyon reaksiyonları daha da hızlanmaktadır (Hon, 1996). Selülozun oksidasyonu sırasında tekli oksijen iyonlarının bağlanması hala tartışma konusudur.

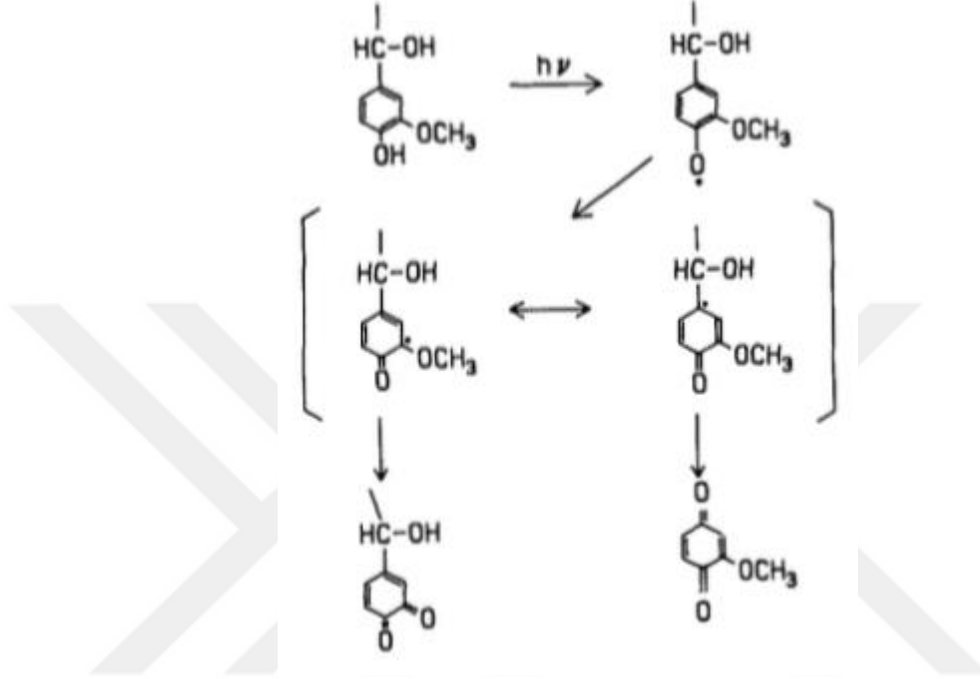
Her ne kadar selüloz birimleri 340 nm dalga boyunun üzerindeki UV ışık kaynağından etkilenmese de ortamda metal iyonlarının varlığında serbest radikallerin oluşumu destekleyici etki gösterebilmektedir (Anderson ve diğ., 1991; Fengel ve diğ., 1984; Forests Product Laboratory, 2010; Hill, 2006; D.N.S. Hon, 2001; D.N.S. Hon, 1996; Rowell, 2005; Temiz, 2005).

2.2.3. Ligninde Oluşan Serbest Radikal Reaksiyonları

Geleneksel lignin modelleri resimlerinde de görülebileceği gibi, lignin reaktif gruplarca oldukça zengin bir yapı bulundurduğu için oldukça iyi bir ışık absorbe edicidir. Lignindeki reaktif gruplar, pek çok farklı tipteki eterler, birincil ve ikincil hidroksil grupları, karbonil grupları ve karboksil grupları şeklinde karşımıza çıkabilmektedir. Ayrıca ligninde birçok aromatik ve fenolik bölge ve ışık ile etkileşime kolayca girip serbest radikal zincir reaksiyonunu başlatabilecek aktif bölge bulundurmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi lignin oldukça kompleks içeriklerden oluştuğu için bu serbest radikallerin nereden açığa çıktığını tespit etmek oldukça zordur (Hon, 2001; Rowell, 2005).

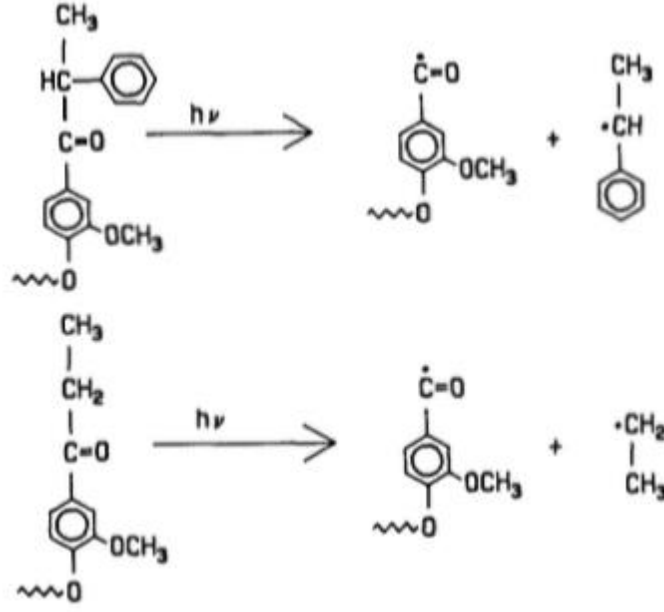
Lignin 350 nm dalga boyunun altındaki ışık kaynaklarından etkilenmektedir. Kullanılan lignin çeşidine bağlı olmakla birlikte Şekil 2.5'te görüldüğü gibi ligninin yapısındaki fenolik hidroksil grupları ışık kaynağıyla etkileşime girer, ya yan zincirlerdeki bağları parçalama ya da demetilasyon sonucu o- veya p- kinonoid tipindeki fenolik radikallere dönüşme eğilimindedirler. Işık kaynağının dalga boyu 350 nm ve üzerine çıktığı zaman ligninde herhangi

bir degradasyon meydana gelmez fakat dalga boyu 400 nm üzerinde olursa foto yıkanma veya lignin ağarması gözlemlenebilir (Hon, 2001).



Şekil 2.5: UV ışık etkisi sonucu ligninde *o*- ve *p*-kinon oluşumu (Hon, 2001).

Bunlara ek olarak Şekil 2.6' da görüldüğü gibi lignin bileşiğinde mevcut olan karbon-karbon bağlarının bitişiğindeki α -karbonil grupları Norrish Tip I reaksiyonu vasıtasıyla fotolize uğrar ancak bu reaksiyonun lignindeki eter bağları bitişiğinde bulunan α -karbonil gruplarında gerçekleşmez. Böyle bir durumda şekil 2.6' da görüldüğü gibi bu α -karbonil grupları ışığı absorbe ederek enerji biriktirir; biriken enerji α -karbonil gruplarından eter bağlarını parçalayarak fenolik ve karbon radikallerinin üretiminden sorumlu olan β -aril eter bağlantısına transfer edilir (Hon, 2001; Rowell, 2005).



Şekil 2.6: Ligninde Norrish Tip I Fotoreaksiyonu (Hon, 2001).

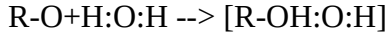
2.3. FOTOİRADYASYONA UĞRAMIŞ ODUNDA HİDROPEROKSİDASYON

Odun yüzeyinde foto oksidasyon oldukça yavaş ilerleyen bir süreçtir ancak foto oksidasyon seviyesi UV ışık, sıcaklık ve metal iyonlarıyla artırılabilir. Fotooksidasyonun başlangıcındaki mekanizmayı anlamak için bu hidrojen peroksit grupları kilit rol oynamaktadır. Drift spektrofotometre yardımıyla örnek hazırlamadan veya örnekler üzerinde herhangi bir hasar oluşturmadan mevcut hidrojen peroksit grupları tespit edilebilmektedir. (Hon, 1996). Yapılan bir çalışmada sarıçam örneklerinin teğet kesitleri üzerinde $\lambda \geq 223$ ve $\lambda \geq 300$ nm dalga boyundaki (λ) ışık kaynağı kullanılarak hidrojen peroksitten kaynaklı, 3550 cm^{-1} değerinde eş absorbant tepe noktaları tespit edilmiştir. Işık kaynağının dalga boyu arttıkça daha fazla hidrojen peroksit tespit edilmiştir. $\lambda \geq 300$ nm ışık kaynağı kullanılarak ilk 90 günlük süre boyunca örnekler üzerinde oluşan bozulma reaksiyonlarıyla hidrojen peroksit reaksiyonları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmaya göre bu süre zarfında hidrojen peroksit düzeyi odundaki bozunma oranından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dalga boyu $\lambda \geq 223$ nm olan ışık kaynağı kullanılarak odunlar bozulduğunda en yüksek miktarda hidrojen peroksit üretildiği ve eş zamanlı olarak bu hidrojen peroksitlerin karbonil gruplarına dönüştüğü tespit edilmiştir. Bu kimyasal dönüşüm 65°C üzerindeki sıcaklıklarda gözlemlenmiştir (Hon, 1996).

ESR aynı zamanda hidrojen peroksit radikallerinin düzeyi ve yapmış oldukları bozulmaların izlenmesinde de kullanılır. Peroksi radikalleri hidrojen peroksitin yakınında bulunan moleküllerden proton ayırarak doymamış bölgelerini doyurmaya uğraşır. Hidrojen peroksitler oldukça kararsız bir yapıdadır ve herhangi bir ışık kaynağı ve sıcaklık etkisiyle karbonil veya karboksil grupları gibi yeni kromoforik gruplara dönüşme eğilimi içerisindedir (Hon, 2001; Liu, 1997; Rowell, 2005).

Kromoforik gruplar ve UV ışık etkilerine ilave olarak, oksijen ve su molekülleri odunun yaşlandırılmasında oldukça önemli bir rolde bulunmaktadır. Su molekülleri odunun içerisine girerek hücre çeperlerini genişletmekte ve ışığın bu bölgelere ulaşmasını sağlamaktadırlar. Ayrıca çeper maddelerindeki hidrojen bağlarında bir azalmaya sebep olabilirler. Su molekülleri yüksek polaritelerinden dolayı serbest radikalleri kendisine çekebilmekte ve onlarla etkileşime girebilmektedirler. Yapılan bazı çalışmalar sonucunda odunun rutubeti %5-7 arasında olduğu zaman serbest radikal oluşumunun önemli ölçüde engellendiği tespit edilmiştir. Fakat odunun rutubetinin bu değerlerden daha düşük veya yüksek olması halinde, serbest radikal oluşumunun arttığı tespit edilmiştir (Fengel ve diğ., 1984; Hon, 2001; Liu, 1997).

Su molekülleriyle serbest radikaller aşağıdaki gibi kompleks oluşturma eğilimi içerisindedirler.



R-O: Fenoksi radikali

Oksijen ise odunun yaşlanmasında oksidant görevinde rol almaktadır. Oksijen molekülleri, serbest radikaller ile tepkimeye girerek polimer peroksi radikallerini (POO) ve peroksitleri oluştururlar. Bu sebeplerden ötürü oksijenin hem serbest radikal oluşumuna bir etkisi olduğu hem de UV ışıkla oksitlenme etkisinden dolayı oldukça önemlidir (Liu, 1997).

Odunun yaşlanmasında su ve UV ışık kadar etkisi olmamasına rağmen serbest radikal oluşumunu ve oksidatif reaksiyonları arttıran bir diğer faktörde sıcaklıktır. Sıcaklık artışıyla beraber fotokimyasal degradasyonda da bir artış meydana gelir. Ayrıca odunda absorbe edilen suyun donması ve erimesinde rol oynayabildiği için çatlak ve yarık oluşumlarını tetikleyebilir. Bunların haricinde, asit yağmurları ve hava kirliliği de ihmal edilmemesi gereken faktörlerdir. Yapılan araştırmalarda kış aylarında havadaki kükürt dioksit oranının artışının odunda yüzey erozyonunu arttırdığı tespit edilmiştir (Fengel ve diğ.,1984; Hon,1996; Hon, 2001).

Odundaki UV ışık etkisiyle serbest radikallerin oluştuğu, fenolik hidroksillerin oksidasyona uğradığı ve bunların sonucunda odundaki metoksil ve lignin içeriğinde bir azalma meydana geldiği; karboksi içeriğinde ise bir artma meydana geldiği tespit edilmiştir (Evans ve diğ., 1992; Feist ve diğ., 1984; Fengel ve diğ., 1984; Hill, 2006; Hon, 2001; Hon, 1996; Kartal, 1995; Liu, 1997; Rowell, 2005).

Yapılan bir çalışmada, 85µm kalınlıkta hazırlanan radiata çamı örnekleri Avusturalya’ da yaz döneminde dış ortam koşullarında 30 günlük doğal yaşlandırmaya maruz bırakılmıştır. ESR analizleri sonucunda 4 saat sonra örneklerde ölçülebilir seviyede delignifikasyonun olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 3. ve 6. gün süresinde örneklerin yüzeyindeki asitte çözünmeyen lignin içeriğinin %26,2 seviyesinden %19,9 seviyelerine çok hızlı bir şekilde düştüğü tespit edilmiştir. Dış ortam koşullarında bekleme süresi arttıkça lignin oranındaki bu azalmanın ilk 5 güne kıyasla çok daha yavaş olduğu, 30 gün sonunda ise örneklerdeki lignin içeriği %10 seviyesine kadar düştüğü belirtilmiştir (Evans ve diğ., 1996).

Kimyasal analizler için yapılan elektron spektroskopisi çalışmalarında dış ortam koşullarında bozunmaya maruz kalmış odun yüzeylerinde oksijen içeriğinin karbon içeriğine göre daha fazla olduğu; örneklerinde yüzeyinin selüloz bakımından zengin olduğu ve çözülebilir yapıdaki lignin ürünlerinin yağmur sularıyla birlikte yıkandığı belirlenmiştir (Liu, 1997).

2.4. ISIL İŞLEM

Dünyanın birçok yerinde kullanım alanları her geçen gün artan ahşap, değerini korumaktadır. Her ne kadar gelişen teknoloji ile ahşap yerine geçecek malzemeler üretilse de doğallığından dolayı ve mühendislik malzemesi olarak çok sayıda yeni kullanım alanında değerlendirilmesi nedeniyle bu malzemeler ahşabın yerini almayı başaramamışlardır. Farklı rutubet değerlerinde odunun çalışması, çeşitli biyolojik zararlılardan etkilenmesi, UV ışık altında renginin solması veya yağış gibi abiyotik faktörlerin neden olduğu fiziksel ve kimyasal değişimlerden etkilenmesi gibi olumsuzlukları gidermek amacıyla farklı metodlar uygulayarak odunun yüksek sıcaklık derecelerinde termal modifikasyona uğratılmasına ısı işlem denilmektedir (Hill, 2006).

Isıl işlem prosesinde ağaç malzemenin 100-250°C’ler arasında normal atmosfer, azot gazı (N), nitrojen (N₂), veya herhangi bir kimyasal olarak reaktif olmayan inert gaz (elementer cetvelin

8A grubu elementleri) ortamında belirli sürede bekletilmesi sonucu hücre çeperinin polimer bileşiklerinin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişimler ile sonuçlanan fiziksel bir işlem gerçekleşmektedir (Hill, 2006; Korkut ve diğ., 2007).

Isıl işlemin Vikingler tarafından çit malzemesi olarak 1000 yıl kadar önce kullanıldığına ait bilgiler bulunmaktadır. Ahşabın termal modifikasyonuna tabi tutulmasına ait ilk bilimsel çalışmaların 1930 yılında Alman bilim adamları Stamm ve Hansen, 1940 yılında ABD' li bilim adamı White tarafından yapıldığı görülmektedir. Daha sonra 1950' li yıllarda Germans Bavendam, Runkel ve Buro, 1960'lı yıllarda Kollman ve Schneider, 1970'li yıllarda Rusche ve Burmester bu alanda çalışmalar yapmışlardır. 1990'lı yıllarda ise özellikle Hollanda, Finlandiya ve Fransız araştırmacıların bu alanda yoğunlaştıkları görülmektedir. Günümüzde en fazla kullanılan ısıtıl işlem yöntemleri Thermowood (Finlandiya), platowood (Hollanda), Retification ve Les Bois Perdure (Fransa) ve oil-heat-treatment wood (Almanya) olarak bilinmektedir (Rapp 2001; Korkut ve diğ., 2007; Korkut ve diğ., 2009).

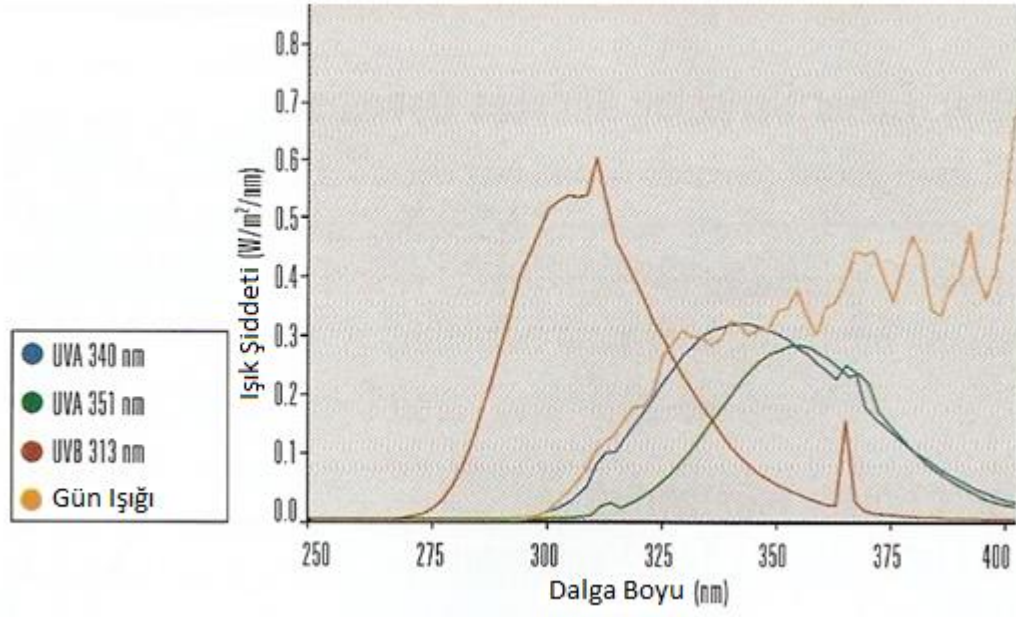
Ahşaba ısıtıl işlem uygulamanın amaçları; denge rutubet değerini azaltmak, termal izolasyon yeteneğini arttırmak, daralma ve genişleme özelliklerini minimize etmek, mantar ve böcek saldırılarına karşı biyolojik direnci arttırmak, dış iklim şartlarına karşı direnci arttırmak, dekoratif renk çeşitliliği sağlamak, kullanım süresini arttırmak, düşük kaliteli ağaç türlerine pazar imkanı sağlamak ve bunların daha kaliteli türlere karşı ticari kazanımlarını arttırmak ve boya/vernik gibi üst yüzey işlemlerinin uygulanmasını kolaylaştırmak olarak sıralanabilir. Isıtıl işlemin her ne kadar yukarıda belirtilen olumsuzlukları önleyici etkisi olsa da bazı olumsuz yanları da bulunmaktadır. Bunlar odunun direnç değerlerinin düşmesi, çatlak oluşumlarının görülüş sıklığının artması ve rengin koyulaşmasıdır. (Hill, 2006; Korkut ve diğ., 2009; Tuncer, 2014).

Isıtıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin kullanım alanları; bina dış cephe kaplamaları, iç mekanda parke v.b. kullanım alanları, park ve bahçe mobilyaları, pencere ve doğramalarda kullanılması, iç ve dış kapı uygulamaları, sauna ve sauna elemanları, iç mekan mobilyaları, müzik aletleri yapımı, teraslarda döşeme malzemesi, pergola, tavan ve çatı altı kaplama ve banyo ve mutfak mobilyaları olarak örneklendirilebilir (Korkut ve diğ., 2009).

2.5. AĞAÇ MALZEME YAŞLANDIRMA TESTLERİ

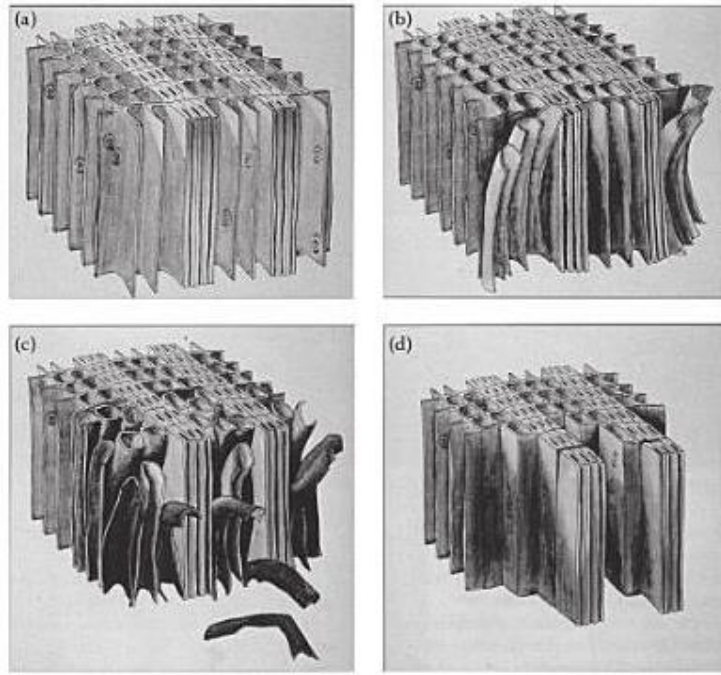
Açık hava etkileri altında kalan ahşap malzeme, farklı atmosfer koşulları (UV ışınları, rüzgar, yağmur, kar, havadaki bağıl nem, soğuk ve sıcak hava gibi) altında zaman içerisinde bozunmaya uğramaktadır. Hava koşullarından kaynaklanan bu olumsuz etkiler sonucu uzun ve kısa dalga boyundaki UV ışınların etkisi ile hücre çeper bileşenlerinin fotokimyasal bozunması gerçekleşir. Bu süreçte ağaç malzeme yüzeyinin ıslanması ve kurummasından kaynaklanan şişme ve çatlama nedeniyle yüzeyde mekanik yıpranma görülür. Odun dokusu yüzeyindeki bu kimyasal bozunmanın oluşması için UV ışınlarının dalga boyunun 400 nm'nin altında olması gerekmektedir. 400 nm'nin üzerindeki dalga boylarında kimyasal değişiklikler oluşmamaktadır (Unger ve diğ., 2001; Zabel ve Morrell, 1992; Black ve diğ., 1979; Williams, 1987; Browne, 1970; Anderson, 1991; Erdin, 2009). Ağaç malzeme 350 nm dalga boyundaki UV ışınlarına maruz kaldığında, özellikle açık renkli odunda renk koyulaşması görülürken koyu renkli odunda ise renk önce açılmakta, sonra ise kahverengine benzer bir esmerleşme oluşmakta, ahşabın yüzeyinde bozunma gerçekleşmektedir. Bu süreçte, renk değişikliğine uğrayan odunda önce lignin serbest kalmakta ve fotokimyasal bozunmadan en büyük zararı lignin görmektedir (Hon ve diğ., 1986; Temiz 2005; Erdin 2009; Çolak, 2014).

Yaşlandırmanın ağaç malzeme üzerine etkisini tespit etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler doğal dış ortam yaşlandırma testleri, hızlandırılmış dış ortam yaşlandırma testleri ve hızlandırılmış laboratuvar yaşlandırma testleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Ayrıca hızlandırılmış laboratuvar yaşlandırma testleri kendi içinde; UV florasan lamba ile yaşlandırma, Xenon-arc lambası ile hızlandırılmış yaşlandırma ve termal işlemlerle hızlandırılmış yaşlandırma olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Çakıcıer ve diğ., 2009; Çolak, 2014).



Şekil 2.7: Gün ışığı, UVA ve UVB ışığının dalga boyu analizi (Anon., 2014).

Mc Donald ve diğ., (1996)'e göre ağaç malzemedeki UV ve rutubet etkisi sonucu meydana gelen bozunma Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8: Ahşap yüzeyinde UV ışınları ve rutubet etkisi ile oluşan bozunmanın şematik görünüşü
 (a) normal odun; (b) başlangıç aşamasındaki yaşlandırmanın etkisiyle liflerin gevşemesi;
 (c) lif kaybı; (d) düşük yoğunluktaki ilkbahar odununda görülen oluklaşma (Mc Donald ve diğ., 1996).

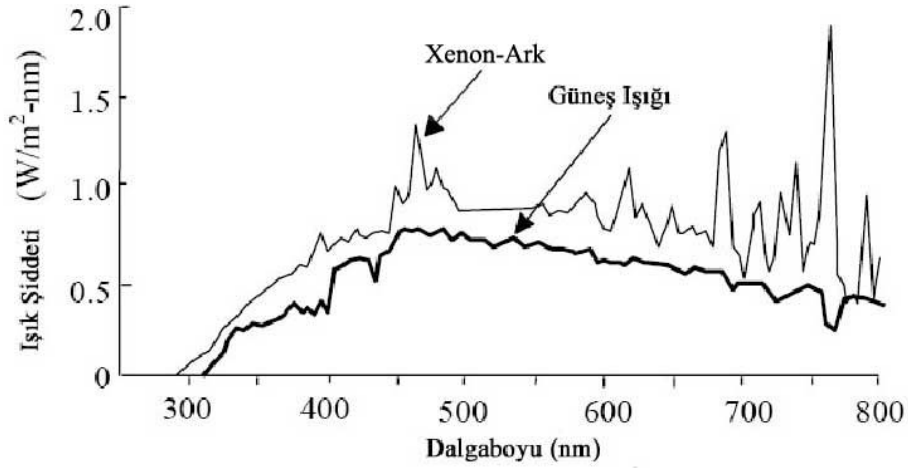
Doğal dış ortam yaşlandırma testleri özel olarak hazırlanmış olan yerlerde yapılmakta, dış faktörlerin etkisi doğal olarak belirlenmektedir. Kullanım yerlerindeki sıcaklık farkları, kar, hava kirliliği, asit yağmurları, rutubet, güneş ışığı (UV) vb. faktörler ağaç malzemenin görünüşünü ve dayanıklılığını etkilemektedir. Yaşlandırma uygulamalarında olabildiğince gerçeğine yakın test ortamı oluşturulmalıdır (Çakıcıer ve diğ., 2009; Çolak, 2014).

Hızlandırılmış doğal yaşlandırma testleri ile birlikte yapay yaşlandırma testlerinin amacı odunun doğal yaşlanma etki süresinin kısaltılarak kısa zamanda tespitlerin yapılmasıdır (Aytin, 2013).

2.5.1. Xenon Lambası ile Hızlandırılmış Yaşlandırma

Güneş ışığı etkisi xenon-arc lambalarıyla benzeşen xenon test cihazlarıyla belirlenebilmektedir. UV test sistemlerine göre biraz daha uzun sürmesine karşın gün ışığına en yakın yaşlandırma etkisi sağlandığından ve daha güvenilir sonuçlar elde edildiğinden bu testler tercih edilmektedir. Karbon Ark Lambaları kullanılarak UV ışığının bozundurucu etkisini belirlemek için Sunshine Weather-ometer: SWOM'de yaygın kullanılan bir diğer cihazdır. SWOM testleriyle elde edilen sonuçların, yüzey tabakalarının doğal ortamdaki özelliklere benzer dayanıklılık gösterdiği ifade edilmektedir (Tunçgenç 2004; Çakıcıer ve diğ., 2009).

Gugumus (1987) tarafından yapılan çalışmada, 295 nm' den daha büyük bir filtre takılmış xenon-arc lambasının, doğal dış ortam şartlarında oluşan etkilere çok yakın bir yaşlandırmaya neden olduğu belirlenmiştir. İç ortam ve dış ortam borosilikat filtrelerin kullanılması ile oluşan ışınım spektrumu Şekil 2.9' da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere doğal ışık kaynağına benzeyen xenon-arc lambasının kullanıldığı yaşlandırmadaki bozunma, UV-Florasana yaşlandırma işlemine göre daha yüksek gerçekleşmektedir (Suits ve diğ., 2003; Arnold ve diğ., 1991).

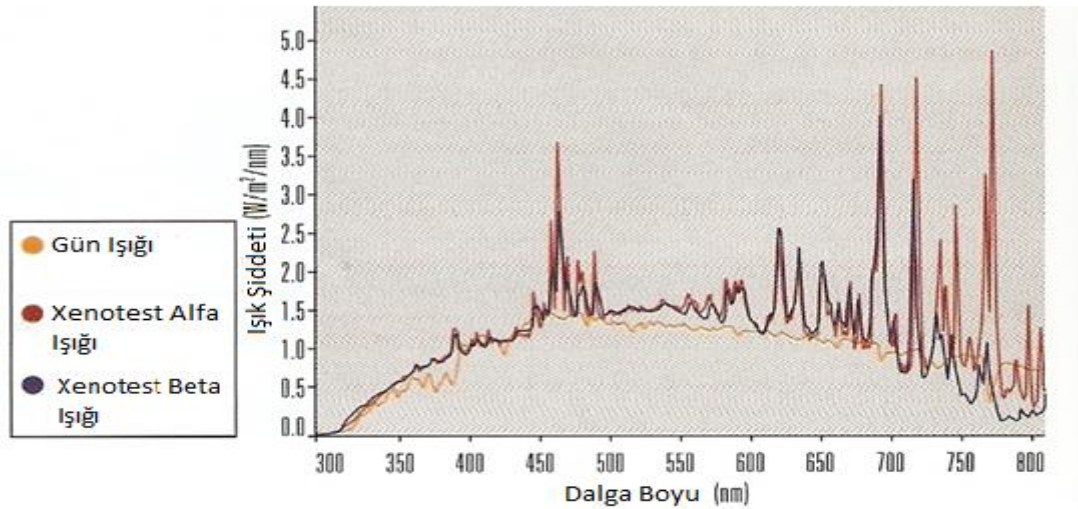


Şekil 2.9: Borosilikat filtreli xenon-ark lambası ışığı ve güneş ışığının karşılaştırılması (Suits ve Hsuan, 2003).

Ahşap yüzeylerde xenon- ark lambası kullanılarak yapılan deneyler farklı standartlara dayanmaktadır. Örneğin, TS 8106–2/1998 ISO 4892–2/1998 standardında, 90° açıda ışık radyasyon döngüsünde siyah panel sıcaklığı 63 ± 5 °C ve $\%60 \pm 5$ bağıl nem sağlanacak şekilde 102 dakikalık ışıma süresi uygulanmakta, sonra 50 ± 5 °C 'de ve $\%80 \pm 5$ bağıl nemde 18 dakikalık yağmurlama gerçekleştirilerek bozunma süreci ortamı taklit edilmektedir. Genellikle örnekler, cihazda ışınlama şiddeti 550 W/m^2 seçilerek ve borosilikat cam filtre kullanılarak işlem görmekte, yaşlandırma periyotları da 24, 48, 144 saat ve katları olacak şekilde uygulanmaktadır (Gulmine ve diğ., 2003).

Deneme örnekleri, ışın kaynağına 90° ve 45° açıda, 400 mm uzaklıkta konumlandırılmaktadır. Yaklaşık olarak dakikada bir tur hızda dönen çember üzerindeki örneklerin hepsinin aynı ışıma maruz kalmaları için her periyot arasında düzenli olarak örneklerin yerlerinin değiştirilmesi gerekmektedir (Stark ve Matuana, 2004; Çakıcıer ve diğ., 2009; Çolak, 2014).

Xenon-arc lambası, organik yüzey işleme sistemlerinde iç gerilim oluşturarak katman sertliğinin artmasına ve kırılgenliğe sebep olduğundan yaşlandırma cihazında 80 °C' den daha yüksek sıcaklıkların oluşmamasına dikkat edilmesi gerektiği unutulmamalıdır (Çakıcıer, 2007).



Şekil 2.10: Gün ışığı, Xenotest Alpha ve Xenotest Beta ışığının dalga boyu analizi (Anon., 2018).

2.6. AĞAÇ MALZEMENİN FOTODEGREDASYONUNA İLİŞKİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ağaç malzemenin fotodegradasyonuna ilişkin yapılan çalışmalar incelendiğinde ağaç malzeme (farklı tür ve işlem görmüş) yüzeyine uygulanan, yaşlandırma etkisini azaltacak çeşitli kimyasal maddelerin ve farklı test yöntemlerinin etkilerinin belirlenmeye çalışıldığı görülmektedir.

Srinivas ve Pandey (2012) yaptıkları çalışmada ısıtıl işlem uygulanan örneklerin UV ışınlarına karşı etkinliğini incelemek için *Hevea brasiliensis* odunundan hazırlanan örnekleri 400 mm Hg vakum altında 225 °C sıcaklıkta 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde ısıtıl işlem uygulamışlardır. Isıtıl işlem uygulanmamış kontrol örneklerinin yaşlandırma işlemleri öncesinde açık renge sahip olduğu ancak işlem sonrasında örnek renginde fotodegradasyon kaynaklı koyulaşma olduğu belirlenmiştir. Bunun tam aksine ısıtıl işlem uygulanan örneklerde fotodegradasyon uygulamaları öncesinde renk koyu iken fotodegradasyon testlerinden sonra ısıtıl işlem uygulanan örneklerde renk açılmıştır. FTIR ve renk ölçümleri sonucunda ısıtıl işlemin (termal modifikasyonun) odunu UV ışınlarına karşı korumak için yeterli olmadığı belirlenmiştir.

Tomak ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada Türkiye'deki Novawood firmasından temin edilen 4 farklı türdeki dişbudak (*Fraxinus excelsior L.*), iroko (*Chlorophora excelsa*), sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) ve ladin (*Picea orientalis L.*) diri odunlarından hazırlanan örneklerde 2 yıl süreyle Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüsünde doğal yaşlandırma sürecine bırakmışlardır. Bu süreç boyunca her 6 ayda bir örneklerdeki rutubet miktarlarını, yüzeydeki renk değişimlerini ve mekanik direnç değerlerini ölçerek, ısıtıl işlem uygulanmış örnekleri kontrol örnekleriyle karşılaştırmışlardır. Elde edilen veriler doğrultusunda 2 yıllık doğal yaşlandırma uygulaması sonrasında ısıtıl işlem görmüş örneklerdeki rutubet miktarlarının kontrol örneklerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Özellikle yaşlandırma işlemlerinin ilk 6 aylık periyodundan sonra örneklerdeki rengin yoğun bir şekilde değişikliğe uğradığı, yaşlandırma sürecine maruz kalınan süre arttıkça buna paralel olarak ısıtıl işlem görmüş dişbudak ve iroko örneklerinde renk gümüşümsü gri rengine doğru açıldığı belirlenmiştir. Isıtıl işlem görmüş sarıçam ve ladin örneklerinde ise 18 aylık yaşlandırma işlemi sonunda örneklerin renginin koyu olarak korunduğu görülmüştür. Ancak 24 aylık yaşlandırma süreci sonunda örneklerin renginin açılmaya başladığı ve gümüş-gri bir hal aldığı görülmüştür.

Nzokou ve diğ. (2011) yapmış oldukları çalışmada, üst yüzeyleri poliüretan vernik ile kaplanmış 100,8x4.72x69,3 mm boyutlarında dişbudak (*Fraxinus americana*), kızıl meşe (*Quercus rubra*) ve akçağaç (*Acer nigrum*) odunlarından hazırlanmış örneklerin UV ışık altındaki renk değişiklikleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Örnekler 0, 24, 120, 200, 450 ve 1000 saatlik sürelerle yaşlandırma işlemlerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda UV ve yağmurlama etkisindeki dişbudak örneklerinin akçağaç örnekleriyle benzer sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir. Ancak meşe örneklerinin dişbudak ve akçağaca göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumun meşenin içerdiği ekstraktif maddelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak sadece UV etkisine maruz bırakılan örneklerde dişbudak örneklerinde meşe ve akçağaç örneklerine göre daha yüksek derecede renk değişimi gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Yıldız ve diğ. (2013) yapmış oldukları çalışmada, ısıl işlem görmüş iroko, dişbudak, sarıçam ve ladin örneklerinin 400 ile 1600 saatlik yapay yaşlandırma süresi boyunca renk değişikliklerini, fiziksel ve mekanik direnç özelliklerini ve kimyasal özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada yaşlandırma işlemleri sonucunda ısıl işlem görmüş geniş yapraklı ağaçlarda ısıl işlem görmüş iğne yapraklı ağaçlara göre daha iyi bir mekanik direnç özellikleri elde edildiği fakat ısıl işlem uygulamalarının odunu yaşlandırma proseslerine karşı tamamen koruyucu özellik göstermediği belirlenmiştir.

Benzer bir çalışmada, Hansmann ve diğ. (2006) 75x10x60 mm boyutlarında ladin (*Picea abies L.*) ve karakavak (*Populus nigra L.*) odunlarından hazırlanan örnekleri melamin formaldehit reçinesiyle emprenye ederek örneklerin hızlandırılmış yaşlandırma işlemleri sonrasındaki yüzey pürüzlülüğü ve renk stabilizesini incelemişlerdir. CIELab sistemlerine göre belirlenen ΔE ve $L^* a^* b^*$ değerleri hesaplanarak renk stabilizesi tespit edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda melamin formaldehit reçinesi odunun doğal görünüşünü uzun süreli yaşlandırma işlemleri sonunda koruduğu, kontrol örneklerinden daha iyi renk stabilitesi ve daha düşük oranda yüzeylerde çatlak meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan başka bir çalışmada ise şu sonuçlara ulaşılmaktadır. Temiz ve diğ. (2005) yapmış oldukları çalışmada sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) ve kızılğayağ (*Alnus glutinosa L.*) odunlarında 152x76x3mm ebatlarında hazırlanmış örnekleri CCA (1, 2%), ACQ 1900 (2, 3%), ACQ 2200 (1, 2%), Tanalith-E (2, 2,8%) ve Wolmanit CX- 8 (1, 2%) ile emprenye ederek bu emprenye sistemlerinin

hızlandırılmış yaşlandırma prosesine tabi tutularak UV ışıklarına karşı etkinliği, örneklerdeki renk değişiklikleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda odunda renk değişikliklerine karşı en stabil olan örneklerin CCA ve ACQ 1900 ile emprenye edilmiş ağaç malzeme olduğu belirlenmiştir. Diğer bakır içerikli emprenye maddeleri de renk değişikliklerine karşı kontrol örneklerinden daha iyi performans göstermiştir. Yaşlandırma işlemleri süresince odunun korunmasında bakırın, odundaki delignifikasyonunu azaltarak ve karbonil gruplarının oluşumunu geciktirerek rol almış olabileceği vurgulanmıştır.

Aloui ve diğ. (2007) inorganik UV absorbantları ile yüzeyleri kaplanan odun örnekleriyle, yüzeyleri organik UV absorbant maddeleriyle kaplanan odun örnekleri arasında yaşlandırma işlemlerine maruz bırakılmaları sonucunda fotostabilitesi ve örneklerdeki renk değişikliği karşılaştırılmasını amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında 3 farklı türde; *Abies grandis*, *Couratari spp.* ve *Quercus robur* odunlarından hazırlanan örneklerin yüzeyleri, nano TiO₂ içeren ve nano Fe₃O₄ içeren inorganik yüzey işlem maddesi ile 2-hidroksi fenil triazole içeren organik yüzey işlem maddesi kullanılmıştır. Örneklerdeki renk stabilitesinin, inorganik UV absorbant kullanılan örneklerde organik UV absorbant kullanılan örneklere göre daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir.

Benzer başka bir çalışma incelendiğinde, Kocaefe ve Saha (2012) 205 °C sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmış huş (*Betula papyrifera*) ve 210 °C sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmış *Pinus banksiana* ve de titrek kavak (*Populus tremuloides*) odunlarından hazırlanan örneklerin yüzeyleri akrilik poliüretan ile kaplanmıştır. Burada yüzey işlem maddesi olarak kullanılan akrilik poliüretan içerisine organik UV absorbant olan tinuvin 123, tinuvin 1130 ve kabuk ekstraktiflerinden ve lignin stabilizelerinden sentezlenen kimyasal maddeler eklenmiştir. Yaşlandırma testleri sonunda elde edilen sonuçlara göre, ısıtıl işlem görmüş örneklerde yüzeyleri kabuk ekstraktları ve lignin stabilizerleri içeren akrilik poliüretan ile kaplandığında yüzeyleri organik UV absorbant içeren akrilik poliüretan ile kaplanan ısıtıl işlem görmüş örneklere göre daha iyi sonuçlar elde ettiği tespit edilmiştir. Kabuk ekstraktı ve lignin stabilizeri içeren akrilik poliüretan kaplamaları ısıtıl işlem görmüş çam örneklerinde, ısıtıl işlem görmüş kavak ve huş örneklerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Yaşlandırma işlemi süresince maruz kalınan zararlı UV ışınlarının odunda lignin bileşikleri tarafından absorbe edilmesi ve kavak ve huş

ağaçlarının lignin içeriğinin çam ağaçlarına göre daha düşük olması bu sonucun nedeni olarak belirtilmiştir.

Özgenç ve Yıldız (2012) yaptıkları çalışmada, yeni nesil odun koruma maddelerinden olan hibrit reçineleri içeren su bazlı Induline SW 900 ahşap sertleştiricisini, kayın (*Fagus sylvatica* L.) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) örneklerin yüzeylerine fırça ile uygulamışlar ve hızlandırılmış yaşlandırma testlerine tabi tutmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre, Induline SW 900 koruyucu maddesinin odun yüzeyine uygulanması renk değişimini olumsuz yönde etkilediği, örnek yüzeylerindeki renkte oluşan açılmaların kontrol örneklerinden hiçbir farkının olmadığı ancak bu koruyucu madde odun yüzeyinde UV ışını ve yağmurlama etkisi nedeniyle ortaya çıkan çatlak oluşumunu büyük ölçüde önleyebildiği tespit edilmiştir.

Saha ve diğ. (2013) yapmış oldukları bir çalışmada, 210 °C sıcaklıkta ısıtılma tabi tutulmuş 20x7x1,9cm boyutlarındaki *Pinus banksiana* örneklerinin yüzeylerini, CeO₂ nano partikülleriyle çeşitli UV absorbantları (Tinuvin123, Tinuvin1130) ve/veya kabuk ekstraktları içeren akrilik poliüretanlarla tek başına veya kombine edilecek şekillerde fırçayla sürerek kaplamışlardır. Daha sonra sadece ısıtılma işlemiyle muamele edilmiş örneklerle hem ısıtılma işlemi görmüş hem de yüzeyleri kaplanmış olan örneklerin yaşlandırma prosesi boyunca renk değişimleri, kontak açısı ve UV ışık altındaki degradasyon seviyeleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sadece ısıtılmalı örneklerde yüzeydeki renk değişikliği ısıtılma işlemi ile akrilik poliüretanla kaplanmış gruplardan daha fazla gerçekleştiği görülmüştür. Yüzey kaplamalarında ise CeO₂ nano partikülleriyle kaplanan örneklerin UV absorbantlarıyla kaplanana göre yaşlandırma işlemleri sonunda daha stabil bir yüzey rengine sahip olduğu ve daha düşük fotodegradasyona uğradığı tespit edilmiştir. Isıtılma işlemi uygulanmış örneklerde yüzey kaplaması olarak CeO₂ nano partiküllerin kullanılmasının UV absorbantlarına göre daha iyi koruma sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Başka bir çalışmada, Vardanyan ve diğ., (2014) son yıllarda odun esaslı ürünlerin yüzeylerini kaplamak için kullanılan suda çözünmüş poliüretan akrilat transparan reçine formülasyonlarının içerisine nano kristal selüloz (CNC) ekleyerek ultraviyole ışınlarına ve yaşlandırma işlemlerine karşı olan koruyucu etkileri incelemişlerdir. Ladin (*Picea mariana*) diri odunundan hazırlanan örneklerin üzerine Bayhydrol UV 2282, Foamex 822, Byk 348, Byk 190, Irgacure 819DW ve RM 2020 yüzey işlem maddeleri uygulanmış ve ayrıca nano

kristal selüloz (CNC) ile ikinci bir kat oluşturulmuştur. Yaşlandırma testleri sonuçlarına göre CNC uygulamasının örneklerin renk stabilitesini azaltmadığı tespit edilmiştir.

Fufa ve diğ. (2013) yapmış oldukları çalışmada ladin (*Picea abies* L.) odunlarından hazırlanmış $(100,0 \pm 0,5)$ mm $\times$ $(100,0 \pm 0,5)$ mm $\times$ $(20,0 \pm 0,5)$ mm boyutlarındaki örneklerin yüzeylerine TiO_2 ve nano boyutlu kil içeren boya uygulamasının yaşlandırma prosesine karşı etkinliği araştırılmıştır. FTIR analizi sonuçlarına göre sadece TiO_2 ve/veya TiO_2 ile nano kil kombinasyonu ile işlem görmüş örneklerin kontrol örneklerine göre yaşlandırma performansını arttırdığı tespit edilmiştir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1. Araştırmada Kullanılan Ağaç Türleri

Bu yüksek lisans tez çalışmasında orman ürünleri endüstrisinde önemli yeri olan yerli ağaç türlerimizden akçaağaç (*Acer ssp.*) ve egzotik ağaç türü sapelli (*Entandrophragma cylindricum* Sprague) kullanılmıştır.

3.1.1.1. Akçaağaç

Ağacın genel özellikleri; Ülkemizde doğal olarak yetişen önemli bir türdür. Ağaç boyu 20 m'dir. *Makroskopik yapı*; Diri odun-öz odun rengi birbirinden farklı olmayıp, odunu diri odun özelliğinde ve sarımsı beyaz ile kahverengimsi beyaz renktedir. Koyu renkli şeritler bulunabilir. Yıllık halka sınırları az belirgindir. Dağınık traheli, traheler enine ve boyuna kesitlerde lup altında görülebilir. Odunu ipek gibi parlak çok dekoratif, sert ve orta ağırlıktadır. *Mikroskopik yapı*; Yıllık halkalar belirgin olup dağınık trahelidir. Traheler çoğunlukla radyal grup (2-5 trahe) oluşturur. Küme şeklindeki gruplara (3-10 trahe) da oldukça sık rastlanır. Trahelerin enine kesitleri muntazamdır. Perforasyon tablası basittir. Kenarlı geçitler daire şeklinde ve almaçlıdır. Trahelerin iç çeperlerinde sık ve belirgin helikal kalınlaşmalar vardır. Trahe teğet çapı ilkbahar odununda 28-87 μ , yaz odununda 15-62 μ dur. Trahe hücre uzunluğu 235-539 μ dur. 1 mm² de trahe sayısı 21-50 adettir. Lif uzunluğu 471-1176 μ dur. Öz ışıını yüksekliği 93-513 μ dur. Öz ışıını genişliği 2-5 hücre/adettir. 1 mm de öz ışıını sayısı 3-9 dur. *Boyuna paranşimler*; Apotraheal-kesik zincir şeklindedir. Öz ışıınları uniseri ve multiseri homoselüler, homojen TİP I dir. Multiseri öz ışıınlarının genişliği 2-5 hücre arasında değişir. Temel lif dokusu libriform lifleridir. Yıllık halka sınırında lifler, yassı ve kalın çeperlidir. Ayrıca yıllık halka içinde, ince çeperli canlı lifler adacık oluşturur. Canlı lifler bol miktarda nişasta içerir. Yaz odunu zonunda trahe gruplarının çevresinde vasküler (vasisentrik-vasküler) traheidler vardır. Vasküler traheidlerin spiral kalınlaşmaları çok belirgin değildir. Akçaağaç odunları, boyuna paranşim hücrelerinde uzun kristal zincirlerinin var olması ile bilinirler (Erdin ve Bozkurt, 2013; Merev 2003).

Kurutma işleme özellikleri bakımından dikkatli kurutma gereklidir. El aletleri ve makinalarda kolay ve temiz işlenir. Kesilebilir ve soyulabilir. Yapıştırılması ve cilalanması iyidir. Yüzey işlemlerinde problem görülmez, tozları dermatitise sebep olabilir. Odunu dayanıksızdır, diri odunu böceklerle karşı hassastır. Öz ve diri odunun emprenye edilebilir. Mobilyacılıkta, kaplama ve levha üretiminde, tornacılıkta, heykel yapımında, mutfak aletleri, müzik aletleri ve parke yapımında kullanılmaktadır (Erdin ve Bozkurt, 2013). Akçaağaca ait fiziksel ve mekanik özellikler tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1. Akçaağaç odununun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri (Bozkurt ve Erdin 2013).

Özellik	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	D ₀	0,59	gr /cm ³
	D ₁₂	0,63	gr /cm ³
Hacim yoğunluk değeri	Y	0,83-1,04	gr /cm ³
Daralma miktarları	B _t	8	%
	B _r	3	%
	B _v	11,5	%
Basınç direnci	σ _B	48	N/mm ²
Çekme direnci	σ _ç //	80	N/mm ²
Eğilme direnci	σ _E	93	N/mm ²
Elastikiyet modülü	E-Mod	9200	N/mm ²
Makaslama direnci	σ _M	9.0-15.0	N/mm ²
Şok direnci	a	0,64	kN/cm
Brinell sertlik	(⊥)	27	N/mm ²
Brinell sertlik	(//)	62	N/mm ²

Akçaağaca ait kimyasal özellikler Tablo 3.2.’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Akçaağaç odununun kimyasal özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2013).

Özellik	%
Selüloz	38
Lignin	25
Pentozan	20
Çöz.Ekst. Mad. Alk-benzol	2,5

3.1.1.2. Sapelli

Ticari adları; Sapele (Nij., İng., ABD., Tr.), Sapelli (Kam., Fr., F Alm.), Lifaki (Zai.). *Yayılışı*; Batı, orta ve doğu Afrika; Liberya, Fildişi Sahili, Gana, Nijerya, Kamerun, Gabun, Kongo, Angola, Zaire, Uganda. *Ağacın genel özellikleri*; Ağaç boyu ortalama 45m' dir. Kullanılabilir gövde uzunluğu 15-25 m' dir. Gövde orta çapı 0,7-1,7 m' dir. Gövde şekli silindirik, kısa kök çıkıntılıdır. *Makroskopik yapı*; Diri odun 3-8 cm genişlikte, beyazımsı ile sarımsı renkte, öz odun oldukça koyu kırmızımsı kahverengi ile morumsu kahverengidir. Tekstür oldukça ince, lif yapısı grift bazen dalgalı, iğne çizikli, radyal yüzeylerde yeknesak dar şeritli küçük öz ışını aynacıkları belirgin, parlak ve çok dekoratiftir. Yıllık halka sınırları, traheler ve boyuna paranşimler çıplak gözle, öz ışınları ise lup altında görülebilir. *Mikroskopik yapı*; Traheler; dağınık, tek tek ikisi bir arada, nadiren gruplar halinde, trahe çapı 65-230 μ , mm² de 4-36 adet, bazı trahelerde koyu renkli öz odunu maddeleri bulunur. Oran %20 değerindedir. Boyuna paranşimler; apotraheal dağınık, teğet sıralı, paratraheal kümeli, halkalı, bileşik şeritli, oran %16' dır. Öz ışınları; kısmen heterojen, kısmen homojen ve ekseriyetle tabakalı yapıdadır. 7-35 hücre yüksekliğinde, 2-7 hücre genişliğinde, mm de 3-7 adet olup oran %16' dır. Boyuna paranşimlerde ve öz ışınlarında çok sayıda kalsiyum oksalat kristalleri mevcuttur. Lifler; libriform liflerinden oluşur. Uzunlukları 690-2005 μ , oran %50' dir (Bozkurt ve Erdin, 1998).

Sapelli ağacına ait fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikler Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3. Sapelli odununun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 1998).

Özellik	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	D ₀	0,62	gr /cm ³
	D ₁₂	0,65	gr /cm ³
Hacim yoğunluk değeri	Y	0,69-1,06	gr /cm ³
Daralma miktarları	B _t	7,4	%
	B _r	4,6	%
	B _v	14	%
Basınç direnci	σ_B	56	N/mm ²
Çekme direnci	σ_{φ} //	88	N/mm ²
Eğilme direnci	σ_E	114	N/mm ²
Elastikiyet modülü	E-Mod	10000	N/mm ²
Makaslama direnci	σ_M	8,6	N/mm ²
Şok direnci	A	0,68	kN/cm
Brinell sertlik	($\perp$)	23	N/mm ²
Brinell sertlik	(//)	44	N/mm ²

Sapelli ağacına ait kimyasal özellikler Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Sapelli odununun kimyasal özellikleri (Bozkurt ve Erdin 1998).

Özellik	%
Selüloz	45
Lignin	28
Pentozan	15
Çöz.Ekst. Mad. Sıcak suda	2,4-5,2
pH	5,2-5,3

İşlenme özellikleri; El aletleri ve makinelerle güçlük çıkarmadan işlenebilir. Ancak, grift liflilik makinelerle işlenmede etkili olmaktadır. Çivilenme, vidalama ve yapıştırma özellikleri iyidir. Demiri korozyona uğratar. Çok iyi cila kabul eder. Deri tahrişine neden olabilir. *Kurutma*; Çarpılma özelliğine dikkat edilerek oldukça çabuk kurutulabilir. Bu nedenle düşük sıcaklık ve düşük nisbi rutubetlerde kurutulmalıdır. Kullanım yerinde orta derece stabildir. Kurutma programı T 6/4-5' dir. *Dayanıklılık*; Diri odun böceklerle karşı hassas, öz odun böceklerle karşı orta derecede dayanıklı, deniz hayvanlarına karşı dayanıksızdır. *Emprenye edilebilme özelliği*; Diri odun orta derecede güç, öz odun güç emprenye edilir. *Kullanış yerleri*; Özellikle üst yüzeylerde kesme kaplama, levha olarak, mobilyacılıkta, lambri, parke ve kapılarda, binalarda iç ve dış kısımlarda, uçak, vagon, küçük gemi, keman yapımında, markiteri, tornacılık ve oymacılıkta kullanılmaktadır. *Ticaret*; 4-15 m boylarda, 0.6-1,6 m orta çapta yuvarlak halde, kereste ve kaplama levha olarak satılır. *Benzer türler*; Entandrophragma, Angolense C.DC.: Tiama, E. candollei Harms: Kosipo, Khaya ivorensis A. Chev: Afrika mahunu, Swietenia macrophylla King: Hakiki mahun, Guarea cedrata Pellegr Bossé (Bozkurt ve Erdin, 1998).

Türkiye İstatistik Kurumu 2015 verilerine göre sapelli odununun ithal kereste miktarı 5736 m³ olup tutarı ise 2,7 milyon dolardır.

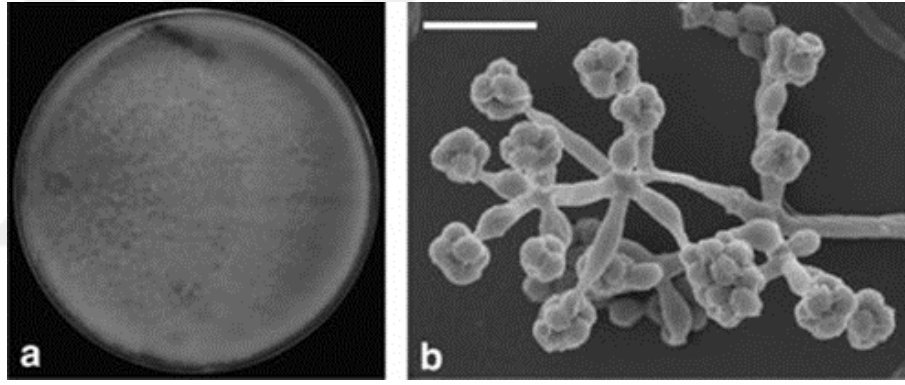
3.1.2. Araştırmada Kullanılan Mantarlar

3.1.2.1. *Trichoderma harzianum* Rifai

Hyphomycetes sınıfı Phialosporeae familyasına giren *Trichoderma* sp. Toprakta, yüksek rutubetteki ağaç malzemedede, kağıt ve mutfak malzemeleri üzerinde gelişir (Köse ve Erdin, 2004). *Trichoderma* türleri bitki kökleri üzerinde hızla çoğalarak kökleri bir zırh gibi kaplayan

ve köklerin gelişimine katkıda bulunan bir türdür. Köklerdeki gelişme toprak üstü kısımlara da yansiyarak bu kısımların daha hızlı gelişmesini ve bitkinin daha hızlı olgunlaşmasını sağlar. Bunun yanında güçlenen köklerin daha derine inmesinden ötürü kuraklığa karşı direnç artmasına sebep olur. Ayrıca Trichoderma türleri bitki gelişimini hızlandırdığı gibi bitki savunma mekanizmalarını desteklemekte, bitkileri toprak kaynaklı hastalıklara karşı dirençli hale getirmekte ve çeşitli antibiyotik bileşikler üretmesi nedeniyle biyokontrol uygulamalarında kullanılmaktadır (Schirmböck ve diğ., 1994).

Fasulye, biber, domates, patlıcan, turp, salatalık gibi birçok sebze de görülen toprak kaynaklı hastalıkları kontrol etmede kullanılan Trichoderma izolatları günümüzde de kimyasal fungusitlere alternatif olarak kullanılmaktadır (Basım ve diğ., 1999). Mantara ait koloni yapısı Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1: *Trichoderma harzianum* (a) Patates dekstroz agar besi ortamında 7 gün sonundaki koloni yapısı. (b) Sentetik besin ortamında gelişen konidiofor ve konidiumlara ait SEM görüntüsü (Skala 10 µm),(Nonaka ve diğ.,2011).

3.1.2.2. *Aspergillus niger* van Tieghem

Aspergillus niger, *Aspergillus* cinsinin kolaylıkla teşhis edilen ve en çok tanınan türüdür. Ascomycetes sınıfı, Phialosporeae familyasına giren bu mantar agar ortamında beyazdan sarıya kadar değişen renklere sahip koloniler geliştirmektedir. Konidyoforları düz, hiyalin ya da konidyumların bulunduğu kısma doğru koyulaşmaktadır. Konidyumları 3,5-5,0 µm çapta, koyu kahverengi ya da siyah renklidir. Fizyolojisi incelendiğinde, farklı enzimleri üretme

kabiliyetine sahip olduğundan besin maddesi olarak, deri, kumaş, boya gibi çok çeşitli substratları kullanma kapasitesine sahiptir (Köse ve Erdin, 2004).

Aspergillus niger organik maddeler üzerinde aerobik koşullarda gelişen filamentli bir mantardır. Doğada toprak, çöp ve çürüyen bitki materyali üzerinde bulunur. Bu tür geniş bir sıcaklık aralığında üreyebilir (6-47°C) ve optimum sıcaklığı göreceli olarak 35-37°C gibi yüksek bir değerdir. Gelişmeyi sınırlayan su aktivitesi ise diğer *Aspergillus* spp. türleri ile kıyaslandığında yüksek bir değer olan 0,88'dir. Ayrıca 1,4-9,8 gibi geniş bir pH aralığında gelişebilirler. Bu özellikler ve hava ile dağılan konidyumlarının yüksek miktardaki üretimi, bu türün sıcak ve nemli bölgelerde yoğun ve geniş bir yayılım göstermesini sağlamaktadır (Schuster E., 2002, Arslan ve diğ., 2002).

Aspergillus niger onlarca yıldır bilimsel araştırmaların ve endüstriyel kullanıma konu olmuştur. Bu mantarın pratik olarak önemi ilk olarak endüstriyel olarak sitrik asit üretiminde kullanım kabiliyetinin belirlenmesi ile 1919 yılında ortaya çıkmıştır. Daha az bir ekonomik değere sahip olsa da glukonik ve fumarik asit üretimi de *A. niger* mantarı kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Fakat 1960'lı yıllardan itibaren *A. niger* çeşitli enzimlerin elde edilmesinde bir kaynak olmuş ve meyvelerin işlenmesinde, pişirme proseslerinde ve nişasta ve gıda endüstrisinde önemli bir yer edinmiştir. Yabancı protein sentezleme sistemi olarak *A. niger* mantarının kullanılması için üretim proseslerinin geliştirilmesinde gen teknolojisi başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Schuster E., 2002).

3.1.2.3. *Penicillium fellutanum* Biourge

Deutoromycetes form sınıfının Trichocomaceae familyasına giren *Penicillium* cinsine ait türler çok sayıda olduğundan teşhis edilmeleri güçtür. Çoğunlukla besin maddeleri halı, duvar kağıdı, selüloz ve boya üzerinde rastlanmaktadır (Köse ve Erdin, 2004). *Penicillium fellutanum* yavaş gelişen bir mantardır ve mavimsi yeşil koloni oluşturmaktadır. Keçemsi hava hüflerinin üzerinde gelişen konidioforları çok uzun olmayan, genellikle apekte şişme görülen bir veya çok sayıda dallanmış yapıdadır. Çok sıkı yapıdaki konidyogen hücreler dikkat çekmektedir. Konidyumlar küresel, eliptik, pürüzsüz ya da az pürüzlüdür (Peberdy, 1987).

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Örneklerin Hazırlanması

Hava kurusu haldeki akçaağaç ve sapelli örnekleri, Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.'nin Gerede'de bulunan fabrikasında ThermoWood yöntemi odunları ısıtma işlemi tabi tutulmuştur. ThermoWood yöntemi ile ısıtma işlem uygulamasında işletmenin üretim programına uygun olarak her iki ağaç türü için 190°C sıcaklıkta 2 saat ve 212°C sıcaklıklarda 2 saat süre ile ısıtma işlem yapılarak 2 farklı grup oluşturulmuştur. Isıtma işlem uygulaması sonrasında ısıtma işlem görmüş test örnekleri, 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl neme sahip iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar 2 ay süre ile bekletmiştir.

İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Atölyesinde 3x45x135 mm boyutlarında yaşlandırma test örnekleri hazırlanmıştır. Örnekler tür, ısıtma işlem sıcaklığı, uygulanacak nano kimyasal madde cinsine göre uygun şekilde gruplandırılmıştır. Akçaağaç ve sapelli ağaç türlerine ait üç grubun (0°C- Kontrol, 190°C, 212°C) örneklerine boya ve vernik uygulaması için ayrı ayrı Tablo 3.5'de verilen işlemler gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.5: Örneklerle uygulanan yüzey işlem maddeleri ve ilave edilen nano partiküller.

Uygulama Grupları	Uygulama Tipi	Açıklama
Kontrol	-	-
Sadece yüzey işlemi maddesi	Vernik ya da Boya	-
Nano TiO ₂	Vernik/Boya	%1 nano partikül
Nano ZnO	Vernik/Boya	%1 nano partikül
Nano Kil	Vernik/Boya	%1 nano partikül
Nano Kil+Nano TiO ₂	Vernik/Boya	%1+%1 nano partikül
Nano Kil+Nano ZnO	Vernik/Boya	%1+%1 nano partikül

3.2.2. Örneklerle Vernik-Boya ve Nano Partiküllerin Uygulanması

Tüm gruplara ait kusur içermeyen örneklerde lif yönlerinin homojen olmasına dikkat edilerek vernik ve boya içerisinde nano partiküllerin uygulamasına geçilmiştir. Yapay yaşlandırma uygulanacak örneklerin yüzeylerinin yarısına vernik, yarısına boya uygulanmıştır.

Denemeler için Jotun A.Ş.' ye ait Demi Dekk Ultimate Fönster tipi açık mavi (lake view 522) boya (UV koruma faktörü olmayan), Raykon firmasına ait aqua compact lasur renksiz vernik (UV koruma faktörü olmayan) seçilmiştir. Nano partiküllerden çinko oksit; Alfa Aesar Zinc oxide, nanoTek 100 gr, titanyum dioksit; Alfa Aesar Titanium (IV) oxide, NanoArc 25 gr nano powder ve kil için Aldrich Halloysite nanoclay (Şekil 3.2) kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Denemelerde kullanılan boya-vernik ve nano partikülleri içeren ürünler.

Hiçbir işlem uygulanmayan kontrol örnekleri dışındaki örneklere sadece boya ve sadece vernik uygulanacak örneklere uygun fırça yardımıyla tek yönlü ve eşit kalınlıkta olacak şekilde uygulama gerçekleştirilmiştir. Tüm uygulamalarda ortalama olarak vernikte 210 mikron, boyada ise 300 mikron kalınlık sağlanmıştır. Bu değerler yüzey uygulamaları ölçüm tarağıyla (Şekil 3.3) kontrol edilmiştir.



Şekil 3.3: Yüzey uygulaması ölçüm tarağı.

İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim Dalı Nanoteknoloji Uygulamaları ve Analiz Laboratuvarında kontrol, sadece vernik ya da boya uygulanacak örneklerin son kat yüzey işleminin (Şekil 3.4) tamamlanıp en az bir gün bekletildikten sonra nano partiküller boya ve verniğe eklenip yüzeye uygulanması işlemi tamamlanmıştır. Bu kapsamda, vernik ve boya uygulamaları için ayrı ayrı %1' lik karışım hazırlanmak üzere nano çinko oksit, nano titanyum dioksit ve nano kil partikülleri eklenmiştir. Nano partikül içeren test ürünlerinin boya ve verniğe eklenmesinde topaklanma olmaması için dikkat edilmiştir. Yüzey işlemi uygulaması için ortalama her beş numunede bir mikserle karıştırma işlemi gerçekleştirilerek nano partiküllerin eşit dağılımı hedeflenmiştir.

Tüm son kat yüzey işlemleri biten numuneler gruplandırılmış ve yapay yaşlandırma testleri için laboratuvar koşullarında bekletilmiştir.



Şekil 3.4: Son kat yüzey işlemi uygulanıp gruplandırılmış numuneler.

3.2.3. Xenon Lambasıyla Yapay Yaşlandırma İşlemi

Yaşlandırma işlemi öncesinde tüm örneklerin renk ölçümleri Hunterlab MiniScan EZ marka ve modelli cihazla (Şekil 3.5) renk ölçümleri yapılmıştır. Renk ölçümleri tamamlanan örnekler ATLAS Xenotest Alpha+ cihazıyla (şekil 3.6) ISO4892-2-A1:2006 standartına uygun olarak 144' er saatlik periyotlarla toplam 864 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu kapsamda Xenon-ark lambası kullanılarak ışığın örnek yüzeylerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Her 144 saatlik periyotun 102 dakika ışıma (300-400 nm) sürecinde, 90° açıda ışık radyasyonu, 63 ± 5 °C siyah panel sıcaklığı ve $\%60 \pm 5$ nispi nem ortam koşulları sağlanırken, 18 dakikalık yağmurlama sürecinde 50 ± 5 °C'de ve $\%80 \pm 5$ nispi nem koşulları sağlanarak dış ortam koşulları taklit edilmiştir. Her 144 saatlik periyot sonrasında renk ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir periyot sonrası renk ölçümleri sıfırcı saate dönülerek yapılmıştır.



Şekil 3.5: Hunterlab MiniScan EZ Renk Ölçüm Cihazı.



Şekil 3.6: Atlas Xenotest Alpha+ Yapay Yaşlandırma Cihazı Ve Cihaza Ait Xenon-Ark Lambası.



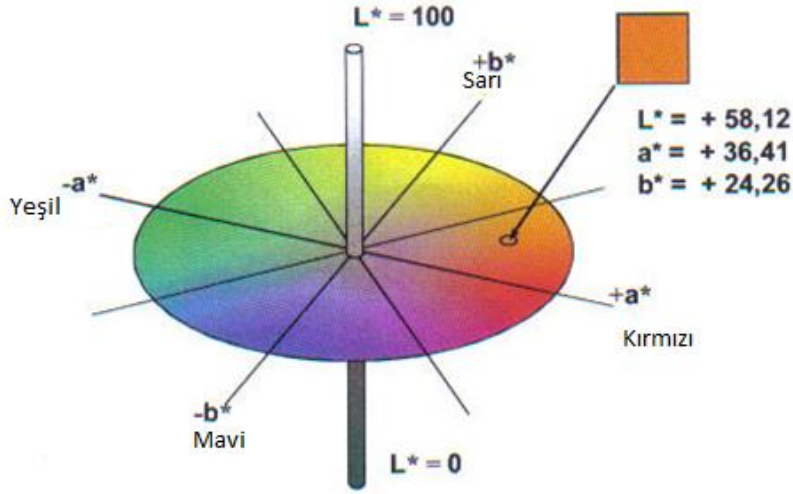
Şekil 3.7: Yaşlandırma öncesi ve sonrası numunelerin gruplandırılması.

3.2.4. Renk Farklılığı

Renk değerlerinin belirlenmesi CIELab renk sistemine göre yapılmıştır.

Rengin daha kolaylıkla anlaşılabilir tanımını yapmak üzere 1976 yılında CIE, X, Y ve Z tristimulus değerlerinden hesaplanan L^* , a^* ve b^* şeklindeki üç koordinatı bulunan ve CIELab sistemi olarak adlandırılan bir renk sistemi tanımlanmıştır. Harflerle birlikte yazılan “*” işareti, daha önce geliştirilmiş farklı renk sistemlerindeki benzer formüllerinden CIE formüllerini ayırt edebilmek için kullanılır (Yeşil 2010).

CIELab renk sistemine göre L^* , a^* ve b^* değerlerinin ölçüm anı ve ölçüm yapılan renk bölgesinin değerleri Şekil 3.8’ de verilmiştir.



Şekil 3.8: CIELab renk sistemine göre L^* , a^* ve b^* değerlerinin belirlenmesi (Çolak, 2014).

Burada, L^* siyah-beyaz (siyah için $L^*=0$, beyaz için $L^*=100$) ekseninde, a^* , kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde, b^* ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır. L açısı aynı zamanda odunda renk değişimini ifade eder. Bu açının daralması odunun renginin kırmızı rene yaklaştığını (a), genişlemesi ise sarı rene (b) yaklaştığını göstermektedir (Çolak, 2014).

Renk farklılığı, ISO 7724–2/1984 standardına göre incelenmiştir. Renk farklılığının rengin hangi tonunda etkili olduğunu belirlemek maksadıyla kırmızı renk tonu (a^*), sarı renk tonu (b^*) ve renk açısı (L^*) değerleri incelenmesi birbirinden bağımsız olarak yapılmıştır.

İlk olarak $20\pm 2^\circ\text{C}$ ve $\%65\pm 5$ bağıl nemde bekletilen kontrol örnekleri ile ısıtma işlemi görmüş test örneklerinin renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) belirlenmiş, ardından örneklerin yaşlandırma sonrası renk değerleri tespit edilmiştir.

Ölçme noktası sayısı TS CEN/TS 15679/2010’a göre belirlenerek, her bir test grubuna ait örneklerde altışar noktadan renk değerleri ölçümü yapılmıştır. Renk değerlerinin belirlenmesinde kullanılan Hunterlab MiniScan EZ Renk Ölçüm Cihazı ile Şekil 3.5’ de görülmektedir.

Belirlenen renk değerlerinden toplam renk farklılığı (ΔE^*), ISO 7724–3/1984’e göre aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Burada Δ , farklılığı göstermektedir ve E harfi, Almanca hissetme anlamına gelen “*Empfindung*” kelimesinin baş harfidir (Yeşil 2010).

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

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikte;

ΔE^* : Isıtma işlem sonrasında örneklerde meydana gelen toplam renk farklılığını,

ΔL^* : Siyah-beyaz renk değişimini,

Δa^* : Kırmızı-yeşil renk değişimini,

Δb^* : Sarı-mavi renk değişimini, ifade etmektedir.

3.2.5. Küflenme Testi

Tez çalışmasında İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mikrobiyolojisi Laboratuvarından elde edilen, *Trichoderma harzianum* (FS 19), *Penicillium fellutanum* (F 66) ve *Aspergillus niger* (ASN 6275) mantarları kullanılmıştır. Çalışma ASTM-D4445-10 (2015) standardına göre yürütülmüştür.

Çalışmada kullanılan numuneler (şekil 3.7) uygulama öncesinde ortalama 22°C sıcaklık ve ortalama %65 bağıl neme sahip klima odasında bekletilmiştir.

Küflenme denemeleri için malt agar besi ortamında mantar kültürleri geliştirilmiştir. Bu amaçla 45g malt ekstrakt agar bir kaba konularak üzerine 1000 ml distile su eklenerek iyice karıştırılmıştır. Daha sonra otoklavda 103 kPa basınçta ve 121°C' de 15 dakika sterilize işlemi yapılan besi ortamı steril petri kaplarına aktarılmış, petri kapları soğuduktan sonra hazır bulunan mantar kültürlerinden petri kaplarına aşılama yapılmıştır. Daha sonra petri kapları sıcaklığı ortalama 27°C ve bağıl nemi %80 olan inkübasyon odasına yerleştirilmiştir.

En fazla 7 günlük olan mantar kültürlerinden süspansiyon (3×10^7 spor/ml) hazırlanmıştır. Yeterli sporlanma tespit edilen örneklerden üç mantar türünün karışımından solüsyon hazırlanıp püskürtme kabına alınmıştır.

İşlemler öncesinde yeterli sayıdaki petri kabının içerisine kurutma kağıtları kesilip örnek sayısı kadar yerleştirilmiştir. Önceden numaralandırılıp gruplandırılmış örnekler atölyede uygun ebatlarda kesilerek herbir petri kabına 4 adet olmak üzere yerleştirilmiştir. Örneklerle kurutma kağıtlarının temasını önlemek amacıyla plastik yükseltici aparatlar yerleştirilmiş ve her petri kabına 20 ml saf su ilave edilmiştir. Sonrasında, hazırlanan solüsyon petri kaplarına eşit miktarda püskürtülmek suretiyle uygulanmıştır. Örnekler poşetlenip hava almayacak biçimde iklimlendirme odasına taşınmıştır.

Örnekler 4 hafta boyunca haftalık olarak fotoğraflanıp, küflenmenin kapladığı yüzey esas alınarak sıfır ile beş arasında değerlendirilmiştir. Küf sporlarının kapladığı yüzey %0-10 arası ise 1, %11-35 arası ise 2, %36-60 arası ise 3, %61-74 arası ise 4 ve %75-100 arasında ise 5 değeri verilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. NANO PARTİKÜLLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VERNİK VE BOYA İLE İŞLEME TABİ TUTULAN ODUN ÖRNEKLERİNDEKİ TOPLAM RENK DEĞİŞİKLİĞİ ANALİZ SONUÇLARI

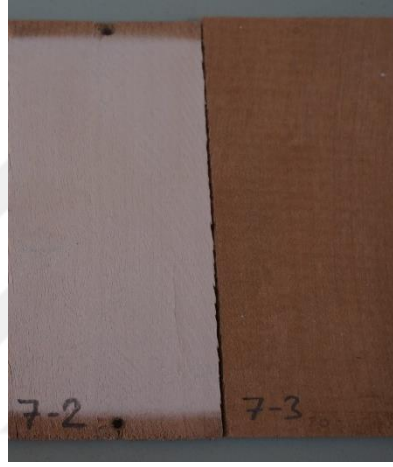
190°C ve 212°C ısıtıl işlem varyasyonlarına sahip sapelli ve akçaağaç örneklerine %1 konsantrasyonda hazırlanan nano partiküller ve nano partikül kombinasyonları ilave edilmiş, vernik ve boya uygulamaları gerçekleştirilmiş ve 144'er saatlik periyotlarla (toplam 864 saat) yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu örneklerde renk ölçümleri sonucu çıkan L, a, b değerleri neticesinde toplam renk değişimleri (ΔE) hesaplanmıştır.

Isıl işlem uygulanmamış sapelli kontrol örneğinde çıkan ΔE değerleri 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla 13,9 ila 39,5 değerleri arasında gerçekleştiği belirlenmiştir. 190°C ısıtıl işleme tabi tutulan sapelli örneklerinde 19,5 ile 41,6, 212°C ısıtıl işleme tabi tutulan sapelli örneklerinde ise 19 ile 45,8 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış sapelli kontrol numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve yaşlandırma işlemi yapılmamış örneğin görünümü Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1: Isıl işlem uygulanmamış sapelli kontrol numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi görünümü.

Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç kontrol örneğinde çıkan ΔE değerleri 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla 2,9 ile 21,9 arasındadır. 190°C ısıtılma tabi tutulan varyasyonunda 21,3 ile 36,9, 212°C ısıtılma tabi tutulan varyasyonunda değerler 27,3 ile 46,3 arasındadır. Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç kontrol numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi görünümü Şekil 4.2’ de verilmiştir.

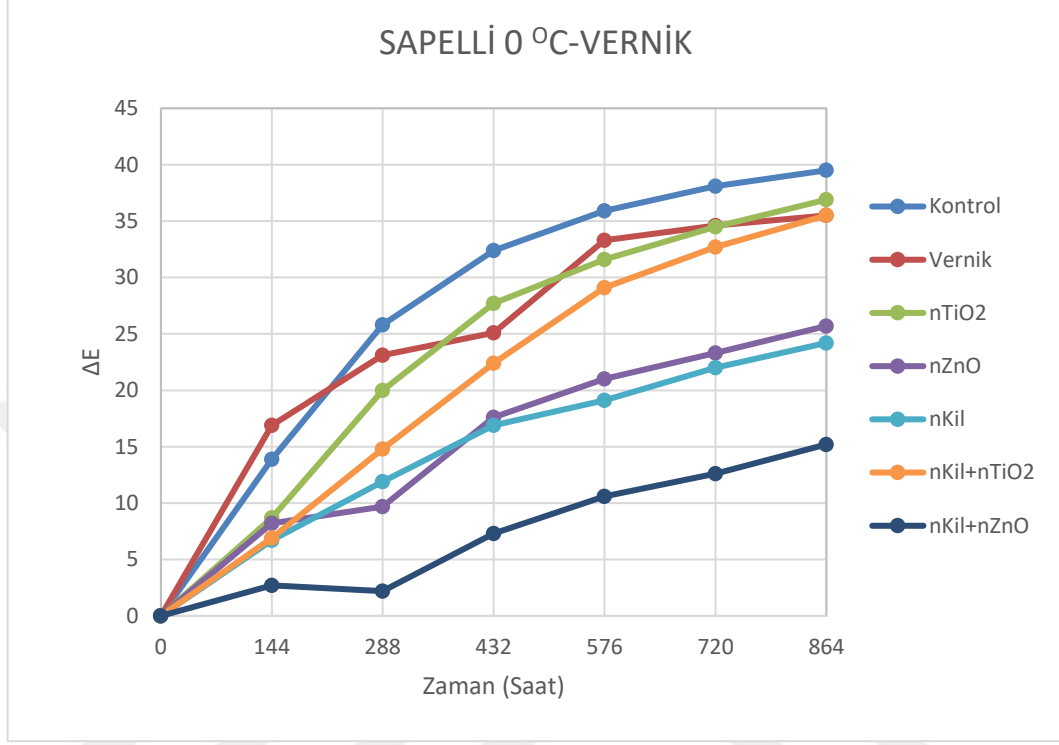


Şekil 4.2: Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç kontrol numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi görünümü.

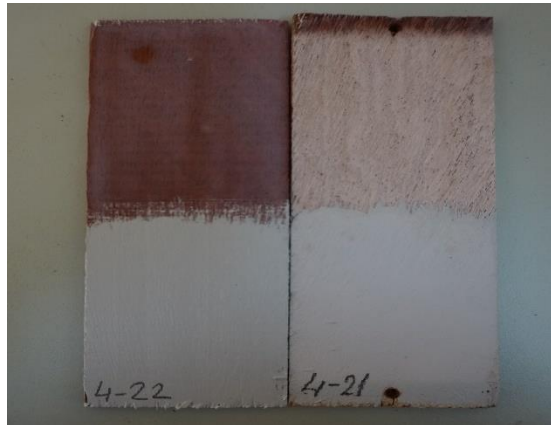
Isıl işleme maruz kalmamış sapelli örneklerine sadece vernik ve verniğe karıştırılan nano partikül eklenmiş örneklerde 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi sonucunda çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın sadece vernik uygulanan örneklerde ΔE değerleri 16,9 ile 35,5, nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 8,7 ile 36,9, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 8,2 ile 25,7, nano kil eklenmiş varyasyonunda 6,7 ile 24,2, nano kil ve nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 6,9 ile 35,5, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 2,7 ile 15,2 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Isıl işlem uygulanmamış nano partiküller eklenmiş vernik uygulanmış sapelli örneklerinin renk değişim grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.



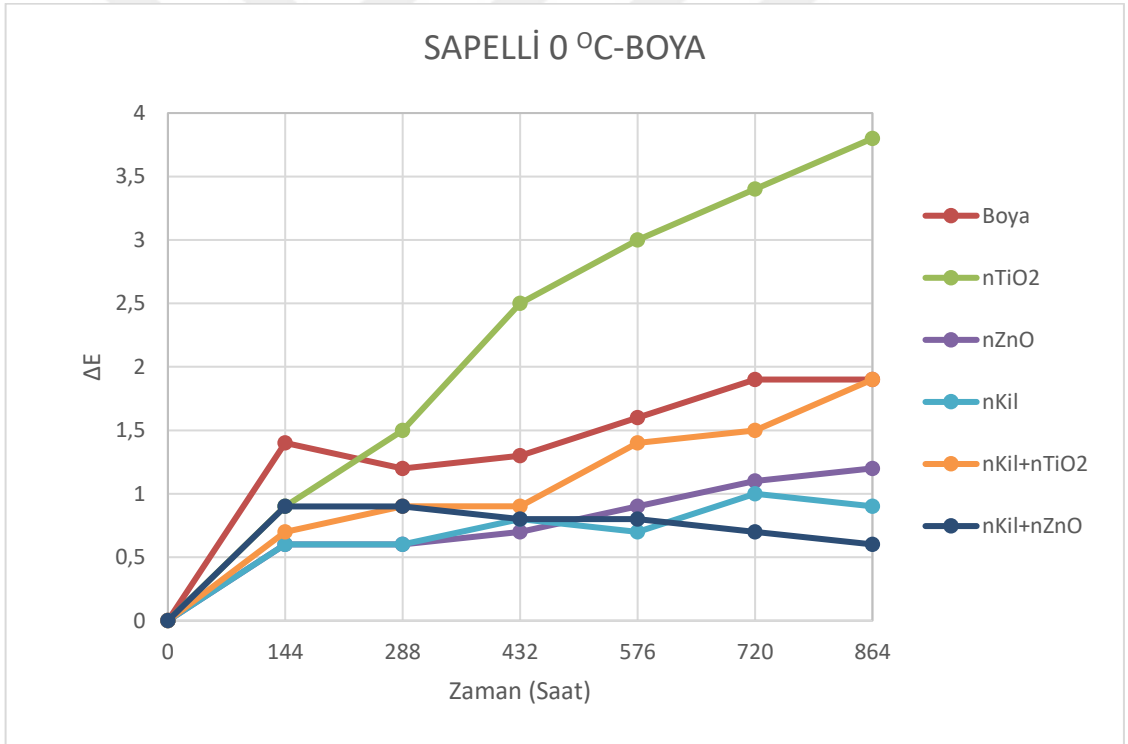
Şekil 4.3: Isıl işlem uygulanmamış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



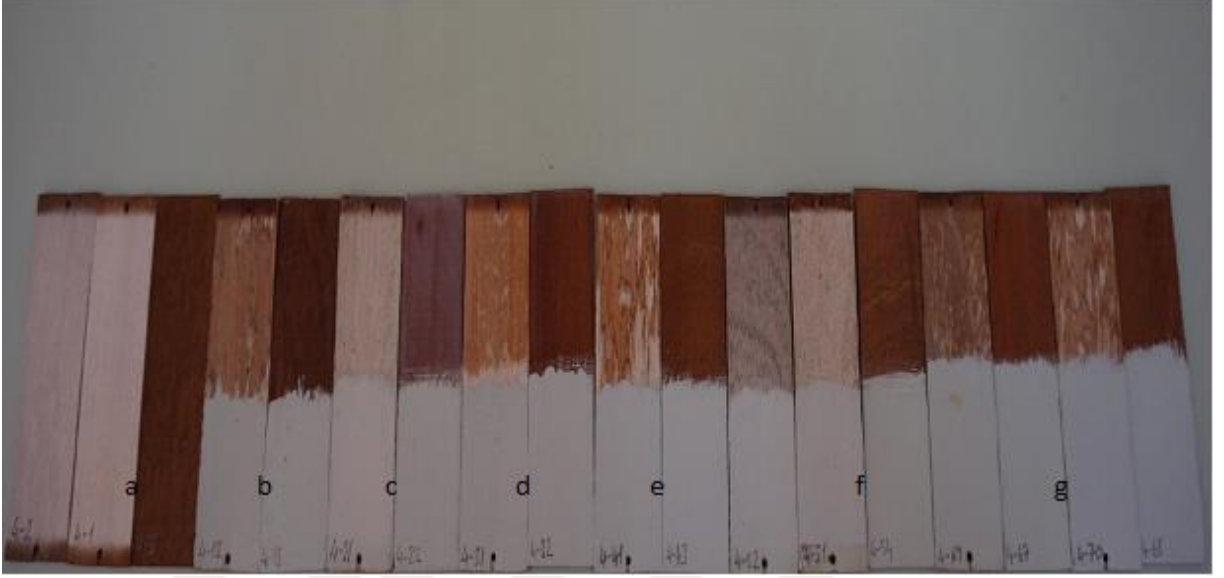
Şekil 4.4: Isıl işlem uygulanmamış sapelli örneğinin nano TiO₂ ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma öncesi ve sonrasındaki görünümü.

Isıl işleme maruz kalmamış sapelli örneklerine sadece boya ve boyaya karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan boyalı varyasyonda değerler 1,4 ile 1,9, nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,9 ile 3,8, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 0,6 ile 1,2, nano kil eklenmiş varyasyonunda 0,6 ile 0,9, nano kil ve nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,7 ile 1,9, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 0,9 ile 0,6 arasında değişim göstermiştir. Isıl işlem uygulanmamış boyalı sapelli örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.5' te verilmiştir.



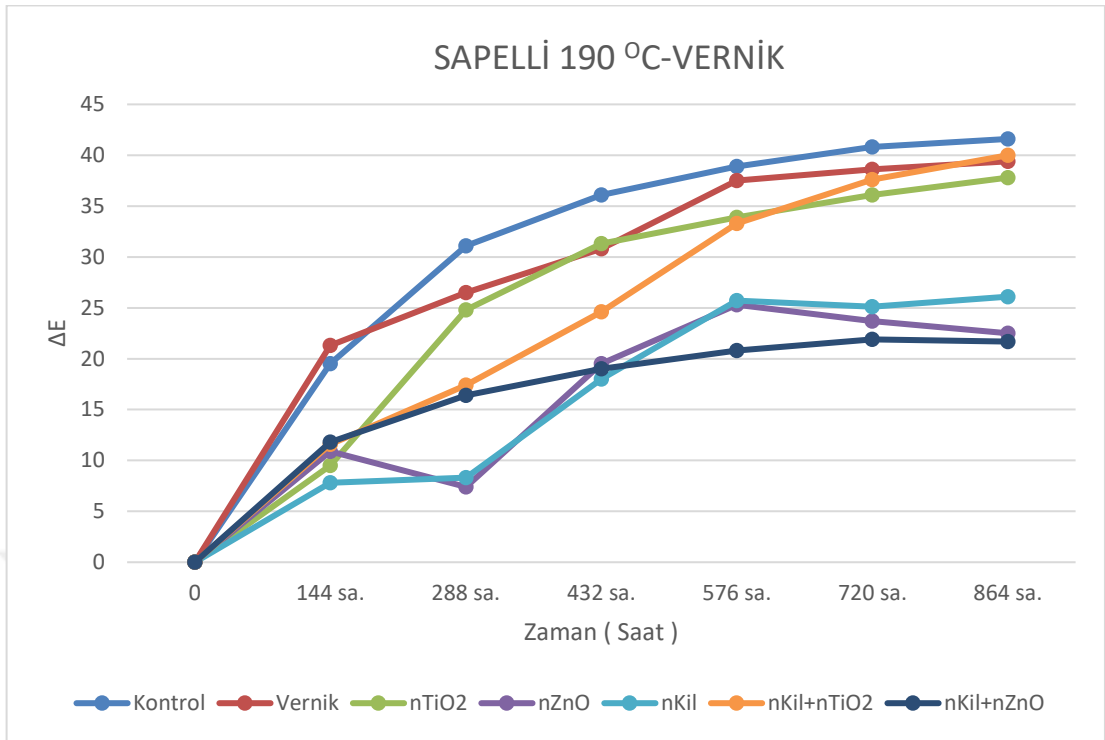
Şekil 4.5: Isıl işlem uygulanmamış uygulanmamış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



Şekil 4.6: Isıl işlem uygulanmamış sapelli örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO_2 (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO_2 (f), nano kil+nano ZnO ’ lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

190°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerine sadece vernik ve verniğe karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan vernikli varyasyonda değerler 21,3 ile 39,4, nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 9,5 ile 37,8, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 10,9 ile 22,5, nano kil eklenmiş varyasyonunda 7,8 ile 26,1, nano kil ve nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 11,6 ile 40, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 11,8 ile 21,7 arasında kaydedilmiştir. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış vernikli sapelli örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.7’ de verilmiştir.



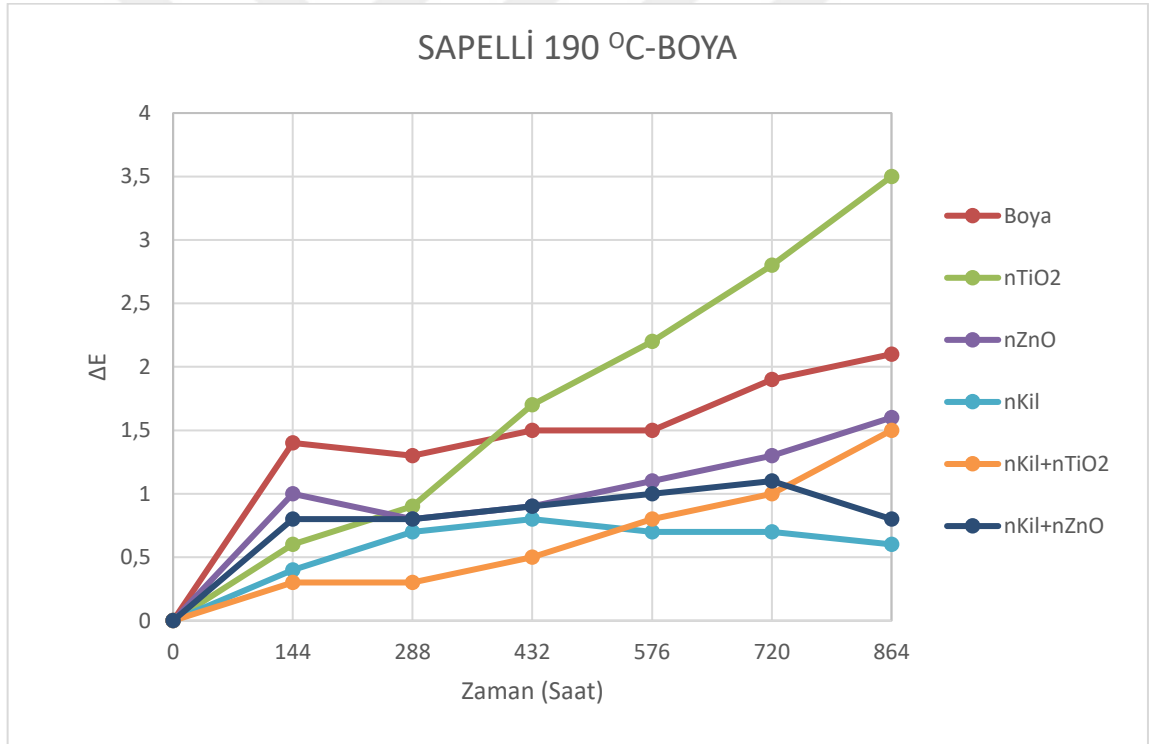
Şekil 4.7: 190°C ısıt işlem uygulanmış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



Şekil 4.8: 190°C ısıt işlem uygulanmış sapelli örneklerinin, nano kil+nano TiO₂ ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

190°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerine sadece boya ve boyaya karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan boyalı varyasyonda değerler 1,4 ile 2,1, nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,6 ile 3,5, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 1 ile 1,6, nano kil eklenmiş varyasyonunda 0,4 ile 0,6, nano kil ve nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,3 ile 1,5, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 0,8 arasında değişmiştir. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış boyalı sapelli örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.9' da verilmiştir.



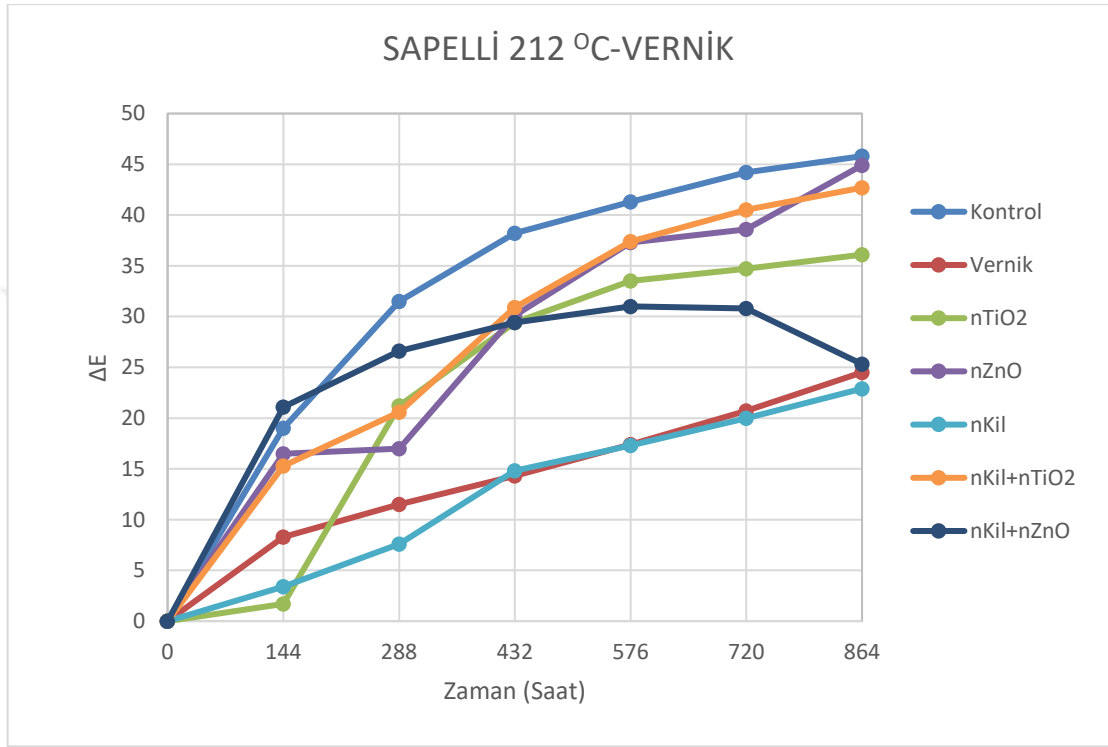
Şekil 4.9: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



Şekil 4.10: 190°C ısıt işlem uygulanmış sapelli örneklerinin sırasıyla kontrol(a),sadece vernik-boya (b), nano TiO₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

212°C ısıt işlem uygulanmış sapelli örneklerine sadece vernik ve verniğe karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda belirtilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan vernikli varyasyonda değerler 8,3 ile 24,5, nano TiO₂ eklenmiş varyasyonunda 1,7 ile 36,1, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 16,5 ile 44,9, nano kil eklenmiş varyasyonunda 3,4 ile 22,9, nano kil ve nano TiO₂ eklenmiş varyasyonunda 15,3 ile 42,7, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 21,1 ile 25,3 arasındadır. 212°C ısıt işlem uygulanmış vernikli sapelli örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.11' de verilmiştir.



Şekil 4.11: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.

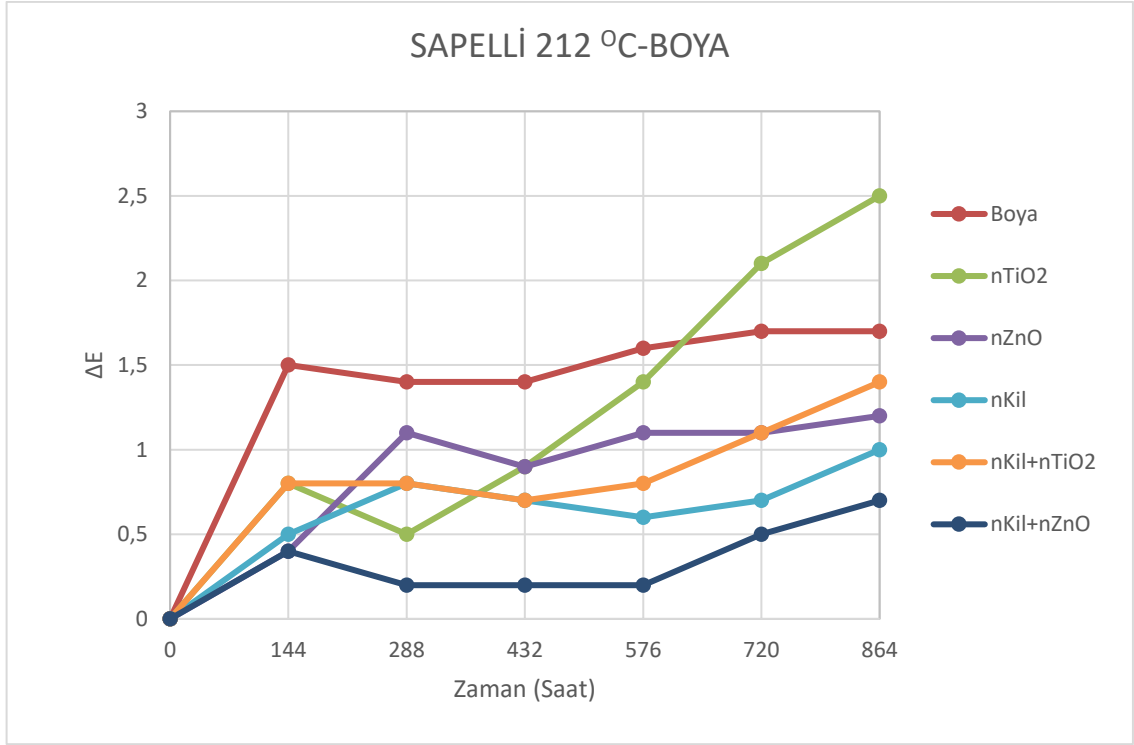


Şekil 4.12: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinin nano kil+nano ZnO ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

212°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerine sadece boya ve boyaya karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan boyalı varyasyonda değerler 1,5 ile 1,7, nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,8 ile 2,5, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 0,4 ile 1,2, nano kil eklenmiş varyasyonunda 0,5 ile 1, nano kil ve nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,8 ile 1,4, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 0,4 ile 0,7 arasındadır.

212°C ısıtıl işlem uygulanmış boyalı sapelli örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.13' te verilmiştir.



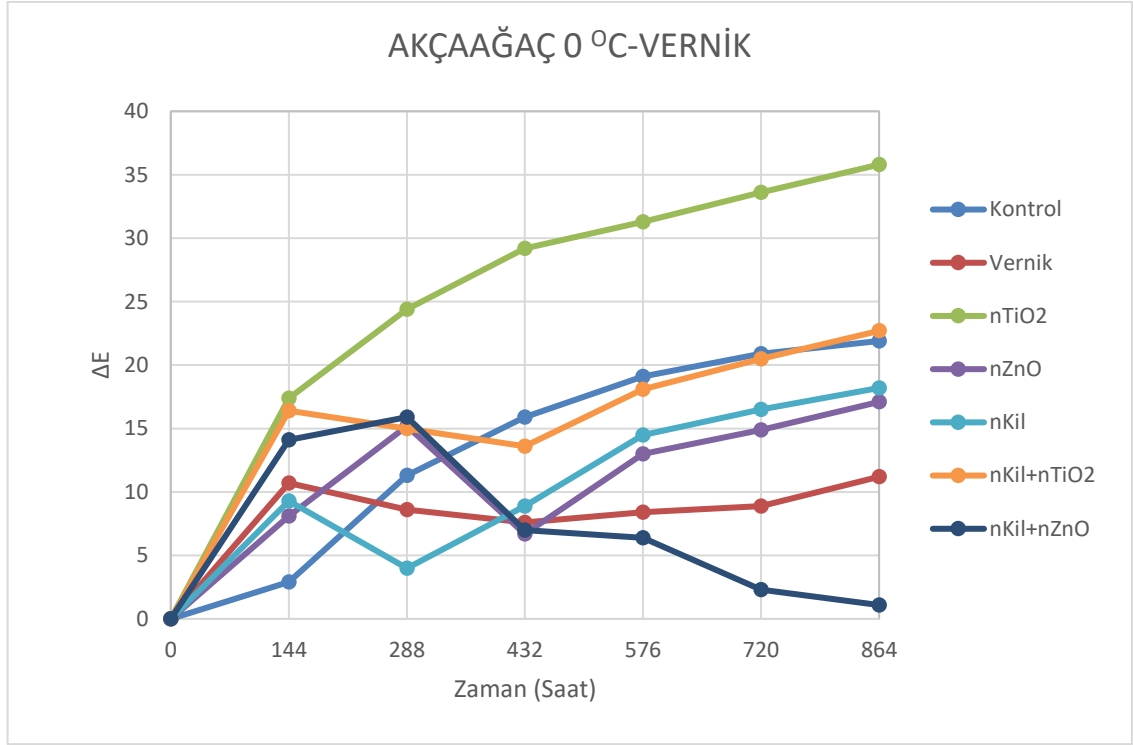
Şekil 4.13: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış sapelli örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



Şekil 4.14: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış sapelli örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

Isıl işleme maruz kalmamış akçaağaç örneklerine sadece vernik ve verniğe karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan vernikli varyasyonda değerler 10,7 ile 11,2, nano TiO₂ eklenmiş varyasyonunda 17,4 ile 35,8, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 8,1 ile 17,1, nano kil eklenmiş varyasyonunda 9,3 ile 18,2, nano kil ve nano TiO₂ eklenmiş varyasyonunda 16,4 ile 22,7, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 14,1 ile 1,1 aralığında kaydedilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış vernikli akçaağaç örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.15' te verilmiştir.



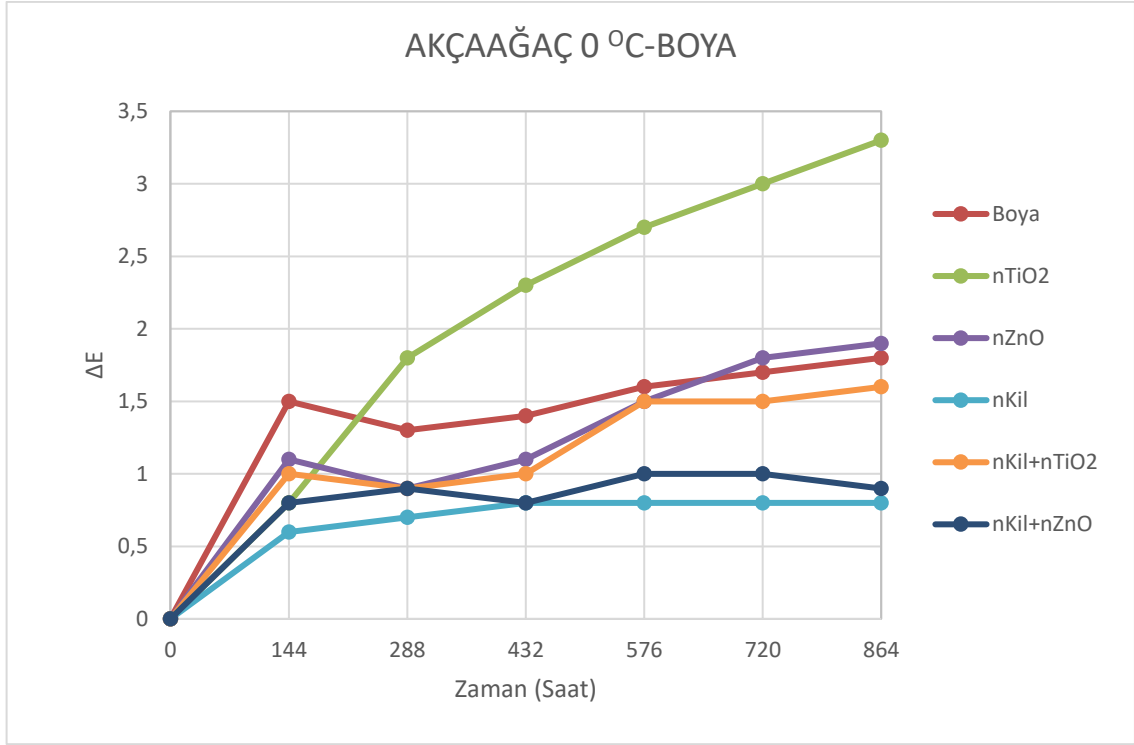
Şekil 4.15: Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



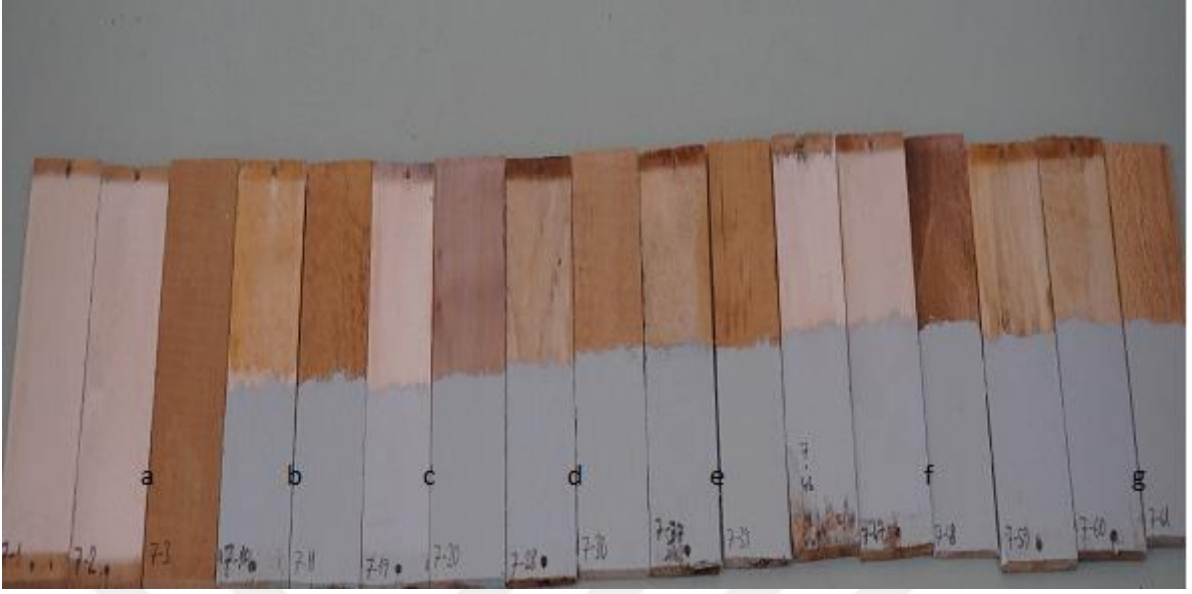
Şekil 4.16: Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç örneklerinin nano kil ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

Isıl işleme maruz kalmamış akçaağaç örneklerine sadece boya ve boyaya karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan boyalı varyasyonda değerler 1,5 ile 1,8, nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,8 ile 3,3, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 1,1 ile 1,9, nano kil eklenmiş varyasyonunda 0,6 ile 0,8, nano kil ve nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 1 ile 1,6, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 0,8 ile 0,9 arasında tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış boyalı akçaağaç örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.17' de verilmiştir.



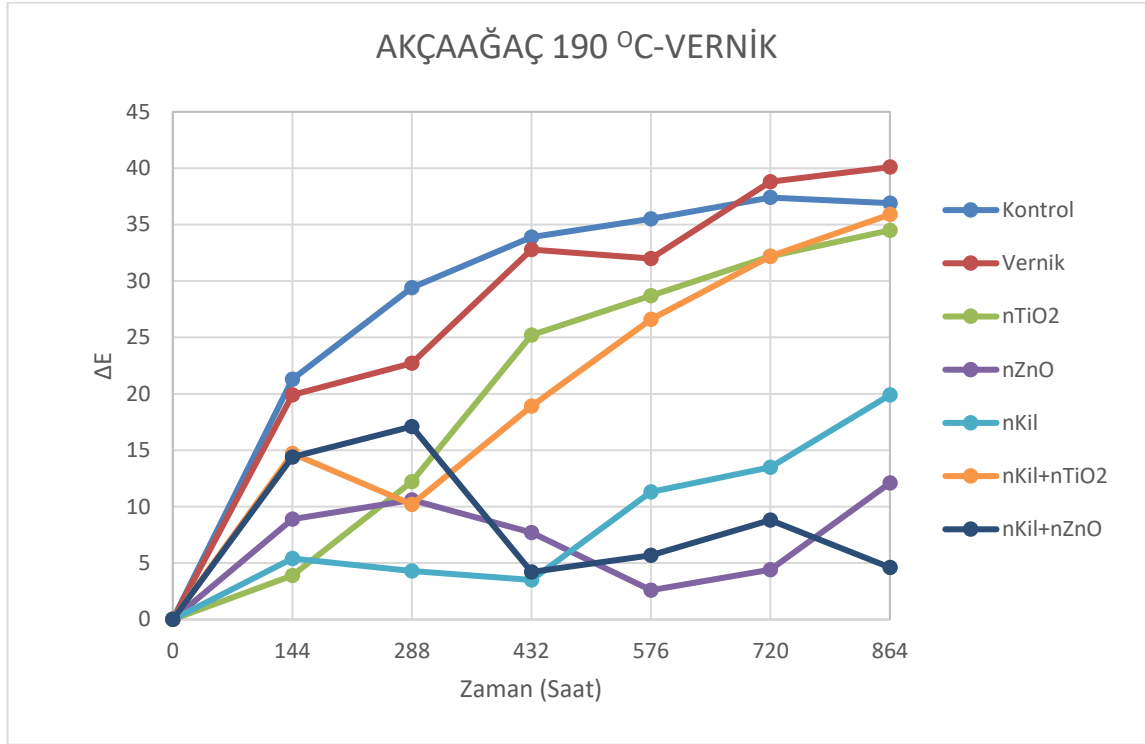
Şekil 4.17: Isıl işlem uygulanmamış uygulanmamış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



Şekil 4.18: Isıl işlem uygulanmamış akçaağaç örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO_2 (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO_2 (f), nano kil+nano ZnO ’lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

190°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerine sadece vernik ve verniğe karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan vernikli varyasyonda değerler 19,9 ile 40,1, nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 3,9 ile 34,5, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 8,9 ile 12,1, nano kil eklenmiş varyasyonunda 5,4 ile 19,9, nano kil ve nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 14,7 ile 35,9, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 14,4 ile 4,6 arasında ölçülmüştür. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış vernikli akçaağaç örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.19’da verilmiştir.



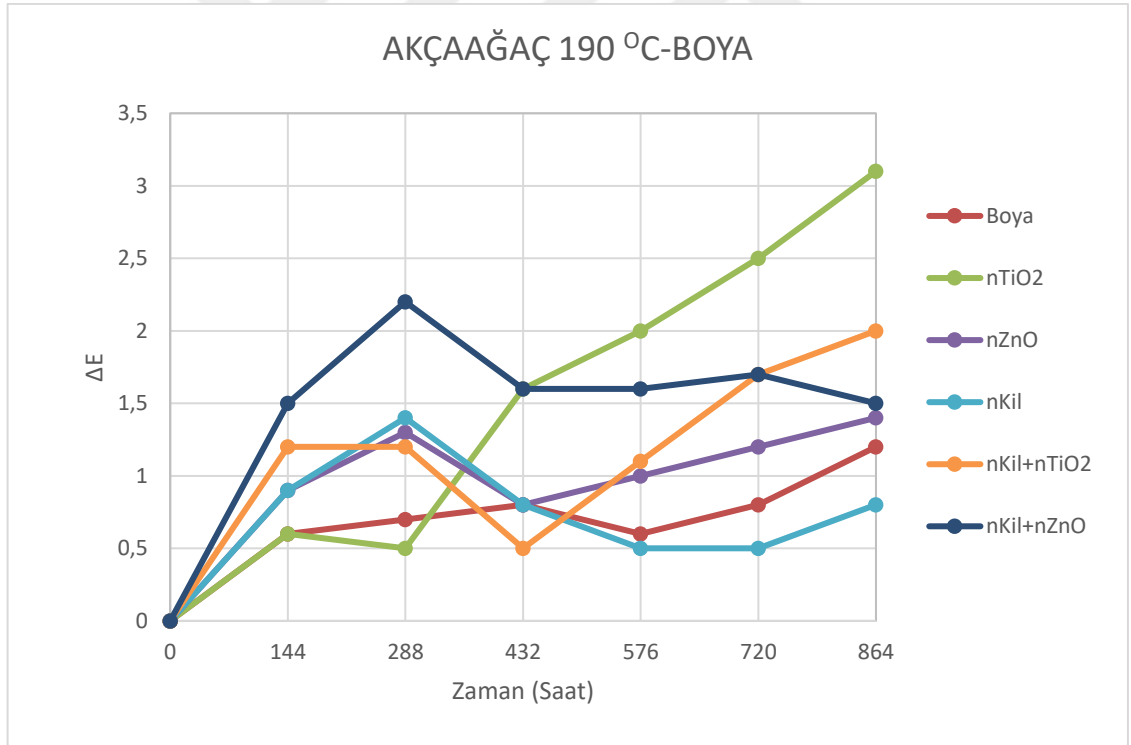
Şekil 4.19: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



Şekil 4.20: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerinin nano TiO₂ ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

190°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerine sadece boya ve boyaya karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan ΔE değerleri aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan boyalı varyasyonda değerler 0,6 ile 1,2, nano TiO₂ eklenmiş varyasyonunda 0,6 ile 3,1, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 0,9 ile 1,4, nano kil eklenmiş varyasyonunda 0,9 ile 0,8, nano kil ve nano TiO₂ eklenmiş varyasyonunda 1,2 ile 2, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 1,5 aralığında ölçülmüştür. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış boyalı akçaağaç örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.21' de verilmiştir.



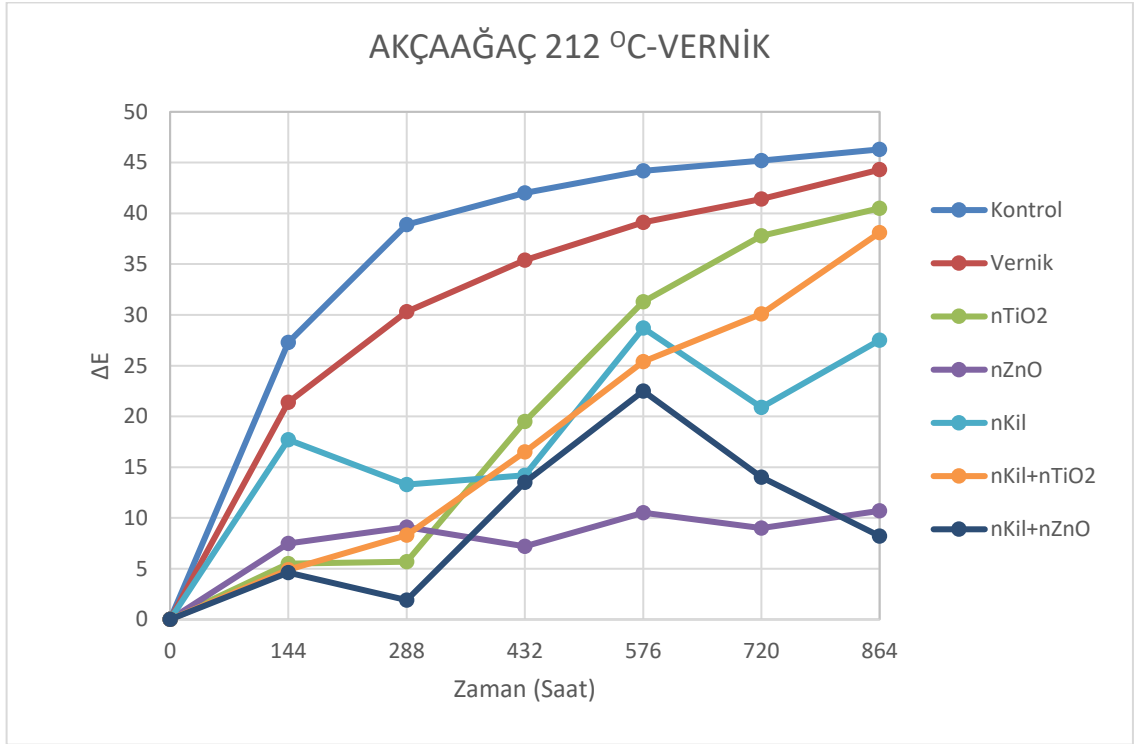
Şekil 4.21: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



Şekil 4.22: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

212°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerine sadece vernik ve verniğe karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan vernikli varyasyonda değerler 21,4 ile 44,3, nano TiO₂ eklenmiş varyasyonunda 5,5 ile 40,5, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda değerler 7,5 ile 10,7, nano kil eklenmiş varyasyonunda 17,7 ile 27,5, nano kil ve nano TiO₂ eklenmiş varyasyonunda 4,9 ile 38,1, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 4,6 ile 8,2 aralığında tespit edilmiştir. 212°C ısıtıl işlem uygulanmış vernikli akçaağaç örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.23' te verilmiştir.



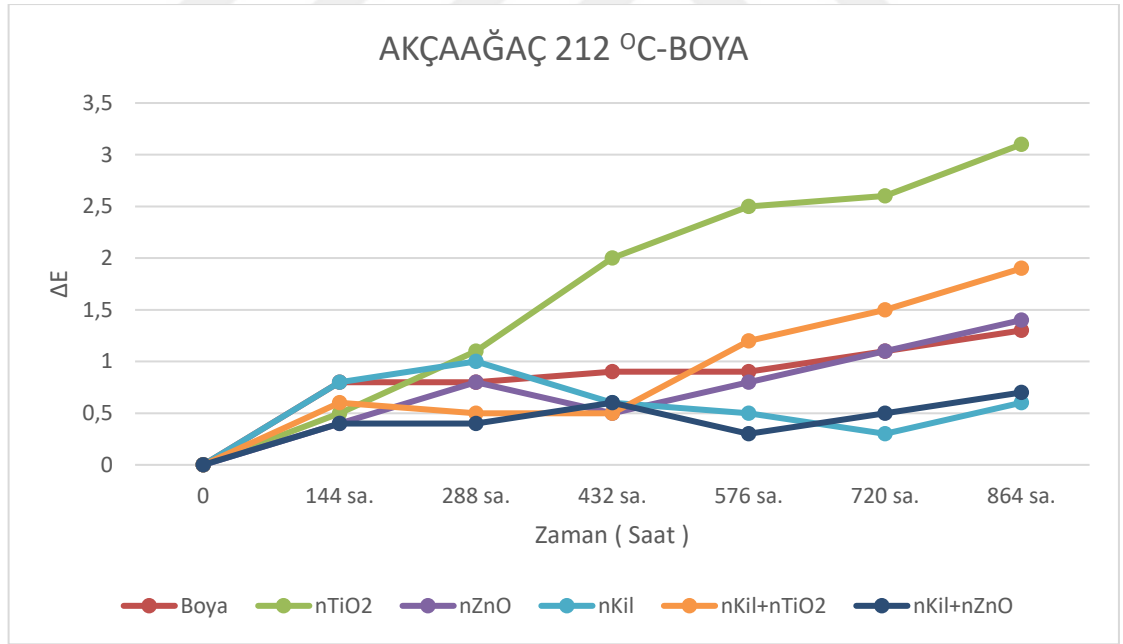
Şekil 4.23: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış akçağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş vernik uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



Şekil 4.24: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış akçağaç örneklerinin nano kil+nano ZnO ekli numunesinin 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

212°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerine sadece boya ve boyaya karıştırılan nano partikül varyasyonlarında 144, 288, 432, 576, 720 ve 864 saatlik periyotlarla yapılan yapay yaşlandırma işlemi neticesinde çıkan değerler (ΔE) aşağıda verilmiştir.

Nano partikül olmaksızın uygulanan boyalı varyasyonda değerler 0,8 ile 1,3, nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,5 ile 3,1, nano ZnO eklenmiş varyasyonunda 0,4 ile 1,4, nano kil eklenmiş varyasyonunda 0,8 ile 0,6, nano kil ve nano TiO_2 eklenmiş varyasyonunda 0,6 ile 1,9, nano kil ve nano ZnO eklenmiş varyasyonunda ise değerler 0,4 ile 0,7 aralığında ölçülmüştür. 212°C ısıtıl işlem uygulanmış boyalı akçaağaç örneklerinin nano partiküller bazında zamana göre renk değişim grafiği Şekil 4.25' te verilmiştir.



Şekil 4.25: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış akçaağaç örneklerinde nano partiküller ilave edilmiş boya uygulanmış yüzeylerde yaşlandırma zamanına göre renk değişimi.



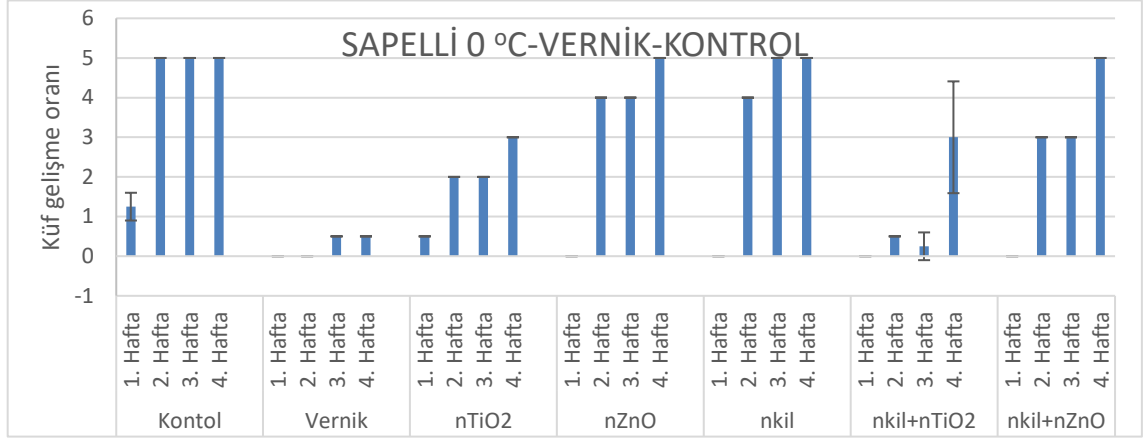
Şekil 4.26: 212°C ısıtılmış işlem uygulanmış akçaağaç örneklerinin sırasıyla kontrol (a), sadece vernik-boya (b), nano TiO₂ (c), nano ZnO (d), nano kil (e), nano kil+nano TiO₂ (f), nano kil+nano ZnO' lu (g) varyasyonlarının 864 saat yaşlandırma sonrası ve öncesi renk farklılığı.

4.2. NANO PARTİKÜLLERLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VERNİK VE BOYA İLE İŞLEME TABİ TUTULAN YAŞLANDIRILMIŞ VE YAŞLANDIRILMAMIŞ ODUN ÖRNEKLERİNDEKİ KÜF MANTARLARININ OLUŞTURDUĞU KÜF GELİŞİMİ ANALİZ SONUÇLARI

190°C ve 212°C ısıtma işlem varyasyonlarına sahip sapelli ve akçaağaç örneklerine %1 konsantrasyonda hazırlanan nano partiküller ve nano partikül kombinasyonları ilave edilmiş, vernik ve boya uygulamaları gerçekleştirilmiş ve 144'er saatlik periyotlarla (toplam 864 saat) yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Bu örneklerde renk ölçümleri sonucu çıkan L, a, b değerleri neticesinde toplam renk değişimleri (ΔE) hesaplanmıştır. Tüm örnek gruplarına uygulanan küf testleri sonucunda, her hafta (toplam dört hafta) örnek yüzeyinde oluşan küf sporlarının gelişimi, kapladığı yüzey alanına göre 0 ile 5 arasında değer verilerek kaydedilmiştir.

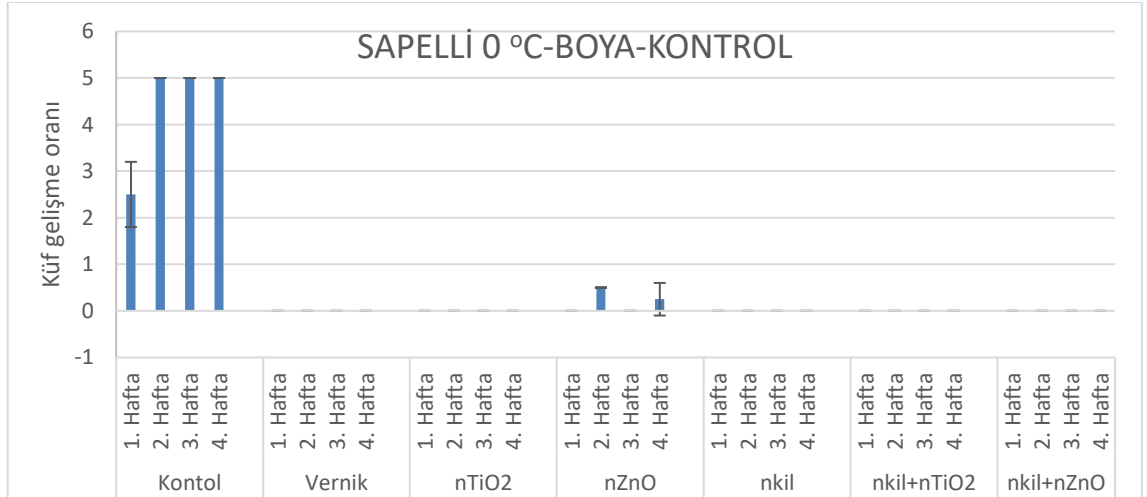
Isıl işlem uygulanmamış ve yaşlandırmaya maruz bırakılmamış sapelli örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim oranları aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, sadece vernik uygulanan grupta 0,5, nano TiO₂ ekli grupta 3, nano ZnO ekli grupta 5, nano kil ekli grupta 5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 3, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 5 olarak kaydedilmiştir. Isıl işlem ve yaşlandırma uygulanmamış, vernik uygulanmış sapelli örneklerinde küf gelişim değerleri Şekil 4.27' de verilmiştir.



Şekil 4.27: Isıl işlem ve yaşlandırma uygulanmamış vernikli sapelli örneğinin küf gelişim değerleri.

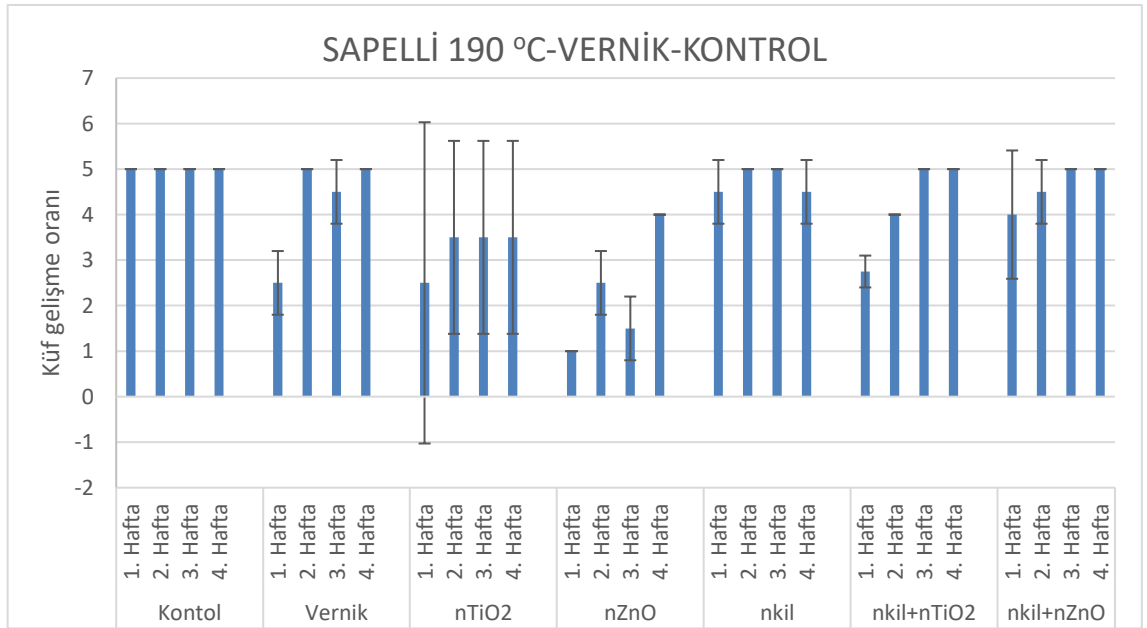
Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, diğer tüm gruplarda ise 0 olarak tespit edilmiştir. Isıl işlem ve yaşlandırma uygulanmamış, boya uygulanmış sapelli örneklerindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.28’ de verilmiştir.



Şekil 4.28: Isıl işlem ve yaşlandırma uygulanmamış boyalı sapelli örneğinin küf gelişim değerleri.

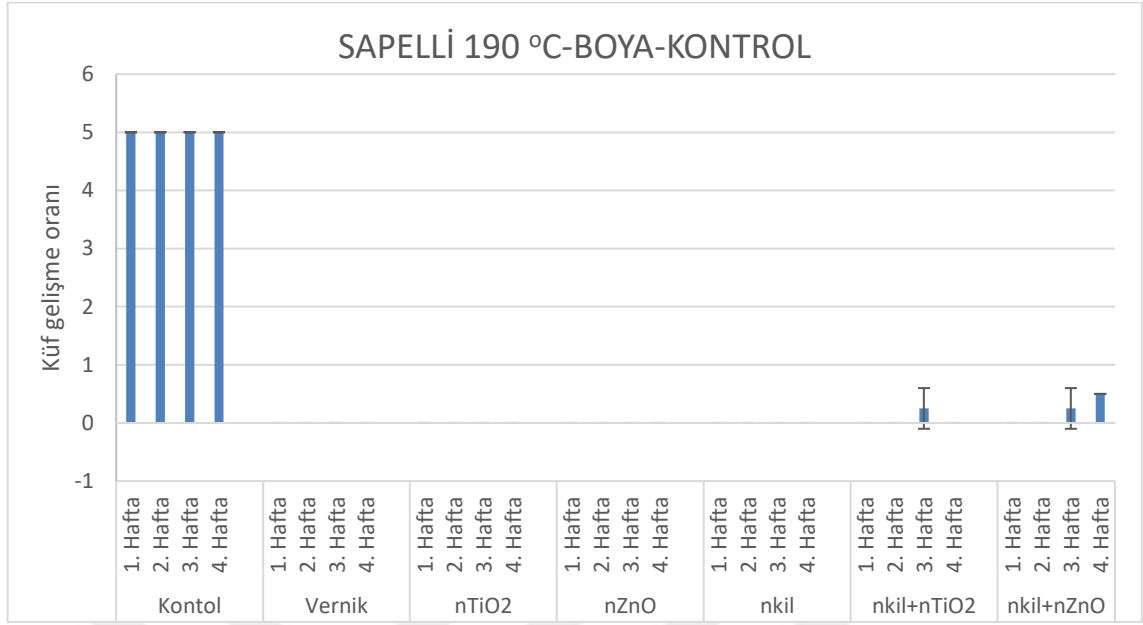
190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırmaya maruz bırakılmamış sapelli örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim oranları aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, sadece vernik uygulanan grupta 5, nano TiO₂ ekli grupta 3,5, nano ZnO ekli grupta 4, nano kil ekli grupta 4,5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 5, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 5 olarak kaydedilmiştir. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri şekil 4.29' da verilmiştir.



Şekil 4.29: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, diğer tüm gruplarda 0, nano kil ve nano çinko oksit ekli grupta ise 0,5 çıkmıştır. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.30' da verilmiştir.



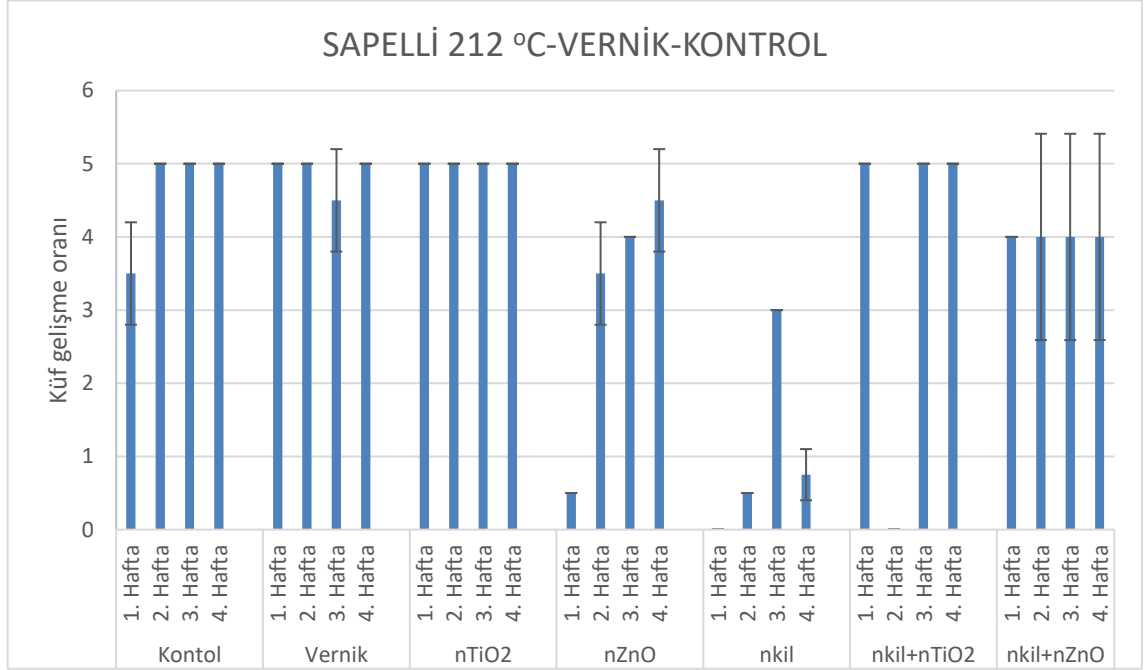
Şekil 4.30: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.



Şekil 4.31: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış sapelli örneğinde 3. Hafta sonunda oluşan küf gelişimi.

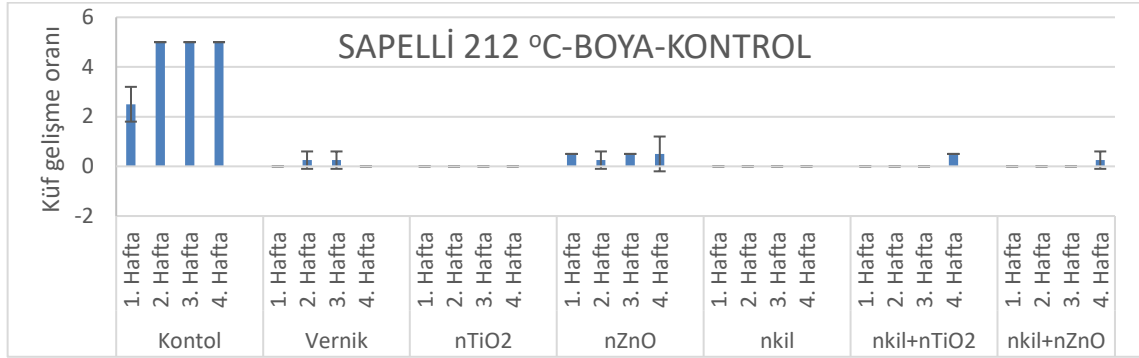
212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırmaya maruz bırakılmamış sapelli odun örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişimlerinin oranları aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, sadece vernik uygulanan grupta 5, nano TiO₂ ekli grupta 5, nano ZnO ekli grupta 4,5, nano kil ekli grupta 0,75, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 5, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 4 olarak kaydedilmiştir. 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.32’ de verilmiştir.



Şekil 4.32: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

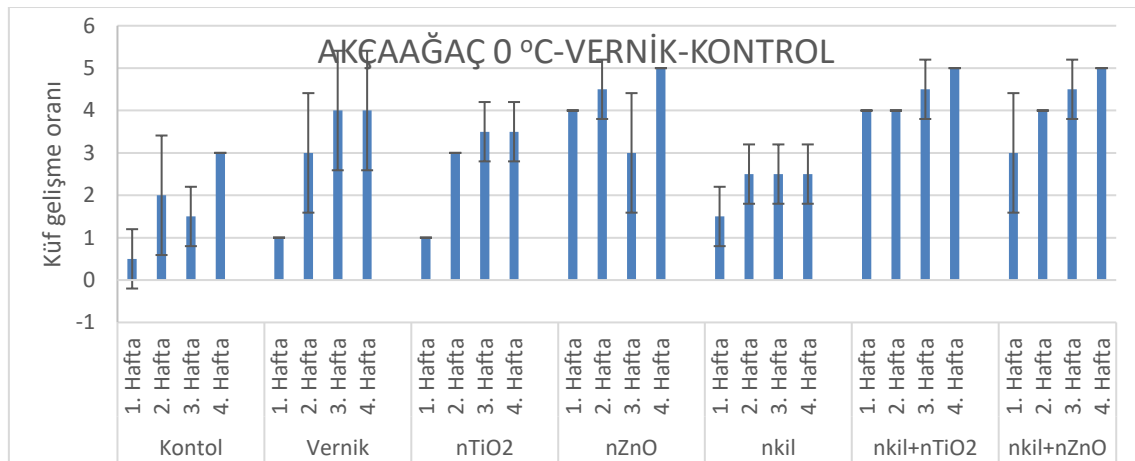
Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, sadece boya uygulanan grupta 0, nano TiO₂ ekli grupta 0, nano ZnO ekli grupta 0,5, nano kil ve nano titanyum dioksit ekli grupta 0,25 olup diğer gruplarda ise 0 çıkmıştır. 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.33’ de verilmiştir.



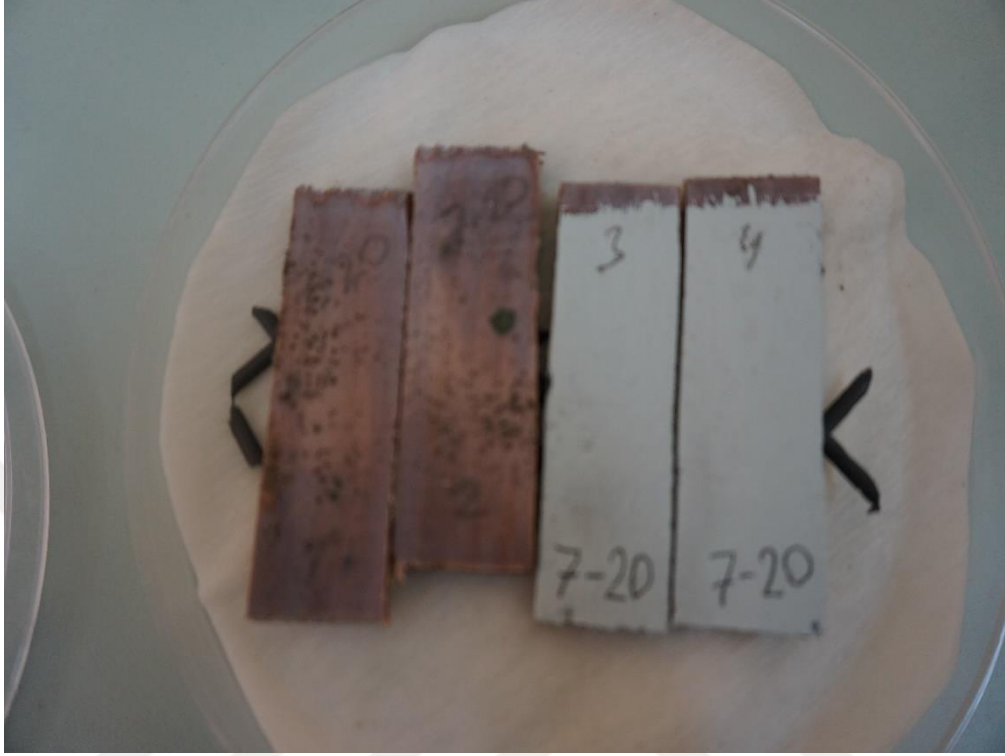
Şekil 4.33: 212°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

Isıl işlem uygulanmamış ve yaşlandırmaya maruz bırakılmamış akçaağaç örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişimlerinin ortalama değerleri aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 3, sadece vernik uygulanan grupta 4, nano TiO₂ ekli grupta 3,5, nano ZnO ekli grupta 5, nano kil ekli grupta 2,5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 5, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 5 olarak kaydedilmiştir. Isıl işlem ve yaşlandırma uygulanmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.34’ te verilmiştir.

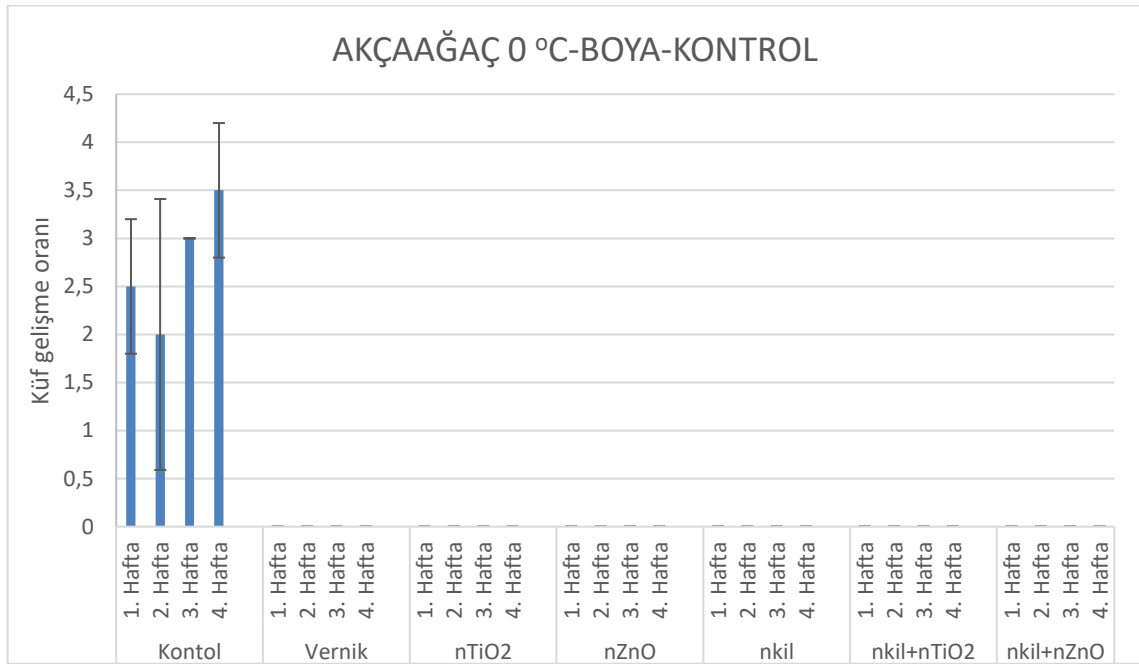


Şekil 4.34: Isıl işlem ve yaşlandırma uygulanmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

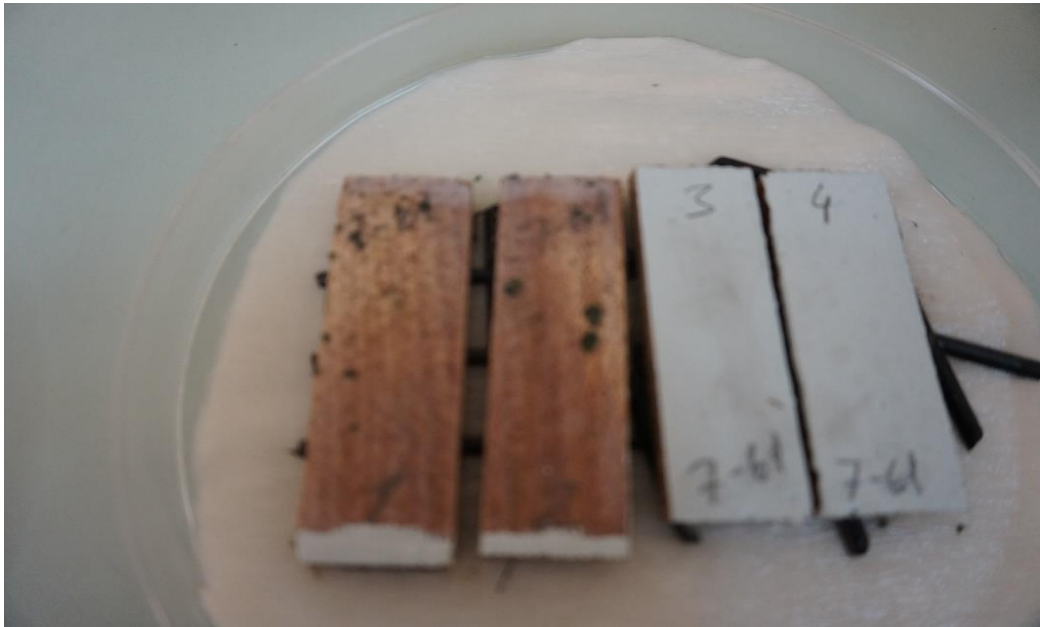


Şekil 4.35: Isıl işlem uygulanmamış ve yaşlandırılmamış akçaağaç örneğinde 4. Hafta sonundaki küf gelişimi.

Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 3,5, diğer tüm gruplarda ise 0 çıkmıştır. Isıl işlem ve yaşlandırma uygulanmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.36’da verilmiştir.



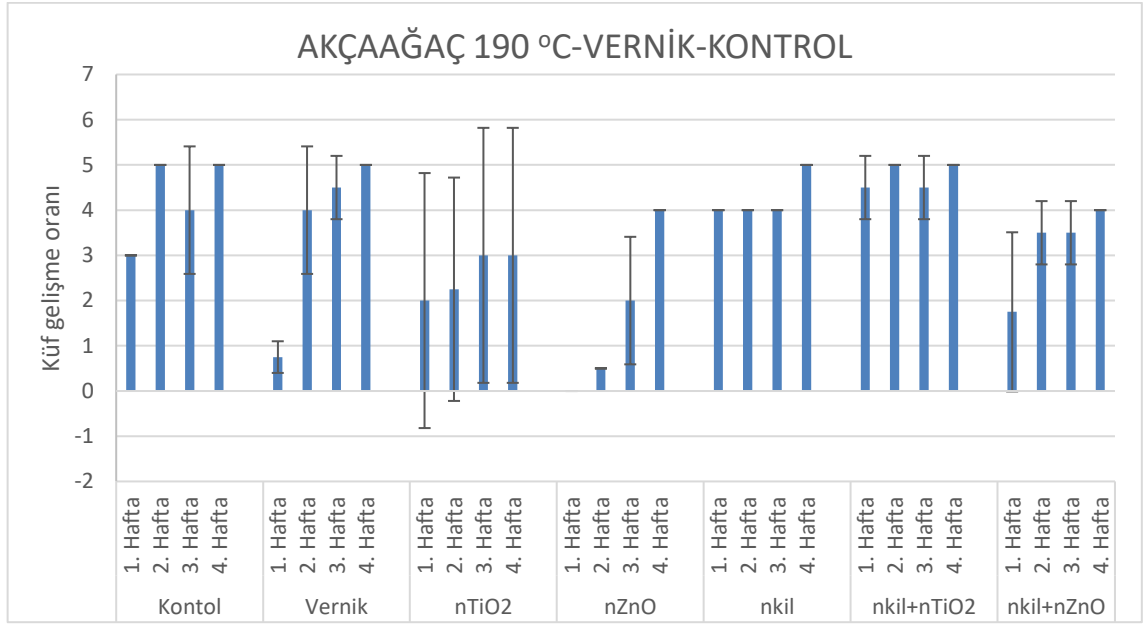
Şekil 4.36: Isıl işlem ve yaşlandırma uygulanmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.



Şekil 4.37: Isıl işlem uygulanmamış ve yaşlandırılmamış akçaağaç örneğinde 4. Hafta sonunda oluşan küf gelişimi.

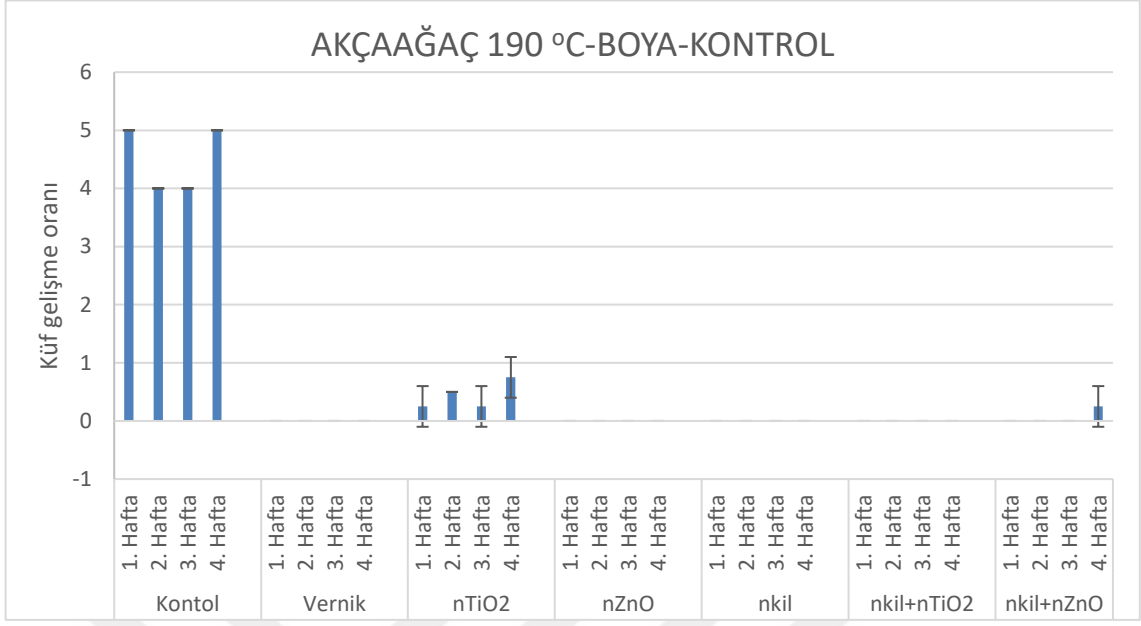
190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırmaya maruz bırakılmamış akçaağaç örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim değerleri aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, sadece vernik uygulanan grupta 5, nano TiO₂ ekli grupta 3, nano ZnO ekli grupta 4, nano kil ekli grupta 5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 5, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 4 olarak kaydedilmiştir. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.38' de verilmiştir.



Şekil 4.38: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

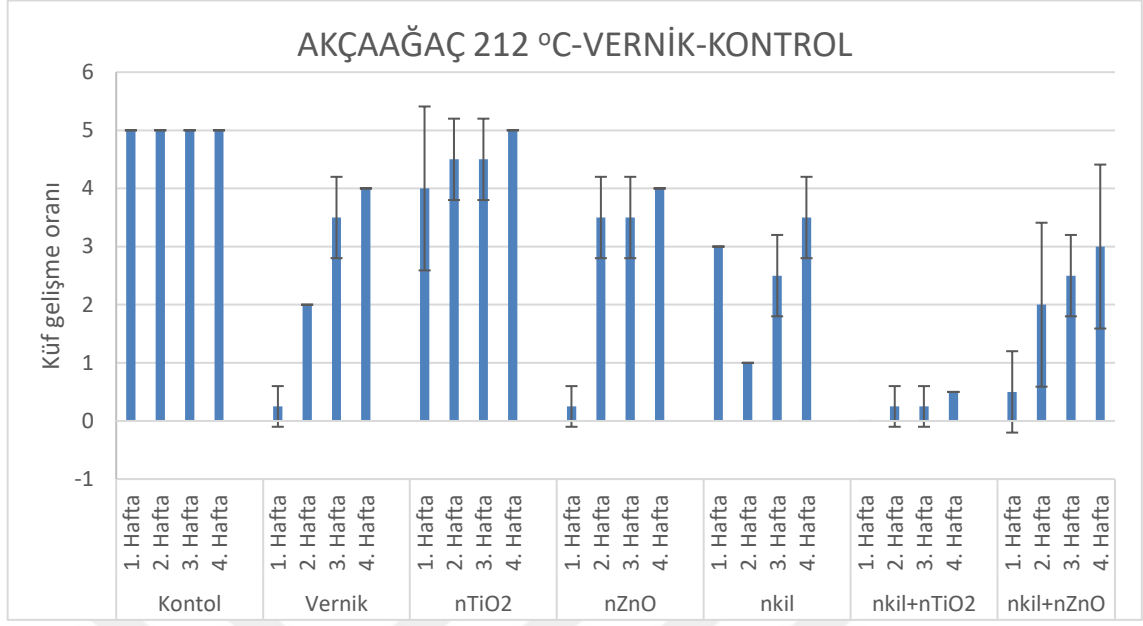
Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, nano titanyum dioksit ekli grupta 0,75, nano kil ve nano çinko oksit ekli grupta 0,25, diğer tüm gruplarda ise 0 çıkmıştır. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.39' da verilmiştir.



Şekil 4.39: 190°C ısıtılmış işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

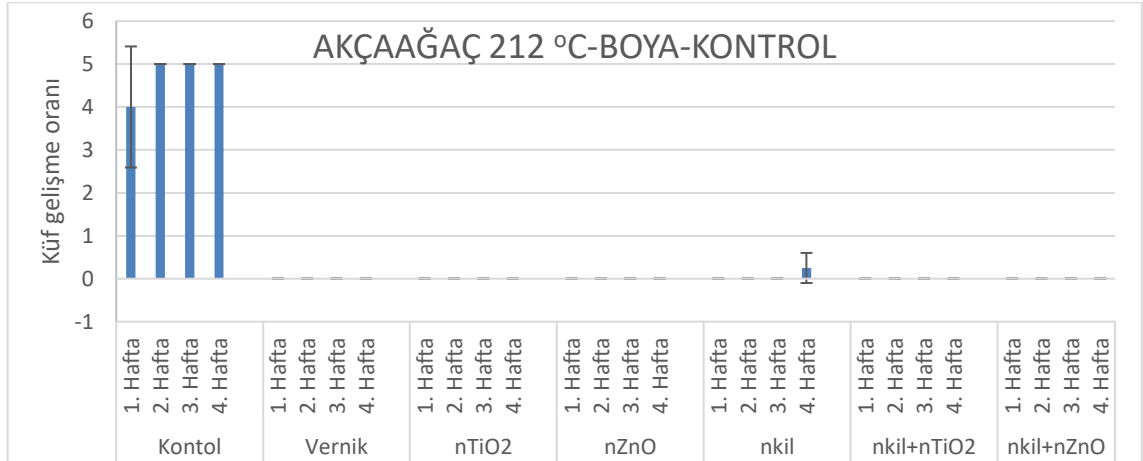
212°C ısıtılmış işlem uygulanmış ve yaşlandırmaya maruz bırakılmamış akçaağaç örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim değerleri aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, sadece vernik uygulanan grupta 4, nano TiO₂ ekli grupta 5, nano ZnO ekli grupta 3,5, nano kil ekli grupta 3,5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 0,5, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 3 olarak kaydedilmiştir. 212°C ısıtılmış işlem uygulanmış veya yaşlandırılmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.40' da verilmiştir.



Şekil 4.40: 212°C ısıtılmış işlem uygulanmış veya yaşlandırılmamış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

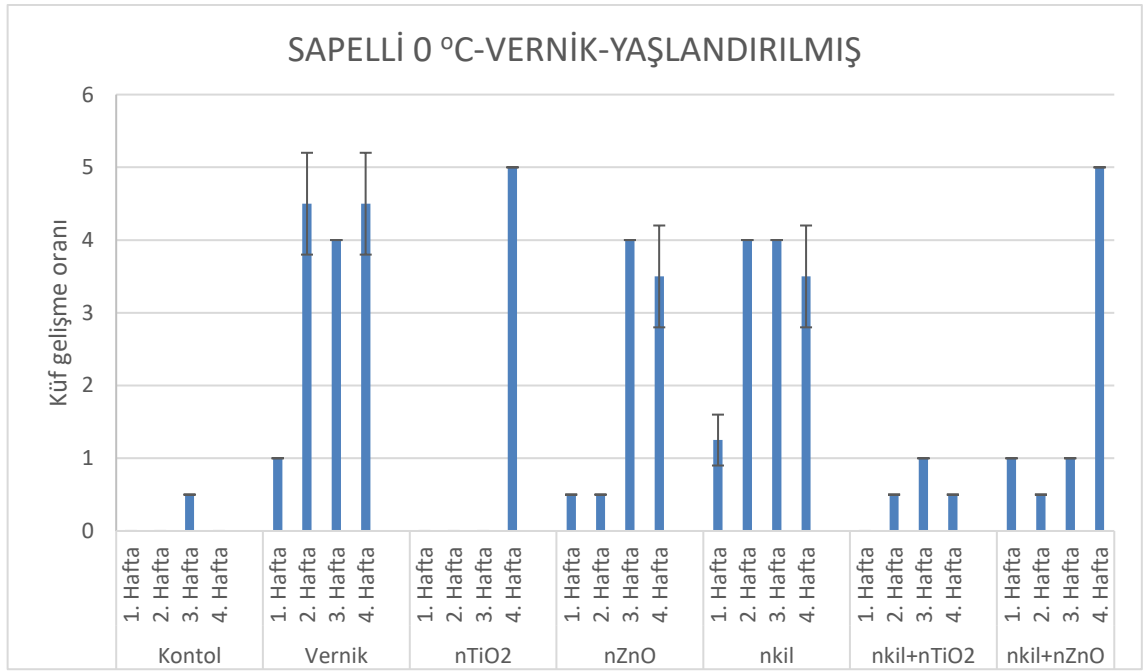
Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 5, nano kil ekli grupta 0,25, diğer tüm gruplarda ise 0 olarak kaydedilmiştir. 212°C ısıtılmış işlem uygulanmış ve yaşlandırılmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.41’ de verilmiştir.



Şekil 4.41: 212°C ısıtılmış işlem uygulanmış veya yaşlandırılmamış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

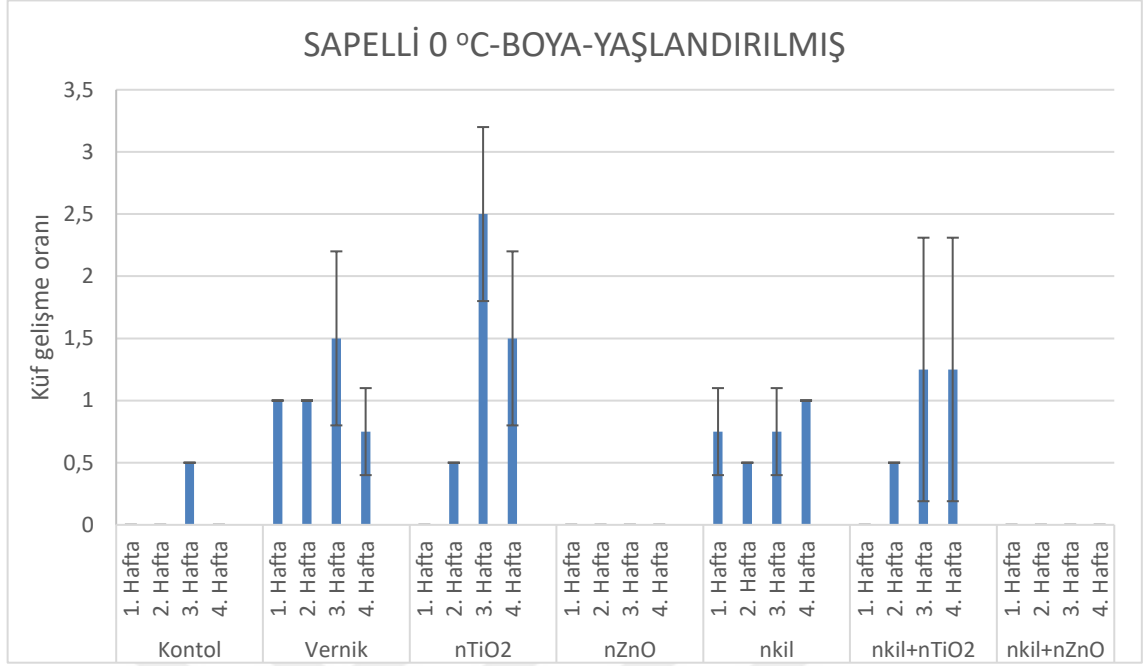
Isıl işlem uygulanmamış ve 864 saat yaşlandırmaya maruz bırakılmış sapelli örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim değerleri aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 0, sadece vernik uygulanan grupta 4,5, nano TiO₂ ekli grupta 5, nano ZnO ekli grupta 3,5, nano kil ekli grupta 3,5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 0,5, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 5 olarak kaydedilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.42’ de verilmiştir.



Şekil 4.42: Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

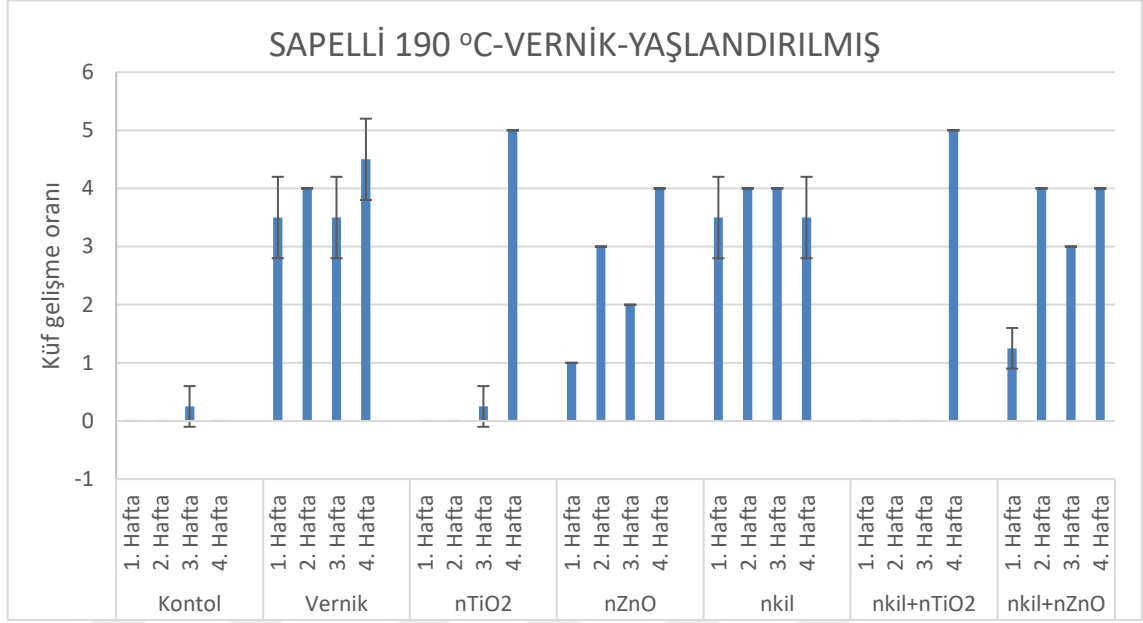
Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 0, nano titanyum dioksit ekli grupta 1,5, nano kil ve nano titanyum dioksit ekli grupta 1,25, diğer tüm gruplarda ise 0 olarak tespit edilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.43’ te verilmiştir.



Şekil 4.43: Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

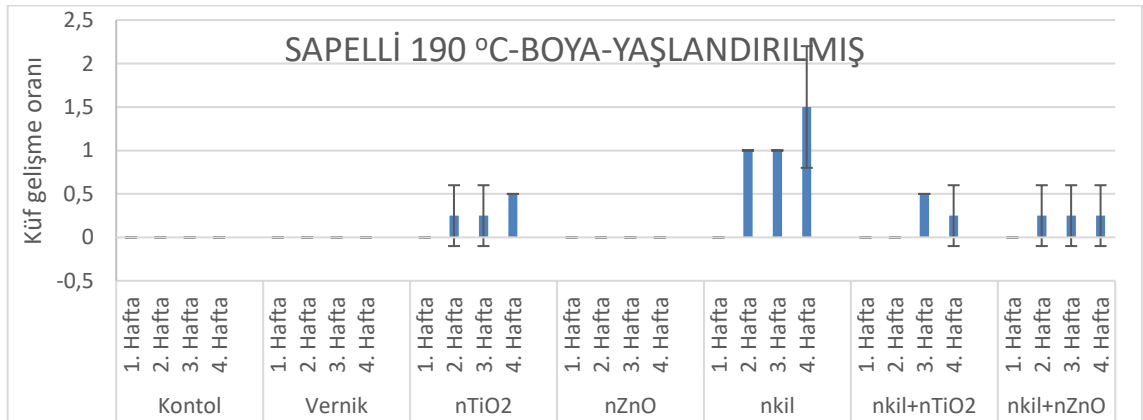
190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve 864 saat yaşlandırmaya maruz bırakılmış sapelli örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim oranları aşağıda belirtilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 0, sadece vernik uygulanan grupta 4,5, nano TiO₂ ekli grupta 5, nano ZnO ekli grupta 4, nano kil ekli grupta 3,5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 5, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 4 olarak kaydedilmiştir. 190°C ısıtma işlemi uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.44’ te verilmiştir.



Şekil 4.44: 190°C ısıtılmış işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

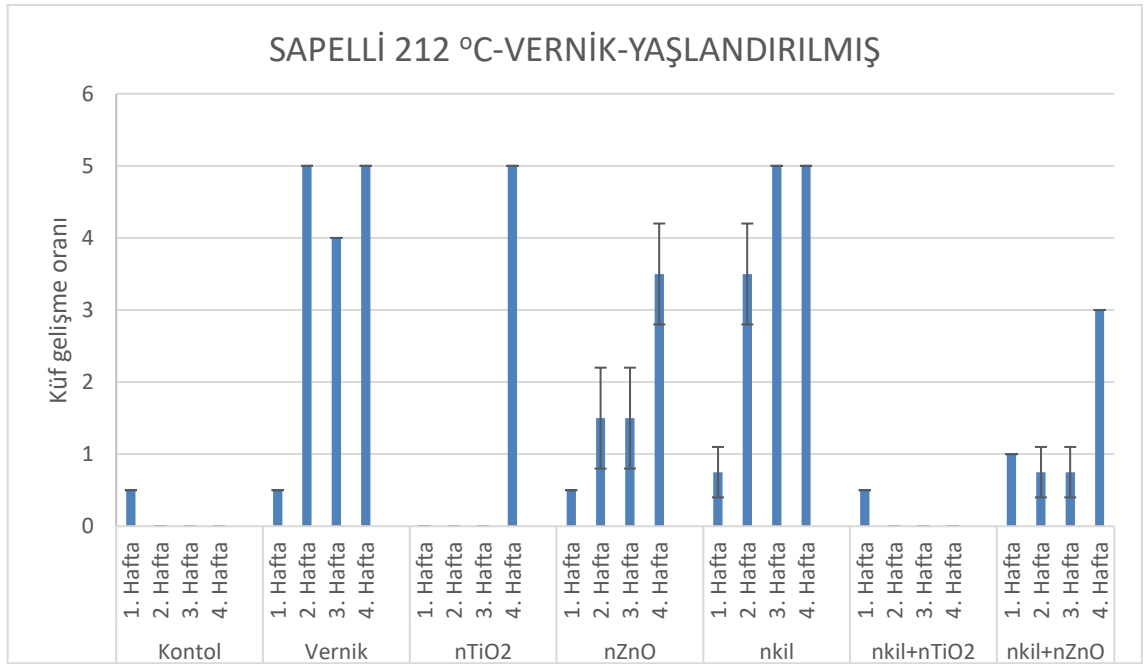
Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 0, sadece boya uygulanan grupta 0, nano TiO₂ ekli grupta 0,5, nano ZnO ekli grupta 0, nano kil ekli grupta 1,5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 0,25, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 0,25 olarak kaydedilmiştir. 190°C ısıtılmış işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.45’ te verilmiştir.



Şekil 4.45: 190°C ısıtılmış işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

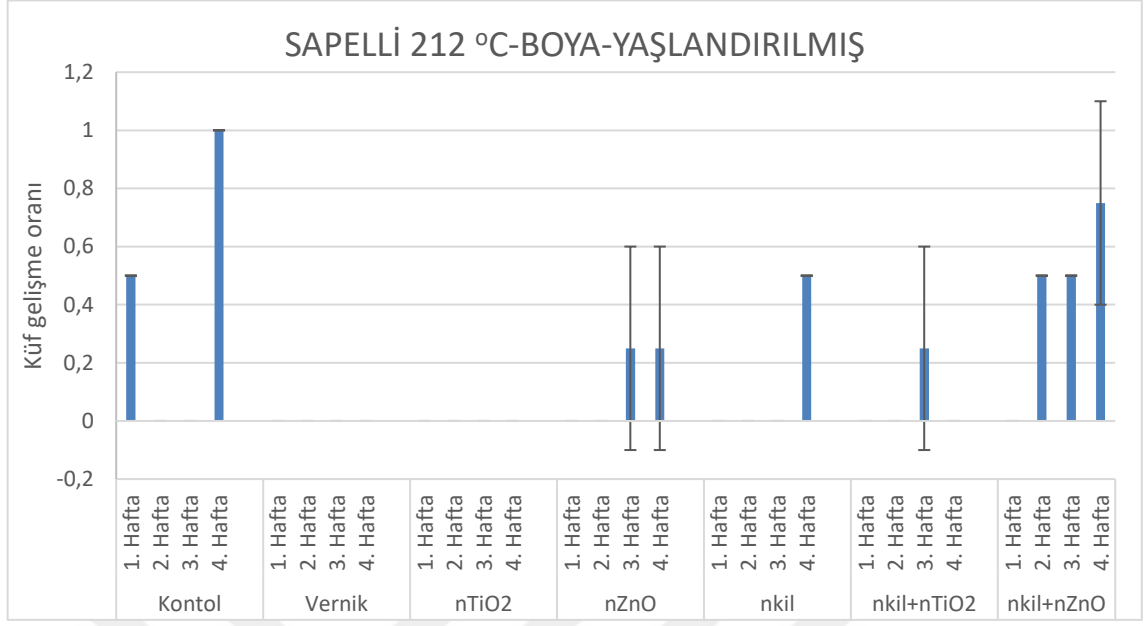
212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve 864 saat yaşlandırmaya maruz bırakılmış sapelli odun örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim değerleri aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 0, sadece vernik uygulanan grupta 5, nano TiO₂ ekli grupta 5, nano ZnO ekli grupta 3,5, nano kil ekli grupta 5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 0, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 3 olarak kaydedilmiştir. 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.46' da verilmiştir.



Şekil 4.46: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

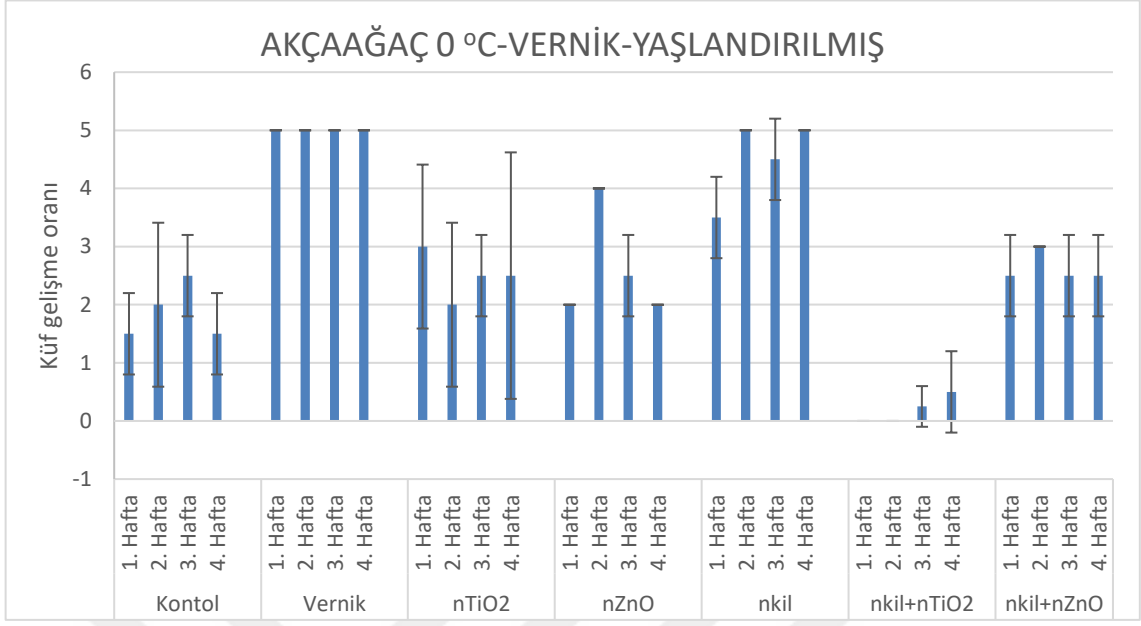
Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 1, sadece boya uygulanan grupta 0, nano TiO₂ ekli grupta 0, nano ZnO ekli grupta 0,25, nano kil ekli grupta 0,5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 0, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 0,75 olarak kaydedilmiştir. 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.47' de verilmiştir.



Şekil 4.47: 212°C ısıtılmış işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı sapelli örneğindeki küf gelişim değerleri.

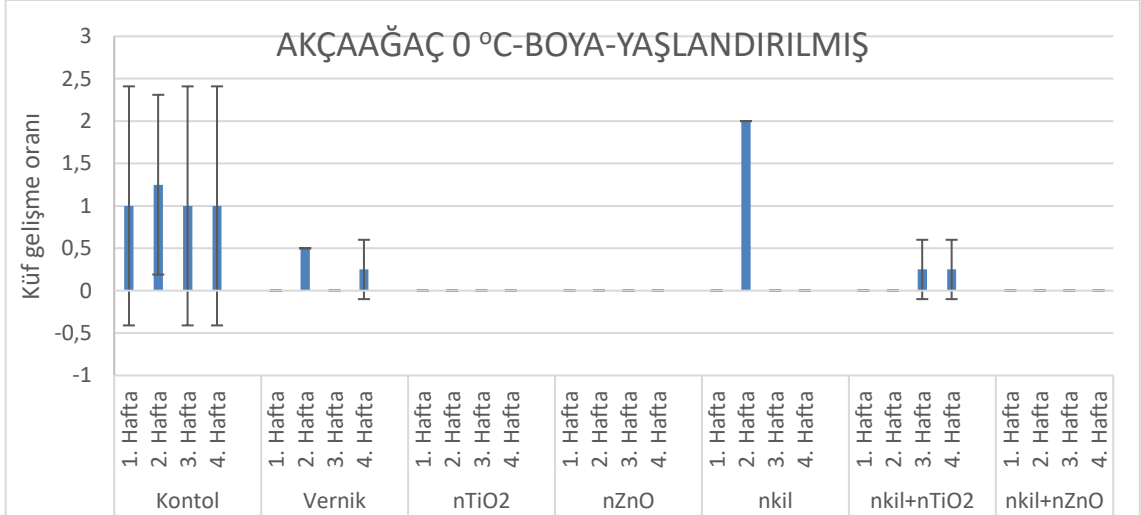
Isıl işlem uygulanmamış ve 864 saat yaşlandırmaya maruz bırakılmış akçağaç örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim oranları aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 1,5, sadece vernik uygulanan grupta 5, nano TiO₂ ekli grupta 2,5, nano ZnO ekli grupta 2, nano kil ekli grupta 5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 0,5, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 2,5 olarak kaydedilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış vernikli akçağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.48’ de verilmiştir.



Şekil 4.48: Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

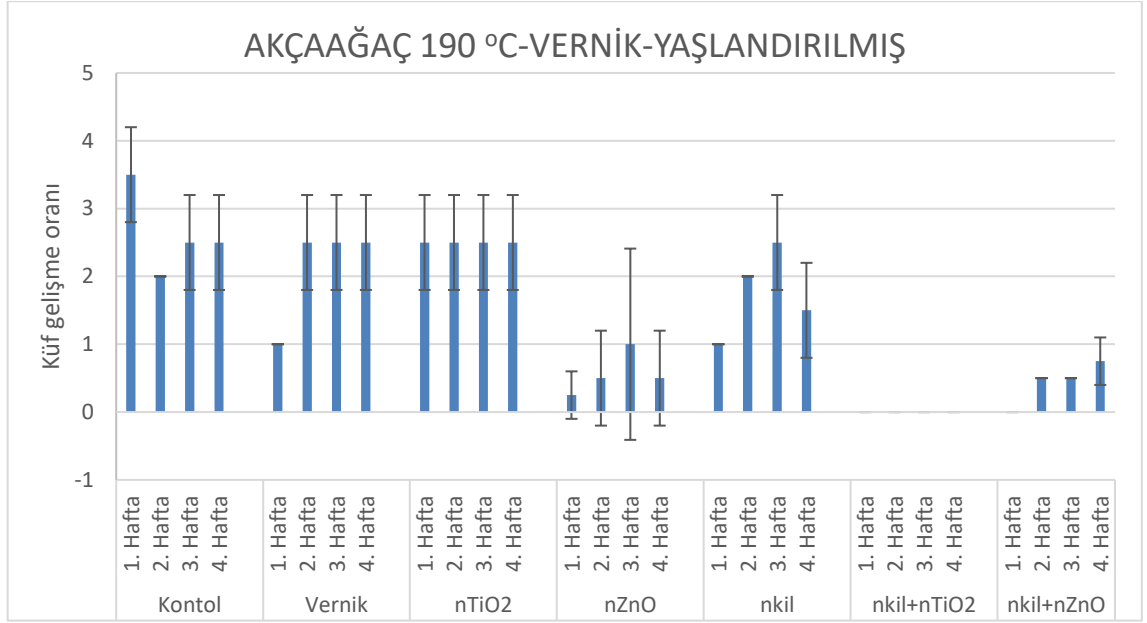
Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 1, sadece boya uygulanan grupta ve nano kil+nano TiO_2 ekli grupta 0,25, diğer tüm gruplarda ise 0' dır. Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.49' da verilmiştir.



Şekil 4.49: Isıl işlem uygulanmamış ancak yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

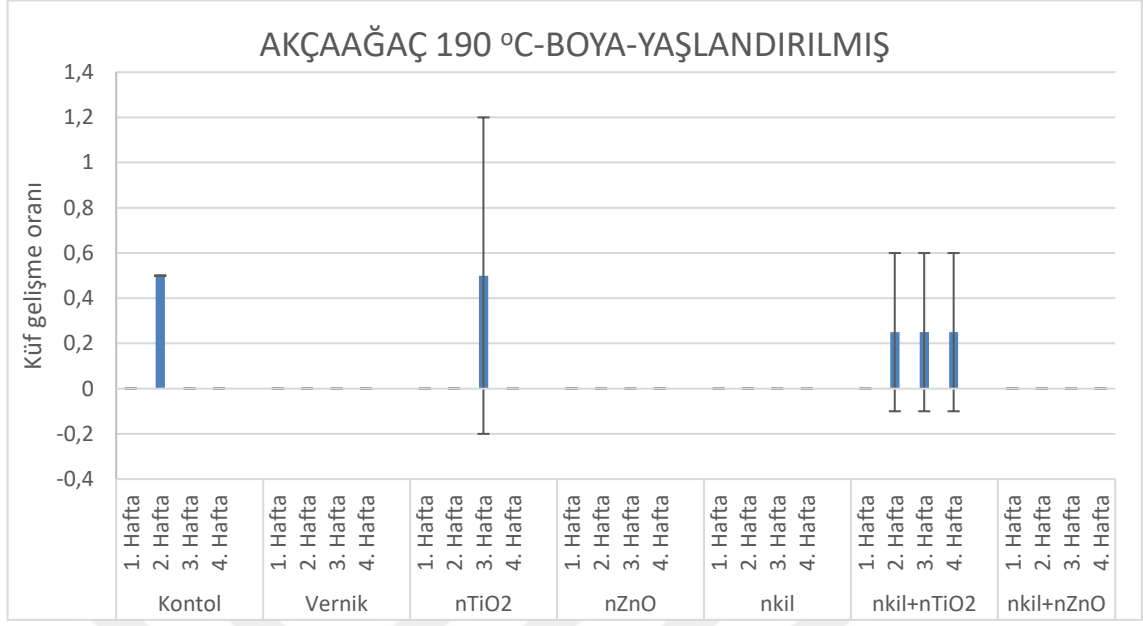
190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve 864 saat yaşlandırmaya maruz bırakılmış akçaağaç odun örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim oranları aşağıda değerlendirilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 2,5, sadece vernik uygulanan grupta 2,5, nano TiO₂ ekli grupta 2,5, nano ZnO ekli grupta 0,5, nano kil ekli grupta 1,5, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 0, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 0,75 olarak kaydedilmiştir. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.50' de verilmiştir.



Şekil 4.50: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

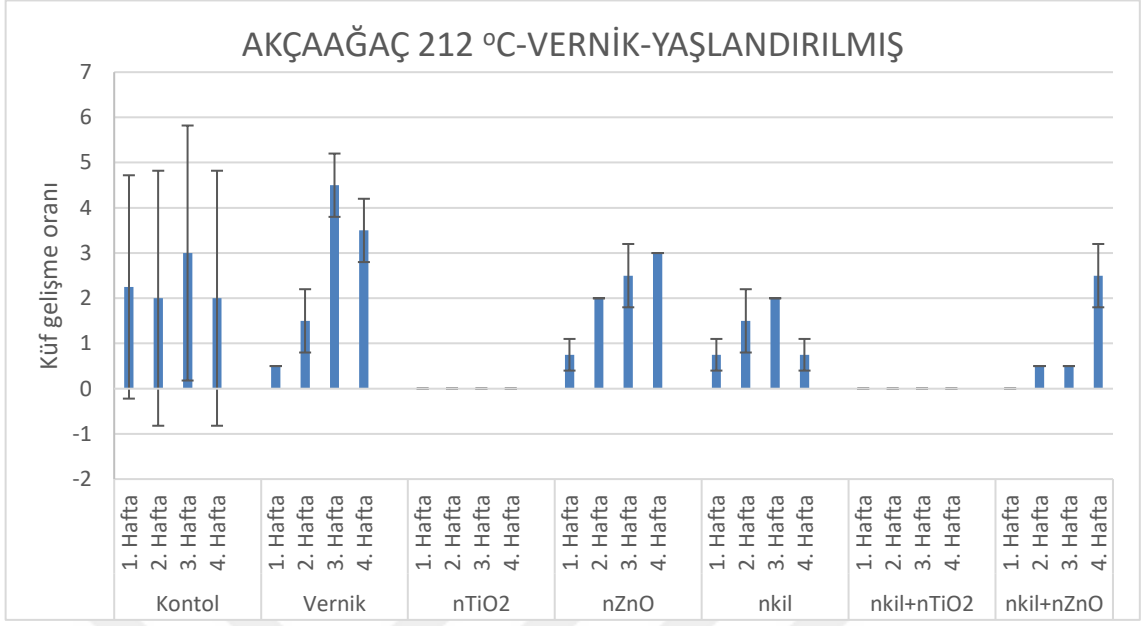
Boya uygulanmış tüm gruplarda değerler 0 olarak tespit edilmiştir. 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.51' de verilmiştir.



Şekil 4.51: 190°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

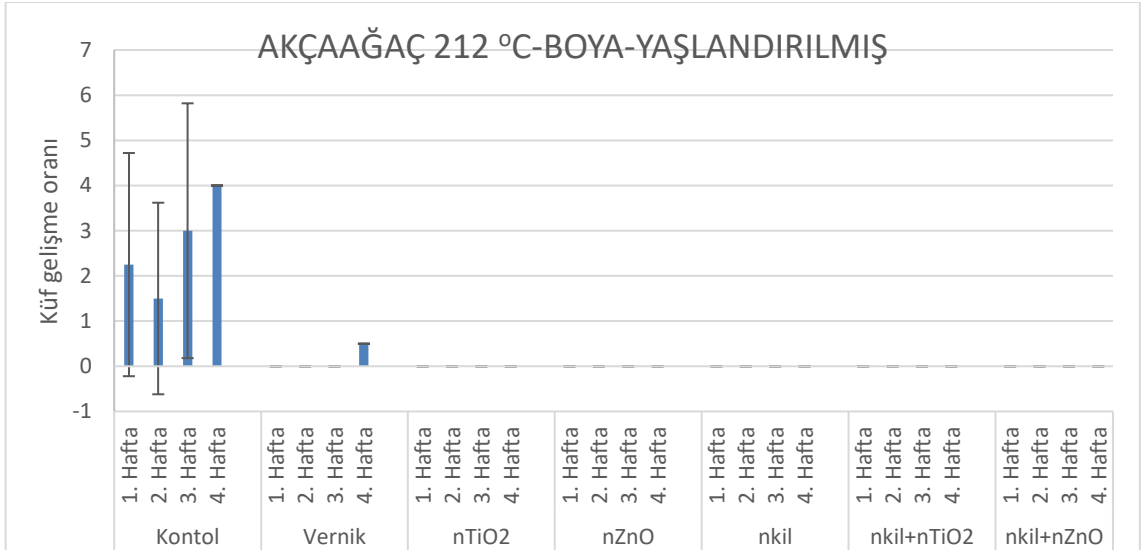
212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve 864 saat yaşlandırmaya maruz bırakılmış akçaağaç örneklerinde oluşan küf sporlarının gelişim oranları aşağıda verilmiştir.

Vernik uygulanmış kontrol grubunda değerler 2, sadece vernik uygulanan grupta 3,5, nano TiO₂ ekli grupta 0, nano ZnO ekli grupta 3, nano kil ekli grupta 0,75, nano kil+nano TiO₂ ekli grupta 0, nano kil+nano ZnO ekli grupta ise 2,5 olarak kaydedilmiştir. 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.52’ de verilmiştir.



Şekil 4.52: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış vernikli akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.

Boya uygulanmış kontrol grubunda değerler 4, diğer tüm gruplarda ise 0 çıkmıştır. 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri Şekil 4.53' te verilmiştir.



Şekil 4.53: 212°C ısıtıl işlem uygulanmış ve yaşlandırılmış boyalı akçaağaç örneğindeki küf gelişim değerleri.



Şekil 4.54: 864 saat yaşlandırılmış ve 212°C ısıtılmış ve 212°C ısıtılmış akçağaç örneğinin 1. Hafta sonundaki küflenme durumu.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sapelli ve akçaağaç örneklerinin ısıt işlem uygulanmamış, 190 °C, 212°C’ lerde ısıt işlem uygulanmış ve %1 konsantrasyonda hazırlanan nano partiküller ve nano partikül kombinasyonları ilave edilmiş vernik ve boya uygulamaları gerçekleştirilmiş ve 144’er saatlik periyotlarla (toplam 864 saat) yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş örneklerle ait inceleme sonucunda, **ısıt işlem sıcaklığının artmasının ağaç malzemenin renginin açılmasına neden olduğu belirlenmiştir.** Isıt işlem görmemiş sapelli kontrol örneklerinde (Şekil 4.3) ΔE değeri 39,5 iken, 190°C ısıt işlem görmüş örneklerde 41,6 (Şekil 4.7) ve 212°C ısıt işlem görmüş örneklerde (Şekil 4.11) 45,8 olarak bulunmuştur. Akçaağaç örneklerinde de benzer sonuçlar görülmüştür. Isıt işlem uygulanmamış akçaağaç kontrol örneğinde (Şekil 4.15) ΔE değeri 21,9, 190°C ısıt işlem uygulanmış örnekte (Şekil 4.19) 36,9 ve 212°C ısıt işlem uygulanmış örnekte ise (Şekil 4.23) 46,3 değerleri tespit edilmiştir.

Srinivas ve Pandey (2012) yaptıkları benzer çalışmada ısıt işlem uygulanan *Hevea brasiliensis* örneklerinin UV ışınlarına karşı etkinliğini incelemişlerdir. Bu kapsamda 400 mm Hg vakum altında 225 °C sıcaklıkta 2, 4 ve 6 saatlik sürelerde ısıt işlem uygulaması yapılmıştır. Isıt işlem uygulanmamış kontrol örneklerinin fotodegradasyon sonucunda açık renkli kontrol örneklerinin renginin koyulaştığını belirlemişlerdir. Bunun tam aksine ısıt işlem uygulanmış koyu renkli örneklerin fotodegradasyon sonucunda renklerinin açıldığı görülmüştür. FTIR ve renk ölçümleri sonucunda ısıt işlemin (termal modifikasyonun) odunu UV ışınlarına karşı korumak için yeterli olmadığı belirlenmiştir.

Tomak ve diğ. (2014) yaptıkları çalışmada Türkiye’deki Novawood firmasından temin edilen dişbudak (*Fraxinus excelsior L.*), iroko (*Chlorophora excelsa*), sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) ve ladin (*Picea orientalis L.*) diri odunlarından elde edilen örnekler 2 yıl süreyle Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüsünde doğal yaşlandırma sürecine bırakmışlardır. Her 6 ayda bir örneklerin rutubet içerikleri, yüzeydeki renk değişimlerini ve mekanik direnç değerleri belirlenmiştir. 2 yıllık doğal yaşlandırma uygulaması sonrasında ilk 6 aylık periyodundan sonra örneklerdeki rengin yoğun bir şekilde değişikliğe uğradığı belirtilmiştir. Yaşlandırma süresini artışına bağlı olarak ısıt işlem görmüş dişbudak ve iroko örneklerinde rengin gümüşümsü gri renk alıncaya dek açıldığı belirlenmiştir. Isıt işlem görmüş sarıçam ve ladin örneklerinde ise 18 aylık yaşlandırma sürecinde renk korunmasına karşın 24. aydan itibaren rengin gümüş-gri bir hal

aldığı bildirilmiştir. Buradan hareketle gerek tez çalışmasındaki akçağaç ve sapelli ısıt işlem uygulanmamış kontrol örneklerinden gerek yapılan benzer çalışmalardaki elde edilen sonuçlardan, farklı ağaç türlerinin uzun süreli yaşlandırma süreçlerine bağlı olarak benzer davranış gösterdiği anlaşılmaktadır.

Ancak renk solmasının derecesi ağaç türüne göre farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, Nzokou ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada dişbudak ağacının dış ortam koşullarında kullanım olanaklarını değerlendirmek amacıyla üst yüzeyleri poliüretan vernik ile kaplanmış 100.8x4.72x69.3mm boyutlarında dişbudak (*Fraxinus americana*), meşe (*Quercus rubra*) ve akçağaç (*Acer nigrum*) türü odunlardan hazırlanmış örneklerin UV ışık altındaki renk değişiklikleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. Örnekler 0, 24, 120, 200, 450 ve 1000 saatlik sürelerle yaşlandırma işlemlerine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda hem UV ışık hem de yağmurlama uygulanan yaşlandırma prosesinde dişbudak ağacından hazırlanan örneklerin akçağaç örnekleriyle benzer sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir. Ancak meşe örneklerinin diğer iki ağaç türü örneklerinden daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durumun meşenin içerdiği ekstraktif maddelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak sadece UV etkisine maruz bırakılan örneklerde dişbudak örneklerinde meşe ve akçağaç örneklerine göre daha yüksek derecede renk değişimi gerçekleştiği görülmüştür.

Yıldız ve diğ. (2013) yapmış oldukları çalışmada ısıt işlem görmüş 4 farklı odun (iroko, dişbudak, sarıçam ve ladin) türünün 400 ile 1600 saatlik yapay yaşlandırma süresi boyunca renk değişikliklerini, fiziksel ve mekanik direnç özelliklerini ve kimyasal özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada yaşlandırma işlemleri sonucunda ısıt işlem görmüş geniş yapraklı ağaçlarda ısıt işlem görmüş iğne yapraklı ağaçlara göre daha iyi bir mekanik direnç özellikleri elde edildiği fakat ısıt işlem uygulamalarının odunu yaşlandırma proseslerine karşı tamamen koruyamadığı tespit edilmiştir.

Çolak (2014) yaptığı çalışmada, kestane, akçağaç, iroko ve sapelli ağaç türlerinin 190 ve 212°C' lerde ısıt işlem uygulanmış hallerinin 144 saat yaşlandırılması sonucunda en yüksek renk değişiminin kestane odununun 212°C ısıt işlem görmüş halinde olduğunu, en az renk değişiminin ise iroko odununun 212°C ısıt işlem görmüş halinde olduğunu tespit etmiştir.

Sapelli ve akçaağaç örneklerindeki renk değişiminin ise tüm varyasyonlarda kestane ve iroko örneklerinin arasında kaldığı görülmüştür. Yapılan bu tez çalışmasında da akçaağaç ve sapelli örneklerinin toplam renk değişimi değerleri tüm varyasyonlarda benzer seviyede seyretmiştir. Çolak, (2014)' ın yaptığı çalışmayla bu tez çalışmasının sonuçları sapelli ve akçaağaca ait tüm örnek gruplarının toplam renk değişim dereceleri açısından benzerlik göstermektedir.

Isıl işlem sıcaklığının artışına bağlı olarak odununun renginin solma derecesi arttığı açık olarak görülmektedir. Ancak ağaç türüne, özellikle de ekstraktif maddelerden dolayı renk solma derecesinde farklılıklara neden olabilmektedir. **Tez çalışmasında kullanılan sapelli ve akçaağaç örnekleri renk solması açısından farklı karakteristik özellikler göstermediği, iki ağaç türünde de ısı işlem sıcaklıklarının artışına bağlı olarak renk solmasının da benzer derecede arttığı tespit edilmiştir.**

Yapılan bu tez çalışmasıyla renk solmasının önüne geçmek veya olabildiğince azaltmak amacıyla akçaağaç ve sapelli kontrol örnekleri hariç örneklerle vernik ve boya uygulaması yapılmıştır. 144' er saatlik periyotlarla (toplam 864 saat) yapılan yaşlandırma işlemi sonucunda renk değişimlerinin periyodik bir şekilde arttığı izlenmiştir. **Tüm gruplarda açıkça görüldüğü gibi örneklerde kullanılan verniğin boyaya göre renk değişimi korunmasında etkisi oldukça zayıf kalmıştır. Boya renk stabilizasyonu konusunda tüm gruplarda verniğe göre işin doğası gereği daha iyi performans göstermiştir.** Tez çalışmasında nano partiküller bazında inceleme yapıldığında en yüksek renk solmasının doğal olarak kontrol gruplarında belirlendiği görülmüştür. Tez çalışmasının sonuçları incelendiğinde **sapelli grupları (vernik ve boyada) için en başarılı renk stabilizasyon sağlayan nano partikülün nano kil olduğu açıkça görülmektedir. Nano çinko oksit partiküllerinin ise nano kilden sonra ikinci sırada başarı gösterdiği belirlenmiştir. Nano kil ve nano çinko oksitin birlikte uygulandığı grupta ise ayrı ayrı nano parçacıkların sağladığı renk stabilizasyonundan daha iyi sonuç alındığı açıkça görülmüştür** (örneğin, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).

Akçaağaç gruplarında ise nano partiküllerin vernik ve boya üzerinde farklı etkileri olduğu izlenmektedir. **Vernik uygulamalarında nano çinko oksit partikülleri renk stabilizasyonunda iyi sonuçlar vermiş, nano kil ve nano çinko oksitin birlikte uygulandığı grupta ise çok daha başarılı değerler elde edilmiştir.** Boya uygulamalarında ise en iyi performans sapellide olduğu gibi nano kil ile elde edilmiş, nano kil ve nano çinko oksit

kombinasyonu ise sapelliden farklı olarak renk stabilizasyonunda nano kilin gerisinde kalmıştır. **Ancak nano titanyum dioksit uygulanmış örneklerin performansı nano kil ve nano çinko oksit uygulanmış örneklerin çok gerisinde kalmıştır.** Hatta nano kil ile nano titanyum dioksitin kombinasyonunun uygulandığı örneklerde renk stabilizasyonu sadece nano kil uygulanan örneklerden daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Nano partiküllerin renk solmasına ve çevresel etmenlere karşı başarısını değerlendirmek amacıyla tez çalışmasına benzer bir çalışma Fufa ve diğ. (2013) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, $(100,0 \pm 0,5)$ mm $\times$ $(100,0 \pm 0,5)$ mm $\times$ $(20,0 \pm 0,5)$ mm boyutlarındaki ladin (*Picea abies*) örneklerine TiO_2 ve nano kil eklenmiş boya uygulanmış ve yaşlandırma prosesine karşı etkinliği araştırılmıştır. Yaşlandırma testleri ve FTIR analizine göre sadece TiO_2 ve/veya TiO_2 ile nano kil kombinasyonu uygulanmış örneklerin kontrol örneklerine göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışma sonuçları ile, yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçlar, nano partiküllerin odundaki renk solmasını önleyici etkisi bakımından paralellik göstermektedir.

Yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, UV ışığının odundaki renk solmasına sebep olmasının engellenmesi amacıyla odun yüzeyine çeşitli kimyasallar uygulandığı görülmüştür. Aloui ve diğ. (2007) inorganik UV absorbantları ile yüzeyleri kaplanan odun örnekleriyle, yüzeyleri organik UV absorbant maddeleriyle kaplanan odun örnekleri arasında yaşlandırma işlemlerine maruz bırakılmaları sonucunda fotostabilitesi ve örneklerdeki renk değişikliği karşılaştırılmasını amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında *Abies grandis*, *Couratari spp.* ve *Quercus robur* odunlarından hazırlanan örneklerin yüzeyleri, nano TiO_2 ve nano boyutlu Fe_3O_4 içeren inorganik maddelerle ve 2-hidroksi fenil triazole içeren organik maddelerle işlem görmüştür. Örneklerdeki renk değişikliklerinin, inorganik UV absorbant ile işlem gören örneklerde organik UV absorbant ile yüzey işlemi yapılan örneklerle göre daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir.

Benzer farklı bir çalışma incelendiğinde; Kocaefe ve diğ. (2012) 205 °C sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmış huş (*Betula papyrifera*) ve 210 °C sıcaklıkta ısıtıl işlem uygulanmış *Pinus banksiana* ve de kavak (*Populus tremuloides*) odunlarından hazırlanan örneklerin yüzeylerine akrilik poliüretan uygulamışlardır. Yüzey işlem maddesi olarak kullanılan bu akrilik poliüretan içerisine 1. grupta ticari olarak yaygın kullanılan organik UV absorbant olan HALS (tinuvin

123 ve tinuvin 1130), 2. grupta ise kabuk ekstraktiflerinden ve lignin stabilizelerinden sentezlenen kimyasal maddeler eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ısıl işlem görmüş örneklerde kabuk ekstraktları ve lignin stabilizerleri içeren akrilik poliüretanın, organik UV absorbant içeren akrilik poliüretan ile işlem görmüş örneklere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Kabuk ekstraktı ve lignin stabilizeri içeren akrilik poliüretan kaplamaları ısıl işlem görmüş *Pinus banksiana* örneklerinde, ısıl işlem görmüş kavak ve huş örneklerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. UV ışınları odunda lignin bileşikleri tarafından absorbe edilmesinden dolayı kavak ve huş ağaçlarındaki lignin içeriğinin çam ağaçlarına göre daha düşük olması bunun temel nedeni olarak belirtilmiştir. Ayrıca 1008 saatlik yaşlandırma uygulaması süresince örneklerdeki renk değişimi ve örnekler üzerinde oluşan çatlakların 2. gruptaki örneklerde 1.grup örneklerine göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Ancak 1008 saatten fazla yaşlandırma uygulandığında 1. grup ile 2. gruptaki örnekler arasında oluşan çatlaklar arasında fark olmadığı tespit edilmiştir.

Özgenç ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, yeni nesil odun koruma maddelerinden olan hibrit reçineleri içeren su bazlı Induline SW 900 maddesini kayın (*Fagus sylvatica L.*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris L.*) örneklerinin yüzeylerine uygulamışlar ve hızlandırılmış yaşlandırma testlerine tabi tutmuşlardır. Elde edilen sonuçlara göre, Induline SW 900 maddesinin odun yüzeyine uygulanması renk değişimini olumsuz yönde etkilediği, örnek yüzeylerindeki renkte oluşan açılmaların kontrol örneklerinden hiçbir farkının olmadığı ancak bu koruyucu madde odun yüzeyinde UV ışını ve yağmur maruziyeti nedeniyle ortaya çıkan çatlak oluşumunu büyük ölçüde önleyebildiği tespit edilmiştir.

Saha ve diğ. (2013) yapmış oldukları bir çalışmada, 210 °C sıcaklıkta ısıl işleme tabi tutulmuş 20x7x1,9cm boyutlarındaki *Pinus banksania* örneklerinin yüzeylerini CeO₂ nano partekülleriyle çeşitli UV absorbantları (Tinuvin123, Tinuvin1130) ve/veya kabuk ekstraktları içeren akrilik poliüretan kullanarak kaplamışlardır. Sadece ısıl işlem görmüş örneklerle hem ısıl işlem görmüş hem de yüzeyleri kaplanmış olan örneklerin yaşlandırma prosesi boyunca renk değişimleri, kontak açısı ve UV ışık altındaki degradasyon seviyeleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sadece ısıl işlem görmüş örneklerde yüzeydeki renk değişikliği ısıl işlem + akrilik poliüretanla kaplanmış gruplara göre daha yüksek çıkmıştır. CeO₂ nano partikülleriyle kaplanan örneklerin UV absorbantlarıyla işlem gören örneklere göre yaşlandırma işlemleri

sonunda daha stabil bir yüzey rengine sahip olduğu ve daha düşük fotodegradasyona uğradığı tespit edilmiştir. Isıl işlemle emprenye edilmiş örneklerde yüzey kaplaması olarak CeO₂ nano partiküllerin kullanılmasının UV absorbantlarına göre daha iyi koruma sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Buradan hareketle ileride yapılacak çalışmalarda farklı nano partiküllerin kullanılmasının önemli olacağı vurgulanmıştır.

Vardanyan ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada son yıllarda odun esaslı ürünlerin yüzeylerini kaplamak için kullanılan suda çözünmüş poliüretan akrilat transparan reçine formülasyonlarının içerisine nano kristal selüloz (CNC) ilave ederek bu maddenin UV ışınlarına ve yaşlandırma işlemlerine karşı olan koruyucu etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada ladin (*Picea mariana*) diri odunundan hazırlanan örnekler Bayhydrol UV 2282, Foamex 822, Byk 348, Byk 190, Irgacure 819DW ve RM 2020 ismiyle satılan maddelerle işlem görmüş örneklerle bu maddelerle yüzeyleri kaplanmış örneklerin üst yüzeylerine nano kristal selüloz (CNC) uygulanmış örnekler karşılaştırılmıştır. Yapılan yaşlandırma testleri sonuçlarına göre piyasadaki yüzey kaplamaları üzerine CNC ek uygulamasının örneklerin renk stabilizesini azaltmadığı aksine yaşlandırma prosesi boyunca UV ışınlarına maruz kaldığı sürede yaşlandırma performansını arttırdığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında yukarıda verilen diğer çalışmalarda olduğu üzere, yüzey işlem maddelerine nano partiküllerin eklenmesinin renk stabilizasyonunda başarı sağlamasına katkıda bulunduğu görülmüştür. Başka bir ifadeyle ağaç malzemedeki güneşin UV ışınları etkisi sonucu oluşan renk solmasının önlenmesinde nano partiküllerin farklı yüzey işlem maddeleri içerisinde olumlu etkilerinden yola çıkarak bu alanda farklı formülasyonların kullanılmasına ve gerekli testlerin yapılmasına ihtiyaç bulunduğu söylenebilir.

Çalışmanın ikinci kısmında yaşlandırmanın küflenmeye olan etkisini tespit etmek amacıyla yukarıda belirtilen tüm grupların yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış odun örnekleri *Penicillium fellutanum*, *Trichoderma harzianum* ve *Aspergillus niger* mantarlarının etkisine bırakılmıştır. **Dört haftalık ölçüm sonucunda ısıtma işlem sıcaklığının artmasının odunda küflenmeyi önleyici belirgin bir etki sağlamadığı hem sapelli hem de akçağaç örneklerinde görülmüştür.** Bu durum hem yaşlandırılmış hem de yaşlandırılmamış grup örneklerinde iki

ağaç türü için de benzer şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde boyanın verniğe göre küflenme önleyici etkisi net olarak görülmektedir.

Nano partiküllerin ayrı ayrı ve kombinasyonlarının uygulandığı örneklerde inceleme yapıldığında küflenmeye karşı en hassas grubun kontrol örnekleri olduğu görülmüştür. Yaşlandırma testleri sonuçlarından farklı olarak, nano titanyum dioksit partiküllerinin tüm partiküllerle karşılaştırıldığında, küf mantarlarına karşı en iyi performans gösterdiği görülmektedir. Ancak, tüm nano partiküller arası değerlendirme yapıldığında anlamlı farklar olmadığı gözlemlenmiştir. Nano partiküllerin bir arada kullanıldığı kombinasyonlar ise gerek boya gerek vernik uygulamalarında, başka bir ifadeyle tüm gruplarda daha başarılı sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. Ancak nano kil ile birlikte karıştırılan nano titanyum dioksit karışımının anlaşılır farklar olmasa da nano kil ve nano çinko oksit karışımına göre daha başarılı sonuç verdiği izlenmiştir. Yaşlandırma işlemi sonrasında örneklerde, yaşlandırma işlemi yapılmamış örneklere göre genel olarak daha az küf gelişimi gerçekleştiği görülmüştür.

Yapılan bu tez çalışması ve benzer çalışmalar değerlendirildiğinde, odunun UV ışık karşısında oluşturduğu renk solmasının ve odun zararlılarının sebep olduğu küflenmenin önlenmesinde yüzey işlem maddelerine farklı kombinasyonlarda eklenen nano partiküllerin renk stabilizasyonu ve küflenmeye karşı dayanıklılık sağladığı anlaşılmaktadır. Tez sonuçları ve bu alanda yapılan araştırmalar nano partiküllerin ve nano teknolojinin odun koruma alanında gün geçtikçe artarak kullanımının artacağına işaret etmektedir.

Kullanılan ağaç türü, yüzey işlem maddeleri, yüzey işlem maddelerine eklenen nano partikül cinsleri, kombinasyonları ve konsantrasyonları, uygulama yöntemleri, yaşlandırma yöntem ve süreleri gibi faktörleri esas alan farklı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca örneklerin elektron mikroskopu ve FTIR incelenmeleriyle, odun hücre çeperleri görüntülenerek hem uygulanan yüzey işlem maddelerinin hem de nano partiküllerin çepere bağlanma özellikleri, hücre çeperinde nasıl dağılım gösterdiği ve nasıl nüfuz ettikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Anderson, E. L., Pawlak, Z., Owen, N. L., Feist, W. C., 1991, Infrared studies of wood weathering. PartI: Softwoods. *Applied Spectroscopy*, 45(4), 641–647. <http://doi.org/Doi10.1366/0003702914336930>.
- ASTM, 2012, Standart Test Method for Fungicides for Controlling Sabstain and Mold on Unseasoned Lumber (Laboratory Method), Destination D-4445-10, Virginia Polytechnic Institue pursuant to Licence Agreement.
- Anonim, 2018, *Atlas material testing solutios*, <https://www.atlas-mts.com>, [Ziyaret Tarihi 5 Ocak 2018]
- Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B., Merlin, A., 2003, Color stability of heattreated wood during artificial weathering. *European Journal of Wood and Wood Products*, 61(3), 221–226.
- Aydın, I., Çolakoğlu, G., 2005, Effects of surface inactivation, high temperature drying and preservative treatment on surface roughness and colour of alder and beech wood. *Applied Surface Science*, 252(2), 430–440.
- Akkuş, M., 2012, *Renk açma işleminin termal modifikasyon yapılmış bazı ağaç malzemelere etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- Aksoy, A., Deveci, M., Baysal, E., Toker, H., 2011, Colour and gloss changes of socts pine after heat modification, *Wood Research*, Vol.56, No.3.
- Alén, R., 2000, Structure and chemical composition of wood, In: Stenius, P. (ed.). *Forest products chemistry*. Fapet Oy, Helsinki.
- Ateş, S., Akyıldız, M.H., Özdemir, H., Gümüşkaya E., 2010, Technological and chemical properties of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood after heat treatment, *Romanian Biotechnological Letters*, Vol. 15, No.1.
- Ateş, S., Akyıldız, M.H., Özdemir, H., 2009, Effects of heat treatment on calabrian pine, *BioResources*, 4-3, 1032-1043.

- Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B., Merlin, A., 2003, Color stability of heat-treated wood during artificial weathering, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61, 221–226.
- Baglioni, P, ve Giorgi, R, 2006, Soft and hard nano metarials for restoration and conservation of cultural heritage, *The Royal Society of Chemistry*, 2, 293-303.
- Bastani, A., Adamopoulos, S., Militz, H., 2015, Water uptake and wetting behaviour of furfurylated, N-methylol melamine modified and heat-treated wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73(5), 627–634. <http://doi.org/10.1007/s00107-015-0919-8>.
- Bak, M., Nemeth, R., 2012, Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil heat treated poplar (*Populus americana* cv. Pannonia) wood, *BioResources*, 7(4), 51248-5137.
- Bakar, B.F.A., Hızıroğlu, S., Tahir, P.M., 2013, Properties of some thermally modifies wood species, *Materials and Design*, 43, 348-355.
- Bazyar, B., 2012, Decay resistance and physical properties of Oil Heat Treated Aspen Wood, *BioResources* 7(1), 696-705.
- Bekhta, P., Niemz, P., 2005, Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, *Holzforschung*, 57(5), 539–546.
- Berns, R.S., 2000, *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*, 3rd Edition, John Wiley and Sons, New York, P.78-81.
- Blee, A, ve Matisons, J.G., 2008, Nanoparticles and the conservation of cultural heritage, *Materials Forum*, 32, 121-128.
- Boonstra, MJ., 2008, *A two-stage thermal modification of wood*, Ph.D. dissertation in cosupervision, Ghent University and Université Henry Poincaré, Nancy-France.
- Borrega, M., 2011, *Mechanisms affecting the structure and properties of heat-treated and high-temperature dried Norway spruce (Picea abies) wood*, Dissertationes Forestales, Faculty of Science and Forestry University of Eastern Finland, Finlandiya.

- Bozkurt, Y., Erdin, N., 1998, *Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar*, İ.Ü. Orman Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, ISBN: 975-404-467-8.
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 2013, *Odun Anatomisi*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 978-975-404-932-9.
- Budakçı, M., Özçiftçi, A., Çınar, H., Sönmez, A., 2009, Effects of application methods and species of wood on color changes of varnishes, *African Journal of Biotechnology*, 8 (21), 5964-5970.
- Cartwright, K. ST. G. ve Findlay, W. P. K., 1958, *Decay of Timber and Its Prevention*, Her Majesty's Stationery Office. London, 47-135-0-97. 294.
- Can, A., Yıldız, S., 2013, Endüstriyel Ölçekte Isıl İşlem Uygulanan Bazı Odun Örneklerinde Vida Tutma Direnci ve Mantar Çürüklük Testi Performansı. II.Ulusal Mobilya Kongresi, 11-13 Nisan 2013, Denizli.
- Crisci, G. M., La Russa, M. F., Malagodi, M., Ruffolo, S. A., 2010, Consolidating properties of Regalrez 1126 and Paraloid B72 applied to wood. *Journal of Cultural Heritage*, 11(3), 304–308. <http://doi.org/10.1016/j.culher.2009.12.001>.
- CEN/TS 15679, 2010, European Standarts, Thermal modified timber, Definitions and characteristics.
- Chow, S.Z., Mukai, H.N., 1972, Effect of thermal degradation of cellulose on wood polymer bonding, *Wood Science*, 4 (4), 202-208.
- Clausen, C.A., Green III, F., Kartal, S.N., 2010, Weatherability and leach resistance of wood impregnated with nano zinc oxide, *Springer Nanoscale Research Letters*, 5,1464-1467.
- Clausen, C.A., Kartal, S.N., Arango, R.A., Green III, F., 2011, The Role of particle size of particulate nano zinc oxide wood preservatives on termite mortality and leach resistance, *Nanoscale Research Letters*, 6,427.

- Çakıcıer, N., 1994, *Ağaç Yüzeylerde Kullanılan Verniklerin Su ile Eritilen Ağaç Boyalarının Renginde Yaptığı Değişiklikler*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çakıcıer, N., 2007, *Ağaç malzeme yüzey işlemi katmanlarında yaşlanma sonucu belirlenen değişiklikler*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Çalıova, Z., 2011, *Kızılağaç ve doğu ladini odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtılmanın etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- Çakıcıer, N., Korkut, S., Korkut, D.S., Kurtoğlu, A., Sönmez, A., 2011, Effects of QUV accelerated aging on surface hardness, surface roughness, glossiness, and color difference for some wood species, *International Journal of the Physical Sciences*, 6(8), 1929-1939.
- Çakıcıer, N., Sevim, K.D., 2009, Ahşap yüzeylere uygulanan kaplama katmanlarında yaşlandırma testleri, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(1), 75-90.
- Çolak, G., 2014, *Isıl işlemin (thermowood yöntemi) Bazı Ağaç Türlerinin Fiziksel Özellikleri, Çürüklük Ve Hava Koşullarına Karşı Dayanıklılığı Üzerine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- Dilik, T., Hızıroğlu, S., 2012, Bonding strength of heat treated compressed Eastern redcedar wood, *Materials and Design*, 42, 317-320.
- Dubey, M.K., Pang, S., Walker, J., 2010, Color and dimensional stability of oil heat-treated radiata pinewood after accelerated UV weathering, *Forest Products Journal*.
- Dubey, M.K., 2010, *Improvements in stability, durability and mechanical properties of radiata pine wood after heat-treatment in a vegetable oil*, Forestry at the University of Canterbury, New Zealand.
- De Vetter, L., Van den Bulcke, J., De Windt, I., Stevens, M., Van Acker, J., 2009, Preventive action of organosilicon treatments against disfigurement of wood under laboratory and outdoor conditions. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63(8), 1093–1101. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.05.010>.

- Del Menezzi, C. H. S., De Souza, R. Q., Thompson, R. M., Teixeira, D. E., Okino, E. Y. A., Da Costa, A. F., 2008, Properties after weathering and decay resistance of a thermally modified wood structural board. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 62(4), 448–454. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2007.11.010>.
- Donath, S., Militz, H., Mai, C., 2007, Weathering of silane treated wood. *Holz Al Roh- Und Werkstoff*, 65(1), 35–42.
- Evans, P. D., Michell, A. J., Schmalzl, K. J., 1992, Studies of the degradation and protection of wood surfaces. *Wood Science and Technology*, 26(2), 151–163. <http://doi.org/10.1007/BF00194471>.
- Evans, P. D., Thay, P. D., Schmalzl, K. J., 1996, Degradation of wood surfaces during natural weathering. Effects on lignin and cellulose and on the adhesion of acrylic latex primers. *Wood Science and Technology*, 30(6), 411–422.
- Enjily, V., Jones, D., 2006, The potential for modified materials in the panel products industry, Wood Resources and Panel Properties Conference, Valencia-Spain, E44/E49. Evans, P. D., Owen, N. L., Schmid, S., Webster, R. D., 2002, Weathering and photostability of benzoylated wood, *Polymer Degredation and Stability*, 76, 291–303.
- Erdin, N., 2009, *Ahşap Konservasyonu Ders Kitabı*, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, İstanbul, ISBN: 978-975-404-842-1.
- Esteves, B.M., Pereira, 2009, H.M., Heat treatment of wood, *BioResources*, 4(1), 370-404.
- Esteves, B.M., Domingos, I., Pereira, H., 2008, Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood, *Wood Sci Techn.*, 42, 369–384 DOI 10.1007/s00226-007-0157-2.
- Feist, W.C., 1994, Effect of Preweathering, Surface Roughness and Wood Species On the Performance of Paint on Stains, *Forest Products Journal*, V.66, P.109-121.
- Fengel, D., Wegener, G., 1989, *Wood*, Walter gruyter and Co, Berlin.
- Feist, W. C., Hon, D. N.-S., 1984, Chemistry of weathering and protection. *The Chemistry of Solid Wood*, (1), 401–451.

- Fengel, D., Wegener, G., 1984, *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions.
- Funck, J.V., Forrer, J.B., Buttler, D.A., Brunner, C.C., 1992, Maristany, A.G., Measuring Surface Roughness on Wood: A Comparison of Laser Scatter and Stylus Tracing Approaches, *The International Society for Optical Engineering*, V. 1821, P.173-184.
- Fufa, S. M., Jelle, B. P., Hovde, P. J., 2013, Weathering performance of spruce coated with water based acrylic paint modified with TiO₂ and clay nanoparticles. *Progress in Organic Coatings*, 76(11), 1543–1548. <http://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.06.008>.
- Forest Products Laboratory, 2010, *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material. Agriculture*, 72, 466.
- Gonzalez-Pena, M.M., Hale-Michael, D.C., 2009, Colour in Thermally Modified Wood of Beech, Norway Spruce and Scots Pine. Part 1: Colour Evolution and Colour Changes, *Holzforschung*, 63, 385–393.
- Gonzalez de Cademartori, P.H., Schneid, E., Gatto D.A., Beltrame, R., Stangerlin, D. M., 2012, Modification of static bending strength properties of eucalyptus grandis heat-treated wood, *Materials Research*, 15(6), 922-927.
- Gulmine, J.V., Janissek, P.R., Heise, H.M., Akcelrud, L., 2003, Degradation profile of polyethylene after artificial accelerated weathering, *Polymer Degradation and Stability*, 79, 385-397.
- Güller, B., 2012, Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of Pinus nigra wood, *African Journal of Biotechnology*, 11(9), 2204-2209.
- Güler, F.D., 2010, *Bazı ağaç türlerinde ısıtma işlem uygulamasının vernik katman özellikleri üzerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi.
- Grüll, G., Tscherne, F., Spitaler, I., Forsthuber, B., 2014, Comparison of wood coating durability in natural weathering and artificial weathering using fluorescent UV-lamps and water. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(3), 367–376.

- Hansmann, C., Deka, M., Wimmer, R., Gindl, W., 2006, Artificial weathering of wood surfaces modified by melamine formaldehyde resins. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 64(3), 198–203.
- Hillis, W.E., 1975, The role of wood characteristics in high temperature drying, *Journal Industrial Wood Science*, 7 (2), 60-67
- Hill, C. A. S., 2006, *Wood modifications: Chemical, Thermal, and other Processes*. John Wiley and Sons Inc., ISBN-10:0-470-02172-1.
- Hon, D. N. S., Ifju, G., Feist, W. C., 1980, *Characteristics of free radicals in wood*. *Wood and fiber* (Vol. 12).
- Hon, D. N.S., 1996, *Chemical Modification of Lignocellulosic Materials*.
- Hon, D.N.S, 2001, *Weathering and Photochemistry of wood*, *Wood And Cellulosic Chemistry* In: Hon, D.N.S. and Shiraishi, N. (ed), Chapter 11, Marcel Dekker Inc.USA, 513-546.
- Huang, X., Kocaefe, D., Kocaefe, Y., Bölük, Y., Krause, C., 2013, Structural analysis of heat-treated birch (*Betula papyrifera*) surface during artificial weathering. *Applied Surface Science*, 264, 117–127. <http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.09.137>.
- Huang, X., Kocaefe, D., Kocaefe Y., Bölük, Y., Pichette, A., 2012, A spectrophotometric and chemical study on color modification of heat-treated wood during artificial weathering. *Applied Surface Science*, 258(14), 5360–5369.
- Huang, X., Kocaefe, D., Kocaefe, Y., Bölük Y., Pichette, A., 2012, Changes in wettability of heat-treated wood due to artificial weathering. *Wood Science and Technology*, 46(6),
- Huang, X., Kocaefe, D., Kocaefe, Y., Bölük, Y., Pichette, A., 2012, Study of the degradation behavior of heat-treated jack pine (*Pinus banksiana*) under artificial sunlight irradiation. *Polymer Degradation and Stability*, 97(7), 1197–1214.
- Ingle, A.P., Duran, N., Rai, M., 2014, Bioactivity, mechanism of action, and cytotoxicity of copper based nanoparticles: *Applied Microbiology and Biotechnology Journal* 98,1001-1009.

- Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., Rowell, R.M., 1993, Steam or Heat Fixation of Compressed Wood, *Wood and Fiber Science*, 25 (3), 224-235.
- Johansson, D., 2008, *Heat Treatment of Solid Wood, Effect on Absorption, Strength And Colour*, Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Skellefteå Campus, Division of Wood Material Science, Skellefteå-Sweden, ISSN:1402-1544,53.
- Kartal, S. N., 1995, Orman fakultesi. *İstanbul Üniversitesi Dergisi*, 45(1-2), 136–150.
- Karakaş, G., 2008, *Ahlat (pyrus elaeagnifolia pall.) odununun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtma işlemi etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.
- Kataoka, Y., Kiguchi, M., Evans, P. D., 2004, Photodegradation depth profile and penetration of light in Japanese cedar earlywood (*Cryptomeria japonica* D. Don) exposed to artificial solar radiation. *Surface Coatings International*, 87(September), 187–193.
- Kasemsiri, P., Hızıroğlu, S., Rimduist, S., 2012, Characterization of heat treated eastern redcedar (*Juniperus virginiana* L.), *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 1324– 1330.
- Kocaefe, D., Shi, L.J., Yang, D-Q., Bouazara, M., 2008, Mechanical properties, dimensional stability, and mold resistance of heat-treated jack pine and aspen, *Forest Products Journal* 58(6), 88-93.
- Kocaefe, D., Saha, S., 2012, Comparison of the protection effectiveness of acrylic polyurethane coatings containing bark extracts on three heat-treated North American wood species: Surface degradation. *Applied Surface Science*, 258(13), 5283–5290.
- Kocaefe, D., Poncsak, S., Bölük, Y., 2008, Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *BioResources* 3 (2), 517-537.
- Korkut, S., Bektaş, İ., 2008, The effects of heat treatment on physical properties of uludağ fir (*Abies bornmuelleriana* Mattf.) and scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood, *Forest Products Journal*, 58(3), 95-99.

- Korkut, S., Budakçı, M., 2010, The effects of high-temperature heat-treatment on physical properties and surface roughness of Rowan (*Sorbus aucuparia* L.) wood, *Wood Research*, 55(1), 67-78.
- Korkut, S., Kocaefe, D., 2009, Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5 (2), 11-34.
- Korkut, S., Bakangil, Ö., 2007, Isıl işlem metodları, WOODWORK Mobilya, Mobilya Yan Sanayi, *Mimarlık, Dekorasyon ve Araştırma Dergisi*, 28-34.
- Köse, C., Erdin, N., 2004, Küf Mantarlarının Boyanmış Ahşap Yüzeylere Etkileri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, 54(2).
- Kurtoğlu, A., 2000, *Ağaç Malzeme Üst Yüzey İşlemleri*, İstanbul Üniversitesi, ISBN 975-404-590-9(1.Cilt).
- Landry, V., Blanchet, P., 2012, Weathering resistance of opaque PVDF-acrylic coatings applied on wood substrates. *Progress in Organic Coatings*, 75(4), 494–501.
- Leithoff, H., Peek, R.D., 1998, *Hitzebehandlung- eine Alternative zum chemischen Holzschutz*. Tagungsband zur 21. Holzschutz-Tagung der DGfH in Rosenheim: 97-108.
- Lekounougou, S., Kocaefe, D., 2012, Bioresistance of thermally modified *Populus tremuloides* (North American Aspen) wood against four decay fungi, *International Wood Products Journal*.
- Lesar, B., Pavlič, M., Petrič, M., Škapin A. S., Humar, M., 2011, Wax treatment of wood slows photodegradation. *Polymer Degradation and Stability*, 96(7), 1271–1278.
- Li, X., Cai, Z., Mou, Q., Wu, Y., Liu, Y., 2011, Effects of heat treatment on some physical properties of douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) wood, *Advanced Materials Research* 197-198, 90-95.
- Liu, R., 1997, *The Influence of Didecyl dimethyl ammonium chloride (DDAC) Treatment on wood weathering by RUIYING LIU* B. Sc, Jilin University, China, 1986 M. Sc, Jilin University, China, 1989 thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the D.

- Liu, Y., Shao, L., Gao, J., Guo, H., Chen, Y., Cheng, Q., Via, B. K., 2015, Surface photodiscoloration and degradation of dyed wood veneer exposed to different wavelengths of artificial light. *Applied Surface Science*, 331, 353–361.
- Matuana, L. M., Jin, S., Stark, N. M., 2011, Ultraviolet weathering of HDPE / wood- fl our composites coextruded with a clear HDPE cap layer. *Polymer Degradation and Stability*, 96(1), 97–106.
- McDonald, K.A., Falk, R.H., William, R.S., Winandy, J.E., 1996, *Wood Decks. Materials, Construction, and Finishing*. Forest Products Society, Madison, WI.
- Merev, N., 2003, *Odun Anatomisi ve Odun Tanımı*, Ders Kitabı, Trabzon.
- Miller, R.B., 1999, *Wood Handbook-Wood as an engineering material, Characteristic and availability of commercially important woods, Forest Product Library, FPL-GTR-113, Madison*.
- Militz, H., Tjeerdsma, B.F., 2001, Heat Treatment of Wood by the PLATO-Process, Proceedings of Special Seminar Held in Antibes, France.
- Miniuttvi, P., 1964., Microscale change in cell structure of softwood surfaces during weathering. *Forest Products Journal*, 14, 571-576.
- Niemz, P., Hofmann, T., Rétfalvi, T., 2010, Investigation of chemical changes in the structure ofthermally modified wood, *Maderas Ciencia Y Tecnologia*, 12(2), 69-78.
- Nonaka, K. ve diğ., 2011, Enhancement of metabolites productivity of *Penicillium pinophilum* FKI-5653, by co-culture with *Trichoderma harzianum* FKI-5655, *The Journal of antibiotics*, 64, 769-774.
- Nuopponen, M., 2005, *FT-IR and UV Raman spectroscopic studies on thermal modification of scots pine wood and its extractable compounds*, Doctoral dissertation, Helsinki University of Technology, Espoo-Finland.
- Nzokou, P., Kamdem, D. P., Temiz, A., 2011, Effect of accelerated weathering on discoloration and roughness of finished ash wood surfaces in comparison with red oak and hard maple. *Progress in Organic Coatings*, 71(4), 350–354.

- Olsson, S. K., Johansson, M., Westin, M., Östmark, E., 2014, Reactive UV-absorber and epoxy functionalized soybean oil for enhanced UV-protection of clear coated wood. *Polymer Degradation and Stability*, 110,405–414.
- Olsson, S. K., Matsunaga, H., Kataoka, Y., Johansson, M., Matsumura, J., Westin, M., Östmark, E., 2015, A SEM study on the use of epoxy functional vegetable oil and reactive UV-absorber as UV-protecting pretreatment for wood. *Polymer DegradationandStability*,113,40–45.
- Özcan, S., Özçiftçi, A., Hızıroğlu, S., Toker, H., 2012, Effects of heat treatment and surface roughness on bonding strength, *Construction and Building Materials*, 33, 7–13.
- Özçiftçi, A., Altun, S., Yapıcı, F., 2009, Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özellikleri üzerine etkisi, 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
- Özgenç, Ö., 2015, Dış Ortam Koşullarında Bazı Poliüretan Esaslı Üst Yüzey Sistemlerinin Odun Yüzeyini Koruma Performansı. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(1).
- Özgenç, Ö., Yıldız, Ü.C., (2012). Induline SW 900 Su Bazlı Emprenye Maddesi Uygulanan Odunun Hızlandırılmış Dış Ortam Testine Olan Dayanımı, 26–28.
- Payne, H. F., 1967, *Organic Coating Technology*, Volume II, Printed in New York U.S.A. Fourth Printing.
- Peberdy, J. F., 1987, *Penicillium and Acremonium*, Springer Science & Business Media.
- Peters, C.C., Cumming, J.D., 1970, Measuring Wood Surface Smoothness: A Review, *Forest Products Journal*, V. 20,12, P.40-43.
- Poncsak, S., Kocaefe, D., Younsi, R., 2011, Improvement of the heat treatment of Jack pine (*Pinus banksiana*) using ThermoWood technology, *Eur. J. Wood Prod.*, 69, 281–286.
- Peng, Y., Liu, R., Cao, J., 2015, Characterization of surface chemistry and crystallization behavior of polypropylene composites reinforced with wood flour, cellulose, and lignin during accelerated weathering. *Applied Surface Science*, 332, 253–259. <http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.01.147>.

- Rai, V.R. ve Bai, A.J., 2011, *Nanoparticles and their potential application as antimicrobials*, Science against microbial pathogens communicating current research and technological advances, 197-208.
- Rapp, A.O., Sailer, M., 2000, Heat Treatment in Germany, Proceedings of Seminar-Production and Development of Heat Treated Wood in Europe, Helsinki, Oslo.
- Rapp, A.O., 2001, *Review on heat treatments of wood*. In: Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France, February 9, 2000. ISBN: 3-926 301-02-3, p. 68.
- Rapp, A.O., 2001, *Review on heat treatments of wood, European Thematic Network for Wood Modification*, Hamburg-Germany.
- Richter, K., Feist, W.C., Knabe, M.T., 1995, The Effect of Surface Roughness on The Performance of Finishes, *Forest Products Journal*, 45,7, 91-97.
- Rosu, D., Bodîrlău, R., Teacă, C., Rosu, L., Varganici, C, 2015, Epoxy and succinic anhydride functionalized soybean oil for wood protection against UV light action. *Journal of Cleaner Production*.
- Rowell, R., 2005, *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Rowell, R.M., Konkol, P., 1987, *Treatments that enhance physical properties of wood*, Gen Tech. Rep. FPL-GTR-55, Madison.
- Saha, S., Kocaefe, D., Bölük, Y., Pichette, A., 2013, Surface degradation of CeO₂ stabilized acrylic polyurethane coated thermally treated jack pine during accelerated weathering. *Applied Surface Science*, 276, 86–94.
- Salaita, G. N., Ma, F. M. S., Parker, T. C., Hoflund, G. B., 2008, Weathering properties of treated southern yellow pine wood examined by X-ray photoelectron spectroscopy, scanning electron microscopy and physical characterization. *Applied Surface Science*, 254(13), 3925–3934.

- Sadoh, T., Nakato, K., 1987, Surface Properties of Wood in Physical and Sensory Aspects, *Wood Science and Technology*, 21, 111-120.
- Sefil, Y., 2010, *Thermowood yöntemiyle ısıtılmış işlem uygulanmış göknar ve kayın odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi.
- Sehlstedt-Persson, M., 2003, Colour responses to heat-treatment of extractives and sap from pine and spruce, Proceedings 8th International IUFRO Wood Drying Conference, Brasov, Romania.
- Sevim, K. D., Hızıroğlu S., Aytin, A., 2013, Effect of Heat Treatment on Surface Characteristics Wild Cherry Wood, *BioResources* 8(2), 1582-1590.
- Sieminsky, R. Skarzynska, A., 1989, Surface Roughness of Different Species of Wood After Sanding, *Forest Products Journal*, P.23-25.
- Sjöström, E., 1993, *Wood Chemistry: Fundamentals and Applications*. Second Edition, Academic Press.
- Steward, H.A., 1975, Comparison of Factors Affecting Power for Abrasive and Knife Planning of Hardwoods, *Forest Products Journal*, V.24,3, P.31-34.
- Suits, L.D., Hsuan, Y.G., 2003, Assessing the photo-degradation of geosynthetics by outdoor exposure and laboratory weatherometer, *Geotextiles and Geomembranes*, 21, 111-122.
- Suttie, E., Thompson, J.H.R., 2004, *Opportunities for UK grown timber: Wood Modification State Of The Art Review*, DTI Construction Industry Directorate and Forestry Commission, Project Report Number 203-343.
- Sundqvist, B., 2004, *Colour changes and acid formation in wood during heating*. Doctoral Thesis, Lulea Teknoloji Üniversitesi, Skellefteå-Sweden.
- Srinivas, K., Pandey, K. K., 2012, Photodegradation of thermally modified wood. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 117, 140–145.
- Shumlsky, R., Jones, D., 2014, *Forest Products and Wood Science*. Igarss 2014.

- Temiz, A., 2005, *Benzetilmiş Dış Hava Koşullarının Emprenyeli Ağaç Malzemeye Etkileri*. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Temiz, A., Yıldız, U. C., Aydın I., Eikenes, M., Alfredsen, G., Çolakoğlu G., 2005, Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. *Applied Surface Science*, 250(1-4), 35–42.
- Terziev, N., Boutelje, J., Söderström, O., 1993, The influence of drying schedules on the redistribution of low molecular weight sugars in, *Holzforschung*, 47 (1), 3-8.
- TS EN ISO 4892-2, 1998, Laboratuvar ışın kaynaklarına maruz bırakma metotları-Bölüm 2: Ksenon ark lambası, Türk Standartları Enstitüsü.
- Tjeerdsma, F.B., 2006, *Heat treatment of wood- thermal modification, Coford Seminar on Wood Modification: Opportunites and Challenges*, Dublin- Ireland.
- Todorovic, N., Popovic, Z., Milić, G., Popadic, R., 2012, Estimation of heat-treated beechwood properties by color change, *BioResources*, 7(1), 799-815, (2012).
- Tozluoğlu, A., Korkut, S., Çöpür, Y., Aytin, A., 2013, Yabani Kiraz odununun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine ısı işlemin (ThermoWood Metodu) etkisi, II. Ulusal Mobilya Konresi, Denizli-Türkiye.
- Tomak, E. D., Ustaömer, D., Yıldız, S., Pesman, E., 2014, Changes in surface and mechanical properties of heat treated wood during natural weathering. *Measurement*, 53, 30–39.
- Tuncer, F. D., 2014, *Isıl işlemin sarıçam (Pinus sylvestris L.) odununun anatomik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Türkiye İstatistik Kurumu, 2015, *Türkiye endüstriyel odun ithalatı*, Türkiye.
- Ünsal, Ö., Ayrılmış, N., 2005, Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated turkish river gum (Eucalyptus camaldulensis Dehn.) Wood, *Journal of Wood Science*, 51, 405-409.
- Ünsal Ö., Korkut, S., Atik, C., 2003, The effect of heat treatment on some properties and colour in eucalyptus, Wood, *Maderas Cienciay Tecnologia*, 52 (2), 145-152.

- Vernois, M., 2001, Heat Treatment of Wood in France-State of the Art, Proceedings of Special Seminar held in Antibes, France.
- Vardanyan, V., Galstian, T., Riedl, B., 2014, Effect of addition of cellulose nanocrystals to wood coatings on color changes and surface roughness due to accelerated weathering. *Journal of Coatings Technology and Research*, 12(2), 247–258.
- Wang, S., Mahlberg, R., Jämsä, S., Nikkola, J., Mannila, J., Ritschkoff, A., Peltonen J., 2011, Progress in Organic Coatings Surface properties and moisture behaviour of pine and heat-treated spruce modified with alkoxysilanes by sol – gel process. *Progress in Organic Coatings*, 71(3), 274–282
- Wikberg, H., 2004, *Advanced solid state nmr spectroscopic techniques in the study of thermally modified wood*, Academic Dissertation, Helsinki Üniversitesi, Helsinki- Finland.
- Xie, Y., Krause, A., Mai, C., Militz, H., Richter, K., Urban, K., Evans, P. D., 2005, Weathering of wood modified with the N-methylol compound 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxyethyleneurea. *Polymer Degradation and Stability*, 89(2), 189–199.
- Yaşar, S., 2009, Kızılçam ekstraktif maddelerinde ısıtıl işlem uygulanması sonucu oluşan renk değişimleri üzerine araştırma, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, Seri: A, Sayı:1, 95-100.
- Yıldız, S., Tomak, E. D., Yıldız U. C., Ustaömer D., 2013, Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood. *Polymer Degradation and Stability*, 98(8), 1419– 1427.
- Zhang, J., Kamdem, D. P., Temiz, A., 2009, Weathering of copper-amine treated wood. *Applied Surface Science*, 256(3), 842–846.

EKLER

EK 1: Yaşlandırılmış Örneklerin L, a, b Değerleri.

RENK ÖLÇÜMLERİ															
NO	TİP		İLK ÖLÇÜM	144 SAAT SONRA	Δ0-144	288 SAAT SONRA	Δ0-288	432 SAAT SONRA	Δ0-432	576 SAAT SONRA	Δ0-576	720 SAAT SONRA	Δ0-720	864 SAAT SONRA	Δ0-864
4*31	B	L*	79,46	79,42	-0,04	79,56	0,1	79,55	0,09	79,97	0,51	80,27	0,81	80,46	1
		A*	-5,8	-5,32	0,48	-5,36	0,44	-5,32	0,48	-5,28	0,52	-5,23	0,57	-5,17	0,63
		B*	-2,84	-3,22	-0,38	-3,18	-0,34	-3,34	-0,5	-3,32	-0,48	-3,25	-0,41	-3,08	-0,24
		ΔE		0,6	ΔE	0,6	ΔE	0,7	ΔE	0,9	ΔE	1,1	ΔE	1,2	
4*31	V	L*	38,22	44,95	6,73	46,85	8,63	54,07	15,85	57,18	18,96	59,2	20,98	61,34	23,12
		A*	18,59	13,9	-4,69	14,37	-4,22	10,9	-7,69	9,59	-9	8,61	-9,98	7,61	-10,98
		B*	19,81	19,32	-0,49	21,39	1,58	20,23	0,42	19,72	-0,09	18,67	-1,14	17,53	-2,28
		ΔE		8,2	ΔE	9,7	ΔE	17,6	ΔE	21,0	ΔE	23,3	ΔE	25,7	
4*12	V	L*	31,32	38,45	7,13	43,83	12,51	44,17	12,85	54,99	23,67	56,71	25,39	57,71	26,39
		A*	21,8	15,02	-6,78	11,57	-10,23	10,68	-11,12	7,65	-14,15	7,38	-14,42	7,23	-14,57
		B*	33,77	20,07	-13,7	17,31	-16,46	15,36	-18,41	15,06	-18,71	15,22	-18,55	14,96	-18,81
		ΔE		16,9	ΔE	23,1	ΔE	25,1	ΔE	33,3	ΔE	34,6	ΔE	35,5	
4*12	B	L*	78,96	79,47	0,51	79,27	0,31	79,43	0,47	79,79	0,83	80,38	1,42	80,54	1,58
		A*	-5,85	-5,36	0,49	-5,35	0,5	-5,34	0,51	-5,26	0,59	-5,23	0,62	-5,13	0,72
		B*	-2,11	-3,27	-1,16	-3,14	-1,03	-3,23	-1,12	-3,32	-1,21	-3,16	-1,05	-2,89	-0,78
		ΔE		1,4	ΔE	1,2	ΔE	1,3	ΔE	1,6	ΔE	1,9	ΔE	1,9	
4*2	K	L*	44,77	48,99	4,22	58,42	13,65	65,77	21	71,22	26,45	73,94	29,17	76,15	31,38
		A*	13,63	6,26	-7,37	3,72	-9,91	2,28	-11,35	1,53	-12,1	1,01	-12,62	0,74	-12,89
		B*	20,96	10,22	-10,7	6,6	-14,36	4,19	-16,77	3,28	-17,68	3	-17,96	2,74	-18,22
		ΔE		13,7	ΔE	22,2	ΔE	29,2	ΔE	34,0	ΔE	36,5	ΔE	38,5	
4*1	K	L*	50,55	59,97	9,42	69,81	19,26	75,36	24,81	78,44	27,89	80,89	30,34	82,2	31,65
		A*	15,15	7,25	-7,9	4,01	-11,14	2,43	-12,72	1,58	-13,57	1,01	-14,14	0,78	-14,37
		B*	22,16	15,64	-6,52	9,06	-13,1	5,73	-16,43	4,15	-18,01	4,01	-18,15	3,44	-18,72
		ΔE		13,9	ΔE	25,8	ΔE	32,4	ΔE	35,9	ΔE	38,1	ΔE	39,5	
5*1	K	L*	48,02	63,3	15,28	72,28	24,26	76,19	28,17	78,92	30,9	80,74	32,72	81,73	33,71
		A*	14,56	6,38	-8,18	3,36	-11,2	2,02	-12,54	1,35	-13,21	0,98	-13,58	0,65	-13,91
		B*	23,55	14,68	-8,87	7,58	-15,97	4,77	-18,78	4,05	-19,5	3,28	-20,27	3,58	-19,97
		ΔE		19,5	ΔE	31,1	ΔE	36,1	ΔE	38,9	ΔE	40,8	ΔE	41,6	
5*11	V	L*	25,31	39,01	13,7	43,28	17,97	45,71	20,4	53,67	28,36	54,58	29,27	56,43	31,12
		A*	21,31	13,94	-7,37	11,21	-10,1	9,47	-11,84	7,5	-13,81	7,03	-14,28	6,84	-14,47
		B*	35,62	21,04	-14,6	18,99	-16,63	15,81	-19,81	15,4	-20,22	14,9	-20,72	16,21	-19,41
		ΔE		21,3	ΔE	26,5	ΔE	30,8	ΔE	37,5	ΔE	38,6	ΔE	39,4	
5*11	B	L*	79	79,3	0,3	79,13	0,13	79,34	0,34	79,48	0,48	80,21	1,21	80,57	1,57
		A*	-6,03	-5,45	0,58	-5,41	0,62	-5,4	0,63	-5,31	0,72	-5,28	0,75	-5,19	0,84
		B*	-1,75	-3,03	-1,28	-2,93	-1,18	-3,03	-1,28	-3,02	-1,27	-2,99	-1,24	-2,78	-1,03
		ΔE		1,4	ΔE	1,3	ΔE	1,5	ΔE	1,5	ΔE	1,9	ΔE	2,1	
5*31	V	L*	29,9	39,05	9,15	33,83	3,93	47,49	17,59	53,2	23,3	51,48	21,58	50,26	20,36
		A*	17,57	14,14	-3,43	11,69	-5,88	10,38	-7,19	8,96	-8,61	8,34	-9,23	8,3	-9,27
		B*	13,32	18,11	4,79	11,25	-2,07	17,56	4,24	18,31	4,99	16,28	2,96	15,74	2,42
		ΔE		10,9	ΔE	7,4	ΔE	19,5	ΔE	25,3	ΔE	23,7	ΔE	22,5	
5*31	B	L*	79,14	79,51	0,37	79,46	0,32	79,5	0,36	79,82	0,68	80,19	1,05	80,52	1,38
		A*	-5,75	-5,41	0,34	-5,42	0,33	-5,36	0,39	-5,32	0,43	-5,27	0,48	-5,22	0,53
		B*	-2,47	-3,37	-0,9	-3,07	-0,6	-3,23	-0,76	-3,2	-0,73	-3,14	-0,67	-2,97	-0,5
		ΔE		1,0	ΔE	0,8	ΔE	0,9	ΔE	1,1	ΔE	1,3	ΔE	1,6	

6*1	K	L*	33.15	51.23	18.08	61.98	28.83	68.07	34.92	71.09	37.94	73.74	40.59	75.52	42.37
		A*	12.53	7.24	-5.29	3.89	-8.64	2.23	-10.3	1.49	-11.04	1.09	-11.44	0.74	-11.79
		B*	16.32	13.84	-2.48	7.17	-9.15	4.71	-11.61	4.39	-11.93	3.17	-13.15	3.39	-12.93
			ΔE		19.0	ΔE	31.5	ΔE	38.2	ΔE	41.3	ΔE	44.2	ΔE	45.8
6*11	V	L*	21.27	25.09	3.82	29.18	7.91	32.52	11.25	36.02	14.75	39.64	18.37	43.9	22.63
		A*	7.83	8.63	0.8	8.55	0.72	8.41	0.58	8.11	0.28	7.7	-0.13	6.71	-1.12
		B*	2.18	9.51	7.33	10.52	8.34	10.92	8.74	11.4	9.22	11.73	9.55	11.52	9.34
			ΔE		8.3	ΔE	11.5	ΔE	14.3	ΔE	17.4	ΔE	20.7	ΔE	24.5
6*11	B	L*	79.18	79.21	0.03	79.02	-0.16	79.2	0.02	79.34	0.16	79.97	0.79	80.24	1.06
		A*	-6.02	-5.42	0.6	-5.41	0.61	-5.41	0.61	-5.33	0.69	-5.28	0.74	-5.21	0.81
		B*	-1.74	-3.06	-1.32	-2.94	-1.2	-3.04	-1.3	-3.14	-1.4	-3.01	-1.27	-2.79	-1.05
			ΔE		1.5	ΔE	1.4	ΔE	1.4	ΔE	1.6	ΔE	1.7	ΔE	1.7
6*31	V	L*	17.75	31.25	13.5	32.82	15.07	45.78	28.03	53.16	35.41	54.79	37.04	61.18	43.43
		A*	13.31	11.02	-2.29	7.15	-6.16	6.85	-6.46	5.84	-7.47	4.5	-8.81	3.68	-9.63
		B*	3.73	13.01	9.28	8.58	4.85	12.63	8.9	12.83	9.1	10.34	6.61	9.53	5.8
			ΔE		16.5	ΔE	17.0	ΔE	30.1	ΔE	37.3	ΔE	38.6	ΔE	44.9
6*31	B	L*	79.25	79.36	0.11	79.15	-0.1	79.09	-0.16	79.15	-0.1	79.27	0.02	79.86	0.61
		A*	-5.73	-5.35	0.38	-5.3	0.43	-5.21	0.52	-5.08	0.65	-5	0.73	-4.94	0.79
		B*	-2.74	-2.77	-0.03	-1.69	1.05	-2.08	0.66	-1.85	0.89	-1.88	0.86	-2	0.74
			ΔE		0.4	ΔE	1.1	ΔE	0.9	ΔE	1.1	ΔE	1.1	ΔE	1.2

7*1	K	L*	73.23	74.07	0.84	80.84	7.61	83.64	10.41	86.41	13.18	88.14	14.91	88.96	15.73
		A*	7.54	5.85	-1.69	3.46	-4.08	2.28	-5.26	1.48	-6.06	1.08	-6.46	0.86	-6.68
		B*	18.05	15.85	-2.2	10.73	-7.32	7.2	-10.85	5.57	-12.48	4.92	-13.13	4.35	-13.7
			ΔE		2.9	ΔE	11.3	ΔE	15.9	ΔE	19.1	ΔE	20.9	ΔE	21.9
7*2	K	L*	67.62	74.6	6.98	79.81	12.19	82.91	15.29	84.96	17.34	86.76	19.14	87.43	19.81
		A*	8.06	5.08	-2.98	3.24	-4.82	2.07	-5.99	1.27	-6.79	0.94	-7.12	0.71	-7.35
		B*	22.73	13.93	-8.8	10.77	-11.96	7.96	-14.77	6.5	-16.23	5.45	-17.28	5.17	-17.56
			ΔE		11.6	ΔE	17.7	ΔE	22.1	ΔE	24.7	ΔE	26.8	ΔE	27.5
7*10	V	L*	66.35	68.55	2.2	72.32	5.97	73.63	7.28	74.67	8.32	75.01	8.66	76.26	9.91
		A*	8.35	10.87	2.52	9.31	0.96	8.56	0.21	7.95	-0.4	7.53	-0.82	6.62	-1.73
		B*	24.58	34.72	10.14	30.68	6.1	26.71	2.13	23.74	-0.84	22.5	-2.08	19.6	-4.98
			ΔE		10.7	ΔE	8.6	ΔE	7.6	ΔE	8.4	ΔE	8.9	ΔE	11.2
7*10	B	L*	79.19	79.88	0.69	79.31	0.12	79.46	0.27	79.66	0.47	80.28	1.09	80.47	1.28
		A*	-6.02	-5.25	0.77	-5.25	0.77	-5.29	0.73	-5.2	0.82	-5.18	0.84	-5.08	0.94
		B*	-1.96	-3.11	-1.15	-3.01	-1.05	-3.14	-1.18	-3.2	-1.24	-3.04	-1.08	-2.79	-0.83
			ΔE		1.5	ΔE	1.3	ΔE	1.4	ΔE	1.6	ΔE	1.7	ΔE	1.8
7*28	V	L*	57.3	50.46	-6.84	42.9	-14.4	63.65	6.35	69.34	12.04	70.77	13.47	72.45	15.15
		A*	10.57	13.17	2.6	15.38	4.81	8.32	-2.25	6.2	-4.37	5.32	-5.25	4.35	-6.22
		B*	19.27	22.68	3.41	20.06	0.79	19.21	-0.06	17.11	-2.16	15.83	-3.44	14.36	-4.91
			ΔE		8.1	ΔE	15.2	ΔE	6.7	ΔE	13.0	ΔE	14.9	ΔE	17.1
7*28	B	L*	79.01	79.79	0.78	79.66	0.65	79.78	0.77	80.33	1.32	80.65	1.64	80.82	1.81
		A*	-5.78	-5.38	0.4	-5.35	0.43	-5.3	0.48	-5.24	0.54	-5.16	0.62	-5.09	0.69
		B*	-2.71	-3.45	-0.74	-3.08	-0.37	-3.34	-0.63	-3.24	-0.53	-3.09	-0.38	-2.91	-0.2
			ΔE		1.1	ΔE	0.9	ΔE	1.1	ΔE	1.5	ΔE	1.8	ΔE	1.9

8*1	K	L*	54.16	70.7	16.54	78.48	24.32	81.46	27.3	83.64	29.48	85.34	31.18	85.71	31.55
		A*	10.65	4.18	-6.47	2.02	-8.63	1.17	-9.48	0.76	-9.89	0.51	-10.14	0.19	-10.46
		B*	23.19	11.4	-11.8	9.17	-14.02	5.55	-17.64	6.15	-17.04	5.27	-17.92	7.13	-16.06
			ΔE		21.3	ΔE	29.4	ΔE	33.9	ΔE	35.5	ΔE	37.4	ΔE	36.9
8*9	V	L*	30.4	43.8	13.4	45.97	15.57	55.92	25.52	55.81	25.41	61.89	31.49	63.45	33.05
		A*	17.73	12.4	-5.33	11.56	-6.17	8.63	-9.1	7.62	-10.11	5.81	-11.92	5.34	-12.39
		B*	36.83	23.15	-13.7	21.57	-15.26	18.42	-18.41	20.19	-16.64	17.47	-19.36	17.7	-19.13
			ΔE		19.9	ΔE	22.7	ΔE	32.8	ΔE	32.0	ΔE	38.8	ΔE	40.1
8*9	B	L*	79.29	79.47	0.18	79.22	-0.07	78.74	-0.55	79.18	-0.11	79.78	0.49	80.18	0.89
		A*	-6.02	-5.4	0.62	-5.38	0.64	-5.51	0.51	-5.4	0.62	-5.39	0.63	-5.25	0.77
		B*	-1.94	-1.93	0.01	-1.62	0.32	-1.8	0.14	-1.95	-0.01	-2	-0.06	-2.05	-0.11
			ΔE		0.6	ΔE	0.7	ΔE	0.8	ΔE	0.6	ΔE	0.8	ΔE	1.2
8*25	V	L*	44.31	37.83	-6.48	37.19	-7.12	38.14	-6.17	45.66	1.35	46.98	2.67	54.36	10.05
		A*	16.11	13.9	-2.21	13.16	-2.95	14.23	-1.88	14.9	-1.21	12.88	-3.23	10.28	-5.83
		B*	23.73	18.11	-5.62	16.39	-7.34	19.6	-4.13	25.59	1.86	22.35	-1.38	20.3	-3.43
			ΔE		8.9	ΔE	10.6	ΔE	7.7	ΔE	2.6	ΔE	4.4	ΔE	12.1
8*25	B	L*	79.25	79.23	-0.02	79.44	0.19	79.43	0.18	79.73	0.48	80.26	1.01	80.43	1.18
		A*	-5.78	-5.51	0.27	-5.57	0.21	-5.42	0.36	-5.38	0.4	-5.26	0.52	-5.17	0.61
		B*	-2.7	-1.82	0.88	-1.41	1.29	-2.03	0.67	-1.97	0.73	-2.27	0.43	-2.3	0.4
			ΔE		0.9	ΔE	1.3	ΔE	0.8	ΔE	1.0	ΔE	1.2	ΔE	1.4

9*1	K	L*	41,47	65,08	23,61	75,48	34,01	78,6	37,13	81,01	39,54	82,41	40,94	83,27	41,8
		A*	11,78	3,57	-8,21	1,42	-10,36	0,65	-11,13	0,26	-11,52	0,02	-11,76	-0,01	-11,79
		B*	20,89	9,98	-10,9	5,09	-15,8	4,63	-16,26	4,76	-16,13	5,8	-15,09	4,87	-16,02
				ΔE	27,3	ΔE	38,9	ΔE	42,0	ΔE	44,2	ΔE	45,2	ΔE	46,3
9*10	V	L*	17,3	38,4	21,1	47,19	29,89	51,92	34,62	55,32	38,02	57,63	40,33	60,41	43,11
		A*	14,09	10,91	-3,18	9,32	-4,77	7,78	-6,31	6,49	-7,6	6,13	-7,96	5,33	-8,76
		B*	19,47	17,91	-1,56	18,64	-0,83	16,02	-3,45	14,32	-5,15	14,77	-4,7	13,96	-5,51
				ΔE	21,4	ΔE	30,3	ΔE	35,4	ΔE	39,1	ΔE	41,4	ΔE	44,3
9*10	B	L*	79,17	79,09	-0,08	78,95	-0,22	79,04	-0,13	79,12	-0,05	79,59	0,42	80,01	0,84
		A*	-6,02	-5,38	0,64	-5,37	0,65	-5,44	0,58	-5,35	0,67	-5,34	0,68	-5,26	0,76
		B*	-2,05	-2,51	-0,46	-2,44	-0,39	-2,66	-0,61	-2,72	-0,67	-2,76	-0,71	-2,62	-0,57
				ΔE	0,8	ΔE	0,8	ΔE	0,9	ΔE	0,9	ΔE	1,1	ΔE	1,3
9*28	V	L*	22,5	22,16	-0,34	24,57	2,07	24,79	2,29	30,99	8,49	28,66	6,16	30,74	8,24
		A*	16,67	9,89	-6,78	8,46	-8,21	9,82	-6,85	11,87	-4,8	10,12	-6,55	9,97	-6,7
		B*	11,98	8,9	-3,08	8,75	-3,23	11,85	-0,13	15,9	3,92	12,95	0,97	13,21	1,23
				ΔE	7,5	ΔE	9,1	ΔE	7,2	ΔE	10,5	ΔE	9,0	ΔE	10,7
9*28	B	L*	79,25	79,37	0,12	79,67	0,42	79,48	0,23	79,62	0,37	80,1	0,85	80,29	1,04
		A*	-5,82	-5,42	0,4	-5,48	0,34	-5,37	0,45	-5,34	0,48	-5,27	0,55	-5,14	0,68
		B*	-2,76	-2,87	-0,11	-2,22	0,54	-2,59	0,17	-2,28	0,48	-2,36	0,4	-2,05	0,71
				ΔE	0,4	ΔE	0,8	ΔE	0,5	ΔE	0,8	ΔE	1,1	ΔE	1,4
4*21	V	L*	43,21	50,36	7,15	60,38	17,17	67,4	24,19	71,09	27,88	73,59	30,38	75,77	32,56
		A*	14,91	10,93	-3,98	5,59	-9,32	3,05	-11,86	2,03	-12,88	1,49	-13,42	1,09	-13,82
		B*	14,54	11,67	-2,87	10,19	-4,35	8,22	-6,32	6,99	-7,55	5,15	-9,39	4,11	-10,43
				ΔE	8,7	ΔE	20,0	ΔE	27,7	ΔE	31,6	ΔE	34,5	ΔE	36,9
4*21	B	L*	79,42	79,93	0,51	80,68	1,26	81,47	2,05	81,89	2,47	82,33	2,91	82,69	3,27
		A*	-5,64	-5,31	0,33	-4,86	0,78	-4,34	1,3	-4	1,64	-3,81	1,83	-3,64	2
		B*	-2,34	-2,96	-0,62	-2,76	-0,42	-2,72	-0,38	-2,78	-0,44	-2,63	-0,29	-2,47	-0,13
				ΔE	0,9	ΔE	1,5	ΔE	2,5	ΔE	3,0	ΔE	3,4	ΔE	3,8
4*41	V	L*	39,84	45,73	5,89	50,21	10,37	54,46	14,62	56,29	16,45	58,57	18,73	60	20,16
		A*	18,68	15,51	-3,17	12,93	-5,75	10,85	-7,83	9,93	-8,75	8,75	-9,93	7,81	-10,87
		B*	24,21	24,69	0,48	23,16	-1,05	20,89	-3,32	19,87	-4,34	18,21	-6	16,45	-7,76
				ΔE	6,7	ΔE	11,9	ΔE	16,9	ΔE	19,1	ΔE	22,0	ΔE	24,2
4*41	B	L*	79,67	79,64	-0,03	79,66	-0,01	79,67	0	79,75	0,08	80,24	0,57	80,28	0,61
		A*	-5,48	-5,23	0,25	-5,26	0,22	-5,24	0,24	-5,23	0,25	-5,18	0,3	-5,14	0,34
		B*	-2,35	-2,84	-0,49	-2,89	-0,54	-3,07	-0,72	-3,04	-0,69	-3,06	-0,71	-2,88	-0,53
				ΔE	0,6	ΔE	0,6	ΔE	0,8	ΔE	0,7	ΔE	1,0	ΔE	0,9
4*51	V	L*	43,76	43,6	-0,16	53,18	9,42	60,92	17,16	67,46	23,7	70,86	27,1	73,33	29,57
		A*	15,77	11,62	-4,15	7,56	-8,21	4,82	-10,95	2,92	-12,85	1,98	-13,79	1,42	-14,35
		B*	18,45	12,95	-5,5	10,48	-7,97	9,18	-9,27	7,59	-10,86	6,31	-12,14	5,06	-13,39
				ΔE	6,9	ΔE	14,8	ΔE	22,4	ΔE	29,1	ΔE	32,7	ΔE	35,5
4*51	B	L*	79,62	79,43	-0,19	79,67	0,05	80,04	0,42	80,73	1,11	80,71	1,09	80,91	1,29
		A*	-5,57	-5,31	0,26	-5,21	0,36	-5,01	0,56	-4,76	0,81	-4,53	1,04	-4,27	1,3
		B*	-2,33	-2,99	-0,66	-3,13	-0,8	-2,89	-0,56	-2,78	-0,45	-2,68	-0,35	-2,62	-0,29
				ΔE	0,7	ΔE	0,9	ΔE	0,9	ΔE	1,4	ΔE	1,5	ΔE	1,9
4*52	V	L*	35,45	35,04	-0,41	45,98	10,53	53,12	17,67	57,77	22,32	61,03	25,58	63,86	28,41
		A*	12,87	9,97	-2,9	5,99	-6,88	3,62	-9,25	2,44	-10,43	1,78	-11,09	1,38	-11,49
		B*	14,03	8,4	-5,63	4,96	-9,07	4,43	-9,6	4,29	-9,74	3,2	-10,83	2,58	-11,45
				ΔE	6,3	ΔE	15,5	ΔE	22,1	ΔE	26,5	ΔE	29,9	ΔE	32,7
4*52	B	L*	79,68	79,78	0,1	79,69	0,01	80,05	0,37	80,61	0,93	80,68	1	80,67	0,99
		A*	-5,63	-5,22	0,41	-5,26	0,37	-5,05	0,58	-4,82	0,81	-4,6	1,03	-4,43	1,2
		B*	-2,09	-2,81	-0,72	-3,19	-1,1	-2,92	-0,83	-2,68	-0,59	-2,62	-0,53	-2,51	-0,42
				ΔE	0,8	ΔE	1,2	ΔE	1,1	ΔE	1,4	ΔE	1,5	ΔE	1,6

5*51	V	L*	36,11	45,83	9,72	52,36	16,25	58,67	22,56	67,57	31,46	71,88	35,77	74,33	38,22
		A*	12,98	11,17	-1,81	7,5	-5,48	6,48	-6,5	3,49	-9,49	2,12	-10,86	1,45	-11,53
		B*	4,79	10,9	6,11	7,64	2,85	12,27	7,48	10	5,21	8,93	4,14	6,77	1,98
				ΔE	11,6	ΔE	17,4	ΔE	24,6	ΔE	33,3	ΔE	37,6	ΔE	40,0
5*51	B	L*	79,62	79,35	-0,27	79,61	-0,01	79,85	0,23	80,18	0,56	80,39	0,77	80,77	1,15
		A*	-5,6	-5,4	0,2	-5,33	0,27	-5,2	0,4	-5,08	0,52	-4,9	0,7	-4,66	0,94
		B*	-2,34	-2,38	-0,04	-2,44	-0,1	-2,58	-0,24	-2,52	-0,18	-2,3	0,04	-2,31	0,03
				ΔE	0,3	ΔE	0,3	ΔE	0,5	ΔE	0,8	ΔE	1,0	ΔE	1,5
5*41	V	L*	41,15	37,86	-3,29	44,11	2,96	55,36	14,21	63,33	22,18	62,19	21,04	63,62	22,47
		A*	18,05	15,99	-2,06	13,66	-4,39	9,78	-8,27	7,45	-10,6	7,28	-10,77	6,93	-11,12
		B*	27,44	20,67	-6,77	21	-6,44	20,01	-7,43	20	-7,44	19,05	-8,39	20,23	-7,21
				ΔE	7,8	ΔE	8,3	ΔE	18,0	ΔE	25,7	ΔE	25,1	ΔE	26,1
5*41	B	L*	79,67	79,71	0,04	79,19	-0,48	79,24	-0,43	79,44	-0,23	79,92	0,25	80,08	0,41
		A*	-5,56	-5,21	0,35	-5,36	0,2	-5,31	0,25	-5,29	0,27	-5,26	0,3	-5,24	0,32
		B*	-2,32	-2,51	-0,19	-2,75	-0,43	-2,89	-0,57	-2,87	-0,55	-2,89	-0,57	-2,54	-0,22
				ΔE	0,4	ΔE	0,7	ΔE	0,8	ΔE	0,7	ΔE	0,7	ΔE	0,6
5*21	V	L*	38,45	47,34	8,89	61,29	22,84	67,9	29,45	70,69	32,24	73,02	34,57	74,85	36,4
		A*	10,95	8,62	-2,33	5,57	-5,38	3,07	-7,88	2,17	-8,78	1,67	-9,28	1,27	-9,68
		B*	1,21	3,44	2,23	9,27	8,06	8,41	7,2	7,05	5,84	5,95	4,74	4,42	3,21
				ΔE	9,5	ΔE	24,8	ΔE	31,3	ΔE	33,9	ΔE	36,1	ΔE	37,8
5*21	B	L*	79,41	79,87	0,46	80,07	0,66	80,78	1,37	81,11	1,7	81,71	2,3	82,29	2,88
		A*	-5,67	-5,26	0,41	-5,13	0,54	-4,67	1	-4,28	1,39	-4,03	1,64	-3,7	1,97
		B*	-2,36	-2,36	0	-2,7	-0,34	-2,62	-0,26	-2,66	-0,3	-2,55	-0,19	-2,39	-0,03
				ΔE	0,6	ΔE	0,9	ΔE	1,7	ΔE	2,2	ΔE	2,8	ΔE	3,5

6*52	V	L*	33,61	45,34	11,73	52,68	19,07	60,56	26,95	68,37	34,76	72,09	38,48	74,85	41,24
		A*	9,73	11,08	1,35	7,49	-2,24	6,14	-3,59	3,61	-6,12	2,19	-7,54	1,42	-8,31
		B*	-1,13	8,66	9,79	6,43	7,56	13,45	14,58	11,34	12,47	9,2	10,33	6,46	7,59
				ΔE	15,3	ΔE	20,6	ΔE	30,9	ΔE	37,4	ΔE	40,5	ΔE	42,7
6*52	B	L*	79,68	79,15	-0,53	79,25	-0,43	79,55	-0,13	80,15	0,47	80,48	0,8	80,67	0,99
		A*	-5,63	-5,43	0,2	-5,4	0,23	-5,31	0,32	-5,17	0,46	-4,94	0,69	-4,67	0,96
		B*	-2,08	-2,65	-0,57	-2,69	-0,61	-2,7	-0,62	-2,55	-0,47	-2,38	-0,3	-2,15	-0,07
				ΔE	0,8	ΔE	0,8	ΔE	0,7	ΔE	0,8	ΔE	1,1	ΔE	1,4
6*41	V	L*	19,22	22,52	3,3	26,21	6,99	33,09	13,87	35,71	16,49	38,5	19,28	41,6	22,38
		A*	7,34	7,8	0,46	8,7	1,36	8,76	1,42	8,63	1,29	8,3	0,96	7,54	0,2
		B*	6,08	6,6	0,52	8,8	2,72	11,02	4,94	11,29	5,21	11,38	5,3	10,97	4,89
				ΔE	3,4	ΔE	7,6	ΔE	14,8	ΔE	17,3	ΔE	20,0	ΔE	22,9
6*41	B	L*	79,64	79,74	0,1	79,05	-0,59	79,28	-0,36	79,53	-0,11	79,77	0,13	80,41	0,77
		A*	-5,54	-5,16	0,38	-5,37	0,17	-5,31	0,23	-5,29	0,25	-5,24	0,3	-5,19	0,35
		B*	-2,32	-2,56	-0,24	-2,8	-0,48	-2,93	-0,61	-2,87	-0,55	-2,92	-0,6	-2,86	-0,54
				ΔE	0,5	ΔE	0,8	ΔE	0,7	ΔE	0,6	ΔE	0,7	ΔE	1,0
6*21	V	L*	35,87	36,4	0,53	52,95	17,08	61,45	25,58	64,79	28,92	66,52	30,65	68,68	32,81
		A*	4,43	2,85	-1,58	4,17	-0,26	3,09	-1,34	2,18	-2,25	1,74	-2,69	1,32	-3,11
		B*	-9,62	-9,4	0,22	2,96	12,58	4,79	14,41	7,04	16,66	6,39	16,01	5,06	14,68
				ΔE	1,7	ΔE	21,2	ΔE	29,4	ΔE	33,5	ΔE	34,7	ΔE	36,1
6*21	B	L*	79,3	79,15	-0,15	79,23	-0,07	79,87	0,57	80,3	1	80,92	1,62	81,19	1,89
		A*	-5,66	-5,33	0,33	-5,26	0,4	-5	0,66	-4,66	1	-4,33	1,33	-4,03	1,63
		B*	-2,3	-1,61	0,69	-2,1	0,2	-2,39	-0,09	-2,34	-0,04	-2,32	-0,02	-2,14	0,16
				ΔE	0,8	ΔE	0,5	ΔE	0,9	ΔE	1,4	ΔE	2,1	ΔE	2,5

7*47	V	L*	68,36	53,11	-15,3	69,65	1,29	78,35	9,99	81,98	13,62	83,75	15,39	85,28	16,92
		A*	8,21	14,13	5,92	7,86	-0,35	3,71	-4,5	2,22	-5,99	1,55	-6,66	1,19	-7,02
		B*	19,72	18,38	-1,34	20,3	0,58	11,67	-8,05	9,33	-10,39	7,96	-11,76	6,3	-13,42
				ΔE	16,4	ΔE	1,5	ΔE	13,6	ΔE	18,1	ΔE	20,5	ΔE	22,7
7*47	B	L*	79,55	79,58	0,03	79,66	0,11	80,13	0,58	80,61	1,06	80,57	1,02	80,53	0,98
		A*	-5,66	-5,33	0,33	-5,14	0,52	-5,02	0,64	-4,78	0,88	-4,56	1,1	-4,48	1,18
		B*	-2,03	-3,01	-0,98	-2,79	-0,76	-2,62	-0,59	-2,49	-0,46	-2,32	-0,29	-2,31	-0,28
				ΔE	1,0	ΔE	0,9	ΔE	1,0	ΔE	1,5	ΔE	1,5	ΔE	1,6
7*46	V	L*	67,13	58,86	-8,27	69,53	2,4	79,66	12,53	82,97	15,84	85,24	18,11	86,67	19,54
		A*	8,64	13,76	5,12	8,09	-0,55	3,28	-5,36	1,86	-6,78	1,25	-7,39	1	-7,64
		B*	17,41	25,08	7,67	19,92	2,51	12,31	-5,1	9,63	-7,78	6,95	-10,46	5,56	-11,85
				ΔE	12,4	ΔE	3,5	ΔE	14,6	ΔE	18,9	ΔE	22,2	ΔE	24,1
7*46	B	L*	79,6	80,08	0,48	80,08	0,48	80,27	0,67	80,58	0,98	80,89	1,29	80,94	1,34
		A*	-5,63	-5,14	0,49	-5,14	0,49	-4,93	0,7	-4,7	0,93	-4,52	1,11	-4,34	1,29
		B*	-2,34	-2,6	-0,26	-3,08	-0,74	-2,63	-0,29	-2,52	-0,18	-2,47	-0,13	-2,44	-0,1
				ΔE	0,7	ΔE	1,0	ΔE	1,0	ΔE	1,4	ΔE	1,7	ΔE	1,9
7*37	V	L*	60,61	52,11	-8,5	57,16	-3,45	68,69	8,08	72,73	12,12	73,88	13,27	74,98	14,37
		A*	10,7	14,44	3,74	12,48	1,78	7,86	-2,84	6,07	-4,63	5,23	-5,47	4,54	-6,16
		B*	24,65	25,06	0,41	23,88	-0,77	22,11	-2,54	18,23	-6,42	16,54	-8,11	15,4	-9,25
				ΔE	9,3	ΔE	4,0	ΔE	8,9	ΔE	14,5	ΔE	16,5	ΔE	18,2
7*37	B	L*	79,81	79,99	0,18	79,66	-0,15	79,62	-0,19	79,74	-0,07	80	0,19	80,18	0,37
		A*	-5,54	-5,11	0,43	-5,23	0,31	-5,2	0,34	-5,17	0,37	-5,16	0,38	-5,09	0,45
		B*	-2,3	-2,71	-0,41	-2,96	-0,66	-3,04	-0,74	-2,99	-0,69	-2,99	-0,69	-2,86	-0,56
				ΔE	0,6	ΔE	0,7	ΔE	0,8	ΔE	0,8	ΔE	0,8	ΔE	0,8
7*19	V	L*	52,63	61,87	9,24	75,34	22,71	80,7	28,07	82,98	30,35	85,33	32,7	87,4	34,77
		A*	9,76	14,72	4,96	7,74	-2,02	4,1	-5,66	2,83	-6,93	1,94	-7,82	1,35	-8,41
		B*	8,02	21,88	13,86	16,69	8,67	13,81	5,79	11,11	3,09	7,92	-0,1	6,28	-1,74
				ΔE	17,4	ΔE	24,4	ΔE	29,2	ΔE	31,3	ΔE	33,6	ΔE	35,8
7*19	B	L*	79,49	80,06	0,57	81,02	1,53	81,41	1,92	81,66	2,17	82,02	2,53	82,19	2,7
		A*	-5,67	-5,25	0,42	-4,9	0,77	-4,45	1,22	-4,15	1,52	-4,01	1,66	-3,83	1,84
		B*	-2,36	-2,75	-0,39	-2,88	-0,52	-2,68	-0,32	-2,74	-0,38	-2,64	-0,28	-2,44	-0,08
				ΔE	0,8	ΔE	1,8	ΔE	2,3	ΔE	2,7	ΔE	3,0	ΔE	3,3

8*42	V	L*	51,19	41,71	-9,48	48,84	-2,35	68,26	17,07	75,29	24,1	79,97	28,78	82,77	31,58
		A*	13,99	12,31	-1,68	10,5	-3,49	6,94	-7,05	4,12	-9,87	2,2	-11,79	1,12	-12,87
		B*	20,55	9,45	-11,1	11,31	-9,24	16,56	-3,99	15,05	-5,5	12,11	-8,44	9,42	-11,13
				ΔE	14,7	ΔE	10,2	ΔE	18,9	ΔE	26,6	ΔE	32,2	ΔE	35,9
8*42	B	L*	79,67	78,96	-0,71	78,93	-0,74	79,59	-0,08	80,38	0,71	80,99	1,32	81,1	1,43
		A*	-5,7	-5,51	0,19	-5,42	0,28	-5,2	0,5	-4,95	0,75	-4,63	1,07	-4,33	1,37
		B*	-2,02	-1,06	0,96	-1,1	0,92	-2,12	-0,1	-2,23	-0,21	-2,19	-0,17	-2,2	-0,18
				ΔE	1,2	ΔE	1,2	ΔE	0,5	ΔE	1,1	ΔE	1,7	ΔE	2,0
8*33	V	L*	38,6	36,34	-2,26	38,99	0,39	41,23	2,63	49,62	11,02	51,39	12,79	57,08	18,48
		A*	13,05	13,32	0,27	12,52	-0,53	12,47	-0,58	10,45	-2,6	9,42	-3,63	7,48	-5,57
		B*	24,2	19,26	-4,94	19,91	-4,29	21,94	-2,26	23,99	-0,21	21,99	-2,21	19,36	-4,84
				ΔE	5,4	ΔE	4,3	ΔE	3,5	ΔE	11,3	ΔE	13,5	ΔE	19,9
8*33	B	L*	79,65	79,57	-0,08	78,8	-0,85	79,05	-0,6	79,51	-0,14	80,01	0,36	80,27	0,62
		A*	-5,6	-5,31	0,29	-5,53	0,07	-5,39	0,21	-5,36	0,24	-5,27	0,33	-5,21	0,39
		B*	-2,3	-1,44	0,86	-1,2	1,1	-1,85	0,45	-1,88	0,42	-2,06	0,24	-2,01	0,29
				ΔE	0,9	ΔE	1,4	ΔE	0,8	ΔE	0,5	ΔE	0,5	ΔE	0,8
8*20	V	L*	50,28	47,34	-2,94	60,15	9,87	74,12	23,84	77,42	27,14	80,82	30,54	82,99	32,71
		A*	11,2	12,55	1,35	7,76	-3,44	3,23	-7,97	2,01	-9,19	1,14	-10,06	0,8	-10,4
		B*	9,96	12,19	2,23	16,28	6,32	11,33	1,37	9,99	0,03	8,27	-1,69	6,32	-3,64
				ΔE	3,9	ΔE	12,2	ΔE	25,2	ΔE	28,7	ΔE	32,2	ΔE	34,5
8*20	B	L*	79,5	79,65	0,15	79,64	0,14	80,71	1,21	80,84	1,34	81,36	1,86	81,97	2,47
		A*	-5,8	-5,35	0,45	-5,27	0,53	-4,72	1,08	-4,33	1,47	-4,08	1,72	-3,87	1,93
		B*	-1,95	-1,65	0,3	-1,97	-0,02	-2,12	-0,17	-2,1	-0,15	-2,01	-0,06	-2,01	-0,06
				ΔE	0,6	ΔE	0,5	ΔE	1,6	ΔE	2,0	ΔE	2,5	ΔE	3,1

9*46	V	L*	32,36	32,28	-0,08	39,88	7,52	48,27	15,91	55,24	22,88	58,59	26,23	66,7	34,34
		A*	8,69	4,59	-4,1	5,23	-3,46	5,31	-3,38	6,98	-1,71	5,74	-2,95	3,88	-4,81
		B*	-1,87	-4,57	-2,7	-1,11	0,76	0,75	2,62	9,08	10,95	12,69	14,56	13,81	15,68
			ΔE		4,9	ΔE	8,3	ΔE	16,5	ΔE	25,4	ΔE	30,1	ΔE	38,1
9*46	B	L*	79,57	79,03	-0,54	79,26	-0,31	79,89	0,32	80,57	1	80,8	1,23	81,07	1,5
		A*	-5,65	-5,47	0,18	-5,39	0,26	-5,21	0,44	-4,98	0,67	-4,75	0,9	-4,53	1,12
		B*	-2,32	-2,04	0,28	-2,12	0,2	-2,39	-0,07	-2,31	0,01	-2,14	0,18	-2,2	0,12
			ΔE		0,6	ΔE	0,5	ΔE	0,5	ΔE	1,2	ΔE	1,5	ΔE	1,9
9*37	V	L*	26,87	22,82	-4,05	32,79	5,92	36,39	9,52	54,6	27,73	44,09	17,22	50,55	23,68
		A*	14,41	5,84	-8,57	7,65	-6,76	7,99	-6,42	7,5	-6,91	5,92	-8,49	4,39	-10,02
		B*	18,33	3,33	-15	8,54	-9,79	9,93	-8,4	15,59	-2,74	10,05	-8,28	8,63	-9,7
			ΔE		17,7	ΔE	13,3	ΔE	14,2	ΔE	28,7	ΔE	20,9	ΔE	27,5
9*37	B	L*	79,57	79,63	0,06	78,95	-0,62	79,12	-0,45	79,22	-0,35	79,72	0,15	80,09	0,52
		A*	-5,6	-5,28	0,32	-5,5	0,1	-5,4	0,2	-5,37	0,23	-5,33	0,27	-5,25	0,35
		B*	-2,31	-1,54	0,77	-1,57	0,74	-2,01	0,3	-1,97	0,34	-2,28	0,03	-2,36	-0,05
			ΔE		0,8	ΔE	1,0	ΔE	0,6	ΔE	0,5	ΔE	0,3	ΔE	0,6
9*20	V	L*	39,67	36,2	-3,47	38,37	-1,3	47,27	7,6	65,19	25,52	73,17	33,5	77,63	37,96
		A*	8,35	4,76	-3,59	4,18	-4,17	8,77	0,42	4,97	-3,38	2,24	-6,11	0,55	-7,8
		B*	-4,03	-6,33	-2,3	-0,39	3,64	13,95	17,98	13,84	17,87	12,45	16,48	7,88	11,91
			ΔE		5,5	ΔE	5,7	ΔE	19,5	ΔE	31,3	ΔE	37,8	ΔE	40,5
9*20	B	L*	79,53	79,7	0,17	80,27	0,74	81,12	1,59	81,45	1,92	81,46	1,93	81,95	2,42
		A*	-5,8	-5,32	0,48	-5,14	0,66	-4,64	1,16	-4,24	1,56	-4,09	1,71	-3,86	1,94
		B*	-1,94	-1,8	0,14	-2,33	-0,39	-2,34	-0,4	-2,43	-0,49	-2,31	-0,37	-2,19	-0,25
			ΔE		0,5	ΔE	1,1	ΔE	2,0	ΔE	2,5	ΔE	2,6	ΔE	3,1

4*69	V	L*	37,26	38,68	1,42	37,4	0,14	43,02	5,76	46,48	9,22	48,06	10,8	50,28	13,02
		A*	14,64	12,4	-2,24	12,44	-2,2	10,56	-4,08	9,74	-4,9	8,85	-5,79	8,06	-6,58
		B*	18,71	18,26	-0,45	18,43	-0,28	17,04	-1,67	16,88	-1,83	15,86	-2,85	14,55	-4,16
			ΔE		2,7	ΔE	2,2	ΔE	7,3	ΔE	10,6	ΔE	12,6	ΔE	15,2
4*69	B	L*	79,81	79,15	-0,66	79,19	-0,62	79,48	-0,33	80,12	0,31	80	0,19	79,86	0,05
		A*	-5,43	-5,3	0,13	-5,28	0,15	-5,25	0,18	-5,24	0,19	-5,18	0,25	-5,06	0,37
		B*	-2,52	-3,08	-0,56	-3,14	-0,62	-3,19	-0,67	-3,27	-0,75	-3,09	-0,57	-2,94	-0,42
			ΔE		0,9	ΔE	0,9	ΔE	0,8	ΔE	0,8	ΔE	0,7	ΔE	0,6
4*70	V	L*	39,56	47,41	7,85	48,01	8,45	54,11	14,55	57,9	18,34	58,39	18,83	58,66	19,1
		A*	17,77	14,67	-3,1	14,28	-3,49	11,08	-6,69	9,28	-8,49	8,05	-9,72	7,26	-10,51
		B*	19,01	22,81	3,8	22,87	3,86	20,79	1,78	19,09	0,08	16,4	-2,61	13,81	-5,2
			ΔE		9,3	ΔE	9,9	ΔE	16,1	ΔE	20,2	ΔE	21,4	ΔE	22,4
4*70	B	L*	79,75	79,43	-0,32	79,57	-0,18	79,63	-0,12	80,12	0,37	80,26	0,51	79,88	0,13
		A*	-5,39	-5,25	0,14	-5,25	0,14	-5,23	0,16	-5,2	0,19	-5,14	0,25	-5,06	0,33
		B*	-2,6	-2,98	-0,38	-3,01	-0,41	-3,15	-0,55	-3,17	-0,57	-3,05	-0,45	-2,9	-0,3
			ΔE		0,5	ΔE	0,5	ΔE	0,6	ΔE	0,7	ΔE	0,7	ΔE	0,5
5*62	V	L*	35,46	45,73	10,27	49,98	14,52	52,75	17,29	54,7	19,24	55,89	20,43	55,94	20,48
		A*	15,79	12,86	-2,93	11,86	-3,93	11,13	-4,66	10,59	-5,2	10,4	-5,39	9,63	-6,16
		B*	18,13	23,06	4,93	24,61	6,48	24,51	6,38	23,97	5,84	23,75	5,62	21,67	3,54
			ΔE		11,8	ΔE	16,4	ΔE	19,0	ΔE	20,8	ΔE	21,9	ΔE	21,7
5*62	B	L*	79,82	79,67	-0,15	79,95	0,13	79,97	0,15	80,19	0,37	80,59	0,77	80,39	0,57
		A*	-5,51	-5,29	0,22	-5,26	0,25	-5,26	0,25	-5,24	0,27	-5,16	0,35	-5,05	0,46
		B*	-2,4	-3,16	-0,76	-3,11	-0,71	-3,24	-0,84	-3,3	-0,9	-3,15	-0,75	-2,81	-0,41
			ΔE		0,8	ΔE	0,8	ΔE	0,9	ΔE	1,0	ΔE	1,1	ΔE	0,8
6*61	V	L*	26,73	41,88	15,15	46,32	19,59	49,34	22,61	52,31	25,58	52,66	25,93	48,44	21,71
		A*	8,82	11,02	2,2	10,88	2,06	10,53	1,71	9,63	0,81	9,08	0,26	8,32	-0,5
		B*	4,17	18,63	14,46	22,07	17,9	22,82	18,65	21,73	17,56	20,71	16,54	17,1	12,93
			ΔE		21,1	ΔE	26,6	ΔE	29,4	ΔE	31,0	ΔE	30,8	ΔE	25,3
6*61	B	L*	79,78	79,4	-0,38	79,8	0,02	79,72	-0,06	79,83	0,05	80,15	0,37	80,29	0,51
		A*	-5,45	-5,31	0,14	-5,27	0,18	-5,24	0,21	-5,23	0,22	-5,16	0,29	-5,02	0,43
		B*	-2,59	-2,61	-0,02	-2,56	0,03	-2,6	-0,01	-2,58	0,01	-2,53	0,06	-2,47	0,12
			ΔE		0,4	ΔE	0,2	ΔE	0,2	ΔE	0,2	ΔE	0,5	ΔE	0,7

7*59	V	L*	70,17	63,35	-6,82	59,17	-11	67,15	-3,02	74,42	4,25	70,35	0,18	70,23	0,06
		A*	7,36	12,1	4,74	13,72	6,36	9,53	2,17	5,58	-1,78	7,21	-0,15	7,13	-0,23
		B*	23,52	34,98	11,46	35,66	12,14	28,56	5,04	19,45	-4,07	24,5	0,98	23,74	0,22
				ΔE	14,2	ΔE	17,6	ΔE	6,3	ΔE	6,1	ΔE	1,0	ΔE	0,3
7*59	B	L*	79,75	79,48	-0,27	80,03	0,28	79,91	0,16	80,11	0,36	80,53	0,78	80,46	0,71
		A*	-5,51	-5,3	0,21	-5,2	0,31	-5,26	0,25	-5,2	0,31	-5,11	0,4	-5	0,51
		B*	-2,4	-3,12	-0,72	-3,16	-0,76	-3,25	-0,85	-3,18	-0,78	-2,99	-0,59	-2,81	-0,41
				ΔE	0,8	ΔE	0,9	ΔE	0,9	ΔE	0,9	ΔE	1,1	ΔE	1,0
7*60	V	L*	62,85	50,26	-12,6	47,89	-14,96	57,67	-5,18	68,46	5,61	62,91	0,06	62,4	-0,45
		A*	10,22	14,87	4,65	15,24	5,02	12,05	1,83	7,39	-2,83	9,57	-0,65	9,31	-0,91
		B*	20,48	24,74	4,26	22,36	1,88	24,84	4,36	21,42	0,94	22,65	2,17	20,98	0,5
				ΔE	14,1	ΔE	15,9	ΔE	7,0	ΔE	6,4	ΔE	2,3	ΔE	1,1
7*60	B	L*	79,75	79,71	-0,04	80,11	0,36	79,9	0,15	80,24	0,49	80,44	0,69	80,41	0,66
		A*	-5,52	-5,27	0,25	-5,23	0,29	-5,24	0,28	-5,2	0,32	-5,12	0,4	-5	0,52
		B*	-2,4	-3,11	-0,71	-3,21	-0,81	-3,17	-0,77	-3,2	-0,8	-2,94	-0,54	-2,81	-0,41
				ΔE	0,8	ΔE	0,9	ΔE	0,8	ΔE	1,0	ΔE	1,0	ΔE	0,9
8*49	V	L*	48,7	36,33	-12,4	34,3	-14,4	45,66	-3,04	53,61	4,91	55,36	6,66	50,51	1,81
		A*	14,68	13,75	-0,93	13,81	-0,87	13,24	-1,44	11,96	-2,72	10,5	-4,18	11,76	-2,92
		B*	25,69	18,32	-7,37	16,57	-9,12	23,23	-2,46	26,81	1,12	21,79	-3,9	22,68	-3,01
				ΔE	14,4	ΔE	17,1	ΔE	4,2	ΔE	5,7	ΔE	8,8	ΔE	4,6
8*49	B	L*	79,81	79,34	-0,47	79,2	-0,61	79,21	-0,6	79,53	-0,28	79,76	-0,05	79,87	0,06
		A*	-5,44	-5,58	-0,14	-5,48	-0,04	-5,35	0,09	-5,32	0,12	-5,21	0,23	-5,05	0,39
		B*	-2,58	-1,15	1,43	-0,5	2,08	-1,06	1,52	-1,03	1,55	-0,92	1,66	-1,16	1,42
				ΔE	1,5	ΔE	2,2	ΔE	1,6	ΔE	1,6	ΔE	1,7	ΔE	1,5
9*55	V	L*	28,22	30,9	2,68	29,81	1,59	41,06	12,84	49,6	21,38	41,02	12,8	35,79	7,57
		A*	12,39	12,44	0,05	12,56	0,17	9,82	-2,57	7,77	-4,62	9,73	-2,66	11,41	-0,98
		B*	14,94	18,72	3,78	15,97	1,03	18,35	3,41	20,33	5,39	20,03	5,09	18,02	3,08
				ΔE	4,6	ΔE	1,9	ΔE	13,5	ΔE	22,5	ΔE	14,0	ΔE	8,2
9*55	B	L*	79,75	79,34	-0,41	79,66	-0,09	79,3	-0,45	79,62	-0,13	79,98	0,23	80,21	0,46
		A*	-5,45	-5,39	0,06	-5,33	0,12	-5,32	0,13	-5,3	0,15	-5,21	0,24	-5,1	0,35
		B*	-2,58	-2,66	-0,08	-2,19	0,39	-2,19	0,39	-2,37	0,21	-2,19	0,39	-2,28	0,3
				ΔE	0,4	ΔE	0,4	ΔE	0,6	ΔE	0,3	ΔE	0,5	ΔE	0,7

NO 1. RAKAM ANAHTARLARI

4	Isıl işlem uygulanmamış sapelli
5	190' C ısıtım uygulanmış sapelli
6	212' C ısıtım uygulanmış sapelli
7	Isıl işlem uygulanmamış akçağaç
8	190' C ısıtım uygulanmış akçağaç
9	212' C ısıtım uygulanmış akçağaç

NO 2. RAKAM ANAHTARLARI

1-10 Arası	Kontrol
11-20 Arası	Sadece vernik veya boya
21-30 Arası	nTiO2
31-40 Arası	nZno
41-50 Arası	nKil
51-60 Arası	nKil+nTiO2
61-70 Arası	nKil+nZnO

V: Örneğin vernikli kısmını temsil eder.

B: Örneğin boyalı kısmını temsil eder.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Melih Tolga DİLMAÇ
 Doğum Yeri Çanakkale
 Doğum Tarihi 10.03.1990
 Uyruğu ☒ T.C. ☐ Diğer:
 Telefon 05377839580
 E-Posta Adresi melihtolgadilmac@gmail.com
 Web Adresi



Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
 Fakülte Orman Fakültesi
 Bölümü Orman Endüstri Mühendisliği
 Mezuniyet Yılı 15.07.2013

Yüksek Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
 Enstitü Adı Fen Bilimleri Enstitüsü
 Anabilim Dalı Orman Endüstri Mühendisliği
 Programı Orman Endüstri Mühendisliği