

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEŞİTLİ ODUN TÜRLERİNİN DIŞ ORTAM KOŞULLARINDA ULTRAVİYOLE
IŞINLARINA KARŞI DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şebnem Sevil ARPACI

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK 2020

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEŞİTLİ ODUN TÜRLERİNİN DIŞ ORTAM KOŞULLARINDA
ULTRAVİYOLE IŞINLARINA KARŞI DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şebnem Sevil ARPACI

(171080701)

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Eylem DİZMAN TOMAK

OCAK 2020

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171080701 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Şebnem Sevil ARPACI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ÇEŞİTLİ ODUN TÜRLERİNİN DIŞ ORTAM KOŞULLARINDA ULTRAVİYOLE IŞINLARINA KARŞI DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Eylem DİZMAN TOMAK
Bursa Teknik Üniversitesi



Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ramazan KURT
Bursa Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Mesut YALÇIN
Düzce Üniversitesi



Savunma Tarihi : 03/01/2020

FBE Müdürü : Doç. Dr. Murat ERTAŞ
Bursa Teknik Üniversitesi





Eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

“Çeşitli Odun Türlerinin Dış Ortam Koşullarında Ultraviyole Işınlara Karşı Dayanımlarının Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışması boyunca güler yüzünü, sabrını ve her konuda destek ve yardımlarını esirgmeden yanımda olduğu için Sayın Hocam Doç. Dr. Eylem DİZMAN TOMAK’a sonsuz minnet duygularımı sunar, çok çok teşekkür ederim.

Çalışmada destekleyici fikirlerini ve bilgi birikimini benimle paylaşan değerli hocam Doç. Dr. Mahmut Ali ERMEYDAN ve Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YILDIRIM’a, laboratuvar deneylerinde yardımcı olan değerli arkadaşım Merve CAMBAZOĞLU’na, örnek temini için SÜLEKLER A.Ş firmasına çok teşekkür ederim.

Bu çalışma, 1180759 kodlu ve “Çeşitli Odun Türlerinin Dış Ortam Koşullarında Ultraviyole Işınlara Karşı Dayanımlarının Belirlenmesi” başlıklı TÜBİTAK projesi ile desteklenmiştir.

Tez deney aşaması ve yazım süresince her zaman yanımda olan eşim ve aileme teşekkür ederim.

Ocak 2020

Şebnem Sevil ARPACI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xviii
SUMMARY	xix
1.GİRİŞ	1
1.1 Ahşabın Kimyasal Yapısı	2
1.1.1 Selüloz	3
1.1.2 Hemiselüloz.....	4
1.1.3 Lignin	4
1.2 Çalışmada Kullanılan Ağaç Türlerinin Genel Özellikleri	5
1.2.1 Dişbudak (<i>Fraxinus excelsior</i>)	5
1.2.2 Akçaağaç (<i>Acer pseudoplatanus</i>).....	5
1.2.3 Kiraz (<i>Prunus avium</i>)	5
1.2.4 Adi Ceviz (<i>Juglans regia</i>)	6
1.2.5 Meşe (<i>Quercus robur</i>).....	6
1.2.6 Tik (<i>Tectona grandis</i>).....	7
1.2.7 Okaliptüs (<i>Eucalyptus camalduensis</i>)	7
1.2.8 Mazel (<i>Populus nigra</i>)	8
1.2.9 Beli (<i>Julbernardia pellegriniana</i>)	8
1.2.10 Limba (<i>Terminalia superba</i>)	8
1.2.11 Anigre (<i>Pouteria</i> spp.).....	9
1.2.12 Tulipe (<i>Liriodendron tulipifera</i>).....	9
1.2.13 Sapelli (<i>Entandrophragma cylindricum</i>)	9
1.2.14 Amerikan cevizi (<i>Juglans nigra</i>).....	10
1.2.15 Çam (<i>Pinus</i> spp)	10
1.2.16 Kayın (<i>Fagus</i> spp).....	10
1.3 Açık Hava Koşullarında Ahşap Malzemeyi Bozunduran Etmenler	11
1.3.1 Biyotik etmenler	11
1.3.2 Abiyotik etmenler.....	12
1.4 Ahşap Malzemenin Fotodegradasyonu	12
1.4.1 Açık hava etkisinde ahşap malzemede meydana gelen değişimler	12
1.4.1.1 Kimyasal değişimler	12
1.4.1.2 Fiziksel değişimler.....	13
1.4.1.3 Mikroskobik değişimler.....	14
1.5 Ahşap Malzemeye Uygulanan Yaşlandırma Testleri	14
1.5.1 Hızlandırılmış laboratuvar yaşlandırma testleri	14
1.5.2 Doğal yaşlandırma testleri.....	15

1.6 Hızlandırılmış ve Doğal Yaşlandırma Testlerinin Modellenmesi.....	16
2. LİTERATÜR ÖZETİ	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1 Ağaç Malzeme.....	23
3.2 Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi.....	23
3.3 Doğal Dış Ortam Testi.....	24
3.4 Renk Ölçümü.....	26
3.5 Parlaklık Ölçümü.....	27
3.6 Yüzey Pürüzlülük Ölçümü	27
3.7 Makroskopik Değişimlerin Belirlenmesi	27
3.8 FTIR Analizleri	28
3.9 İstatistiksel Analizler ve Regresyon Modellemesi	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	29
4.1 Renk Değişimi ve FTIR Analizine ait Bulgular	29
4.1.1 Dişbudak örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları.....	29
4.1.2 Okaliptüs örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	33
4.1.3 Akçaağaç örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	37
4.1.4 Kiraz örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	40
4.1.5 Adi ceviz örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	44
4.1.6 Meşe örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	48
4.1.7 Çam örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	51
4.1.8 Limba örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	55
4.1.9 Amerikan cevizi örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	59
4.1.10 Tik örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	63
4.1.11 Beli örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	66
4.1.12 Mazel örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları.....	70
4.1.13 Tulipe örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	74
4.1.14 Anigre örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları.....	77
4.1.15 Sapelli örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları.....	81
4.1.16 Kayın örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları	84
4.2 Hızlandırılmış ve Doğal Yaşlandırmaya Maruz Bırakılan Örneklerin Parlaklık Değerlerine ait Bulgular.....	88
4.3 Hızlandırılmış ve Doğal Yaşlandırmaya Maruz Bırakılan Örneklerin Pürüzlülük Değerlerine ait Bulgular	97
4.4 Hızlandırılmış ve Doğal Yaşlandırmaya Maruz Bırakılan Örneklerin Kıyaslanması	104
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	114
KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ.....	121

KISALTMALAR

ATR	: Attenuated total reflectance
b₀	: X=0 olduğunda Y'nin aldığı değer
b₁	: Regresyon katsayısı
FT-IR	: Fourier dđnüşümü kızıl ötesi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
UV	: Ultraviyole
UVA	: Ultraviyole A
UVB	: Ultraviyole B
X	: Bağımsız (sebepe) değerşken
Y	: Bağımlı (sonuç) değerşken

SEMBOLLER

Δa^*	: Kırmızı-yeşik renk değerindeki değişim
Δb^*	: Sarı-mavi renk değerindeki değişim
ΔL^*	: Açıklık-koyuluk renk değerindeki değişim
ΔE^*	: Toplam renk değişimi
$^{\circ}C$: Santigrat derece
a^*	: Kırmızı-yeşil renk değeri
b^*	: Sarı-mavi renk değeri
cm^3	: Santimetreküp
g	: Gram
L^*	: Açıklık-koyuluk renk değeri
m	: Metre

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Yaşlandırma parametreleri.	15
Çizelge 3.1: Bursa ili Yıldırım ilçesi için ay bazında iklimsel parametreler.	25
Çizelge 3.2: Ölçümlerin yapıldığı güne ait iklimsel parametreler.	26
Çizelge 4.1: Odun için 1800-800 cm ⁻¹ bölgesinde FTIR spektrumunda en önemli band aralıkları (Cogulet ve diğ., 2016).	32
Çizelge 4.2: ΔL ve ΔE değerlerinin doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma bakımından bağımsız iki örnek t-testi sonuçları.	104
Çizelge 4.3: Pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma bakımından bağımsız iki örnek t-testi sonuçları.	105
Çizelge 4.4: ΔL değerlerinin basit varyans analizi ve duncan homojenlik grupları.	107
Çizelge 4.5: ΔE değerlerinin basit varyans analizi ve duncan homojenlik grupları.	107
Çizelge 4.6: Pürüzlülük değerlerinin basit varyans analizi ve duncan homojenlik grupları.	108
Çizelge 4.7: Parlaklık değerlerinin basit varyans analizi ve duncan homojenlik grupları.	109

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Ahşap malzemenin kimyasal bileşenleri.....	3
Şekil 1.2: Selüloz yapısı (Perez ve Samain, 2010).	3
Şekil 1.3: Hemiselüloz yapısı.	4
Şekil 1.4: Lignin yapısı (Sharma ve diğ., 2004).	4
Şekil 1.5: Doğal dış ortam test armatürü veya rafı sırasıyla a: 45°, b: 90° ve c: 180° açılı.....	16
Şekil 3.1: Hızlandırılmış yaşlandırma testi cihazı.	24
Şekil 3.2: Doğal dış ortam test düzeneği.	25
Şekil 4.1: Dişbudak hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	30
Şekil 4.2: Dişbudak doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	30
Şekil 4.3: Dişbudak hızlandırılmış yaşlandırma FTIR sonuçları (a: kontrol, b:12. saat, c:60. saat, d:168. saat, e:1512. saat).	31
Şekil 4.4: Dişbudak doğal yaşlandırma FTIR sonuçları (a: kontrol, b: 7. gün, c:42. gün, d:78. gün, e:153. gün, f:333. gün, g: 393. gün).	31
Şekil 4.5: Dişbudak test örnekleri hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:12. saat, c:60. saat, d:84. saat, e:168. saat, f:1512. saat).....	32
Şekil 4.6: Dişbudak test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b: 7. gün, c:42. gün, d:78. gün, e:93. gün, f:153. gün, g: 333. gün, h: 393. gün).	33
Şekil 4.7: Okaliptüs hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	34
Şekil 4.8: Okaliptüs doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	35
Şekil 4.9: Okaliptüs hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları. (a: kontrol, b:4. saat, c:12. saat, d:60. saat, e:168. saat, f:1512. saat).	35
Şekil 4.10: Okaliptüs doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları. (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:108. gün, e:153. gün, f: 393. gün).	35
Şekil 4.11: Okaliptüs test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:4. saat, c:12. saat, d:60. saat, e:168. saat, f:1512. saat).....	36
Şekil 4.12: Okaliptüs test örnekleri doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:108. gün, e:153. gün, f: 393. gün).	36
Şekil 4.13: Akçaağaç hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	38
Şekil 4.14: Akçaağaç doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	38

Şekil 4.15: Akçaağaç hızlandırılmış FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b:12. saat, c:48. saat, d:108. saat, e:168. saat, f:1512. saat).....	39
Şekil 4.16: Akçaağaç doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:78. gün, d:108. gün, e:228. gün, f:333. gün, g:393. gün).....	39
Şekil 4.17: Akçaağaç test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:12. saat, c:48. saat, d:108. saat, e:168. saat, f:1512. saat).	40
Şekil 4.18: Akçaağaç test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:78. gün, d:108. gün, e:228. gün, f:333. gün, g:393. gün).....	40
Şekil 4.19: Kiraz hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	42
Şekil 4.20: Kiraz doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.....	42
Şekil 4.21: Kiraz hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b:12. saat, c:24. saat, d:156. saat, e:504. saat, f:1512. saat).....	43
Şekil 4.22: Kiraz doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:123. gün, e:198. gün, f:333. gün, g:393. gün).....	43
Şekil 4.23: Kiraz test örnekleri hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:12. saat, c:48. saat, d:108. saat, e:168. saat, f:1512. saat).	44
Şekil 4.24: Kiraz test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:123. gün, e:198. gün, f:333. gün, g:393. gün).....	44
Şekil 4.25: Adi ceviz hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	46
Şekil 4.26: Adi ceviz doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	46
Şekil 4.27: Adi ceviz hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b: 12. saat, c:48. saat, d:132. saat, e:168. saat, f:756. saat, g:1512. saat).	46
Şekil 4.28: Adi ceviz doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b: 7. gün, c:63. gün, d:108. gün, e:183. gün, f:333. gün, g:393. gün).....	47
Şekil 4.29: Adi ceviz test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b: 12. saat, c:48. saat, d:132. saat, e:168. saat, f:756. saat, g:1512. saat).....	47
Şekil 4.30: Adi ceviz test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b: 7. gün, c:63. gün, d:108. gün, e:183. gün, f:333. gün, g:393. gün).....	48
Şekil 4.31: Meşe hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	49
Şekil 4.32: Meşe doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.....	50
Şekil 4.33: Meşe hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:6. saat, c:72. saat, d:168. saat, e:252. saat, f:420. saat, g:1512. saat).	50
Şekil 4.34: Meşe doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:123. gün, e:228. gün, f:348. gün, g:393. gün).....	50
Şekil 4.35: Meşe test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:72. saat, d:168. saat, e:420. saat, f: 1512. saat).....	51

Şekil 4.36: Meşe test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:93. gün, e:123. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).....	51
Şekil 4.37: Çam hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	53
Şekil 4.38: Çam doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	53
Şekil 4.39: Çam hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:4. saat, c:20. saat, d:60. saat, e:168. saat, f:1512. saat).....	53
Şekil 4.40: Çam doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:42. gün, d:108. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:333. gün, h:393. gün).....	54
Şekil 4.41: Çam test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:4. saat, c:20. saat, d:60. saat, e:168. saat, f:672. saat, g:1176. saat, h:252. saat, ı:1512. saat).	54
Şekil 4.42: Çam test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:42. gün, d:108. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:333. gün, h:393. gün).....	55
Şekil 4.43: Limba hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	57
Şekil 4.44: Limba doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	57
Şekil 4.45: Limba hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:4. saat, c:12. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:1512. saat).	57
Şekil 4.46: Limba doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:78. gün, d:108. gün, e:228. gün, f:348. gün, g:393. gün).....	58
Şekil 4.47: Limba test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:4. saat, c:12. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:672. saat, g:1092. saat, h:1512. saat).....	58
Şekil 4.48: Limba test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:78. gün, d:93. gün, e:123. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).....	59
Şekil 4.49: Amerikan cevizi hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	60
Şekil 4.50: Amerikan cevizi doğal yaşlandırma örneklerinin renk değişim değerleri.	61
Şekil 4.51: Amerikan cevizi hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b: 12. saat, c:60. saat, d:132. saat, e:168. saat, f:336. saat, g:1512. saat).....	61
Şekil 4.52: Amerikan cevizi doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:35. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:333. gün, h:393. gün).	62
Şekil 4.53: Amerikan cevizi test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:12. saat, d:48. saat, e:60. saat, f:132. saat, g:336. saat, h:1512. saat).....	62
Şekil 4.54: Amerikan cevizi test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:35. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:333. gün, h:393. gün).....	62
Şekil 4.55: Tik hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	64
Şekil 4.56: Tik doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	64
Şekil 4.57: Tik hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:4. saat, c:16. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:588. saat, g: 1512. saat).	64

Şekil 4.58: Tik doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:42. gün, d:198. gün, e:213. gün, f:348. gün, g:393. gün).....	65
Şekil 4.59: Tik test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:16. saat, d:48. saat, e:60. saat, f:132. saat, g:336. saat, h:1512. saat).....	65
Şekil 4.60: Tik test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:35. gün, d:42. gün, e:78. gün, f:93. gün, g:198. gün, h:213. gün, i:348. gün, j:393. gün).....	66
Şekil 4.61: Beli hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	68
Şekil 4.62: Beli doğalyaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	68
Şekil 4.63: Beli hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:12. saat, c:48. saat, d:168. saat, e: 336. saat, f:1512. saat).....	68
Şekil 4.64: Beli doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b:5. gün, c:42. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).....	69
Şekil 4.65: Beli test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:12. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:336. saat, g:588. saat, h:1512. saat).....	69
Şekil 4.66: Beli test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:5. gün, c:42. gün, d:93. gün, e:123. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).....	70
Şekil 4.67: Mazel hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	72
Şekil 4.68: Mazel doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	72
Şekil 4.69: Mazel hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:20. saat, c:48. saat, d:144. saat, e:1008. saat, f:1512. saat).....	72
Şekil 4.70: Mazel doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).....	73
Şekil 4.71: Mazel test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:20. saat, c:48. saat, d:144. saat, e:1008. saat, f:1512. saat).	73
Şekil 4.72: Mazel test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).....	74
Şekil 4.73: Tulipe hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	75
Şekil 4.74: Tulipe doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.....	75
Şekil 4.75: Tulipe hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:6. saat, c:12. saat, d:24. saat, e:48. saat, f:336. saat, g:1512. saat).	76
Şekil 4.76: Tulipe doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:3. gün, c:7. gün, d:63. gün, e:228. gün, f:348. gün, g:393. gün).....	76
Şekil 4.77: Tulipe test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a:kontrol, b:6. saat, c:12. saat, d:24. saat, e:48. saat, f:168.saat, g:336. saat, h:1215. saat).....	77
Şekil 4.78: Tulipe test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:3. gün, c:7. gün, d:63. gün, e:93. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).	77
Şekil 4.79: Anigre hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	79

Şekil 4.80: Anigre doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	79
Şekil 4.81: Anigre hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:16. saat, c:60. saat, d:168. saat, e: 924. saat, f:1512. saat).	79
Şekil 4.82: Anigre doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:42. gün, d:63. gün, e:93. gün, f:153. gün, g:333. gün, h:393. gün).	80
Şekil 4.83: Anigre test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:16. saat, c:60. saat, d:168. saat, e:840. saat, f:1512. saat).	80
Şekil 4.84: Anigre test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b: 7. gün, c: 42. gün, d: 63. gün, e: 93. gün, f: 153. gün, g: 348. gün, h: 393. gün).	80
Şekil 4.85: Sapelli hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	82
Şekil 4.86: Sapelli doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	82
Şekil 4.87: Sapelli hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:6. saat, c:20. saat, d:108. saat, e:168. saat, f:1512. saat).	83
Şekil 4.88: Sapelli doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:5. gün, c:78. gün, d:108. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:313. gün, h:393. gün).	83
Şekil 4.89: Sapelli test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:20. saat, d:84. saat, e:108. saat, f:672. saat, g: 1512. saat).	84
Şekil 4.90: Sapelli test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:5. gün, c:28. gün, d:78. gün, e:108. gün, f:183. gün, g:348. gün, h:393. gün).	84
Şekil 4.91: Kayın hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	86
Şekil 4.92: Kayın doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.	86
Şekil 4.93: Kayın hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b: 4. saat, c: 24. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:588. saat, g:1512. saat).	86
Şekil 4.94: Kayın doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:3. gün, c:28. gün, d:63. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:393. gün).	87
Şekil 4.95: Kayın test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:4. saat, c:24. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:588. saat, g: 1512. saat).	87
Şekil 4.96: Kayın test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:3. gün, c:28. gün, d:63. gün, e:123. gün, f:153. gün, g:228. gün, h:393. gün).	88
Şekil 4.97: Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin parlaklık değerleri.	88
Şekil 4.98: Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin parlaklık değerleri.	89
Şekil 4.99: Doğal yaşlandırma test örneklerinin parlaklık değerleri.	92
Şekil 4.100: Doğal yaşlandırma test örneklerinin parlaklık değerleri.	93
Şekil 4.101: Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri.	97
Şekil 4.102: Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri.	99
Şekil 4.103: Doğal yaşlandırma test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri.	100
Şekil 4.104: Doğal yaşlandırma test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri.	102
Şekil 4.105: Ağaç türlerinin ΔE değerlerinin basit regresyon modellemesi.	112
Şekil 4.106: Ağaç türlerinin ΔE değerlerinin basit regresyon modellemesi.	113

ÇEŞİTLİ ODUN TÜRLERİNİN DIŞ ORTAM KOŞULLARINDA ULTRAVİYOLE IŞINLARINA KARŞI DAYANIMLARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, endüstriyel öneme sahip 16 farklı odun türü örneğinin dış ortamda UV ışınları başta olmak üzere bozunduruç faktörlerin etkilerine karşı doğal dayanıklılığının yapay ve gerçek alan denemeleri ile belirlenmesidir. Ayrıca yapay yaşlandırma deneyleri ile gerçek alan denemeleri arasında modelleme oluşturularak, hızlandırılmış yaşlandırma test cihazında bekletilme süresinin doğal koşullarda kaç ay/yıla eş değer olduğu belirlenmiştir. Bu amaçla, adi ceviz, dişbudak, kiraz, meşe, akçaağaç, tik, mazel, beli, limba, anigre, tulipe, sapelli, amerikan cevizi ve okalıptus, kayın ve çam örnekleri laboratuvar koşullarında 340 nm dalga boyuna sahip UVA lambaların etkisine 1512 saat yaşlandırma testine maruz kalmaktadır. Örnekler aynı zamanda 1 yıl boyunca toprakla teması olmadan Bursa dış ortam koşullarının etkisine maruz bırakılmıştır.

Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin 1512 saat sonrasında ΔL^* değerleri incelendiğinde, tik ve amerikan cevizi örnekleri dışında diğer tüm test örneklerinde negatif yönde değer göstermiştir. Tüm test örneklerinde renk değişimi ilk saatlerde etkili bir şekilde görülmektedir. En fazla koyulaşma tulipe örneğinde ölçülmüş aynı zamanda en fazla toplam renk değişimi yine tulipe test örneğinde belirlenmiştir. 1512 saat sonunda en az toplam renk değişimi beli test örneklerinde ölçülmüştür. Doğal yaşlandırma test örneklerinde ise en fazla koyulaşma çam test örneğinde, en fazla toplam renk değişimi yine çam test örneğinde tespit edilmiştir. 393. gün sonunda en az renk değişimi amerikan cevizi test örneğinde ölçülmüştür. Genel olarak iki yaşlandırma metoduna ait test örneklerinin parlaklık değerlerinde azalma, yüzey pürüzlülüğü değerlerinde ise test süresi boyunca artış meydana gelmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanan test örneklerinin FT-IR analiz sonuçları incelendiğinde, ilk saatlerde bozunmanın hızlı bir şekilde yaşandığı ve genel olarak 168. saatten sonra ligninin tamamen yok olduğu görülmektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinin FTIR sonuçlarına göre ise 153. günden sonra lignin piki kaybolmaktadır. Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal yaşlandırma testinde toplam renk değişimi değerlerinin regresyon modellerinde dişbudak, kayın, akçaağaç, kiraz, meşe, çam, mazel, amerikan cevizi, tulipe ve anigre için denklemlerin açıklayıcılıkları yüksektir. Okalıptus, adi ceviz, limba, tik ve beli için denklemin açıklayıcılığı orta düzeyde elde edilmiştir. Sapelli için denklemin açıklayıcılığı düşük bulunmuştur.

AnahtarKelimeler: Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma, renk ve parlaklık değişimi, fotodegradasyon, yüzey pürüzlülüğü, regresyon modelleri

DETERMINATION OF UV RESISTANCE OF DIFFERENT WOOD SPECIES IN OUTDOOR CONDITIONS

SUMMARY

The aim of this study is to determine the natural resistance of 16 different wood species that has industrial importance against the effects of degrading factors, especially UV rays, by using artificial and real field experiments. In addition, modeling was created between artificial aging tests and real field trials to determine the how many hours of artificial aging test was equal to how many months / years in natural conditions. For this purpose, walnut, ash, cherry, oak, maple, teak, mazel, beli, limba, anigre, tulipe, sapele, american walnut, eucalyptus, beech and pine samples were exposed to 340 nm UVA lamps in the laboratory for 1512 hours. Samples were also exposed to the degradation agents of Bursa outdoor conditions for 1 year.

The results of artificial aging test showed that all samples had negative ΔL^* values except for teak and american walnut samples. First hours of aging test was effective on color change of samples. The maximum darkening and total color change was measured on the tulipe samples whilst the minimum color change was observed on beli samples during the 1512 hours. In the natural aging test, pine samples had the highest darkening and color change values whilst the least change was obtained within american walnut samples. In general, two aging test caused a loss in glossiness and an increase in surface roughness of samples along with the test period. FTIR analysis clearly showed that the degradation on the wood components was occurred in the first hours, and lignin completely disappeared after 168 hours and 153 days for artificial aging and natural aging test, respectively. Regression models of two aging tests showed that ash, beech, maple, cherry, oak, pine, mazel, american walnut, tulipe and anigre samples had high R^2 values. Eucalyptus, walnut, limba, teak and beli samples had moderate R^2 values whilst sapele had the low R^2 values.

Key Words: Accelerated and natural aging, color and glossiness change, photodegradation, surface roughness, regression models

1. GİRİŞ

Ahşap malzeme için dış ortam şartları diğer bir ifade ile “weathering” önemli bir risk faktörü olarak görülmektedir. Weathering; güneş ışığı (UV), nem (yağmur, kar, çiy), mekanik güçler (rüzgar, kum, kir) ve sıcaklık etkisi ile yüzeyde meydana gelen renk değişimi, yüzey pürüzlüğü ve çatlamlar olarak tanımlanmaktadır. Bu etkiler sonucunda ağaç malzemenin renginde, kimyasal ve fiziksel yapısında bazı değişimler meydana gelmektedir (Feist ve Hon, 1984; Williams, 2005; Kılıç ve Hafizoğlu, 2007).

Ahşap malzemenin dış ortamda kullanımı sonucu renk değiştirmesi yapısında bulunan kimyasal maddelerin oksidasyonu sonucu meydana gelmektedir. Absorbe edilen ışık yani enerji, moleküller arasına yerleşerek depolimerizasyon, dehidrojenasyon ve dehidrometilasyon gibi ayrılma reaksiyonları oluşturarak (Fengel ve Wegener, 1984) karboniller, karboksiller, peroksitler, hidroperoksitler ve konjuge çift bağlar gibi kromoforik gruplar meydana gelmektedir (Hon ve Shiraishi, 2001).

Renk ve kimyasal değişimlerin yanı sıra ahşap malzemede fiziksel değişimler de meydana gelmektedir. Yüzeyde meydana gelen bozunma hücre çeperi bağlarını zayıflatmakta, hücreler arası ve hücreler içi makroskopik-mikroskobik gerilmelere ve çatlaklara yol açmaktadır. Yağmurun etkisi ile de çatlaklar daha ileri düzeyde erozyonlara neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmaya göre iğne yapraklı ağaçlarda dış ortam erozyon miktarı ortalama 1 yüzyıl için 6,4 mm olduğu belirtilmiştir (Feist ve Hon, 1983). Ahşap malzemede fiziksel değişimlerin yanısıra mikroskobik değişimlerde görülmektedir. Yapılan çalışmaya göre sarıçam örneği 100 gün boyunca su ve ışık altında bekletilmiş, SEM görüntüsü sonucunda geçitlerin kollapsa uğradığı gözlenmiştir (Owen ve diğ., 1993). Oluşan bu bozunmalar çoğunlukla yüzeylerde 0,05-2,5 mm’de gerçekleşmektedir (Feist, 1983).

Yapılan bu çalışmada amaç, Türkiye’de endüstriyel olarak çeşitli kullanım yerlerinde tercih edilen 16 farklı odun türünün dış ortam koşullarında (toprak üstü kullanım

yerleri) maruz kalabileceği UV ışığına karşı dayanıklılığının hızlandırılmış yaşlandırma testi ve doğal koşullara maruz bırakılmasıyla belirlenmesi ve bu tür ahşap ürünlere ekonomik değer kazandırabilecek teknolojik bilgiler elde edilmesidir. Bu amaçla, hızlandırılmış yaşlandırma test cihazında 1512 saat değişik rutubet-sıcaklık döngülerinde UVA-340nm lambalarına ve 1 yıl doğal dış ortam koşullarına maruz bırakılmış örneklerin renk, parlaklık, yüzey pürüzlülük ölçümleri, yüzey kimyası (ATR-FTIR) ve makroskopik açıdan değerlendirilmesi periyodik olarak gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında gerçekleştirilen yaşlandırma test sonuçları ile doğal ortam koşulları simüle edilerek bir modelleme ve tahmini hesaplamaların yapılması böylece çalışmada hızlandırılmış yaşlandırma test cihazında bekletilme süresinin doğal koşullarda ne kadar süreye eş değer olduğunun belirlenmesi hedeflenmiştir.

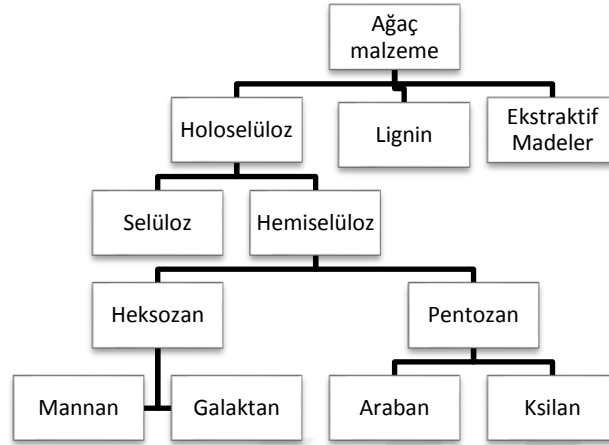
Çalışmanın diğer başlıca hedefleri aşağıda özetlenmiştir:

- 1 Örneklerin dış ortam koşullarına karşı dayanımını hızlandırılmış yaşlandırma testi ve doğal dış ortam koşullarına maruz bırakma ile belirlemek, farklı yaşlandırma yöntemini yüzeylerde oluşan degradasyon açısından kıyaslamak,
- 2 16 farklı tür (adi ceviz, dişbudak, kiraz, sarıçam, meşe, akçaağaç, kayın, tik, mazel, beli, limba, anigre, tulipe, sapelli, amerikan cevizi ve okaliptüs) içinde en yüksek dayanıma sahip odun türünü tespit etmek,
- 3 Ekstraktifçe zengin ağaç türlerinin UV dayanımına etkisini araştırmak,
- 4 Yerli ve ithal ağaç türlerini araştırılan parametreler açısından kıyaslamak,
- 5 Farklı odun türlerinin dış ortam koşullarına karşı dayanımlarına ilişkin elde edilecek veri tabanı ile literatürdeki boşlukların doldurulmasını sağlamak ve yapılması muhtemel diğer bilimsel çalışmalara katkı sağlamaktır.

1.1 Ahşabın Kimyasal Yapısı

Ahşap malzemenin kimyasal yapısını oluşturan üç temel bileşeni selüloz, hemiselüloz ve lignindir (Şekil 1.1). Bu biyopolimerlerin kütlece bulunma oranları sırasıyla % 40 - 60, % 20 - 40 ve % 10-25'tir (Yang ve diğ., 2007). Ahşap malzemenin %90 dan fazlasını meydana getiren bu bileşiklere ilave olarak bir çok organik ve inorganik olarak iki çeşit ekstraktif madde bulunmaktadır. Organik esaslı ekstraktif maddeler; tanenler, uçucu yağlar, reçineler, sakız, lateks, alkoloitler ve

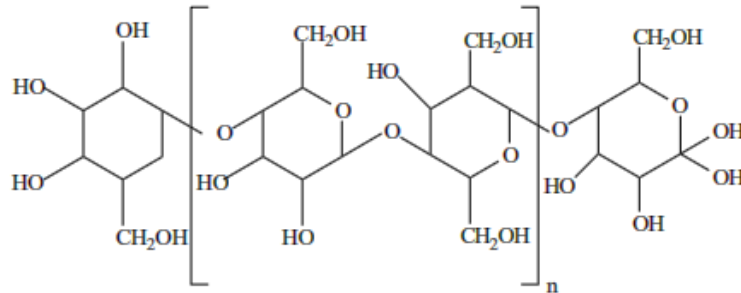
nişasta, inorganik esaslı ekstraktif maddeler ise; silis ve kalsiyum tuzları (kalsiyum karbonat, kalsiyum fosfat ve kalsiyum oksalat) olarak belirtilmiştir (Bozkurt ve diğ., 1997).



Şekil 1.1 : Ahşap malzemenin kimyasal bileşenleri.

1.1.1 Selüloz

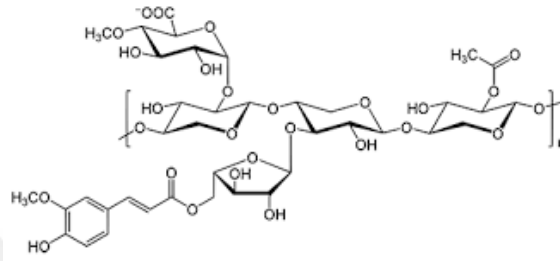
Selüloz, ahşap malzemenin temel yapısal polimeri olarak adlandırılmaktadır. Genellikle mikrofibril adı verilen iplikçikler şeklinde diziliş göstermektedir. Lineer bir polisakkarittir ve anhidro-D-glukoz monomerlerinin β -(1-4) biraraya gelerek bağlanmaları ile meydana gelirler (Şekil 1.2). Bağların bu şekilde oluşumu, mikrofibrillerin güçlü hidrojen bağları oluşturmasını sağlamaktadır. Mikrofibriller genellikle hemiselüloz ve ligninin bulunduğu matriks yapı içerisinde yer almaktadır. Selüloz mikrofibrillerin miktarı fazlalaştıkça, kristalin yapı oluşmaktadır. Ahşap malzemede bulunan selüloz yapısında yaklaşık olarak % 65 oranında kristalin bölge bulunmaktadır. Ahşap malzeme kimyasal yapısı içindeki selüloz miktarı % 40 ile 50 arasında değişmektedir (Fengel ve Wegener, 1984).



Şekil 1.2: Selüloz yapısı (Perez ve Samain, 2010).

1.1.2 Hemiselüloz

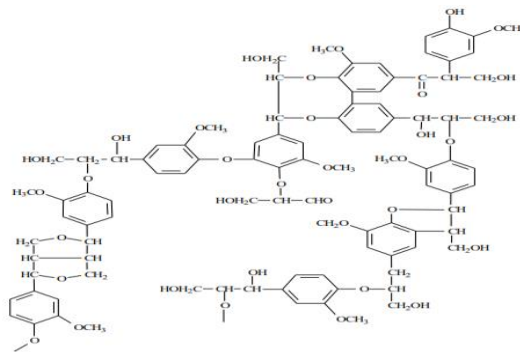
Hemiselüloz, selülozun aksine dallanmış yapıda polisakkarittir (Şekil 1.3). Yapısında D-glukoz, D-ksiloz, D-galaktoz, D-mannoz, L-arabinoz gibi değişik şeker monomerleri ve üronik asit bulunmaktadır. Hemiselülozların ayrıca selüloz ve lignin arasındaki bağlantılar olduğu bilinmektedir (Fenger ve Wegener, 1984). Bu şekilde hemiselüloz, güçlü bir etkileşimle her bir selüloz mikrofibrilinin yüzeyine bağlanmaktadır (McKendry, 2002).



Şekil 1.3: Hemiselüloz yapısı (Sharma ve diğ., 2004).

1.1.3 Lignin

Lignin, altı karbonlu halkalara üç karbonlu zincirlerin bağlanmasıyla oluşan fenilpropan molekülleridir (Şekil 1.4). Bu altılı halkaya bir tane metoksil grubu bağlanmasıyla oluşan yapı kozalaklı ağaç gövdelerinde, iki tane metoksil grubu bağlanmasıyla oluşan yapı yaprak döken ağaçların gövdelerinde, hiç metoksil bağlanmamış yapı ise yeşil bitkilerde görülmektedir (McKendry, 2002). Lignin ahşap malzemede elastikliği ve mekanik dayanıklılığı sağlayan bağlayıcı bileşendir. Fenolik bir makromoleküldür ve fenilpropan birimleri arasında çok yüksek derecede çapraz bağlanmalara sahiptir (Fenger ve Wegener, 1984).



Şekil 1.4: Lignin yapısı (Sharma ve diğ., 2004).

1.2 Çalışmada Kullanılan Ağaç Türlerinin Genel Özellikleri

1.2.1 Dişbudak (*Fraxinus excelsior*)

Ayırpa, Türkiye ve Kuzey Afrika'da yayılış göstermektedir. Ağaç boyu 20-40m uzanmaktadır. Diri odun sarımsı beyaz renkte, öz odun açık kahverengi ile sarımsı kahverengidir. Lifler genellikle düzgün ve tekstürü kaba olarak tanımlanmaktadır. Tam kuru yoğunluğu 0,65g/cm³'tür. Kimyasal yapısında ortalama %41-47 selüloz, %21-30 lignin, %21-27 hemiselüloz ve %5,4 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Orta yoğunlukta bir ağaç türü olduğundan orta ağırlıkta bir ağaç türüdür. Çürümeye karşı öz odun dayanıklı, diri odun ise az dayanıklıdır. Tomruklara böcek arızı fazla görülmektedir. İşlenme özelliği yıllık halka genişliğine bağlı olarak değişmekte, düzgün yüzeyli malzeme elde edilebilmesi için aletler mutlaka keskin değildir. Konyak, bira ve şarap fiçilerinin yapımında, mobilya ve yat yapımında, limanlarda, toprak temas eden her alanda kullanımı yaygındır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.2 Akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*)

İngiltere, Orta Avrupa, Türkiye ve Batı Kafkasya'da yayılış göstermektedir. Diri odun ve öz odun arasında farklılık yoktur. Radyal kesitte öz ışınları, odundaki renkli maddeler ve lif yönlerinin değişmesi ile hücreler üzerinde ışık yansımaları fazla olduğundan parlak yapıda bir ağaç türüdür. Tam kuru yoğunluğu 0,59 g/cm³'tür. Kimyasal yapısında ortalama %38 selüloz, %25 lignin, %20 hemiselüloz ve %2,5 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Orta yoğunlukta bir ağaç türü olduğundan orta ağırlıkta bir ağaç türüdür. El aletleri ve makineler ile kolay işlenebilir ve düzgün yüzeyler vermektedir. Çok iyi çivi ve vida tutma kabiliyetine sahiptir, yapışma kabiliyeti yüksektir. Çürüklük yapan mantarlara karşı az dayanıklıdır. Diri odun böceklerine karşı hassastır. Kolay emprenye edilmektedir. Kesme ve soyma kaplama levha, mobilya ve parke endüstrisinde, bobin, fırça sapı, ambalaj kapları yapımında tercih edilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.3 Kiraz (*Prunus avium*)

Avrupa, Kafkasya, Türkiye ve Kuzey Afrika'da yayılış göstermektedir. Ağaç boyu 15-20m kadar uzanmaktadır. Diri odun sarımsı ile kırmızımsı beyaz renkte, öz odun

daha koyu renktedir. Düzgün lifli ve tekstürü oldukça incedir. Tam kuru yoğunluğu $0,55\text{g/cm}^3$ 'tür. Kimyasal yapısında ortalama %40 selüloz, %21 lignin, %20 hemiselüloz ve %3,1 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Orta yoğunlukta bir ağaç türü olduğundan orta ağırlıkta bir ağaç türüdür. Diri odun çürüklük mantarlarına ve mobilya böceğine karşı hassas, ev teke böceğine karşı dirençlidir. Mobilya, lambri, dekoratif marangozluk işleri, müzik aletleri, oymacılık, tornacılık, kapılar, kesme kaplama levha kullanım alanlarıdır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.4 Adi Ceviz (*Juglans regia*)

Ayropa, Türkiye ve Güneybatı Asya bölgesinde yayılış göstermektedir. Ağaç boyu 10-12m kadar uzanmaktadır. Diri odun grimsi ile kırmızımsı beyaz renkte, öz odun daha koyu kahverengi renktedir. Kaba tekstürlü ve dalgalı veya düzgün lifli olarak tanımlanmaktadır. Tam kuru yoğunluğu $0,64\text{g/cm}^3$ 'tür. Kimyasal yapısında ortalama %41selüloz, %29 lignin, %13hemiselüloz ve %4,4 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Orta yoğunlukta bir ağaç türü olduğundan orta ağırlıkta bir ağaç türüdür. El aletleri ve makineler ile kolay işlenebilir ve düzgün yüzeyler elde edilmektedir. Çürümeye karşı orta derece dayanıklı, böcek saldırılarına karşı diri odunu hassas, öz odun ise orta derece dayanıklıdır. Masif ve kaplama levha, yüksek kalitede mobilya, tüfek dipçığı, spor aletleri ve müzik aletleri yapımında tercih edilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.5 Meşe (*Quercus robur*)

Avrupa, Türkiye ve Kuzey Afrika'da yayılış göstermektedir. Ağaç boyu 20-40m uzanmaktadır. Diri odun sarımsı beyaz renkte, öz odun açık kahverengi ile sarımsı kahverengidir. Lifler genellikle düzgün ve tekstürü kaba olarak tanımlanmaktadır. Işığı fazla yansıtmaz ve mat görüntüsü vardır. Tam kuru yoğunluğu $0,65\text{g/cm}^3$ 'tür. Kimyasal yapısında ortalama %40-43 selüloz, %25-35 lignin, %19-26 hemiselüloz ve %12,2 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. İşlenme özelliği yıllık halka genişliğine bağlı olarak değişmekte, düzgün yüzeyli malzeme elde edilebilmesi için aletler mutlaka keskin değildir. Çürümeye karşı öz odun dayanıklı, diri odun ise az dayanıklıdır. Tomruklara böcek arızı fazla görülmektedir. Konyak, bira ve şarap

fiçılarının yapımında, mobilya ve yat yapımında, limanlarda, toprak temas eden her alanda kullanımı yaygındır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.6 Tik (*Tectona grandis*)

Hindistan, Burma, Tayland, Kamboçya, Vietnam ve Java'da yayılış göstermektedir. Ağaç boyu 40m'ye kadar uzanmaktadır. Diri odun sarımsı renkte ve belirgin, öz odun sarımsı kahverenginden giderek koyulaşmaktadır. Lifler genellikle düzgün, bazen dalgalı, odunu mat yapıda ve tekstürü kaba olarak tanımlanmaktadır. Tam kuru yoğunluğu $0,63\text{g/cm}^3$ 'tür. Kimyasal yapısında ortalama %43 selüloz, %38 lignin, %19 hemiselüloz ve %6,6-10,7 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Dayanıklı bir ağaç türüdür. Çürüklük ve renk mantarlarına karşı çok dayanıklı, böceklere karşı dayanıklı yapıdadır. İşlenmesi orta derecede güçtür ve son derece makineleri körleştirme etkisi vardır. Yapıştırma işleminde rutubeti %6-10 olmalıdır. Özellikle gemilerde güverte kaplamalarında, mobilya, kapı, pencere doğramaları, parke, bahçe mobilyası, lambri, kimyasal kapların yapımında tercih edilmekte, ayrıca dekoratif eşya yapımında kullanılmaktadır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.7 Okaliptüs (*Eucalyptus camaldensis*)

Türkiye'de yaygın yayılış göstermektedir. Kabuğu pürüzsüz beyaz veya krem rengi sarı, pembe veya kahverengi lekeler ile kaplıdır. Okaliptüs, yaşı ve hava koşullarına bağlı olarak açık pembeden neredeyse siyah olana renk değişikliği göstermektedir. Hızlı yetişen bir ağaç türüdür. Genç yaşlarda çoğunlukla geniş yıllık halkalara ve düşük yoğunluğa sahip olan genç odun, sonrasında ise yıllık halka yapısı daha dar ve yoğunluğu yüksek olgun odun oluşumu başlamaktadır. Tam kuru yoğunluğu $0,66\text{g/cm}^3$ 'tür. Kimyasal yapısında ortalama %58 selüloz, %26 lignin, %7 hemiselüloz ve %3,4 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Diri odun termitlere ve böceklere karşı hassas, öz odun mantarlara karşı orta derecede dayanıklıdır. Öz odun emprenyesi güçtür. Kereste olarak kullanımı sınırlı olup, genel olarak, çit direkleri ve traversler gibi çürümeye karşı dayanıklı uygulamalarda, kontrplak, odun kömürü, kağıt hamuru üretimi, ambalaj üretimi ve son yıllarda olağanüstü koyu kırmızı rengi ile el sanatları mobilyalarında kullanılmaktadır (Bal ve Bektaş, 2013).

1.2.8 Mazel (*Populus nigra*)

Avrupa'ya özgü, güneybatı ve orta Asya ve kuzeybatı Afrika'da bulunan *Populus* cinsinin Aigeiros kesiti türü olan bir kavak türüdür. Tam kuru yoğunluğu $0,41\text{g/cm}^3$ 'tür. Kimyasal yapısında ortalama %31-60 selüloz, %14-26 lignin, %15-23 hemiselüloz ve %3,2 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Hafif ağırlıkta bir ağaç türüdür. Çürümeye karşı çok dayanıksız olup, böcek saldırılarına karşı hassastır. Diri odun kolay, öz odun güç emprenye edilmektedir. Kullanım olarak mücevver kutusu, kaplama, resim çerçeveleri, paneller, kibrit yapımında kullanımı gibi geniş bir alana sahiptir. Kendiliğinden oluşan deseni sayesinde endüstriyel olarak en fazla tercih edilen ahşap malzemedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.9 Beli (*Julbernardia pellegriniana*)

Gabon ve Kamerun'da yayılış göstermektedir. Tam kuru yoğunluğu $0,63\text{g/cm}^3$ 'tür. Kimyasal yapısında ortalama %40-43 selüloz, %25-35 lignin, %19-26 hemiselüloz ve %4,2 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Öz odun kahverengi ile sarımsı beyaz şeritli, geniş diri odun öz odundan daha açık rekli, soluk sarı yapıdadır. Öz odunun şeritli yapısından elde edilen kaplamalar Zebrawood olarak adlandırılmaktadır ve büyük ticari öneme sahiptir. Demir metalleriyle reaksiyona girerek üzerinde leke ve renk değişimi gözlenmektedir. Yapıştırma kabiliyeti yüksektir. Makineler ve el aletleri ile kolay işlenebilmektedir. Genellikle mobilya, aksesuar, döşeme, kaplama olarak tercih edilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1987).

1.2.10 Limba (*Terminalia superba*)

Gine, Fildişi Sahili, Gana, Nijerya, Kamerun, Kongo, Zaire ve Angola'da yayılış göstermektedir. Ağaç boyu 35-40m uzanmaktadır. Diri odun ve öz odun aynı renkte, öz odunda oluşan koyu renkli şeritler nedeniyle dekoratif yapıdadır. Lifler genellikle düzgün ve grift, parlak ve tekstürü orta kaba olarak tanımlanmaktadır. Tam kuru yoğunluğu $0,54\text{g/cm}^3$ 'tür. Kimyasal yapısında ortalama %45 selüloz, %31 lignin, %16 hemiselüloz ve %5,2-7,4 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Öz odun çürümeye karşı dayanıksız, termit ve böceklere karşı hassastır. El aletleri ve makinelerle işlenmesi kolaydır. Çivileme ve vidalama için ön delme işlemi gereklidir. Yapıştırma kabiliyeti yüksektir. Özellikle dekoratif kaplama levha, müzik aletleri,

kontrplak, mobilya oymacılık ve markiteri üretiminde tercih edilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.11 Anigre (*Aningeria robusta*)

Gine, Sierra Leone, Fildişi Sahili, Gana, Nijerya, Kamerun, Kongo, Zaire ve Uganda'da yayılış göstermektedir. Ağaç boyu 30-40m uzanmaktadır. Diri odun dar sarımsı beyaz renkte, öz odun kırmızımsı gri ile açık sarımsı kahverengindedir. Lifler genellikle düzgündür. Bazen dalgalı, parlak ve tekstürü ince olarak tanımlanmaktadır. Tam kuru yoğunluğu 0,52g/cm³'tür. Kimyasal yapısında ortalama %46 selüloz, %33 lignin, %17 hemiselüloz ve %2,3 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Diri odun mantarlara karşı az dayanıklı, böceklere karşı dayanıksızdır. Öz odun mantar, böcek ve açık hava şartlarına karşı oldukça dayanıklıdır. Kuru halde işlenmesi güçtür. Yapısında bulunan silis nedeniye aletler körleşir. Çivi ve vida tutma, yapıştırma özelliği iyidir. Özellikle mobilyalarda dekoratif kaplama levha, müzik aletleri, kontrplak, mobilya oymacılık ve gemi üretiminde tercih edilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.12 Tulipe (*Liriodendron tulipifera*)

Amerika Birleşik Devletleri'nin güneyinde ve doğusunda bulunan Magnoliaceae ailesinin yapraklı bir ağaç türüdür. Tam kuru yoğunluğu 0,45g/cm³'tür. Orta dayanıklı olarak öz odunu böcek saldırılarına karşı hassastır. Kullanım olarak en fazla aksesuar yapımında tercih edilmekte olup, bunun yanısıra mobilya üretimi, kaplama için kullanılan kahverengi bir öz odun bulunmaktadır. Ayrıca kabuğundan ekstrakte edilen liriodendrin, kinin (sentetik ilaçların geliştirilmesinde moleküler model görevini yapan kimyasal bileşik) yerine ikame olarak kullanılmaktadır (Bal ve Bektaş, 2013).

1.2.13 Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*)

Sapelli tropikal Afrika'ya özgü bir ağaç türüdür. Liberya, Fildişi Sahili, Gana, Nijerya, Kamerun, Gabon ve Kongo'da yayılış göstermektedir. Ağaç boyu 45m'ye kadar uzanmaktadır. Diri odun beyazımsı ile sarımsı renkte, öz odun oldukça koyu kırmızımsı kahverengindedir. Koyu rengin tercih edildiği ve genellikle görselliğin önemli olduğu yerlerde ticari açıdan çok değerlidir. Tam kuru yoğunluğu

0,62g/cm³'tür. Kimyasal yapısında ortalama %45 selüloz, %28 lignin, %15 hemiselüloz ve %2,4-5,2 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Çürümeye karşı orta dayanıklı, böceklere karşı hassas yapıdadır. El aletleri ve makinelerle kolay işlenmektedir. Sapelli, son yıllarda maun yerine geçmiştir ve oldukça fazla talep görmektedir. Mobilya, doğrama, kaplama, lüks döşeme ve tekne, keman, markiteri yapımında kullanılmaktadır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.14 Amerikan cevizi (*Juglans nigra*)

Kuzey Amerika ve Kanada'da yayılış göstermektedir. Tam kuru yoğunluğu 0,56g/cm³'tür. Kimyasal yapısında ortalama %40 selüloz, %21-30 lignin, %15 hemiselüloz ve %2,4-5,2 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Diri odun böcek zararlılarına karşı hassas, öz odun çok dayanıklıdır. Öz odun güç emprenye edilir. Orta derece dayanıklı yapıdadır. El aletleri ve makineler ile güçlük çıkarmadan işlenmekte, kesilmekte ve kolay soyulmaktadır. Yüksek kaliteli kaplama levha, mobilya, müzik aletleri, saat kutuları ve yat yapımında kullanılmaktadır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.15 Çam (*Pinus spp.*)

Türkiye'de ticari olarak önem taşımaktadır. 3-14m boylarda, 0,2-0,8 m orta çapta yuvarlak halde, kaplamalık tomruk, kağıt odunu ve kereste olarak satılmaktadır. . Tam kuru yoğunluğu 0,49g/cm³'tür. Kimyasal yapısında ortalama %40-57 selüloz, %25-29 lignin, %8-11 hemiselüloz ve %3,4 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Orta yoğunlukta ve diri odun mantar, böcek zararlılarına karşı hassas olup öz odun az dayanıklı sınıfına girmektedir. Diri odun kolay, öz odun orta derece güç emprenye edilmektedir. Binalarda, mobilya yapımında, kontrplak yapımında, kimyasal odun hamuru eldesinde, tel ve maden direği, travers gibi ağaç malzemenin kullanılabilceği her yerde değerlendirilmektedir (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.2.16 Kayın (*Fagus sylvatica*)

Avrupa ve Türkiye'de yayılış göstermektedir. Yetiştirme yeri şartları ve rutubet miktarı ile ilgili olarak işlenme özellikleri değişmektedir. . Tam kuru yoğunluğu 0,68g/cm³'tür. Kimyasal yapısında ortalama %34-36 selüloz, %12-23 lignin, %18-26 hemiselüloz ve %1,9 ekstraktif madde miktarı (çözünen) bulunmaktadır. Böcek

saldırılarına karşı hassas olmakla birlikte, ev teke böceği arız olmamaktadır. Genellikle odunu çok dayanıksız olarak kabul edilmektedir. Diri odun kolay, özodun güç emprenye edilmektedir. Düzgün kesiş yapılamayabilir ve planyalamada güçlükler çıkabilir. Özellikle masif mobilya, lambri, spor aletleri, oyuncak, bobin, alet sapları, tornacılıkta, dekoratif kaplama levha, lif ve kağıt odunu olarak pek çok alanda tercih edilmektedir. Genellikle, kereste ve kaplama levha olarak satılmaktadır (Erdin ve Bozkurt, 2013).

1.3 Açık Hava Koşullarında Ahşap Malzemeyi Bozunduran Etmenler

1.3.1 Biyotik etmenler

Ahşap malzemeye arız olan mantarlar, böcekler ve bakteriler tarafından meydana gelen bozunmalar biyotik etkiler olarak tanımlanmaktadır. Bu etkiler ağaç türü ve arız olunan yere göre değişiklik göstermektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997; Erdin 2009). Mantar zararlılarına karşı diri odun, öz oduna kıyasla çok hassas ve dayanıksızdır. Öz odundaki bu dayanıklılık, içerdiği ekstraktif maddenin oranı ve cinsine göre değişmektedir (Erdin, 2009). Böcekler ağaç malzemeyi besin kaynağı ya da barınak olarak kullanmaktadırlar. Rutubet değerinin yüksek veya alçak olması bir ağaç malzemeye böcek istilasına uğrayıp uğramaması için bir seçenek değildir. Bazı böcekler ağaç malzemede yüksek rutubet seviyesinde yaşarken, bazı türler düşük rutubet miktarlarında bile yaşayabilmektedir. Ahşap malzemeye arız olan canlılar, malzemenin yüzey alanında ve iç kısımlarında mikroskopik ve makroskopik tahribatlar yapmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997; Erdin, 2009).

Bakteriler ise yaşayan en küçük organizmalardır. Yaşadıkları ortama göre aerob ve anaerob olmak üzere ikiye ayrılır. Aerob bakteriler gelişmek için oksijene ihtiyaç duymaktadır. Anaerob bakteriler ise oksijene ihtiyaç duymazlar ve fermantasyon oluşturmaktadırlar. Özellikle suya doymuş ahşaba arız olabilmektedirler. Ayrıca bakteri etkisi odunun geçirgenlik özelliğini artırmaktadır. Uzun süre bakteri etkisinde kalan odunda direnç özellikleri ciddi oranda azalmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997; Erdin, 2009).

1.3.2 Abiyotik etmenler

Güneş ışığı, su (rutubet), yanma, rüzgar, hava kirliliği gibi etkiler sonucunda ahşap malzemenin yapısında fiziksel ve kimyasal değişimler olur. Özellikle UV, abiyotik faktörler içinde ahşap yüzeyinde renk değişimine neden olan en önemli etmen olarak kabul edilmektedir. Bu etkilerin yanı sıra yüksek sıcaklıklara maruz kalan ahşap malzemede, tutuşma kabiliyetinden dolayı yanma görülmekte, bu olay sonucunda ise ahşap malzemede kimyasal değişimler meydana gelmektedir. Abiyotik etkiler olarak asit, baz gibi kimyasal maddeler, hava kirliliği, aşırı ısı farklılıkları, rüzgar gibi diğer etkilerde sayılmakta ve dış hava koşullarının etkisi de ahşap malzemede kimyasal değişimlere neden olmaktadır (Feist ve Hon, 1983).

1.4 Ahşap Malzemenin Fotodegradasyonu

Açık havada kullanılan ahşap malzemenin kimyasal yapısında bulunan kromoforik gruplar UV ışınlarını absorbe ederek, kimyasal bağların koparılmasına neden olmakta ve bu durum sonucunda fotodegradasyon gerçekleşmektedir. Oksijen ve suyun etkisi bu degradasyonda büyük rol oynamaktadır. Hava kirliliği ise odun yüzeyindeki aşınmayı artırmaktadır (Kartal, 1992; Temiz, 2005).

1.4.1 Açık hava etkisinde ahşap malzemede meydana gelen değişimler

Ahşap malzeme herhangi bir koruma işlemi olmaksızın dış hava şartlarına maruz bırakıldığında, fotodegradasyon, yüzey pürüzlülüğü ve aşınma artmakta, bu durum malzemenin yapısında fiziksel, kimyasal, mekanik ve mikroskobik değişimlere neden olmaktadır (Feist 1982, 1983). Özellikle güneş ışığı, lignin degradasyonunun başlamasında önemli rol oynamakta, yağmur ve kar etkisiyle yıkanma suresince fotodegradasyon ve fotooksidasyon degradasyonuna maruz kalmaktadır. Tüm bu etkiler ahşap malzeme yüzeyinde renk ve parlaklık değişimine, pürüzlülüğün artmasına neden olmaktadır. Dış ortam şartları devam ettiği sürece bozunmaya uğramış kısımlarda erozyon devam eder, ancak degradasyon oldukça yavaş ilerlemekte ve 100 yılda 5-6 mm'dir (Williams, 2005).

1.4.1.1 Kimyasal değişimler

Dış ortam koşullarına maruz bırakılan ağaç malzemede görülen renk ve parlaklık değişimi, yüzey pürüzlülüğü, çatlak oluşumu ve ağırlık kaybı gibi değişiklikler odunun

kimyasal yapısını oluşturan polyozların ve ligninin yapısında oluşan reaksiyonlar nedeniyle meydana gelmektedir (Hon ve Shiraishi, 2001). UV ışığının absorbe edilmesinde rol alan bileşikler ligninin %80-90, karbonhidratların %5-20 ve ekstraktiflerin %2 oranında emilim özelliği sağlamaktadır. Bu özellik, fotokimyasal ve fotofiziksel olayları da beraberinde getirmektedir. Meydana gelen fotokimyasal olaylar ile odununu kimyasal yapısını oluşturan bileşiklerin bağ yapılarında kopmalar görülmektedir (Feist ve Hon, 1983).

Yüzeyde gözle görülen ilk değişim yüzeyin sararmasıyla başlamaktadır. Ardından odun yüzey rengi ağarmakta ve degradasyon devam ettiği sürece kahverengimsi koyu renge dönüştüğü gözlenmektedir. Bu renk değişikliği ve süresi, ağaç cinsi ve içindeki ekstraktif madde oranına göre değişmektedir. Bu renk değişikliğinin nedeni 300 ile 400 nm dalga boyundaki UV ışınların, lignin tarafından absorbe edilmesi ve lignindeki kromoforik gruplarının değişime uğramasıdır. UV ışının emilimini yaparak serbest radikaller oluşturan lignin, bu radikallerin etkisi ile moleküler yapının ayrılmasına yol açmakta ve bunun sonucunda da oksitlenmiş radikaller oluşur. Bu radikaller aynı zamanda selülozun yapısındaki oksijeninde ayrılmasına neden olmaktadır. Yüzeyde bulunan kinonların da odunda meydana gelen renk değişikliğine sebep olduğu söylenmektedir. Bu degradasyon oldukça yavaş gelişmektedir. İklim ve ağaç türüne göre farklılıklar göstermektedir (Kartal, 1992; Kılıç ve Hafizoğlu, 2007; Temiz ve diğ., 2005).

1.4.1.2 Fiziksel değişimler

Dış hava şartlarına maruz bırakılmış ahşap malzemede kimyasal ve renk değişimlerine ek olarak yüzeylerde mekaniksel zararlarda meydana gelmektedir. Güneş ışınları ve su, ahşap yüzeyinin bozunması sağlarken, yağmur suyu veya nem yüzeyleri aşındırmaktadır. Ahşap yüzeyinde aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve çatlaklık, anatomik farklılıklardan dolayı iğne yapraklı ağaçlarda, yapraklı ağaçlardan hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir (Feist 1982, 1983). Bu nedenle dış ortam koşulları farklı ağaç türlerinde farklı etkilere neden olmaktadır. Kısaca, dış ortam koşullarının etkisi ile ahşap yüzeyinde meydana gelen fiziksel kayıp; rüzgâra, yağmura, ışığa maruz kalma süresine, odun türüne, yoğunluğuna ve özellikle iklime bağlı olarak değişmektedir (Yazıcı, 2005).

1.4.1.3 Mikroskobik değişmeler

Odunun dış ortam koşullarına maruz kaldığında, bozunmasının ilkbahar odunu traheitlerinin radyal çeperlerinde büyüyen delikçikler ile başladığı bilinmektedir. Zaman geçtikçe bu mikroskobik bozunma odun yüzeyinde mikro çatlaklara neden olmaktadır. Bu meydana gelen değişiklikler hücre çeperinin orta lamelden ayrılarak kaybolması, sekonder çeperin bozulması, hücrelerin ayrışması ve geçitlerin hasar görmesi ve mikro çatlakların oluşması şeklindedir. Bu mikro çatlaklar S₂ tabakasının fibril doğrultusundaki çekme geriliminden kaynaklanmaktadır. Dış ortam koşullarındaki odunun bozunma sürecinde, suyun yıkayıcı etkisi yüzey mikro çatlaklarını daha da genişletmekte ve arttırmaktadır (Feist ve Hon, 1984; Feist, 1990; Williams ve diğ., 2001; Nzokou, 2004; Williams, 2005; Temiz, 2005). Dış ortam koşulları etkisiyle görülen mikroskobik değişiklikler zamanla erozyona sebep olmaktadır (Feist ve Hon, 1984; Temiz, 2005).

1.5 Ahşap Malzemeye Uygulanan Yaşlandırma Testleri

Yaşlandırmanın ahşap malzeme üzerine etkisini tespit etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler doğal dış ortam yaşlandırma testleri ve hızlandırılmış laboratuvar yaşlandırma testleri olarak gruplandırılmaktadır. Ayrıca hızlandırılmış laboratuvar yaşlandırma testleri; UV floresan lamba ile yaşlandırma, Xenon-arc lambası ile hızlandırılmış yaşlandırma ve termal işlemlerle yaşlandırma olarak ayrılmaktadır (Çakıcıer ve diğ., 2009; Çolak, 2014).

1.5.1 Hızlandırılmış laboratuvar yaşlandırma testleri

Hızlandırılmış yaşlandırma uygulanacak odun örneklerine genellikle ASTM G154 standardı esas alınmaktadır. Bu standarta göre yaşlandırma aşağıda yer alan Çizelge 1.1'de belirtilen parametrelere göre yapılabilmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma testinde, UVA-340 nm lambalar, 295 ila 365 nm arasındaki doğal ışıktaki en zarar veren dalga boylarına sahip ışık olduklarından ve ayrıca dış mekan koşullarına maruz kalma ile en iyi korelasyonu sağladıklarından dolayı sıklıkla kullanılmaktadırlar. Farklı UV lambaları farklı test amaçları için kullanılmaktadır. Örneğin, UVA-351 lambaları, pencerelerden süzülen UV ışığının bir kısmını taklit etmektedir. Bu nedenle, bu lambalar iç mekan uygulamalarını test etmek için kullanışlıdır. UV-B

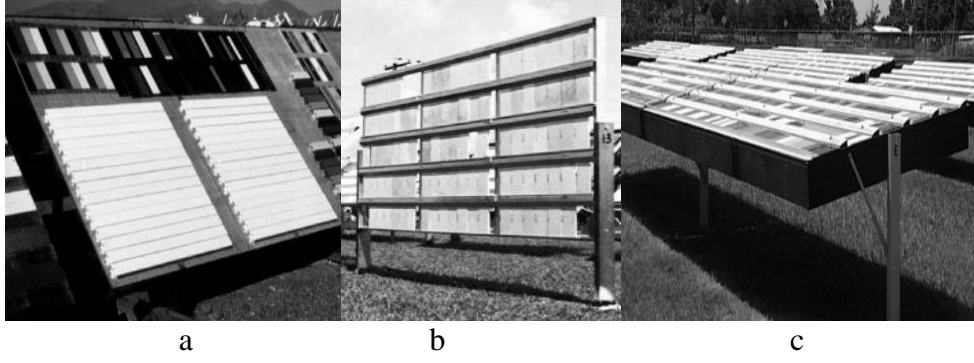
ışığı, malzemelerin, özellikle de polimerlerin, yaşlandırmaya maruz kaldıkça oluşan gevrekliği göstermektedir. Buna karşılık, UV-A lambalar renk solmasını ve sararmayı hızlandırmaktadır (ASTM G154, 2006).

Çizelge 1.1 : Yaşlandırma parametreleri (ASTM G154, 2006).

Tip	Lamba	Işıma değeri	Yaklaşık dalga boyu	Yaşlandırma döngüsü
1	UVA-340	0,89 W/m ² /nm	340 nm	8s UV, 60 (±3) °C sıcaklık; 4s kondenzasyon, 50 (±3) °C sıcaklık
2	UVB-313	0,71 W/m ² /nm	310 nm	4s UV, 60 (±3) °C sıcaklık; 4 s kondenzasyon, 50 (±3) °C sıcaklık
3	UVB-313	0,49 W/m ² /nm	310 nm	8s UV, 70 (± 3) °C sıcaklık; 4s kondenzasyon, 50 (± 3) °C sıcaklık
4	UVA-340	1,55 W/m ² /nm	340 nm	8s UV, 70 (±3) °C sıcaklık; 4s kondenzasyon, 50 (±3) °C sıcaklık
5	UVB-313	0,62 W/m ² /nm	310 nm	20s UV, 80 (±3) °C sıcaklık; 4s kondenzasyon, 50 (±3) °C sıcaklık
6	UVA-340	1,55 W/m ² /nm	340 nm	8s UV, 60 (±3) °C sıcaklık; 4s kondenzasyon, 50 (±3) °C sıcaklık
7	UVA-340	1,55 W/m ² /nm	340 nm	8s UV, 60 (±3) °C sıcaklık; 0.25s su spreyi (UV yok), sıcaklık yok; 3.75s kondenzasyon, 50 (±3) °C sıcaklık
8	UVB-313	28 W/m ²	270 - 700 nm	8s UV, 70 (±3) °C sıcaklık; 4s kondenzasyon, 50 (±3)°C sıcaklık

1.5.2 Doğal yaşlandırma testleri

Doğal yaşlandırma metodundaki amaç, malzemelerin dış ortam koşullarında dayanıklılığını, ultraviyole (UV) radyasyonu, ıslanma süresi, sıcaklık, kirleticiler ve diğer faktörlerde göz önüne alınarak kullanım yerine uygunluğunu gözlenmektedir. Bu süreç malzemenin dış ortama bırakıldığı konuma bağlı olarak çok farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, tek bir konumdaki maruz kalmanın sonuçlarının, farklı bir konumdaki nispi dayanıklılığı belirlemek için faydalı olacağı varsaymak doğru kabul edilmemektedir (ASTM G7, 2013; EN 927-3, 2003). Doğal yaşlandırma testi her iklim tipine uygulanabilmektedir. Mutlaka bu yaşlandırma uygulamasında test armatürleri veya rafları boş alanlara yerleştirilmelidir. Bir test armatürü veya raftaki en aşağıdaki örnek sırası zeminden en az 0,4572 m [18 inç] uzakta olmalı ve bitki örtüsü ile temas etmemelidir. 45°, 90° ve 180° açı ile test armatürü veya rafı kullanılmaktadır (Şekil 1.5). En yaygın kullanılan 45° yönü olan test armatürü veya rafıdır (ASTM G7, 2013).



Şekil 1.5: Doğal dış ortam test armatürü veya rafı sırasıyla a: 45°, b: 90° ve c: 180° açı.

1.6 Hızlandırılmış ve Doğal Yaşlandırma Testlerinin Modellenmesi

Hızlandırılmış yaşlandırma test sonuçları çoğu kez akla malzemenin doğal dış ortam koşullarında kaç ay/yıl dayanacağı sorusunu da beraberinde getirmektedir. Bu konuda hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal yaşlandırma test sonuçları arasında modellemeler yapılmıştır. Malzemedeki çatlak oluşumu ve parlaklık kaybı için EN927-6'da belirtilen hızlandırılmış yaşlandırma döngüleri ve doğal yaşlandırma arasında Podgorski ve diğ. (2003) tarafından bir model oluşturulmuştur. Malzemenin tahmini kullanım ömrü (SLP) ile ilgili pek çok çalışmalar yapılmıştır.

Atlas Malzeme Test Cihazı Şirketine göre 26 gün boyunca hızlandırılmış yaşlandırma test cihazında (UVA-312nm, 765W/m², 45°C) bekletme süresinin Avrupa'daki bir iç ortam kullanım yerinde 1 yıla denk geldiğini belirtmektedir (Oltean ve diğ., 2008; Valverde ve Moya, 2014). Yine Atlas Malzeme Test Cihazı Şirketine göre 2222 saat 340nm'de 0,35W/m² ışınım Güney Florida'da 1 yıla eşdeğer düşmektedir. Chang ve Chang (2001), tsuga, göknar ve sedir örnekleri ile UVA-351nm lambaların 16 gün boyunca kullanıldığı iç ortam yaşlandırma testinin gerçek iç alanda 5 yıla eş değer düştüğünü belirtmektedir. Çalışmada örnekler 1, 2, 3 ve 6 ay, 1-5 yıl boyunca iç ortam koşulunda ve 4, 8, 16 saat, 1, 4, 8, 12 ve 16 gün hızlandırılmış yaşlandırma cihazında bekletilmiştir. Wu ve diğ. (2002) bambu örneklerinin 32 gün UVA-351nm lamba yaşlandırmasını 22 yıla eşdeğer düştüğünü rapor etmiştir. Tolvaj ve Mitsui (2005) kayın, yalancı akasya, zelkova, japon sediri, sarıçam, ladin, selvi ve bambu örneklerinde ksenon lambanın dış ortam koşullarına kıyasla 3 kez daha yüksek bir bozandırıcı etkisi olduğunu belirtmiştir. Anderson ve diğ. (1991) 2400 saat hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakılan örneklerin

Madison, Wisconsin'de 4-5 yıl dış ortam koşullarına denk geldiğini belirtmiştir. Liu ve diğ. (2016) pavlonya odunu örneklerini 3 tip yaşlandırmaya maruz bırakmış (doğal iç ortam testi-6 ay-Brasov, UV testi -72saat) ve örneklerdeki renk değişimini ve yüzey kimyasını (FTIR) araştırmıştır. Sonuçlarda 3 aylık doğal iç ortam yaşlandırma testi 36 saatlik hızlandırılmış yaşlandırma testine karşılık geldiği tespit edilmiştir.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Evans (1988), *Pinus radiata* kaplama örneklerini 10, 20, 40, 60, 80 ve 100 gün boyunca Avustralya'da doğal yaşlandırmaya maruz bırakmış, örneklerde oluşan ağırlık kayıplarını suda çözünebilir ekstraktiflerin yıkanmasından öte lignoselülozik maddelerin degradasyonu nedeniyle oluştuğunu rapor etmiştir. Arndt ve Wileitner (1969) ile Banana (1984) doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında ekstraktifçe zengin *Eucalyptus delegatensis*, *Eucalptus microcorys* ve *Lophostomen confertus* örneklerinde yüksek ağırlık kayıpları bulmuşlar özellikle 1800 saatlik hızlandırılmış yaşlandırma testi sonunda ağırlık kayıplarının *Pinus radiata*'ya kıyasla 2-3 kez daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Yaşlandırma deneylerinde masif büyük boyutlu örneklerde oluşan ağırlık kayıpları ekstraktiflerin yıkanmasına atfedilirken, örnek boyutları küçültüldüğünde bu durumun lignoselülozik maddelerin degradasyonu nedeniyle oluştuğu belirtilmiştir (Evans, 1988). Ihlamur ve sarıçam örneklerinin 5 ile 24 ay arasında doğal dış ortam koşullarına maruz bırakılması Derbyshire ve Miller (1981) tarafından çalışılmıştır. Çalışmada, güneş ışığına kısa bir süre maruz kalmanın bile, ahşapta belirgin bir yüzey bütünlüğü kaybına neden olduğu ve örnekler üzerinde yapılan çekme deneyi sonucunda, mekanik kayıplarında dış ortam koşullarından etkilendiği belirtilmiştir. Radiata çam kaplamaları 30 gün Avustralya'da doğal yaşlandırma maruz bırakılmış, örneklerin 4 saat, 1, 2, 3, 5, 10, 20 ve 30 gün boyunca kimyasal yapısı ölçülmüş, FTIR analizi, 4 saatlik yaşlandırma sonrasında yüzeyde delignifikasyonun başladığını göstermiş, 3 gün sonra önemli ölçüde artış göstermiş, 4 gün sonunda ise neredeyse yüzey delignifikasyonunun tamamen gerçekleştiğini, 6 gün sonunda önemli ölçüde selülozun depolimerize olduğu bulunmuştur. 30. gün sonunda lignin miktarı %62 oranında azalmıştır (Evans ve diğ., 1996). Pastore ve diğ. (2004) jatoba, angelim vermelho, garapeira ve marupa isimli 4 tropik ağaç türünü 350nm dalga boyundaki UVA lambalara maruz bırakmış, ardından renk değişimini belirlemiştir. 4 tür arasında, *Angelim vermelho*'nun UVA ışınlarına karşı en dayanıklı tür olduğu belirtilmiştir. Ekstraktların bu ağaçların UV

ışması üzerine rolü olduğu belirtilmiştir. Dişbudak, kavak, sarıçam ve ladin örneklerinin değişik sıcaklık varyasyonlarının uygulandığı hızlandırılmış yaşlandırma deneyi sonrasında renk ölçümü Persze ve Tovaj (2012) tarafından araştırılmıştır. Çam örnekleri, 200°C'de ışığa maruz kalma sırasında, 80°C'de ve 30°C'de sıcaklığa maruz kalmaya göre %57 daha fazla kızarıklık değişikliği gösterirken, ladin, dişbudak ve kavak için ilgili yüzde değerleri sırasıyla %33, %40 ve %15 olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak ekstraktif madde içeriğinin, termal renk bozulmasında önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Sarıçam örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma testi sonrasındaki renk değişimi ilk 24 saatte her saatte bir, sonra 168 saat boyunca her gün ölçülmüştür. Önemli renk değişimleri ilk 24 saat içerisinde tespit edilmiştir (Sharratt ve diğ., 2009). Gökmar, sarıçam, melez, dişbudak, kiraz ve ceviz odunu örnekleri hızlandırılmış UV ışınına 40°C'de maruz bırakılmış, ardından örneklerin renk ölçümleri ve FTIR-ATR ölçümleri 6, 12, 18 ve 24 saat sonunda gerçekleştirilmiştir. Örneklerin yüzey kimyasındaki değişimlerin 6 saat sonrasında bile belirgin olduğu bildirilmiştir (Timar ve diğ., 2016). Yapılan bir başka çalışmada ise beş tropikal ağaç türü (albizia, kapur, mahoni, nangka, puspa) çeşitli dönemlerde doğal hava koşullarına maruz bırakılmış, örneklerdeki ekstraktların, fenoliklerin ve klason ligninin kimyasal analizi yapılarak su ve UV ışınımının etkisi belirtilmiştir. Sonuç olarak lignin yapısının UV ve suya karşı değişiklik gösterdiği bildirilmiştir (Sudiyani ve diğ., 2003). Sekoya, boylu mazi, duglas köknarı ve çam kereste örneklerinin, 16 yıllık dış ortam şartlarına maruz kalması sonucunda genç ve olgun odun erozyon oranları belirlenmiştir. Örneklerin ilk 7 yılındaki genç ve olgun odun erozyon hızları arasında büyük farklılıklar görülmüş ancak sonraki yıllarda görülmediği, çam için yaklaşık 12 yıllık bir maruziyetin ardından önemli bir değişim meydana geldiği belirtilmiştir (Williams ve diğ., 2001). Tik (*Tectona grandis* L.F.), Mabberley (*Stereospermum colais*) ve Basralocus (*Dicorynia guianensis*) odunlarının 733 gün boyunca doğal dış ortam koşullarında yaşlandırılmış, 10, 20, 38, 70, 270, 470, 548, ve 733 süreleri sonunda örneklerin FTIR, renk ve parlaklık ölçümleri yapılmış, 270. güne kadar renk değişimleri önemli seviyelerde bulunmuş ve bozunmanın yaşlandırma çalışmalarında ilk sürelerde olduğunu bildirilmiştir (Liu ve diğ., 2017). Tik odunu 340nm lambalarda 1,55 W/m² radyasyon ışınımında hızlandırılmış yaşlandırma testine tabi tutulmuş ve örneklerin rengindeki değişim araştırılmıştır. Ligninin yüksek ışınımında

degradasyon hızında pek fark görülmediği bildirilmiştir (Mesquita ve diğ., 2017). Tomak ve diğ. (2018) ısıtma işlemli dişbudak, iroko, sarıçam ve ladin örneklerini Trabzon dış ortam koşullarında bekletmiş, her 6 ayda bir örneklerin renk, pürüzlülük ve yüzey kimyasındaki değişimleri belirlemiştir. Isıtma işlem ile modifiye edilmiş örnekler, renk değerlerinde değişimi modifiyesiz dış ortama maruz kalan örneklerle göre çok daha az değişiklik gösterdiğini belirtmişlerdir. Pürüzlülük değerlerinde genel olarak tüm örneklerde artış gözlemlendiği raporlanmıştır. Hon ve diğ. (1986) kırmızı meşe, beyaz meşe, sarı-kavak ve sweetgum odunu örneklerini 150 gün doğal dış ortam testine ve 600 saat hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakmış örneklerdeki renk ve parlaklık kaybı, FTIR ile SEM analizlerini yapmıştır. Sonuç olarak 30 günlük dış ortam ya da 500 saatlik UV ışığı odunlarda degradasyona sebep olmuştur. Douglas göknarı, loblolly çamı, sarıçam, kırmızı sedir, kırmızı meşe ve sarı-kavak odun örneklerini 10 yıl boyunca Madison Wisconsin'de 0, 45 ile 90 derecelik açılarda doğal yaşlandırmaya maruz bırakmış ve en hızlı yaşlandırma 45 derecelik açı ile elde edilmiş, örneklerin tanjansiyel ve radyal yüzeylerdeki erozyon oranları arasında çok az farklılıklar bulmuşlardır. Shunzhi ve diğ. (2013) 4 farklı dekoratif ağaç türünü (*Entandrophragma cylindricum*, *Guibourtia tessmannii*, *Fraxinus mandshurica* ve *Cunninghamia lanceolata*) hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakmış, örneklerin renk değişimi ile ıslanabilirliğini incelemiştir. Zahri ve diğ. (2007) 2 tip meşe (*Q. petraea* ve *Q. Robur*) örneğinin UV radyasyonu (3, 24, 72, 96, 120, 144, 192 ve 216 saat) sonrasında ekstraktif miktarını ve renk değişimini belirlemiştir. 216 saat UV ışınması sonrasında kazein ve gallik asidin, vescalagin ve ellagic asidin ise sadece 72 saat sonra yok olduğunu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, meşe öz odununun renginin değişmesine neden olduğunu göstermiştir. Reinprecht ve diğ. (2018) dış mekan mimarisine uygun 7 tropik ahşap örneği (bangkirai, cumaru, cumaru rosa, ipe, jatobe, kusia ve massaranduba) 36 ay boyunca dış ortam testine, 12 hafta boyunca hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakarak, yüzeyde çatlak oluşumunu, renk değişimini ve kimyasal değişikliğini belirlemiştir. Çalışmada tüm örneklerin yüzeyinde çatlama görülmüştür. Dış ortam testine maruz kalan örneklerde kirletici etkenlerinde sebep olduğu koyulaşma, aynı şekilde hızlandırılmış yaşlandırma örneklerinde ipe hariç tüm test örneklerinde koyulaşma olduğu bildirmiştir. Kim ve diğ. (2016) 1-3 yaşındaki bambu (*Phyllostachys pubescence*) kamışlarını 12 ay boyunca dış ortam koşullarına maruz

bırakarak, yaş grupları arasında ahşap malzemede oluşan renk, yüzey topografyası ve kimyasal değişikliği belirlemiştir. Kamışların yüzey rengindeki değişikliklerin, ilk 3 ay boyunca hızlı bir şekilde arttığı ve sonraki test süresince yavaşça azaldığı görülmüştür. Yüzeyde oluşan çatlakların 2 ve 3 yaşındaki bambularda 1 yaşındakinden daha belirgin bir şekilde geliştiğini, örneklerin NMR (nükleer manyetik rezonans) ve FT-IR spektrumları, lignin ve hemiselülozların doğal hava koşullarından etkilendiğini, kristalin selülozun ise nispeten sağlam kaldığı bildirmiştir. Tintner ve Smidh (2018) karaçam test örneklerini 12 ay dış ortam testine tabi tutarak reçinenin kimyasal değişikliğe olan etkisini belirtmiştir. Test süresinde reçinenin bulunduğu lignin bandında degradasyonun az olduğu, sonuç olarak reçinenin bozunmayı geciktiri etkisine sahip olduğunu bildirmiştir. Volkmer ve diğ. (2017) meşe, kayın, karaçam ve ladin ahşap örneklerini 6 ay dış ortam testine maruz bırakarak genç ve olgun odun arasında kimyasal değişiklik farklılıklarını belirtmiştir. Genel olarak tüm örneklerin 2 aylık FT-IR sonuçlarında ligninin kaybolduğunu ancak UV penetrasyonu yumuşak ağaçların olgun odun örneklerinde, genç oduna kıyasla az olduğu rapor edilmiştir. Oberhofnerova ve diğ. (2016) ladin, karaçam, çam, douglas köknar, meşe, akasya, akçaağaç, kızılâğaç ve kavak örneklerini 12 ay boyunca dış ortam koşullarında bekletilerek, ahşap yüzeylerin ıslanma özelliklerine etkisi araştırmıştır. Çam, karaçam ve douglas köknarının 6 aylık periyotta iyi sonuçlar verdiği, bunun nedeninin ise yoğunluk ve ekstraktif madde miktarının fazla olmasından dolayı kaynaklandığını bildirmiştir. 12 ay periyodu sonunda tüm örneklerde hidrofilik yapının arttığı bildirmiştir. Schnabel ve diğ. (2017) douglas köknar ve norveç ladin örnekleri için bir yıl boyunca doğal hava koşullarında CIEL * a * b * sistemine göre yüzey rengi değişikliği bildirmiştir. İki örneğin görsel izlenimi sonucunda norveç ladin örneklerinin, douglas köknar örneklerinden daha parlak ve daha gri görüldüğü şeklinde olmuştur. Her bir örneğin rengi 216. gün sonunda daha koyu olduğu rapor edilmiştir. Elde edilen veriler ile daha uzun süre maruziyetteki renk değişikliği, L*, Δa* ve Δb* parametreleri modellenerek simüle edilmiştir. Buchner ve diğ. (2018) meşe ve douglas köknar örneklerini 24 hafta dış ortam testine ve 12 saat hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakarak, bakteri (Actinomycetes ve Eubacteria) ve mantarlar (Basidiomycota ve Ascomycota) gibi biyotik faktörler ile ışık, sıcaklık ve nem gibi abiyotik faktörler arasındaki sinerjistik etkileri araştırmıştır. Dış ortam testine göre mantar ve bakteri aktivitesi meşede daha

fazla görülmüştür. Hızlandırılmış yaşlandırma testinde ışık, rüzgâr, nem ve sıcaklık değişimleri tamamen taklit edilemediğinden doğal yaşlandırma örnekleri ile karşılaştırılmacağı bildirmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Ağaç Malzeme

Bu çalışmada adi ceviz (*Juglans regia*), dişbudak (*Fraxinus excelsior*), kiraz (*Prunus avium*), meşe (*Quercus robur*), akçaağaç (*Acer pseudoplatanus*), okaliptüs (*Eucalyptus camalduenensis*), tik (*Tectona grandis*), mazel (*Populus nigra*), beli (*Julbernardia pellegriniana*), limba (*Terminalia superba*), anigre (*Pouteria* spp.), tulipe (*Liriodendron tulipifera*), sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) amerikan cevizi (*Juglans nigra*), çam (*Pinus* spp.) ve kayın (*Fagus* spp.) kaplama örnekleri kullanılmıştır. Örnekler ASTM D358-98 (2006) standardına göre 2 (radyal) x 75 (tanjansiyel) x 150 (lifler yönü) mm boyutlarında hazırlanmıştır. Kaplama türleri ülkemizde endüstriyel olarak temin edilebilen türler olduğunu için tercih edilmiş olup, Sülekler Orman Ürünleri AŞ tarafından temin edilmiştir. Budaksız, kusur içermeyen örneklerin test boyutlarına getirilmesi için BTÜ Orman End. Müh. Laboratuvarı kullanılmış ve kesim işleminden sonra %65 bağıl nemde ve 20°C'de kondisyonlanmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırma testi için her ağaç türünden 3 örnek, doğal yaşlandırma testi için ise her ağaç türünden 4 örnek kullanılmıştır. Toplam 112 adet örnek kullanılmıştır.

3.2 Hızlandırılmış Yaşlandırma Testi

Örnekler, dış ortam yaşlandırmasını simüle etmek için UVA-340nm lambaların takılı olduğu Atlas marka hızlandırılmış yaşlandırma test cihazında, ASTM G154 (2006) standardı esas alınarak kontrollü, 8 saat UV ve 4 saat kondenzasyon döngülerine maruz bırakılarak yaşlandırılmıştır (Şekil 3.1). Test süresi 1512 saat olarak uygulanmıştır. Hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakılan örneklerde başlangıçtan sonra 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120, 132, 144, 156, 168, 252, 336, 420, 504, 588, 672, 756, 840, 924, 1008, 1092, 1176, 1260, 1344, 1428 ve 1512 saatte ölçüm alınarak toplamda 37 ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.1: Hızlandırılmış yaşlandırma testi cihazı.

3.3 Doğal Dış Ortam Testi

Doğal dış ortam koşullarına maruz bırakılan örnekler, güney yönünde zemin ile 45°'lik açı yapan, yerden 50cm yükseklikte ve korozyona uğramayan bir malzemeden yapılmış dış ortam test düzeneğine yerleştirilerek ASTM G7 (2013) ve EN 927-3 (2003) standartları göz önüne alınarak Bursa Teknik Üniversitesi bahçesinde güvenlik kontrollü, güneş ve yağmur suyu alımını engellemeyen, çevresinde bina vb. etkenler olmayan, zemininde su birikintisi görülmeyen alana sabitlenmiştir (Şekil 3.2). Başlangıçtan itibaren 4saat, 1, 2, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 78, 93, 108, 123, 138, 153, 168, 183, 198, 213, 228, 243, 258, 273, 288, 303, 318, 333, 348, 363, 378 ve 393 günde ölçüm alınarak toplamda 36 defa ölçüm alınmıştır. Her ölçüm öncesinde 1 gün (20°C ve %65 bağıl nem) kondisyonlama odasında bekletilmiş, ardından 30°C ayarlı etüvde 4 saat bekletilerek ölçüm şartlarına uygun hale getirilmiştir. Test örneklerinin doğal dış ortam koşullarına maruz bırakılmasıyla toprak üstü kullanım yerlerindeki degradasyon faktörlerinin (UV ışığı, yağmur, kar, sıcaklık, atmosferik kirlilik, renk ve küf mantarları ve diğ.) esas alınması amaçlanmıştır. Bursa ili için iklimsel parametreler ay bazında Bursa Meteoroloji Müdürlüğünden deneylerin başladığı tarihten itibaren temin edilmiştir. Alınan meteorolojik veriler Çizelge 3.1 de sunulmuştur. Ayrıca ölçümün yapıldığı günün hava durumuna ait bilgiler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bursa ili iklimsel parametrelerine bakıldığında, 01 Kasım 2018-01 Kasım 2019 tarihleri arasında kışları soğuk, donlu ve yağmurlu geçtiği yazları ise sıcak ve nemli geçtiği

görülmektedir. Yıl boyunca ortalama sıcaklık 13°C ve ortalama nispi nem %76 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.1: Bursa ili Yıldırım ilçesi için ay bazında iklimsel parametreler.

Parametreler (Aylık)	11. 2018	12. 2018	01. 2019	02. 2019	03. 2019	04. 2019	05. 2019	06. 2019	07. 2019	08. 2019	09. 2019	10. 2019	11. 2019
Dolulu Günler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Donlu Günler (Sıcaklık < 0.1°C)	2	12	11	10	14	6	-	-	-	-	-	-	-
Fırtınalı Gün	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Kuvvetli Rüzgarlı Gün	4	1	12	2	7	2	5	3	2	-	1	3	-
Ort. Rüzgar Hızı (M/Sn)	1,7	1,7	2,3	1,8	2,2	2,3	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,6	1,3
Yağışlı Gün Omgı	12	20	4	1	8	2	4	1	5	5	3	5	2
Mak. Yağış (Mm=Kg÷M ²) OMGİ	15,0	53,0	0,2	0,2	14,9	0,4	0,6	0,2	13,7	30,9	10,6	9,2	6,3
Toplam Yağış (Mm=Kg÷M ²) OMGİ	52,6	166	0,8	0,2	18,8	0,6	1,4	0,2	25,4	39,4	11,5	26,4	10,3
Ort. Min. Sıcaklık (°C)	5,4	0,8	0,5	0,9	0,8	5,6	11,2	15,0	14,1	14,2	10,7	8,3	3,8
Ort. Maks. Sıcaklık (°C)	16,5	8,8	8,6	10,9	16,3	19,4	26,5	29,2	29,9	30,8	28,3	24,4	17,9
Min. Sıcaklık (°C)	0,0	-9	-14	-2,7	-4,3	-2,5	4,8	9,6	10,5	9,6	3,4	1,6	-0,1
Maks. Sıcaklık (°C)	26,3	15,6	18,0	20,6	24,8	30,5	37,0	33,5	35,0	35,7	32,9	34,9	23,0
Ort. Sıcaklık (°C)	10,5	4,3	4,4	5,2	8,3	12,1	18,6	22,2	22,2	22,6	19,4	15,9	10,4
Min. Nispi Nem (%)	30,0	43,0	46,0	32,0	12,0	21,0	28,0	26,0	22,0	26,0	15,0	23,0	37,0
Ort. Maks. Nispi Nem (%)	96,7	98,3	94,3	99,1	83,7	92,6	90,8	95,2	94,6	94,9	94,2	97,3	80,3
Ort. Min. Nispi Nem (%)	61,3	71,0	69,3	76,2	45,2	49,5	40,5	49,6	42,7	47,3	45,2	65,4	40,3
Ort. Nispi Nem (%)	82,0	88,1	80,7	84,3	64,7	73,0	65,7	73,8	68,3	72,2	72,1	87,5	74,4



Şekil 3.2: Doğal dış ortam test düzeneği.

Çizelge 3.2: Ölçümlerin yapıldığı güne ait iklimsel parametreler

Ölçüm Aralığı	Ort. Rüzgar Hızı (M/Sn)	Beklenen olay	Ort. Min. Sıcaklık (°C)	Ort. Maks. Sıcaklık (°C)	Ort. Nispi Nem (%)
4saat	11	-	12	14	67-85
1gün	4	Yağmur	8	10	61-88
2gün	8	Parçalı bulut-yağmur	2	12	67-90
3gün	10	Yağmur	12	21	55-88
5gün	12	Yağmur	12	13	81-93
7gün	5	Parçalı bulut-yağmur	5	12	70-92
14gün	7	Yağmur	-2	7	83-90
21gün	5	-	4	9	65-80
28gün	5	-	-2	8	65-80
35gün	8	Yağmur	-1	5	67-85
42gün	6	Yağmur	0	4	50-67
49gün	4	Yağmur	7	9	90-96
56gün	9	-	2	13	48-76
63gün	6	Bulutlu	5	20	58-87
78gün	7	Sis	2	14	70-89
93gün	8	-	6	15	54-89
108gün	9	Yağmur	7	10	87-96
123gün	10	Çok bulutlu	6	17	60-80
138gün	11	Parçalı bulut-yağmur	2	15	60
153gün	7	Yağmur	2	17	60-70
168gün	6	Yağmur	3	19	60-70
183gün	5	Yağmur	13	25	50-65
198gün	4	Güneşli	16	27	50-60
213gün	6	Güneşli	15	25	50-66
228gün	3	Güneşli	18	28	50-55
243gün	4	Güneşli	17	29	40-50
258gün	5	Güneşli	15	25	55-60
273gün	2	Güneşli	17	28	40-55
288gün	11	Yağmur	12	14	90-96
303gün	4	Yağmur	8	10	87-90
318ggün	8	Parçalı bulut-yağmur	5	12	58-87
333gün	10	Yağmur	12	21	70-89
348gün	9	Güneşli	12	23	54-60
363gün	6	Güneşli	15	25	50-63
378gün	8	Bulutlu	11	22	61-88
393gün	9	Çok bulutlu	8	21	54-89

3.4 Renk Ölçümü

Renk ölçümü CIE L*a*b renk parametreleri belirlenerek Konica-Minolta 2600d marka renk ölçüm cihazı ile yapılmıştır. L* açık renklilik, a* ve b* ise kromatik koordinatları ifade etmektedir. (+a* kırmızı için, -a* yeşil için, +b* sarı için, -b* mavi için kullanılmıştır). Degradasyonuna maruz kalan yüzeylere periyodik olarak aynı noktalardan ölçümler yapılarak renk değişimleri net olarak tespit edilmeye

çalışılmıştır. Herbir numune için 6 farklı noktadan ölçüm alınmış ve bunların ortalama değerleri baz alınmıştır.

Toplam renk değişimi (ΔE^*) hesaplaması denklem 3.1-3.4'te gösterilen eşitlikler kullanılarak yapılmıştır.

$$\Delta L^* = L_s^* - L_i^* \quad (3.1)$$

$$\Delta a^* = a_s^* - a_i^* \quad (3.2)$$

$$\Delta b^* = b_s^* - b_i^* \quad (3.3)$$

$$\Delta E^* = \frac{(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})}{2} \quad (3.4)$$

Burada, ΔL^* , Δa^* , Δb^* başlangıç (i) ve test sonrasında (s) meydana gelen renk değişikliklerini (ΔE^*) belirtmektedir (Ustaömer, 2008).

3.5 Parlaklık Ölçümü

Parlaklık ölçümü 60° ölçüm geometresinde BYK Micro-Tri-Gloss marka parlaklık ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Degradasyonuna maruz kalan yüzeylerde periyodik olarak aynı noktadan ölçümler yapılarak parlaklık değişimleri net olarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Herbir numune için 6 farklı noktadan ölçüm alınmış ve bunların ortalama değerleri baz alınmıştır.

3.6 Yüzey Pürüzlülük Ölçümü

Örneklerin yüzey pürüzlülük ölçümleri Mitutoyo Surfest SJ-310 cihazı ile yapılmıştır. Ölçümler düzenli ve aynı aralıkta yapılmıştır. İlk önce hızlandırılmış dış ortam testine ve doğal dış ortam testine maruz bırakılma öncesinde örneklerin pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Degradasyon faktörlerinin etkisi ile meydana gelen değişimler için bu ölçümler başlangıç değeri olarak kabul edilmiştir. 4 farklı noktadan Rz pürüzlülük değerleri ölçümleri yapılmış ve ortalama değerler alınmıştır. Elmas uçlu bir tarama detektörü ile yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Kesme mesafesi $\lambda_c = 0,8$ mm, örnekleme mesafesi 12,5 mm olarak belirlenmiştir.

3.7 Makroskopik Değişimlerin Belirlenmesi

Degradasyon faktörleri nedeniyle örnek yüzeylerinde meydana gelen değişimlerin görselleri her ölçüm sonrasında yüksek çözünürlüklü Nikon D5200 18-55 Mm VR

Kit marka cihaz ile fotoğraflanmıştır. Makroskopik görsel değişiklik dataları oluşturulmuştur.

3.8 FTIR Analizleri

Herbir test grubuna ait örneklerinin FTIR (Fourier transform infra-red) spektroskopi analizleri, Bruker Optics Tensor 37 ile gerçekleştirilmiştir. UV degradasyonu sonucu örnek yüzeylerinde meydana gelen yapısal değişikliklerin belirlenmesinde FTIR analizleri yaygın şekilde kullanılmaktadır. FTIR analizi, UV ve yağmur suyu başta olmak üzere dış ortam koşullarının odun yüzeyinde yaptığı değişimleri tespit etmek için renk ölçümünde önemli değişimlerin tespit edildiği sürelerde yapılmıştır. ATR ünitesi ile odun yüzeyinden tahribatsız ölçümler alınmıştır. Ölçümler aynı noktadan tekrarlı olacak şekilde (en az 2 ölçüm), 400-4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında spektrum alınacak şekilde yapılmıştır.

3.9 İstatistiksel Analizler ve Regresyon Modellemesi

Çalışmada araştırılan parametreler, IBM SPSS 22 istatistik paket programı yardımıyla ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu analizler kapsamında; araştırılan herbir parametre ve odun türü için hızlandırılmış yaşlandırma testi ile doğal dış ortam testi arasında bir farklılık olup olmadığı bağımsız iki örnek T testi ile; araştırılan parametrelerin ağaç türleri arasındaki farklılıkları basit varyans analizi ile incelenmiş, anlamlı farklılıklar Post-Hoc testlerinden olan Duncan homojenlik grupları tayin edilmiştir. Hızlandırılmış dış ortam testi ve doğal dış ortam koşullarının birbirlerini etkileme derecesi ise basit ve çoğul regresyon modelleri ile araştırılmıştır.

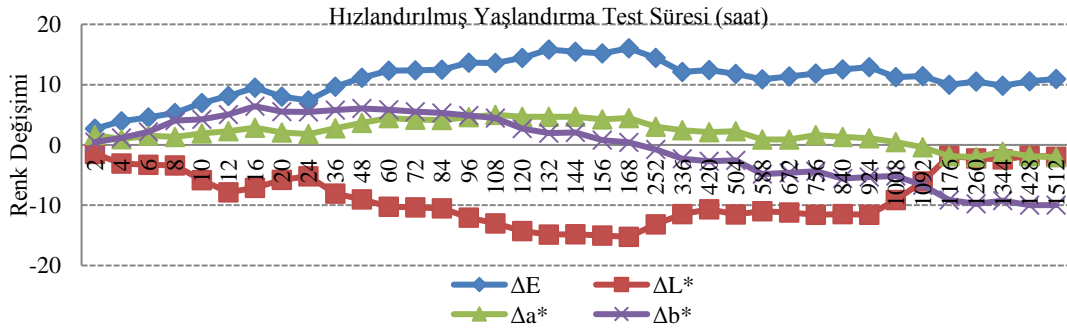
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

4.1 Renk Değişimi ve FTIR Analizine ait Bulgular

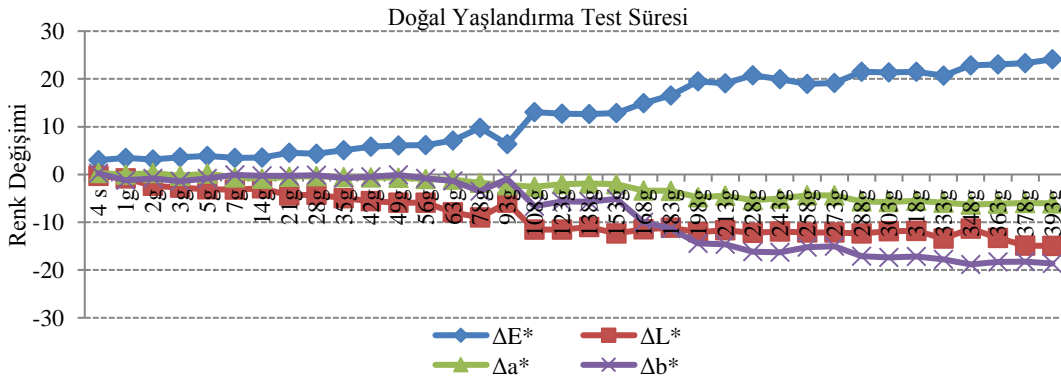
4.1.1 Dişbudak örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan dişbudak örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.1 ve 4.2’de, FTIR spektraları ise Şekil 4.3 ve 4.4’de gösterilmiştir. 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakılan dişbudak test örneklerinde ΔL^* değerleri incelendiğinde 4. saatten itibaren koyu renk değişimi başlamakta, 12. saate kadar yüzeyde koyulaşma devam etmektedir. Daha sonra 24. saate kadar yüzeyler hafifçe açılmakta ve ardından tekrar 168. saate kadar yüzeyler koyulaşmaktadır. Sonrasında ise 1512 saatin sonuna kadar yüzeydeki koyu rengin açılmaya başladığı gözlenmiştir. Bu renk değişimlerinin lignin degradasyonu nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. 12. saatin sonunda meydana gelen lignin degradasyonu sonrasında yeni yüzeyler ortaya çıkmış, yeni yüzeylerin 24. saatten sonra lignin degradasyonu tekrar başlamakta ve neredeyse doğrusal olarak 168. saate kadar devam etmektedir. 168. saatte en düşük ΔL^* değerine ulaşılrken (-15,24), ligninin tamamen kaybolduğu, selülozca zengin yeni yüzeylerin ortaya çıktığı FTIR analiz sonuçları ile desteklenmektedir (Şekil 4.3). Aynı zamanda 168. saatte en yüksek ΔE^* değeri (16,03) görülmektedir. Doğal yaşlandırma test örnekleri ΔL^* değerleri incelendiğinde 78. güne kadar yüzeyin sürekli koyu renk aldığı ancak 78. günden sonra yüzeyde hafif bir açılma olduğu dolayısı ile ilk lignin bozunmasının gerçekleştiği görülmektedir. Ortaya çıkan yeni yüzey degradasyonu 108. günden 393. güne kadar bozunmaya devam etmektedir. Doğal yaşlandırma testine ait örneklerde test süresi boyunca koyulaşma gözlenmektedir. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu gözlem, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır. En yüksek ΔE^* değeri test süresi sonunda 393. günde 24,10 olarak görülmektedir. ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır.

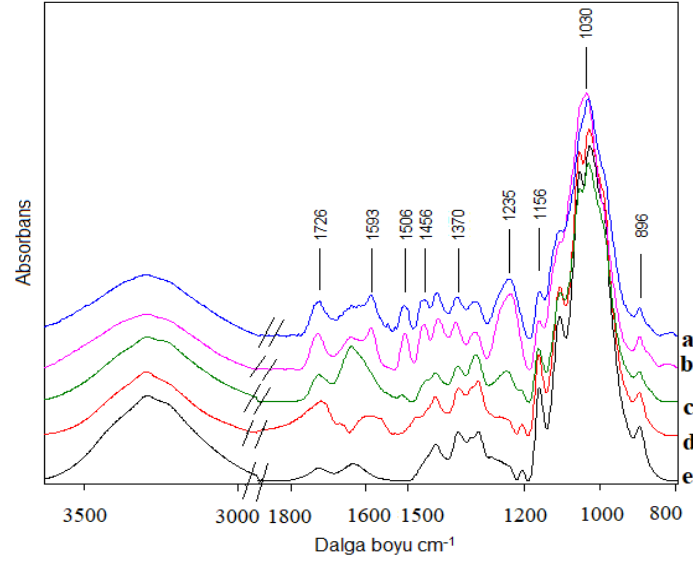
Dişbudak test örneğinde Δa^* değerleri hızlandırılmış yaşlandırma testi sonucunda önce hafif bir şekilde artmış (168. saate kadar) daha sonra test süresince azalmıştır (Şekil 4.1). Test süresi boyunca en yüksek $+\Delta a^*$ değeri 60. saatte elde edilmiş, örneğin renginin kırmızımı koyu renk olduğu gözlenmiştir. 1092. saatten sonra $-\Delta a^*$ değeri görülmekte, test süresi sonunda en düşük $-\Delta a^*$ (-2,03) değeri elde edilmiştir. Sarılık-mavilik (Δb^*) değerleri ise 1512 saat sonunda negatif değerlere ulaşmıştır. En yüksek $+\Delta b^*$ değerleri 16. saatte (6,41) görülmekte, ardından test süresi bitimine kadar neredeyse doğrusal olarak azalmaktadır. 1428. saatte en düşük $-\Delta b^*$ (-10,00) değeri görülmektedir (Şekil 4.1). Doğal yaşlandırma test örneklerinde ise Δa^* ve Δb^* değerleri negatif yönde devam etmektedir. Δb^* değeri 63. gün sonunda – yönde belirgin azalma göstermektedir. Test süresi sonunda yüzeyde gözle görülür mavi-gri görüntü oluşmasının nedeni $-\Delta b^*$ değerinin yüksek olması olarak açıklanmaktadır. İki yaşlandırma testi arasında Δa^* ve Δb^* değerlerinde görülen farklılığın, dış ortamda bulunun toz, çamur gibi kirlilikler ile biyotik faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



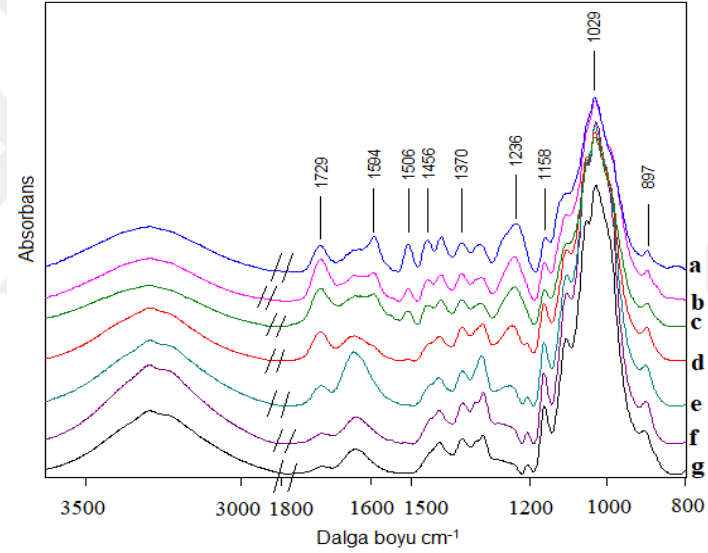
Şekil 4.1: Dişbudak hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.2: Dişbudak doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.3: Dişbudak hızlandırılmış yaşlandırma FTIR sonuçları (a: kontrol, b:12. saat, c:60. saat, d:168. saat, e:1512. saat).



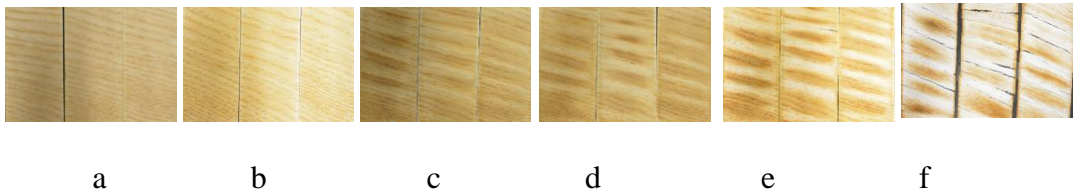
Şekil 4.4: Dişbudak doğal yaşlandırma FTIR sonuçları (a: kontrol, b: 7. gün, c:42. gün, d:78. gün, e:153. gün, f:333. gün, g: 393. gün).

Örneklerin FTIR spektralarında, renk ölçümünde en önemli değişimlerin olduğu saatler/günlere yer verilmiştir. Çizelge 4.1’de odun için 1800-800 cm^{-1} bölgesinde FTIR spektrumunda en önemli band aralıkları verilmiştir (Cogulet ve diğ., 2016). 3300-4000 cm^{-1} ’de kuvvetli bir geniş O-H germe emme bandı ve odun FTIR spektrumlarının temel bandı olan 2800-3000 cm^{-1} ’de uzanan bir C-H bandı vardır. Bu band aralığında olan bağlar, ışığa maruz kalma sırasında önemli değişiklikler yapmamaktadır. Genel olarak, FTIR analizi odunun fotodegradasyona duyarlılığını onaylamaktadır.

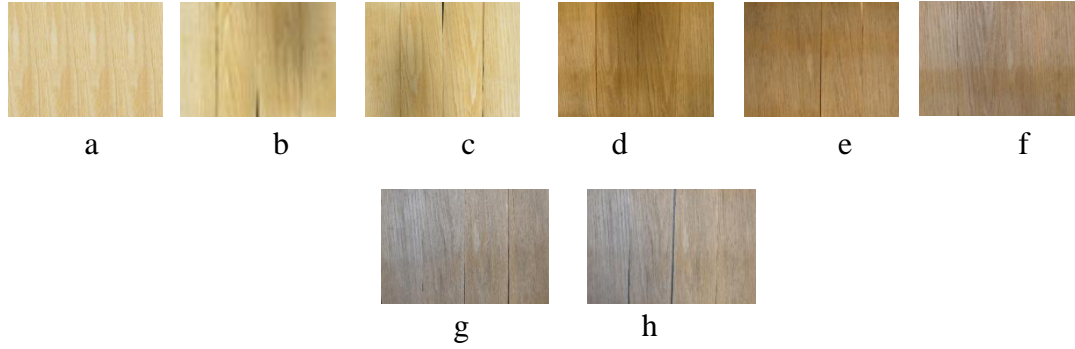
Çizelge 4.1: Odun için 1800-800 cm^{-1} bölgesinde FTIR spektrumunda en önemli band aralıkları (Cogulet ve diğ., 2016).

Dalga Boyu (cm^{-1})	Bileşik veya kimyasal grup
2815–2905	Reçine asitleri
1732	Hemiselülozda C = O bağı, asetil veya karboksilik asitin gerilmesi
1710–1688	Karbonil veya karboksil gerilmesi
1596	Lignin - aromatik yapı
1510	Lignin - aromatik yapı titreşimi
1460	Ligninde C-H bozunması
1400–1375	Selüloz ve hemiselülozda deformasyon
1267-1200	Lignin halkasındaki guayasil birimlerinde C-O gerilmesi
1157-1031	Selüloz ve hemiselülozda C-O titreşimi
897	Selülozda C-H deformasyonu

UV ışınlarına karşı en hassas odun bileşeni, 1510-1500 cm^{-1} dalga boyu aralığında görülen lignindir (titreşiminin saf katkısı C = C) (Anderson ve diğ., 1991). Hızlandırılmış yaşlandırma testine bırakılan dişbudak test örneklerinde bu dalga boyu aralığında kabul edilen 1506 cm^{-1} deki pik 168. saatte; doğal yaşlandırılmış örneklerde ise 78. günün sonunda kaybolmakta, bu da ligninin yüzeyde tamamen bozulduğu anlamına gelmektedir (Şekil 4.3 ve 4.4). 1200-1270 ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. 1160- 1030 cm^{-1} band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikin aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. Yaşlandırma süresine bağlı olarak 1460 ve 1267 cm^{-1} deki pikleri de azalmaktadır. 1732, 1375, 1157, 1052 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen diğer pikler temel olarak karbonhidratlar ile ilişkilidir (Pandey ve diğ., 2003). Yaşlandırma etkisiyle bu piklerde kaybolma beklenmezken, süreye bağlı olarak 1052, 1157 ve 1318 cm^{-1} band aralığında görülen piklerde kayma görülmektedir. Benzer sonuç literatürde de bulunabilir (Müller ve diğ., 2003).



Şekil 4.5: Dişbudak test örnekleri hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:12. saat, c:60. saat, d:84. saat, e:168. saat, f:1512. saat).



Şekil 4.6: Dişbudak test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b: 7. gün, c:42. gün, d:78. gün, e:93. gün, f:153. gün, g: 333. gün, h: 393. gün).

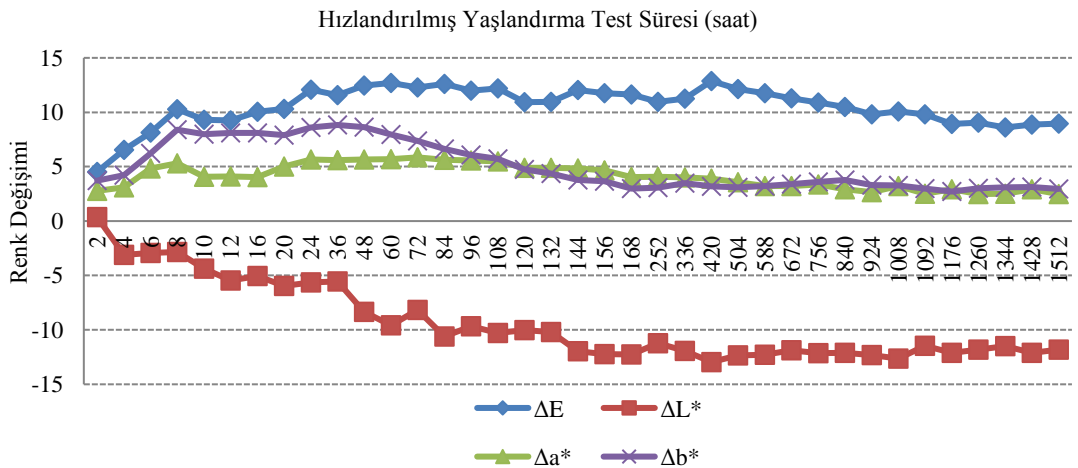
Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 168. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha açık sarımtırak yüzey meydana geldiği gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 93. günden sonra yaygın olarak gözlenmektedir ve test süresi sonuna kadar grileşme artmaktadır (Şekil 4.5 ve 4.6). Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.1.2 Okalıptüs örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

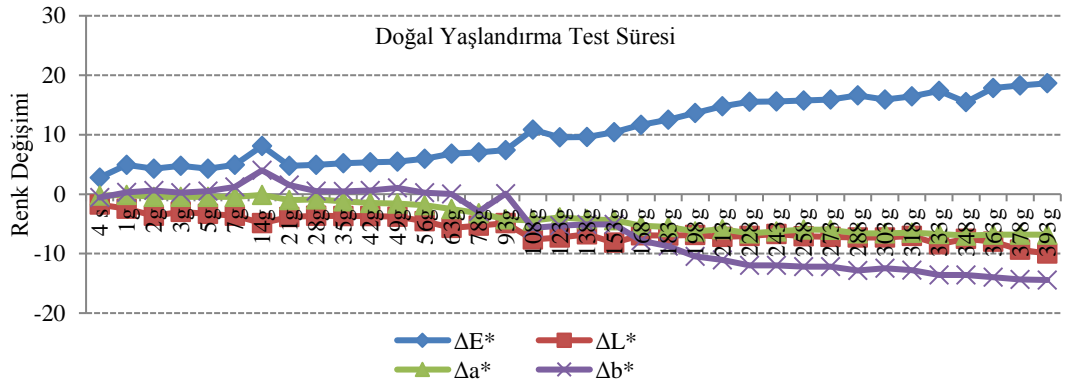
Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan okalıptüs örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.7 ve 4.8’de, FTIR spektraları ise Şekil 4.9 ve 4.10’da gösterilmiştir. 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakılan okalıptüs test örneklerinde ΔL^* değerleri incelendiğinde 4. saatte -3,10 değere düştüğü görülmekte, açık yüzeyin koyulaşmasının ilk saatlerde meydana gelen sararmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ardından değerlerde doğrusal şekilde azalma devam etmekte ve 168. saatten sonra neredeyse stabil olarak devam etmektedir. 168. saatte lignin degradasyonun tamamlandığı FTIR analiziyle desteklenirken, 420. saatte en düşük ΔL^* değeri (-12,95) elde edilmiştir. Aynı zamanda 420. saatte en yüksek ΔE^* değeri (12,87) görülmektedir. ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır ve bu durum renk değişiminin örneklerde hafifçe devamlılık arz ettiğini göstermektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^*

değerleri incelendiğinde 14. gün sonuna kadar değerlerin azaldığı daha sonra hafifçe arttığı gözlenmiştir. Bu durum yüzeylerde ilk lignin bozunmasının gerçekleştiği ifade etmektedir. Ortaya çıkan yeni yüzey degradasyonu 63. güne kadar neredeyse sabit ilerleyerek, 63. günden sonra 2. tabakanında bozunmaya başladığı görülmektedir. Doğal yaşlandırma testine ait örneklerde test süresi boyunca koyulaşma gözlenmektedir. En düşük ΔL^* değeri test süresi sonunda -9,99 olarak bulunmuştur. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu gözlem, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır. En yüksek ΔE^* değeri test süresi sonunda 393. günde 18,64 olarak görülmektedir. ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar sürekli artış halindedir.

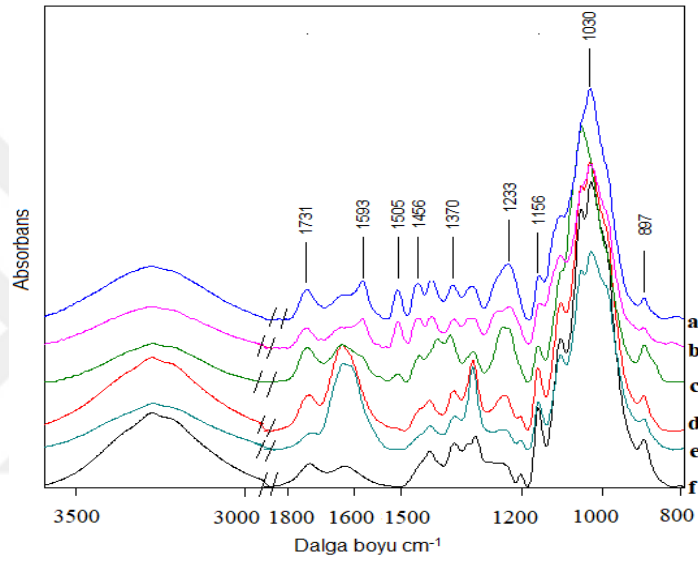
Okalıptüs test örneklerinde Δa^* ve Δb^* değerleri 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testi süresince pozitif değer göstermektedir (Şekil 4.7). Bu değerler önce hafif bir artış daha sonrada azalma eğilimindedir. Test süresi boyunca $+\Delta a^*$ ve $+\Delta b^*$ değerinin neredeyse başlangıç seviyesindeki değerler ile aynı olduğu gözlenmektedir. Test süresi sonunda örnek renginin kırmızimsı koyu renk olduğu görsel değerlendirme sonucunda desteklenmektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinde ise Δa^* ve Δb^* değerleri negatif yönde devam etmektedir. Δb^* değeri 393. gün sonunda – yönde en düşük değeri göstermektedir (-14,43). Test süresi sonunda yüzeyde gözle görülür mavi-gri görüntü oluşmasının nedeni $-\Delta b^*$ değerinin yüksek olması olarak açıklanmaktadır.



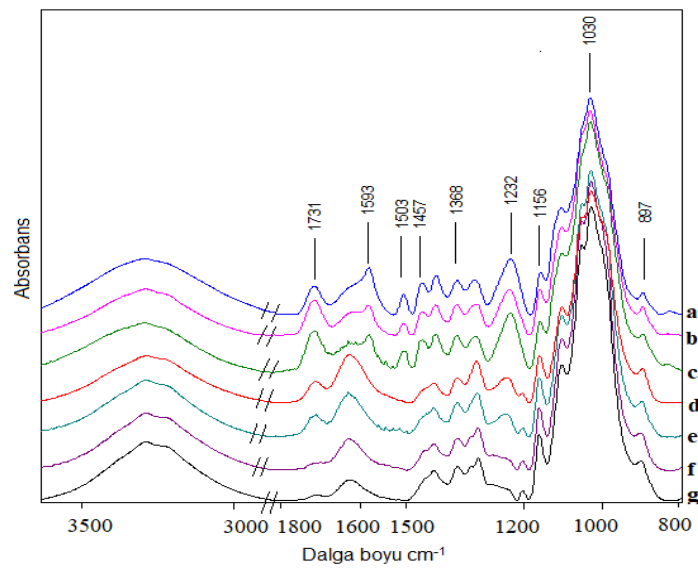
Şekil 4.7: Okalıptüs hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.8: Okaliptüs doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.9: Okaliptüs hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları. (a: kontrol, b:4. saat, c:12. saat, d:60. saat, e:168. saat, f:1512. saat).

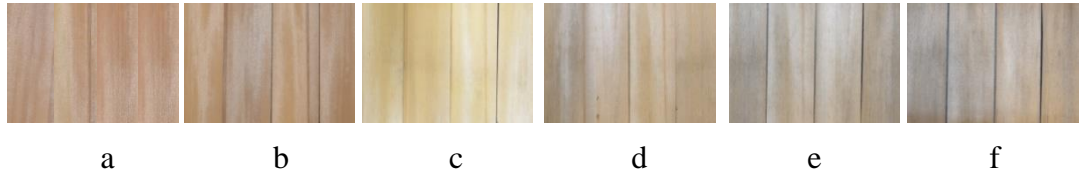


Şekil 4.10: Okaliptüs doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları. (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:108. gün, e:153. gün, f: 393. gün).

Dişbuduğa benzer şekilde 3300-4000 cm^{-1} 'de kuvvetli bir geniş O-H germe emme bandı ve ahşap FTIR spektrumlarının temel bandı olan 2800-3000 cm^{-1} 'de uzanan bir C-H bandı vardır. Bu band aralığında olan bağlar, ışığa maruz kalma sırasında önemli değişiklikler görülmemektedir. Okaliptüs örneklerinde lignin karakteristik piki 1503 cm^{-1} 'dedir. Hızlandırılmış yaşlandırılan örneklerin 12. saatten sonra lignin pikinde büyük oranda bozunma görülmekte 60. saatte tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.9). Sonuçlar makroskopik değerlendirme ile uyumludur. 1732, 1375, 1157, 1052 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamaktadır. Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 168. saatten sonra, doğal yaşlandırma ise 108. günden daha yüksek görülen 1644 piki, karbonil miktarının arttığını göstermektedir. Aynı zamanda bu zaman dilimlerinde lignin degradasyonu tamamlanmakta olduğundan, hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz kalan örneklerde 168. saatten sonra, doğal yaşlandırma test örneklerinde ise 108. günden sonra kimyasal değişiklik belirgin hale gelmektedir.



Şekil 4.11: Okaliptüs test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskopik değerlendirmesi (a: kontrol, b:4. saat, c:12. saat, d:60. saat, e:168. saat, f:1512. saat).



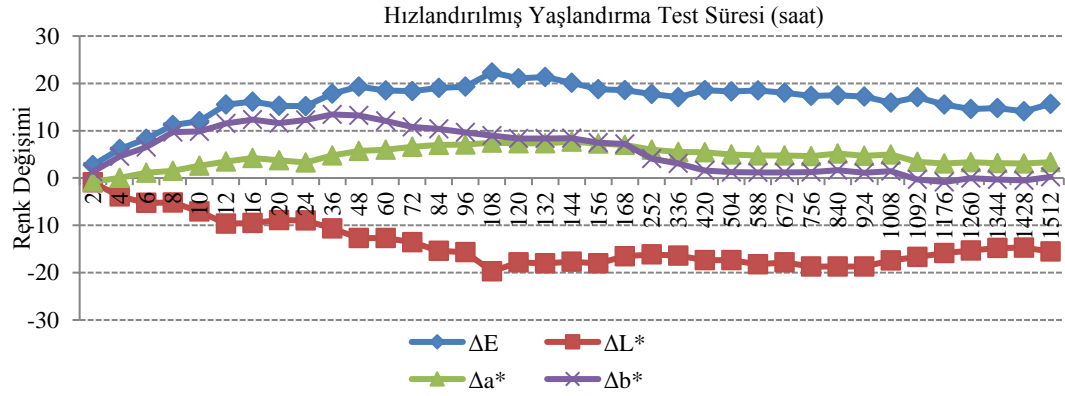
Şekil 4.12: Okaliptüs test örnekleri doğal yaşlandırma sonrasında makroskopik değerlendirme (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:108. gün, e:153. gün, f: 393. gün).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 60. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha koyu kırmızimsı olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 108. günden sonra yaygın olarak gözlenmektedir ve test süresi sonuna kadar grileşme artmaktadır (Şekil 4.11 ve 4.12). Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskopik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

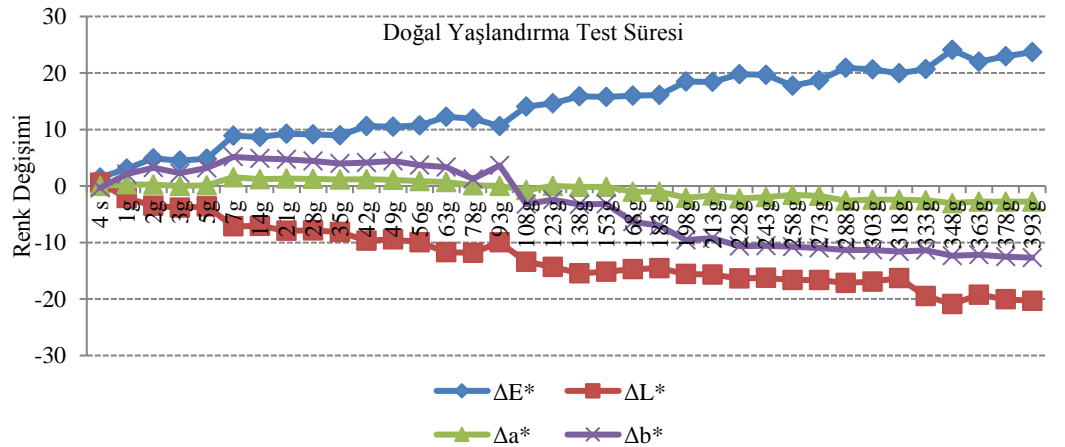
4.1.3 Akçaağaç örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan akçaağaç örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.13 ve 4.14'de, FTIR spektraları ise Şekil 4.15 ve 4.16'da gösterilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma testine tabi tutulan akçaağaç test örneklerine ait ΔL^* değerleri incelendiğinde 4. saatten 12. saate kadar rengin koyulaştığı, sonrasında 24. saate kadar sabit değer kabul edilebilecek oranda değişim görülmektedir. Bu durum için, ligninin ilk degradasyonu ilk 12. saate tamamlamakta, 24. saate kadar ortaya çıkan yeni tabaka nedeniyle renk değişiminin etkilenmediği düşünülmektedir. 108. saate kadar yüzeyin koyu renk aldığı sonrasında ise örnek yüzeylerinde koyu renk hakim olmakla birlikte yüzeyin hafifçe açılmaya başladığı görülmüştür. 108. saate 2. tabakanın degradasyonun tamamlandığı Şekil 4.13'de görülmekte ve -19,73 değeriyle en koyu yüzey elde edilmektedir. Lignin 108. saatten sonra FTIR spektralarında görülmemekte, aynı zamanda Şekil 4.15'de değerler incelendiğinde lignin degradasyonun tamamlandığı görülmektedir. Toplam renk değişimi eğrisine bakıldığında en yüksek ΔE^* değeri 108. saate 22,31 olarak görülmektedir. 108. saatten sonra lignin degradasyonu tamamlandığından ortaya çıkan yeni yüzeylerde bozunma devam etmekte, fakat renk değişimi azalmaktadır. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edimesi daha az olması olacağından, selülozca zengin yüzey degradasyonu daha yavaş gerçekleşmiş olabilir. ΔE^* değerinin fazla olması test örneğinin başlangıç seviyesine göre renk değişiminin fazla olduğunu açıklamaktadır. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde 78. güne kadar azalma sürekli devam etmiş, sonra hafif bir artış ve ardından test sonuna kadar azalma gözlenmiştir. Bu durum lignin degradasyonunun 78. güne kadar devam ettiğini göstermektedir. Ortaya çıkan yeni tabaka yeniden 108. günde bozulmaya başlamakta ve bozunma 318. güne kadar yavaş şekilde devam etmektedir. En düşük ΔL^* değeri 348. günde -20,91 olarak görülmektedir. Aynı şekilde en yüksek ΔE^* değeri 348. günde +24,08 olarak bulunmuştur. Test süresi sonuna kadar örneklerde koyulaşma devam etmekte, renk değişiminin yavaş olduğu görülmektedir. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu durum, diğer ağaç türlerinde olduğu gibi dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır.

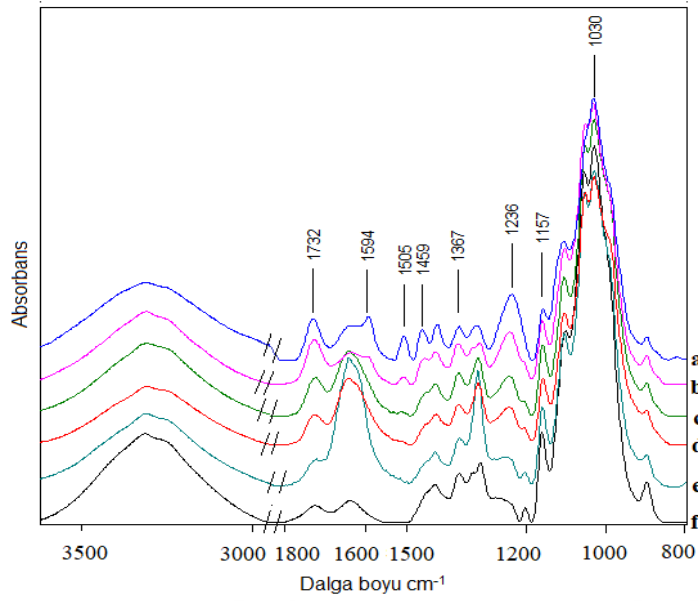
Akçağaç hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde $+\Delta a^*$ değeri 108. saatte en yüksek değeri vermekte (+7,47) ve sonrasında test süresi boyunca hafifçe azalmaktadır. Test süresi sonunda örnek renginin kırmızısı koyu renk olduğu görsel değerlendirme sonucunda desteklenmiştir. Örneklerin Δb^* değeri incelendiğinde ise 48. saate kadar olan artışı daha sonraki saatlerde azalmalar takip etmiştir. Test süresi sonuna kadar Δb^* değeri negatif yöne doğru ilerlemekte ve yüzeyde gözle görülür mavi-gri görüntü oluşmasının nedeni $-\Delta b^*$ değerinin düşmesi olarak açıklanmaktadır. Doğal yaşlandırma sonrasında Δa^* değerleri sabit denilebilecek kadar az değişim ile test süresi sonuna kadar devam etmektedir. Örneklerin Δb^* değerleri ise ilk 93 gün boyunca hafifçe artarken sonrasında azalmıştır. Bu periyotta lignin bozunmasının sağlandığı hem şekil 4.14’de yer alan ΔL^* grafiğinde, hemde Şekil 4.16’da gösterilen FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.



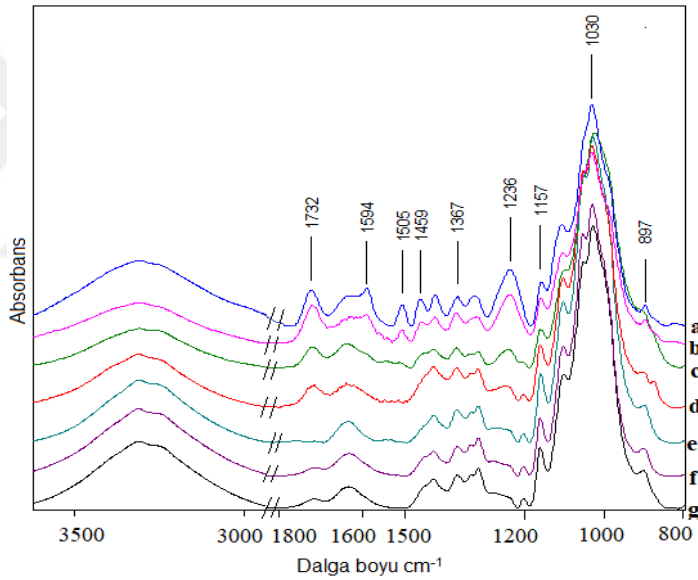
Şekil 4.13: Akçağaç hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.14: Akçağaç doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



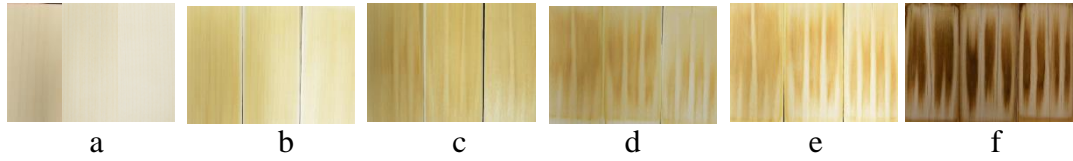
Şekil 4.15: Akçaağaç hızlandırılmış FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b:12. saat, c:48. saat, d:108. saat, e:168. saat, f:1512. saat).



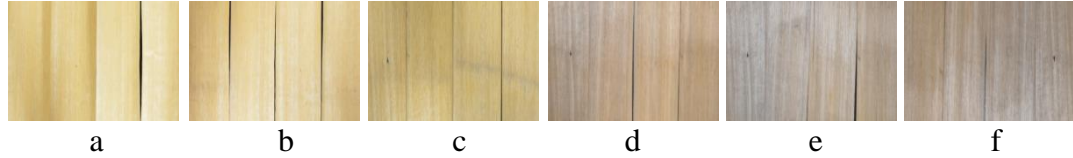
Şekil 4.16: Akçaağaç doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:78. gün, d:108. gün, e:228. gün, f:333. gün, g:393. gün).

Akçaağaç örneklerinde ligninin karakteristik piki 1505 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Lignin aromatik yapısı olarak adlandırılan bu pikte 48. saatten sonra bozunma görülmekte, 108. saatte tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.15). 1200-1270 ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde de azalma görülmektedir. $1160-1030 \text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikin aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. $1732, 1367, 1236, 1157$ ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde değişiklik meydana gelmektedir. Lignin piki,

hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 108. saatten sonra, doğal yaşlandırma ise 108. günden sonra görülmemektedir.



Şekil 4.17: Akçaağaç test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:12. saat, c:48. saat, d:108. saat, e:168. saat, f:1512. saat).



Şekil 4.18: Akçaağaç test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:78. gün, d:108. gün, e:228. gün, f:333. gün, g:393. gün).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 48. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha koyu kırmızımı olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 108. günden sonra belirgin olarak gözlenmektedir ve test süresi sonuna kadar grileşme artmaktadır (Şekil 4.17 ve 4.18). Parçalanmış lignin yağmur yada suyun etkisiyle yıkanmakta, geriye selülozdan oluşan gri bir yüzey görülmektedir (Pastore ve diğ., 2003). Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.1.4 Kiraz örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

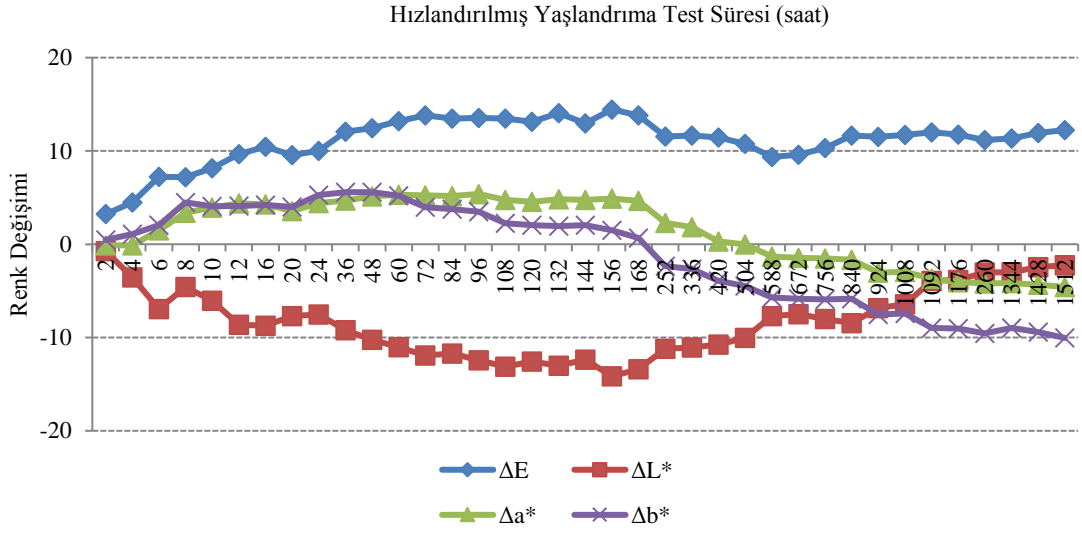
Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan kiraz örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.19 ve 4.20'de, FTIR spektralleri ise Şekil 4.21 ve 4.22'de gösterilmiştir. Şekil 4.19'da belirtildiği gibi hızlandırılmış yaşlandırma testi uygulanan kiraz test örneklerinde ΔL^* değerleri 6. saatin sonuna kadar azalmış sonrasında hafifçe artmış ve 12. saatin sonunda yeniden azalmış ve ardından artmıştır. 24. saatin sonundan itibaren sürekli azalma eğilimi göstermiş ve 156. saatin

sonundan itibaren hafifçe artarak devam etmiştir. ΔL^* değerlerindeki azalmalar lignin degradasyonun olduğunu ve yeni yüzeylerin ortaya çıktığı göstermektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri dikkate alındığında bozunmanın ilk saatlerde hızlı şekilde olduğunu, 12. saatte yeni çıkan yüzeydeki ligninin 2. kez degradasyona uğradığını söylemek mümkündür. Ahşap malzemenin kimyasal yapısında bulunan kromoforik grupların UV ışınlarını absorbe ederek, kimyasal bağların degradasyonunu ve bu durum sonucunda fotodegradasyon olayının gerçekleşmesi, açık hava şartlarının ahşap malzemeye ilk saatlerde daha etkili olduğunun nedeni olarak açıklanmaktadır (Feist ve Hon, 1984; Temiz, 2005; Williams, 2005). 12. saat sonrasında ortaya çıkan yeni tabakanın 24. saatten sonra tekrar bozunmaya başladığı görülmekte ve son lignin degradasyonu 156. saatte tamamlanmaktadır. 156. saatte (-14,16) değeriyle en koyu yüzey elde edilmektedir. Lignin 156. saatten sonra FTIR sonuçlarına bağlı olarak görülmemekte, her iki grafikte birbirini desteklemektedir. 156. saatten sonra test süresi sonuna kadar renk değişimi periyodik olarak artmaya devam etmektedir. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edilmesi daha az olması beklendiğinden, selülozca zengin yüzey degradasyonunun daha yavaş gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı zamanda 156. saatte en yüksek ortalama ΔE^* değeri (14,45) görülmektedir. ΔE^* değeri başlangıç seviyesinden fazla olması, renk değişiminin örneklerde fazla olduğunu göstermektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde 7. günde azaldığı, sonrasında hafifçe artıp 63. güne kadar yeniden azaldığı görülmüştür. 63. günden sonra görülen bu azalmayı test sonuna kadar hafif bir artış takip etmiştir.

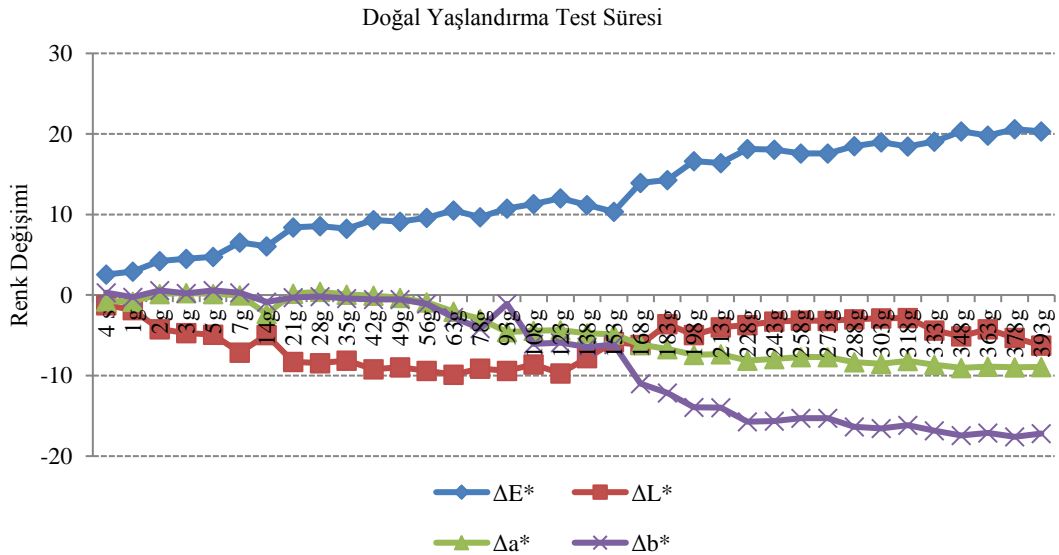
Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine benzer şekilde, doğal yaşlandırma test örnekleri de ilk periyotlarda hızlı şekilde degradasyona uğramaktadır. Yeni yüzeyde görülen 2. bozunma 123. güne kadar devam etmekte, daha sonrasında ortaya çıkan yeni yüzeyde lignin görülmediğinden, bozunma daha düşük değerlere ulaşmadan devam etmektedir. Bu durum Şekil 4.22'de gösterilen FTIR sonuçları ile desteklenmektedir. ΔE^* test süresi boyunca artmaktadır. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu durum, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır.

Kiraz hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* değeri 504. saatten sonra negatif (-) yönde ilerleme göstermekte ve süre sonuna kadar devam etmektedir (Şekil 4.19). Örneklerin Δb^* değeri incelendiğinde ise 252. saatten sonra test süresi

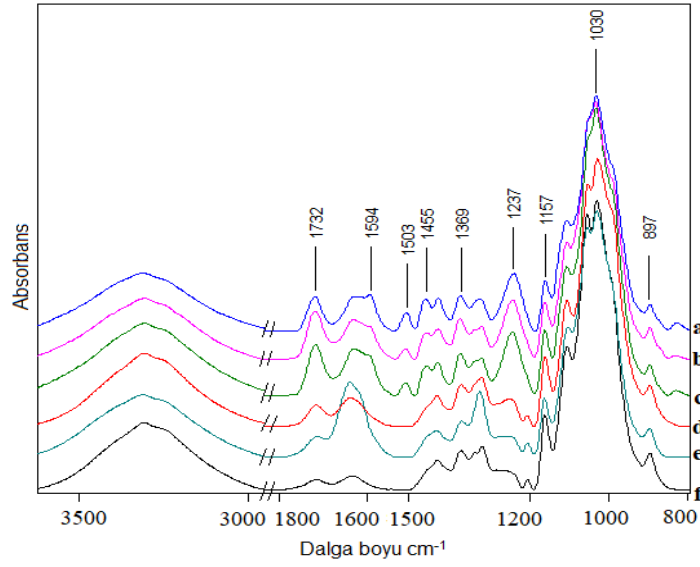
sonuna kadar negatif yönde ilerlediği görülmektedir. Doğal yaşlandırma Δa^* ve Δb^* değerleri 7. günden sonra negatif yönde ilerlemekte ve test süresi sonuna kadar devam etmektedir. Örneklerin Δb^* değerleri ise 56. günden sonra, başlangıç değerlerinden belirgin şekilde azalma göstererek yüzeyin mavileşmesinin arttığı belirtilmektedir. Bu periyotta lignin bozunmasının sağlandığı hem Şekil 4.20’de yer alan ΔL^* grafiğinde, hem de Şekil 4.22’de gösterilen FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.



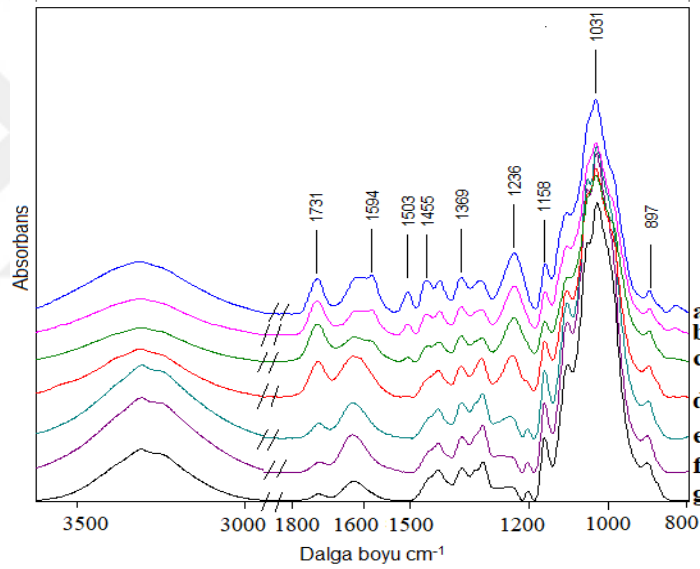
Şekil 4.19: Kiraz hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.20: Kiraz doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.21: Kiraz hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b:12. saat, c:24. saat, d:156. saat, e:504. saat, f:1512. saat).

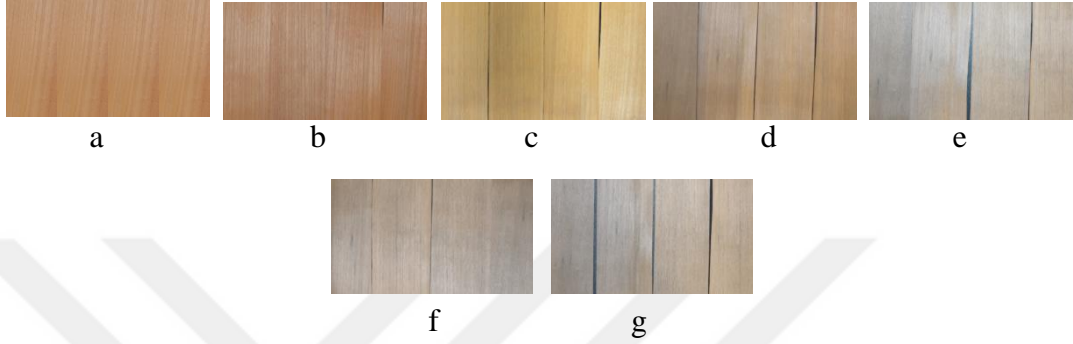


Şekil 4.22: Kiraz doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:123. gün, e:198. gün, f:333. gün, g:393. gün).

Kiraz örneklerinde lignin 1503 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 156. saatte tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.21). 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 156. saatte iken doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 123. günden sonra görülmektedir.



Şekil 4.23: Kiraz test örnekleri hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:12. saat, c:48. saat, d:108. saat, e:168. saat, f:1512. saat).



Şekil 4.24: Kiraz test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:123. gün, e:198. gün, f:333. gün, g:393. gün).

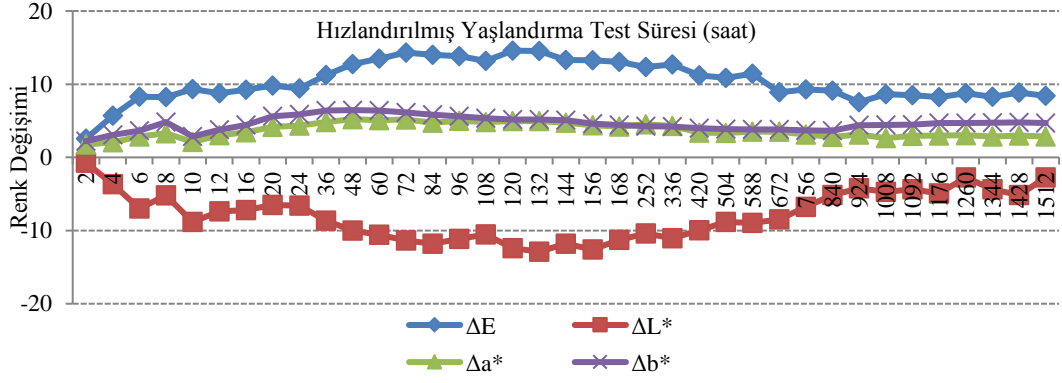
Şekil 4.23 ve 4.24’de hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 108. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha soluk grimsi yüzey olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 63. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır. Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.1.5 Adi ceviz örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

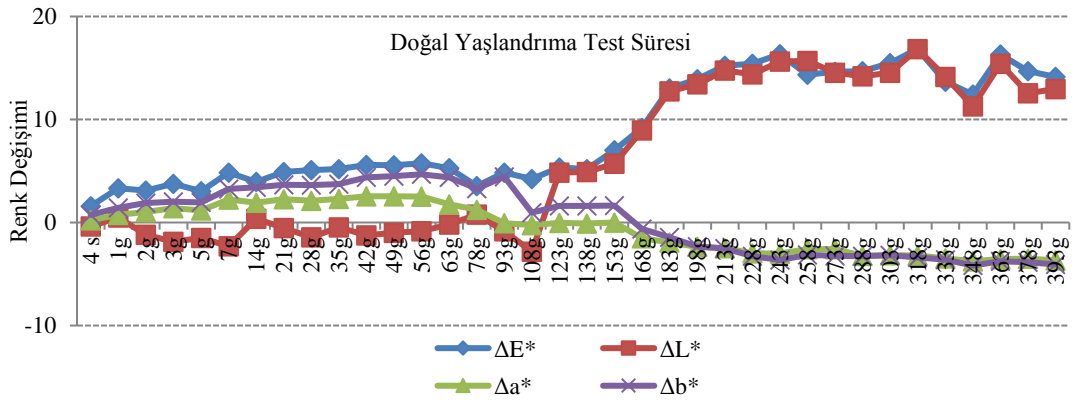
Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan adi ceviz örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.25 ve 4.26’de, FTIR spektralleri ise Şekil 4.27 ve 4.28’de gösterilmiştir. Şekil 4.25’de gösterilen hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan adi ceviz test örneklerinde ilk 6 saatte yüzeylerde koyulaşma görülmüş ardından hafifçe açılma ardından yine 10. saat sonunda koyulaşma gözlenmiştir. 24. saatin sonuna kadar yüzeylerde açılma gözlenirken bunu koyulaşma takip etmiş ve bu durum 132. saatin sonuna kadar devam etmiştir. Bu saatten sonra yüzeyler açılma eğilimindedir. 6. saatte ilk lignin degradasyonu olduğu ve yeni yüzeylerin ortaya

çıkacağı düşünülmektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri dikkate alındığında bozunmanın ilk saatlerde hızlı şekilde olduğunu, 12. saatte yeni çıkan yüzeydeki ligninin 2. kez degradasyona uğradığını söylemek mümkündür. Aynı durum kiraz örneklerinde de görülmüştür. 12. saat sonrasında ortaya çıkan yeni tabakanın 24. saatten sonra tekrar bozunmaya başladığı görülmekte ve son lignin degradasyonu 132. saatte tamamlanmaktadır. 132. saatte (-12,89) değeriyle en koyu yüzey elde edilmektedir. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edimesi daha az olacağından, selülozca zengin yüzey degradasyonunun daha yavaş gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı zamanda 132. saatte ΔE^* değerinde azalma görülmektedir. ΔE^* değeri 132. saatte en yüksek değeri vermektedir (+14,56). Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 7 günde azalma, ardından 14-78. günler arasında stabil olarak bir artış ve 108. gün sonunda önemli bir azalma sonrasında sürekli olarak bir artış gözlenmiştir. Buradan 7. günde ilk lignin degradasyonu olduğu, ortaya çıkan yeni yüzeyde degradasyon 14. günden 78. güne kadar yavaş şekilde ilerlediği, 78. günden sonra 2. lignin degradasyonunun olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.26'dan görüldüğü gibi 108. günden sonra belirgin şekilde selülozca zengin yeni tabakada meydana gelmekte ve yapısında lignin olmaması nedeniyle bozunma test süresi sonuna kadar + ΔL^* önünde devam etmekte ve yüzey açık renk almaktadır. Şekil 4.28'de belirtilen FTIR sonuçları ile bu sonuç desteklenmektedir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. ΔE^* değerinin fazla olması test örneğinin başlangıç seviyesine göre renk değişiminin fazla olduğunu açıklamaktadır. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu durum, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır.

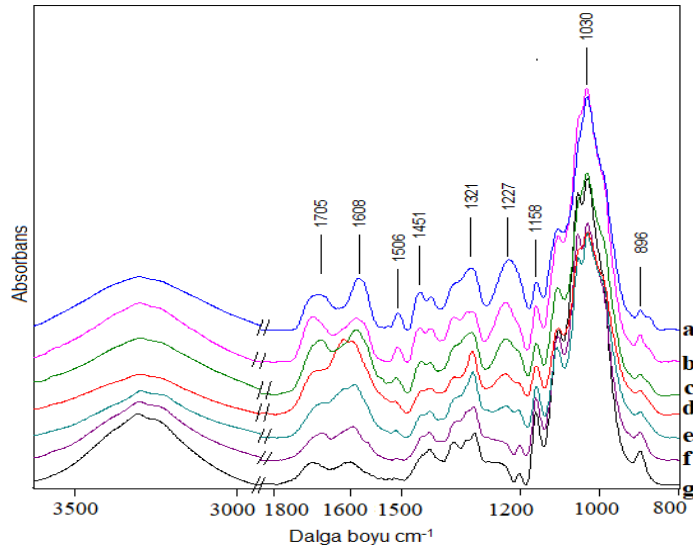
Adi ceviz hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* ve Δb^* değeri pozitif yönde neredeyse sabit kabul edilebilecek şekilde devam etmektedir (Şekil 4.25). Test süresi sonunda koyu kırmızısı-sarı yüzey makroskobik değerlendirme sonucuyla desteklenmektedir. Doğal yaşlandırma Δa^* değerleri 93. günden sonra Δb^* değeri ise 153. günden sonra negatif yönde ilerlemekte ve test süresi sonuna kadar devam etmektedir..



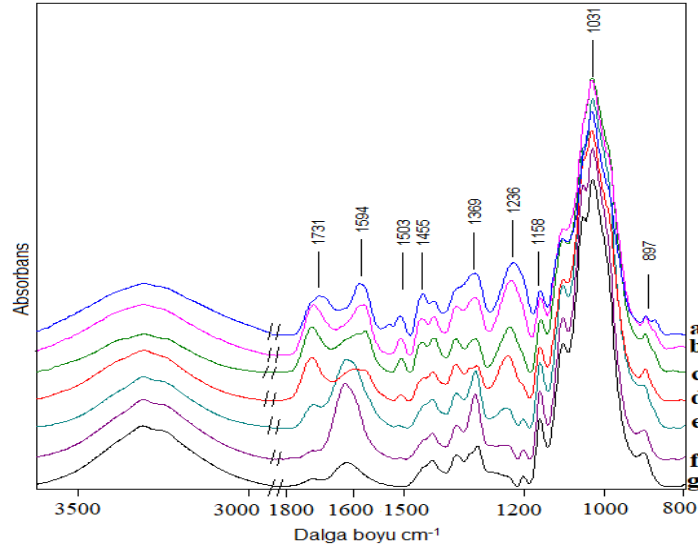
Şekil 4.25: Adi ceviz hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.26: Adi ceviz doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.

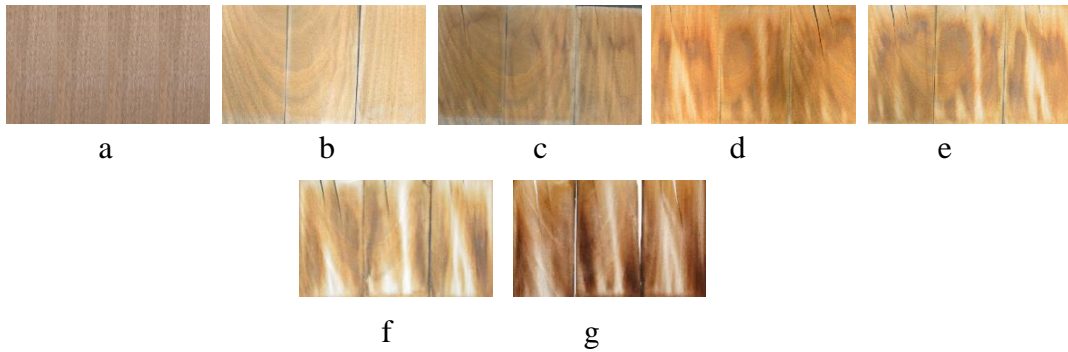


Şekil 4.27: Adi ceviz hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b: 12. saat, c:48. saat, d:132. saat, e:168. saat, f:756. saat, g:1512. saat).



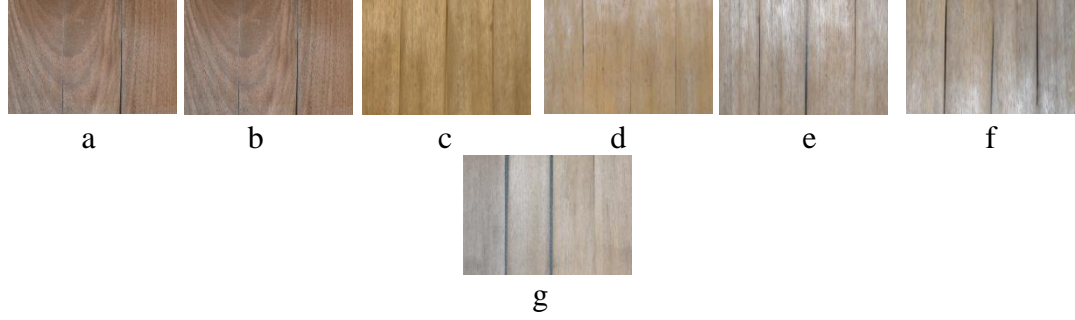
Şekil 4.28: Adi ceviz doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b: 7. gün, c:63. gün, d:108. gün, e:183. gün, f:333. gün, g:393. gün).

Adi ceviz hızlandırılmış yaşlandırma örneklerinde ligninin karakteristik piki 1506 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik boyu, 132. saatte azalmakta, 756. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.27). 1731, 1351, 1237, 1158 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür azalma değişikliği meydana gelmektedir. Lignin pikinin tamamen kaybolması hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 132. saatte iken doğal yaşlandırma örneklerinde 333. günden sonra görülmektedir.



Şekil 4.29: Adi ceviz test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b: 12. saat, c:48. saat, d:132. saat, e:168. saat, f:756. saat, g:1512. saat).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere (Şekil 4.29 ve 4.30), hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 48. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha koyu kahverengi olduğu gözlenmektedir.



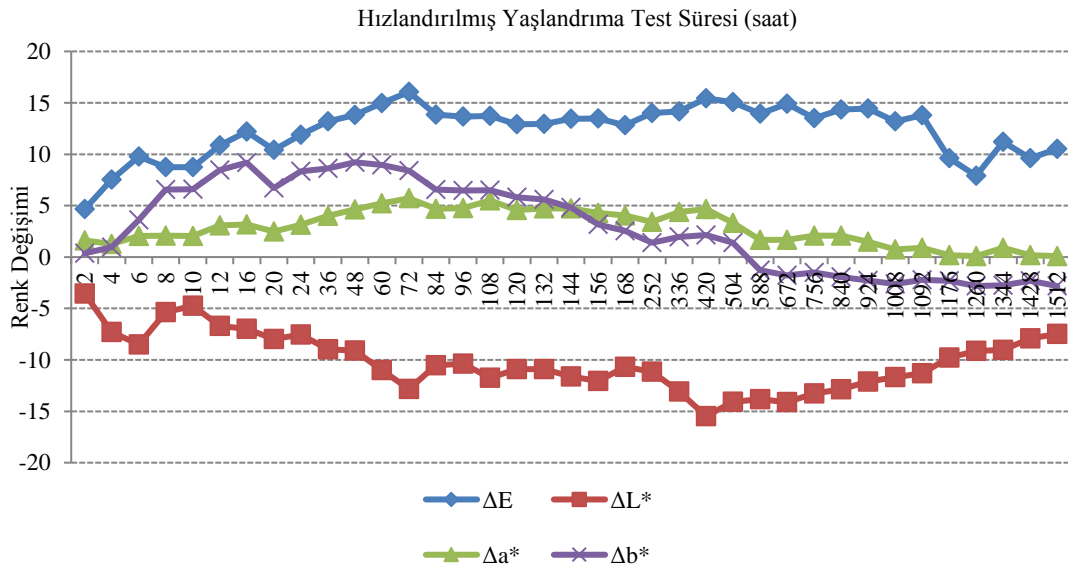
Şekil 4.30: Adi ceviz test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b: 7. gün, c:63. gün, d:108. gün, e:183. gün, f:333. gün, g:393. gün).

Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 108. günden sonra yaygın olarak gözlenmektedir ve test süresi sonuna kadar grileşme artmaktadır. Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

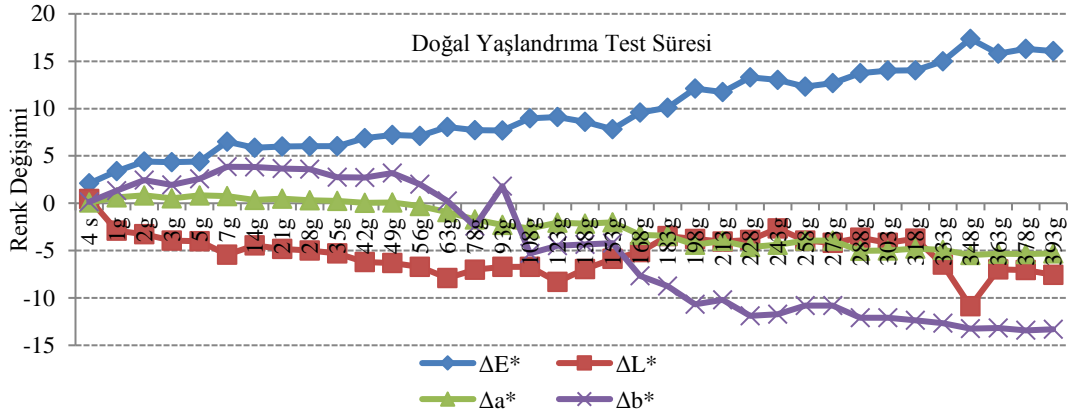
4.1.6 Meşe örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan meşe örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.31 ve 4.32’de, FTIR spektralleri ise Şekil 4.33 ve 4.34’de gösterilmiştir. Şekil 4.31’de gösterilen hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan meşe test örneklerinde ilk 6 saatte yüzeylerde koyulaşma görülmüş ardından hafifçe açılma ve ardından yine 72. saat sonunda kadar sürekli bir koyulaşma gözlenmiştir. 252. saatin sonuna kadar yüzeylerde hafif açılma gözlenirken bunu koyulaşma takip etmiş ve bu durum 420. saatin sonuna kadar devam etmiştir. Bu saatten sonra yüzeyler açılma eğilimindedir. 6. saatteki ilk lignin degradasyonu olduğu ve sonrasında açılan renk ile birlikte yeni yüzeylerin ortaya çıktığı düşünülmektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri dikkate alındığında bozunmanın ilk saatlerde hızlı şekilde olduğunu, 72. saatte yeni çıkan yüzeydeki ligninin 2. kez degradasyona uğradığını söylemek mümkündür. Son lignin degradasyonu 420. saatte tamamlanmaktadır. 420. saatte (-15,48) değeriyle en koyu yüzey elde edilmektedir. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edimesi daha az olacağından, selülozca zengin yüzey degradasyonunun daha yavaş gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı zamanda 420. saatten sonra ΔE^* değerinde azalma görülmektedir. ΔE^* değeri 72. saatte en yüksek değeri vermektedir (+16,05). Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 7 günde hafif azalma, ardından 14-56. günler arasında stabil olarak hafif bir artış ve 63. gün sonunda hafif bir azalma, sonrasında 108. güne kadar yine

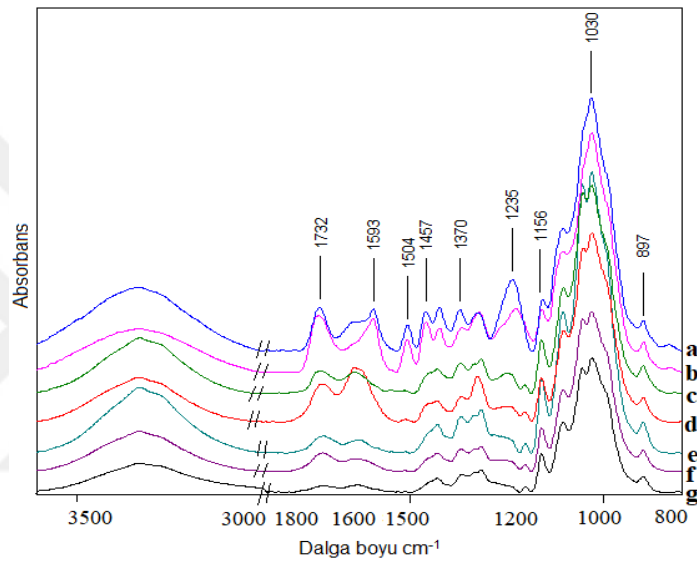
stabil olarak hafif bir artış gözlenmiştir. Buradan 7. günde ilk lignin degradasyonu olduğu, ortaya çıkan yeni yüzeyde degradasyon 14. günden 63. güne kadar yavaş şekilde ilerlediği, 63. günden sonra 2. lignin degradasyonunun olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.32'den görüldüğü gibi 123. günden sonra belirgin şekilde selülozca zengin yeni tabakada meydana gelmekte ve Şekil 4.34'te belirtilen FTIR sonuçları ile 123. günden sonra lignin pikinin görülmediği desteklenmektedir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. ΔE^* değerinin fazla olması test örneğinin başlangıç seviyesine göre renk değişiminin fazla olduğunu açıklamaktadır. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu durum, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır. Meşe hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde pozitif olan Δa^* değeri 1176. saatte, Δb^* değeri ise 588. saatte negatif yönde ilerlemektedir (Şekil 4.31). Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde en yüksek Δb^* değeri pozitif yönde 16. saatte görülmekte (9,17), yüzeyin bu saatte daha sarı olduğu makroskobik değerlendirme ile desteklenmektedir. Doğal yaşlandırma Δa^* değerleri 49. günden sonra, Δb^* değeri ise 78. günden sonra negatif yönde ilerlemekte ve test süresi sonuna kadar devam etmektedir (Şekil 4.32).



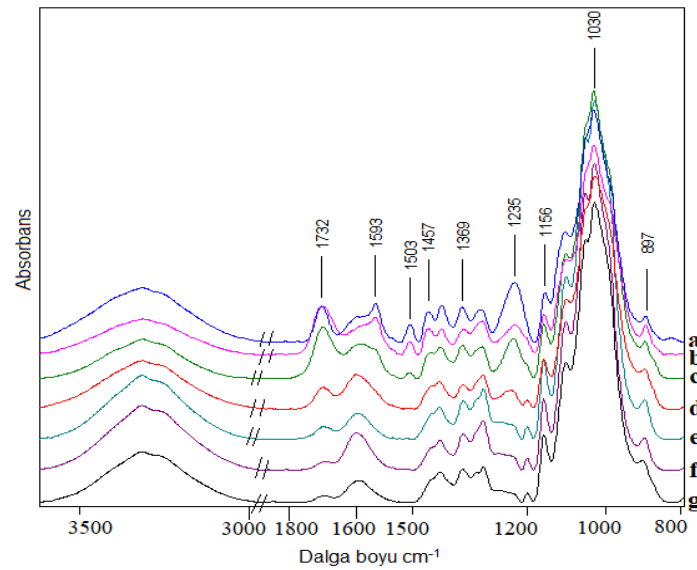
Şekil 4.31: Meşe hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.32: Meşe doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.33: Meşe hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:6. saat, c:72. saat, d:168. saat, e:252. saat, f:420. saat, g:1512. saat).

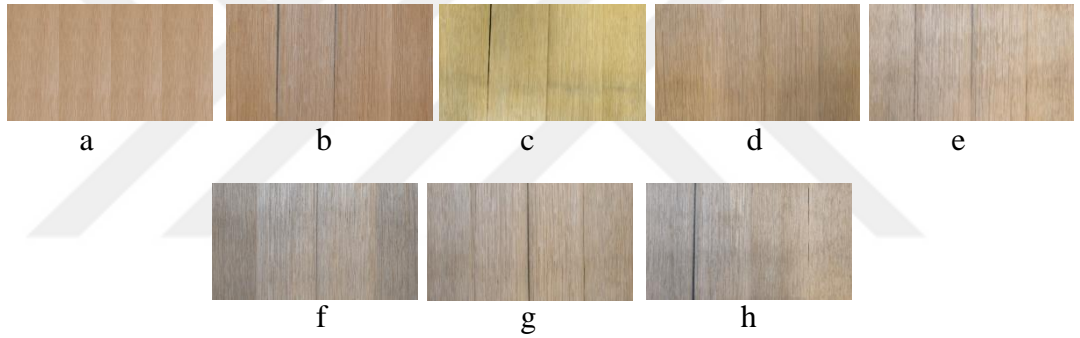


Şekil 4.34: Meşe doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:123. gün, e:228. gün, f:348. gün, g:393. gün).

Meşe hızlandırılmış yaşlandırma örneklerinde ligninin karakteristik piki 1504 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik boyu, 72. saatte azalmakta, 252. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.33). 1731 , 1351 , 1237 , 1158 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür azalma değişikliği meydana gelmektedir. Lignin pikinin tamamen kaybolması hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 132. saatte iken doğal yaşlandırma örneklerinde 123. günden sonra görülmektedir.



Şekil 4.35: Meşe test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:72. saat, d:168. saat, e:420. saat, f: 1512. saat).



Şekil 4.36: Meşe test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:93. gün, e:123. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere (Şekil 4.35 ve 4.36), hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 72. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 93. günden sonra yaygın olarak gözlenmektedir ve test süresi sonuna kadar grileşme artmaktadır. Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

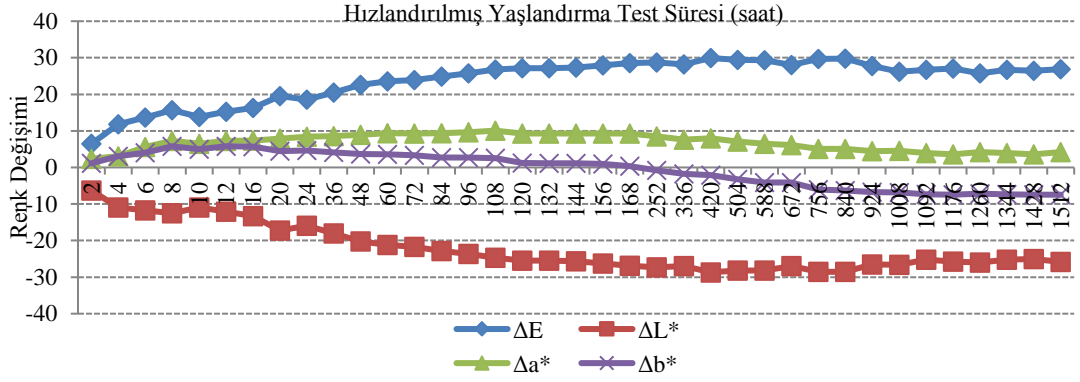
4.1.7 Çam örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan çam örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.37 ve 4.38'de, FTIR spektralleri ise Şekil 4.39 ve 4.40'da

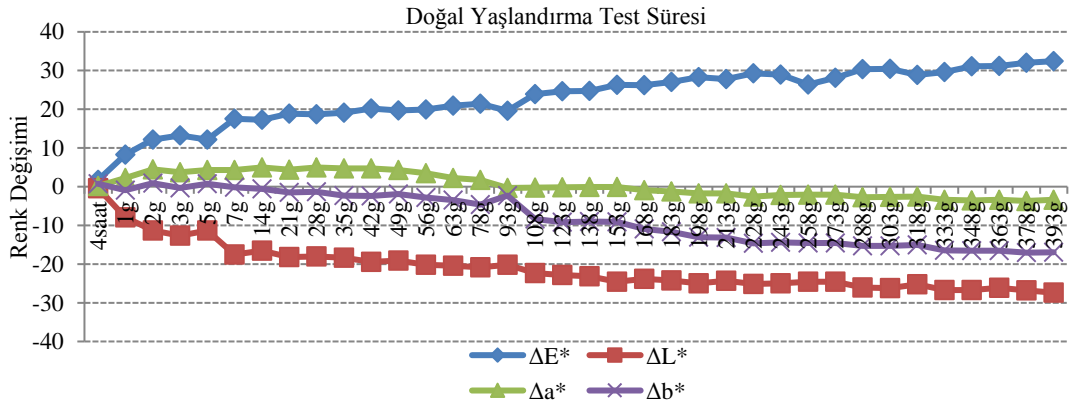
gösterilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma testine tabi tutulan çam test örneklerine ait ΔL^* değerleri incelendiğinde 4. saatten 8. saate kadar rengin hafifçe koyulaştığı görülmektedir. Bu durum için, ligninin ilk degradasyonunun ilk 8. saatte tamamlanmakta olduğu düşünülmektedir. 20. saate kadar yeniden koyulaşan yüzey 24. saatte hafifçe açılmakta ve sonrasında 168. saate kadar stabil olarak azalarak yüzey rengi koyulaşmaya devam etmektedir. 420. saatte 3. tabakanın degradasyonun tamamlandığı düşünülmekte ve -28,68 değeriyle en koyu yüzey elde edilmektedir. Lignin 420. saatten sonra FTIR spektralarında görülmemekte, aynı zamanda Şekil 4.37'de değerler incelendiğinde lignin degradasyonun tamamlandığı görülmektedir. Toplam renk değişimi eğrisine bakıldığında en yüksek ΔE^* değeri 420. saatte (29,93) olarak görülmektedir. 420. saatten sonra lignin degradasyonu tamamlandığından ortaya çıkan yeni yüzeylerde bozunma devam etmekte, fakat renk değişimi hafifçe azalmaktadır. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edilmesi daha az olması olacağından, selülozca zengin yüzey degradasyonu daha yavaş gerçekleşmiş olabilir. ΔE^* değerinin fazla olması test örneğinin başlangıç seviyesine göre renk değişiminin fazla olduğunu açıklamaktadır. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde 3. güne kadar azalma sürekli devam etmiş, sonra hafif bir artış ve ardından test sonuna kadar stabil bir azalma gözlenmiştir. Bu durum ilk lignin degradasyonunun 3. günde sonrasında 2. tabakadaki lignin degradasyonunun 7. günde gerçekleştiği ve test süresi sonuna kadar azar azar devam ettiğini göstermektedir. En koyu yüzey 393. günde -27,39 olarak görülmektedir. Aynı şekilde en yüksek ΔE^* değeri 393. günde +32,42 olarak bulunmuştur. Test süresi sonuna kadar örneklerde koyulaşma devam etmekte, renk değişiminin yavaş olduğu görülmektedir. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu durum, diğer ağaç türlerinde olduğu gibi dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır.

Çam hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* değeri test süresi sonuna kadar pozitif yönde ilerlerken (Şekil 4.37), Δb^* değeri 252. saatte negatif yönde görülmektedir. Örneklerin Δb^* değeri incelendiğinde ise 168. saate kadar olan artışı daha sonraki saatlerde azalmalar takip etmiştir. Test süresi sonuna kadar Δb^* değeri negatif yöne doğru ilerlemekte ve yüzeyde gözle görülür mavi-gri görüntü oluşmasının nedeni $-\Delta b^*$ değerinin düşmesi olarak açıklanmaktadır. Doğal yaşlandırma sonrasında Δa^* değeri 93. gün, Δb^* değeri ise ilk 5 gün boyunca hafifçe

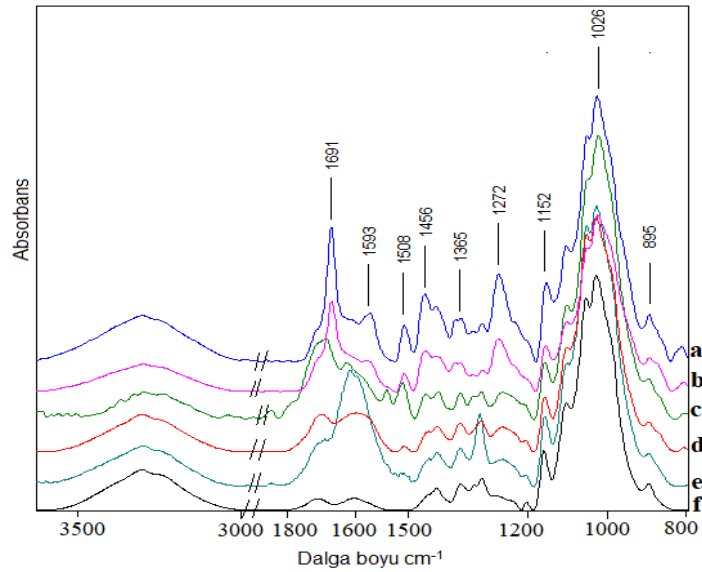
artarken sonrasında negatif yönde azalmıştır. İki yaşlandırma testi arasında Δa^* ve Δb^* değerlerinde görülen farklılığın, dış ortamda bulunun toz, çamur gibi kirlilikler ile biyotik faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



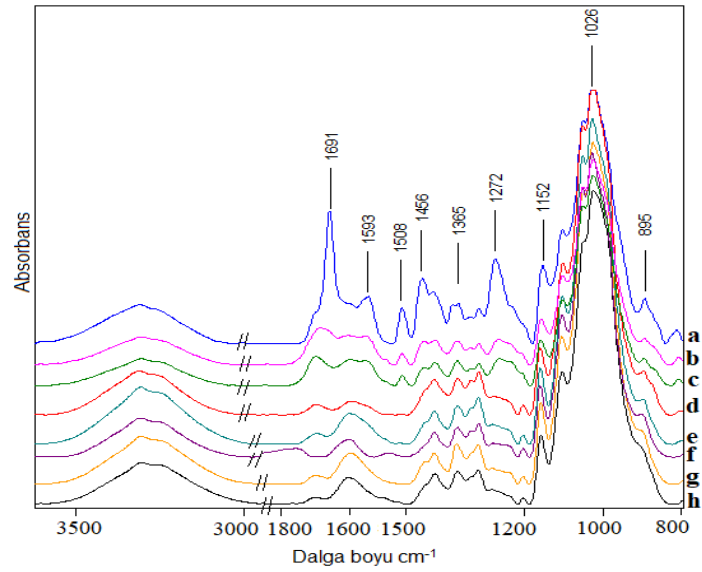
Şekil 4.37: Çam hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.38: Çam doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.

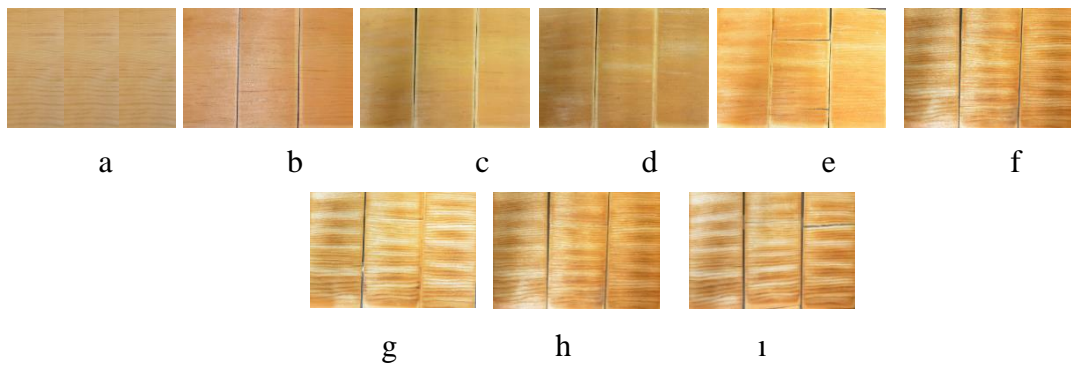


Şekil 4.39: Çam hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:4. saat, c:20. saat, d:60. saat, e:168. saat, f:1512. saat).

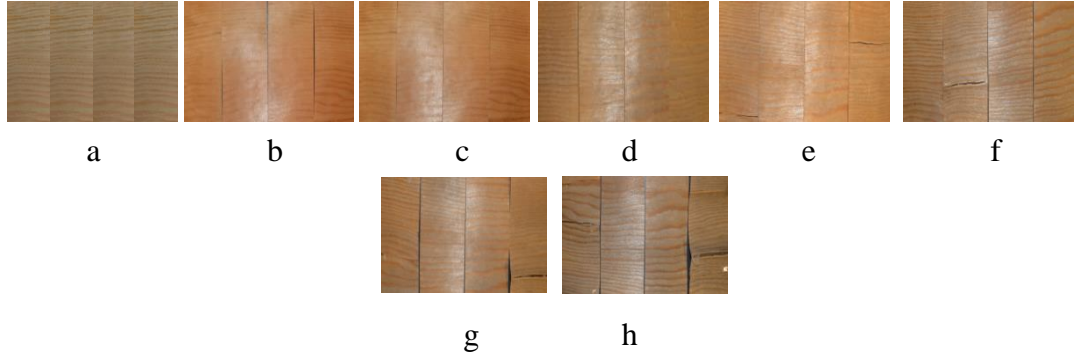


Şekil 4.40: Çam doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:42. gün, d:108. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:333. gün, h:393. gün).

Çam örneklerinde lignin 1508 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 168. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.39). $1200\text{-}1270$ ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. $1160\text{-}1030\text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikini aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 168. saatte iken doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 108. günden sonra görülmektedir.



Şekil 4.41: Çam test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:4. saat, c:20. saat, d:60. saat, e:168. saat, f:672. saat, g:1176. saat, h:252. saat, i:1512. saat).



Şekil 4.42: Çam test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:42. gün, d:108. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:333. gün, h:393. gün).

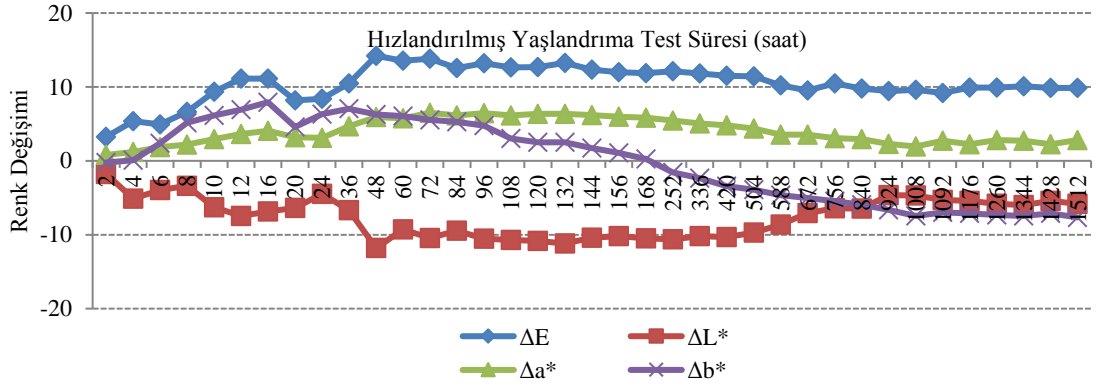
Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere (Şekil 4.41 ve 4.42), hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 20. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha koyu kahverengi olduğu gözlenmektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinde 108. günden sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.1.8 Limba örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

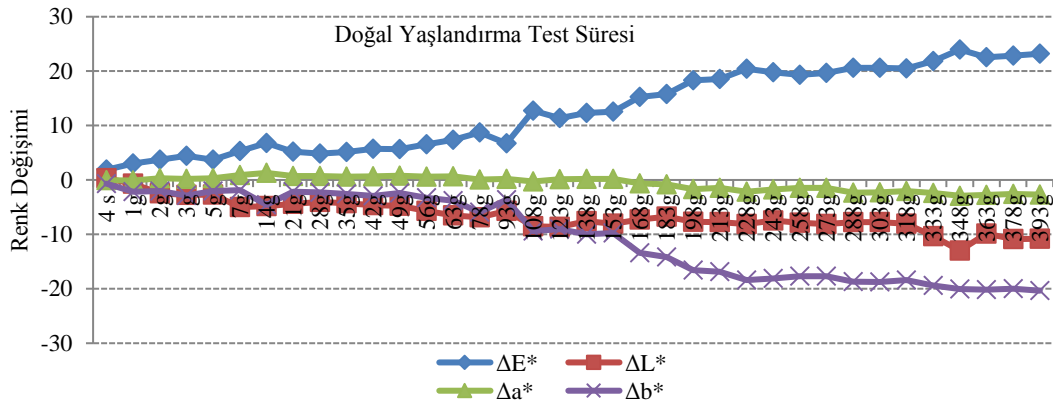
Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan limba örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.43 ve 4.44’de, FTIR spektraları ise Şekil 4.45 ve 4.46’da gösterilmiştir. 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakılan limba test örneklerinde ΔL^* değerleri incelendiğinde 4. saatte -5,10 değere düştüğü görülmekte, açık yüzeyin koyulaşmasının ilk saatlerde meydana gelen sararmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ardından değerlerde doğrusal şekilde açılma devam etmekte ve 8. saatten sonra tekrar koyulaşma görülmektedir. 12. saatte yeniden koyulaşan yüzey 24. saatte kadar açılmakta ve sonrasında 48. saate en koyu yüzey meydana gelmektedir (-11,81). 60. saatten sonra 252. saate kadar ΔL^* değerinin neredeyse stabil olarak devam ettiği Şekil 4.43’te görülmektedir. 252. saatten sonra yüzey rengi açılma eğilimindedir. Test süresi sonunda örnek renginin açık renk olduğu görsel değerlendirme sonucunda desteklenmektedir. 4. saatte ilk lignin degradasyonu olduğu ve yeni yüzeylerin ortaya çıktığı düşünülmektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri dikkate alındığında bozunmanın ilk saatlerde hızlı şekilde olduğunu, 12. saatte yeni çıkan yüzeydeki ligninin 2. kez degradasyona uğradığını söylemek mümkündür.

Aynı durum kiraz ve adi ceviz örneklerinde de görülmüştür. 12. saat sonrasında ortaya çıkan yeni tabakanın 24. saatten sonra tekrar bozunmaya başladığı görülmekte ve son lignin degradasyonu 48. saatte tamamlanmaktadır. Şekil 4.45'te 48. saatten sonra lignin FTIR spektralarında görülmemektedir. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edilmesi daha az olacağından, selülozca zengin yüzey degradasyonunun daha yavaş gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı zamanda 48. saatten sonra ΔE^* değerinde azalma görülmektedir. ΔE^* değeri 48. saatte en yüksek değeri vermektedir (+14,21). ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar stabil olarak devam etmektedir. Bu durum renk değişiminin örneklerde hafifçe devamlılık arz ettiğini göstermektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde 7. gün sonuna kadar değerlerin hafifçe azaldığı daha sonra hafifçe arttığı gözlenmiştir. Bu durum yüzeylerde ilk lignin bozunmasının gerçekleştiği ifade etmekte olabilir. Ortaya çıkan yeni yüzey degradasyonu 78. güne kadar neredeyse sabit ilerleyerek, 93. günde hafifçe açılmakta ve sonra 108. günden sonra 2. tabakanında bozunmaya başladığı görülmekte ve 348. günde en koyu yüzey elde edilmektedir (-12,98). Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu gözlem, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır. En yüksek ΔE^* değeri test süresi sonunda 348. günde +23,97 olarak görülmektedir.

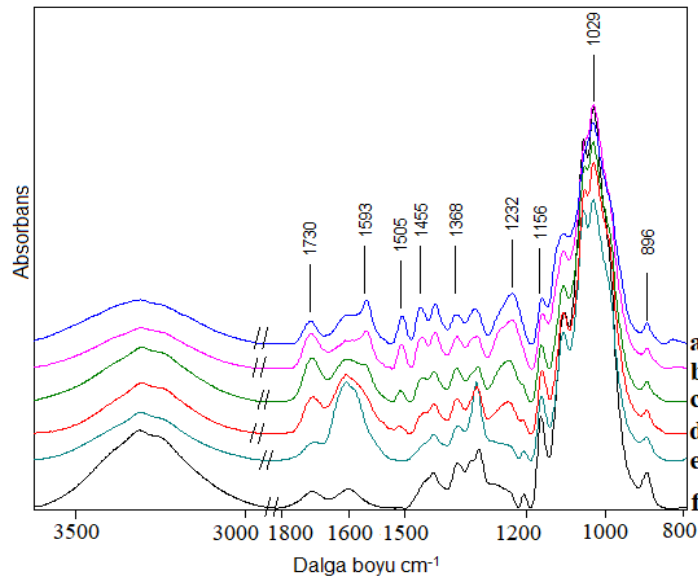
Limba test örneklerinde Δa^* değerleri 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testi süresince pozitif değer göstermektedir. (Şekil 4.43). Bu değerler önce hafif bir artış daha sonrada azalma eğilimindedir. Örneklerin Δb^* değeri incelendiğinde ise 168. saatten sonra negatif yöne doğru ilerlemektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinde Δa^* değerinde değişiklik çok hafif olmasına karşılık Δb^* değerinde ise başlangıçtan itibaren belirgin şekilde negatif yönde ilerlediği görülmektedir (Şekil 4.44). Δb^* değeri 393. gün sonunda - yönde en düşük değeri göstermektedir (-20,35). 108. günde $-\Delta b^*$ değeri hızlı şekilde azalmakta ve bu durum ligninin tamamen kaybolmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.46'de yer alan FTIR spektraları ile desteklenmektedir. Test süresi sonunda yüzeyde gözle görülür mavigrü görüntü oluşmasının nedeni $-\Delta b^*$ değerinin yüksek olması olarak açıklanmaktadır.



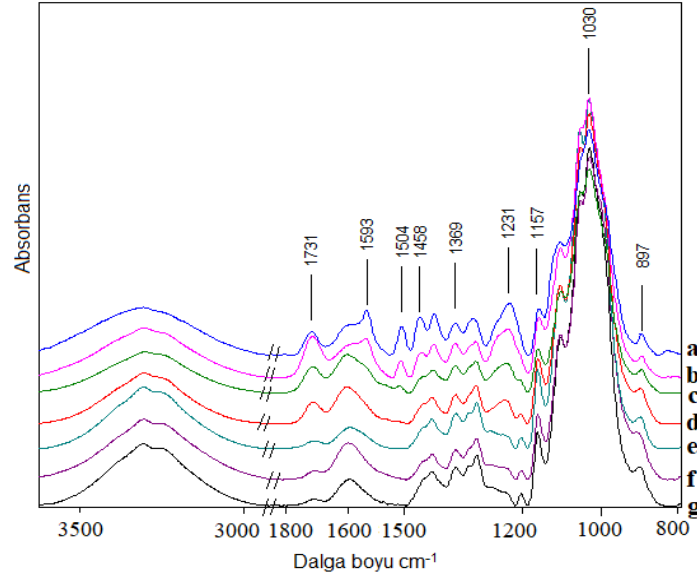
Şekil 4.43: Limba hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.44: Limba doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.

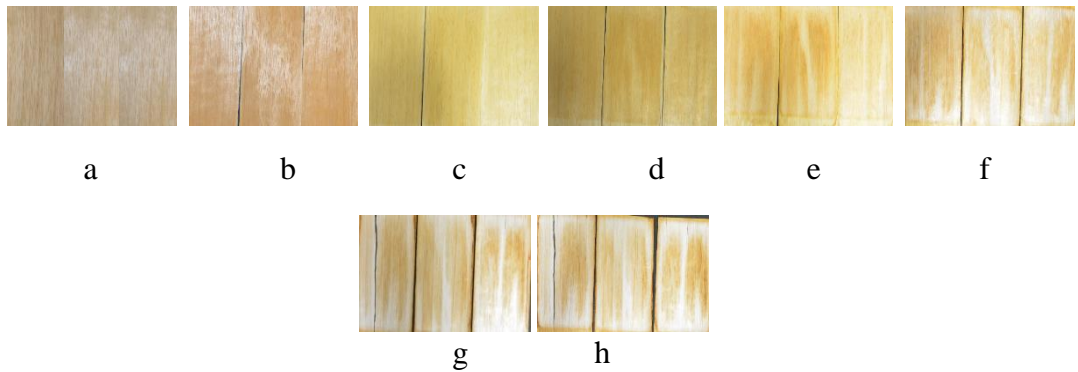


Şekil 4.45: Limba hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:4. saat, c:12. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:1512. saat).



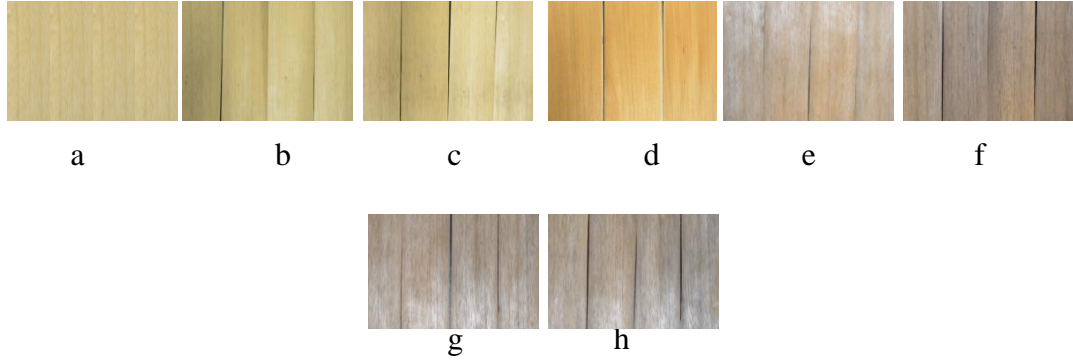
Şekil 4.46: Limba doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:78. gün, d:108. gün, e:228. gün, f:348. gün, g:393. gün).

Limba örneklerinde ligninin karakteristik piki 1503 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 48. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.45). $1200\text{-}1270$ ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. $1160\text{-}1030\text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikini aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 78. günden sonra görülmektedir.



Şekil 4.47: Limba test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:4. saat, c:12. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:672. saat, g:1092. saat, h:1512. saat).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 4. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha açık yüzey olduğu gözlenmektedir.



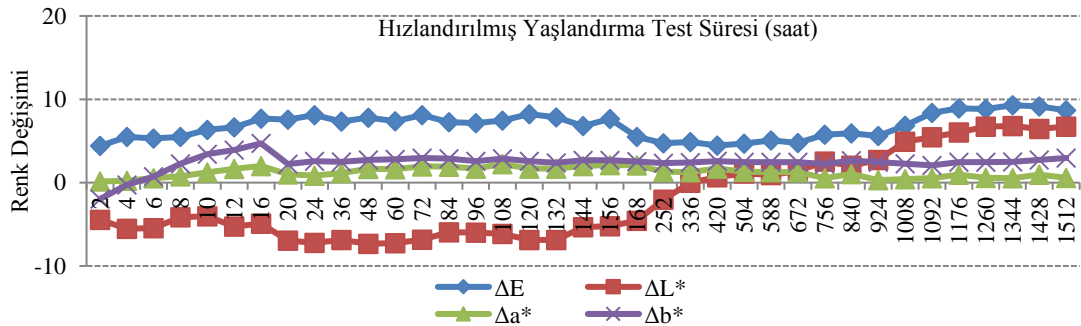
Şekil 4.48: Limba test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:78. gün, d:93. gün, e:123. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).

Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 93. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır (Şekil 4.48). Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

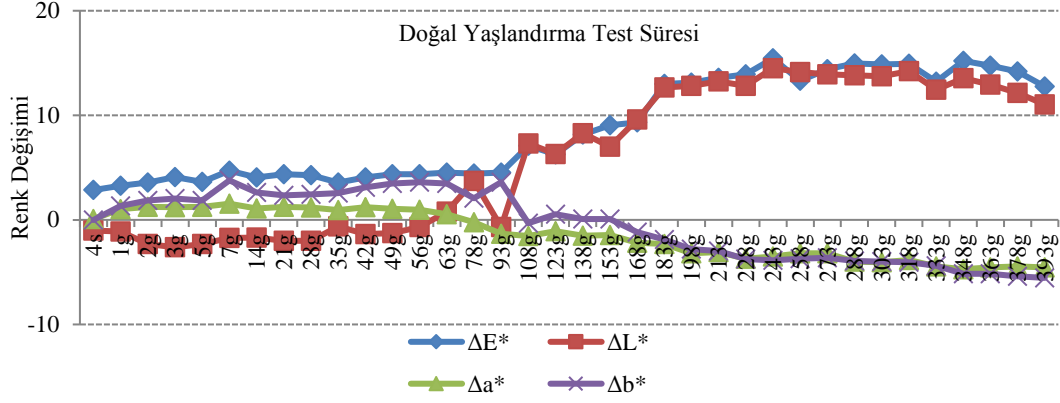
4.1.9 Amerikan cevizi örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan Amerikan cevizi örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.49 ve 4.50'de, FTIR spektralleri ise Şekil 4.51 ve 4.52'de gösterilmiştir. 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakılan amerikan cevizi test örneklerinde ΔL^* değerleri incelendiğinde 6. saatte -5,46 değere düştüğü görülmekte, ardından 10. saate kadar değerlerde stabil şekilde artma devam etmekte ve 10. saatten sonra tekrar değerlerde azalmalar olduğu görülmektedir. 60. saate kadar koyulaşma devam etmektedir. 24. saat ve 60. saat arasında koyulaşma stabil olarak devam etmekte ve 60. saatten en koyu yüzey meydana gelmektedir (-7,27). 60. saatten sonra yüzey rengi açılma eğilimindedir. 336. saatten sonra ΔL^* değerleri pozitif yönde devam etmektedir. En açık yüzey 1512. saatte görülmektedir (6,73). 60. saatten sonra test süresi sonunda örnek renginin açık renk olduğu ve en açık yüzeyin test sonunda görüldüğü görsel değerlendirme sonucunda desteklenmektedir. 6. saatte ilk lignin degradasyonu olduğu ve yeni yüzeylerin ortaya çıktığı düşünülmektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri

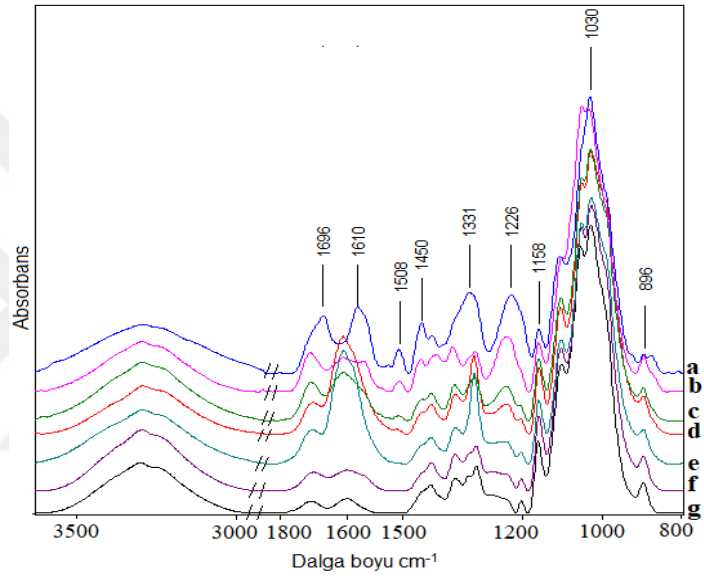
dikkate alındığında bozunmanın ilk saatlerde hızlı şekilde olduğunu, 10. saatten sonra yeni çıkan yüzeydeki ligninin 2. kez degradasyona uğradığını söylemek mümkündür. Koyulaşma 60. saatte tamamlanmaktadır. Şekil 4.51’de 60. saatten sonra lignin FTIR spektralarında görülmemektedir. ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artış eğilimindedir. Bu durum renk değişiminin örneklerde devamlılık arz ettiğini göstermektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde 28. gün sonuna kadar değerlerin azaldığı daha sonra hafifçe arttığı gözlenmiştir. Bu durum yüzeylerde ilk lignin bozunmasının gerçekleştiği ifade ediyor olabilir. Ortaya çıkan yeni yüzey degradasyonu 56. güne kadar stabil ilerleyerek, 78. güne kadar açılmakta ve sonra 93. günde 2. tabakanında bozunmaya başladığı görülmekte ve 93. günden sonra yüzey rengi açılma eğilimindedir. ΔE^* değeri 93. güne kadar stabil olarak devam etmekte ve sonrasında test süresine kadar artma eğilimindedir. 93. günden sonra ΔE^* değerinde ki bu belirgin artışın nedeni, örnek yüzeylerinin açılma eğiliminde olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu gözlem, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır. Amerikan cevizi test örneklerinde Δa^* değerleri 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testi süresince pozitif değer göstermektedir (Şekil 4.49). Bu değerler önce hafif bir artış daha sonrada azalma eğilimindedir. Örneklerin Δb^* değeri incelendiğinde ise 16. saatte en yüksek değere ulaşmakta (4,71) ve sonrasında test süresi sonuna kadar neredeyse stabil devam etmektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinde Δa^* değeri 63. günden sonra, Δb^* değeri 153. günden sonra negatif yönde ilerlemektedir (Şekil 4.50). Bu durum ligninin tamamen kaybolmasıyla ilişkilendirilmekte ve Şekil 4.51-52’de yer alan FTIR spektraları ile desteklenmektedir. Δa^* ve Δb^* değeri 393. gün sonunda negatif yönde en düşük değeri göstermektedir.



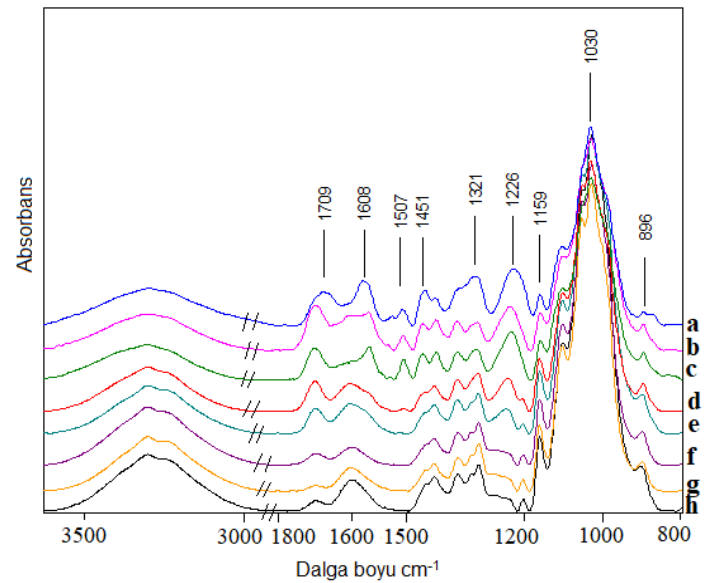
Şekil 4.49: Amerikan cevizi hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.50: Amerikan cevizi doğal yaşlandırma örneklerinin renk değişim değerleri.

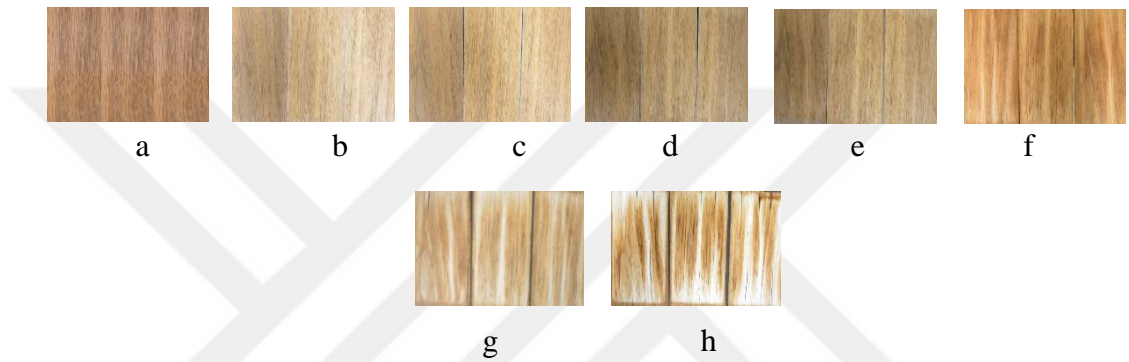


Şekil 4.51: Amerikan ceviz hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b: 12. saat, c:60. saat, d:132. saat, e:168. saat, f:336. saat, g:1512. saat).

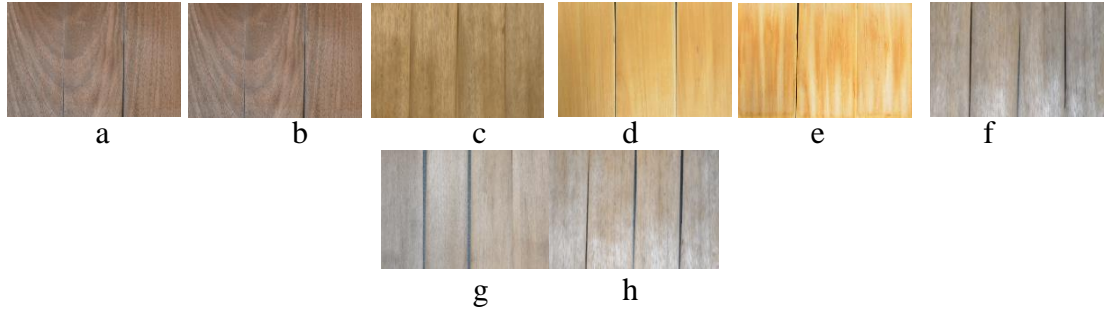


Şekil 4.52: Amerikan cevizi doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:35. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:333. gün, h:393. gün).

Amerikan cevizi örneklerinde ligninin karakteristik piki 1508 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 60. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.51). 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 60. saatten sonra iken doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 93. günden sonra görülmektedir.



Şekil 4.53: Amerikan cevizi test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:12. saat, d:48. saat, e:60. saat, f:132. saat, g:336. saat, h:1512. saat).



Şekil 4.54: Amerikan cevizi test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:35. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:333. gün, h:393. gün).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 6. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha açık yüzey olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 93. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır (Şekil 4.53 ve 4.54). Bu durum yüzey bileşenlerinin

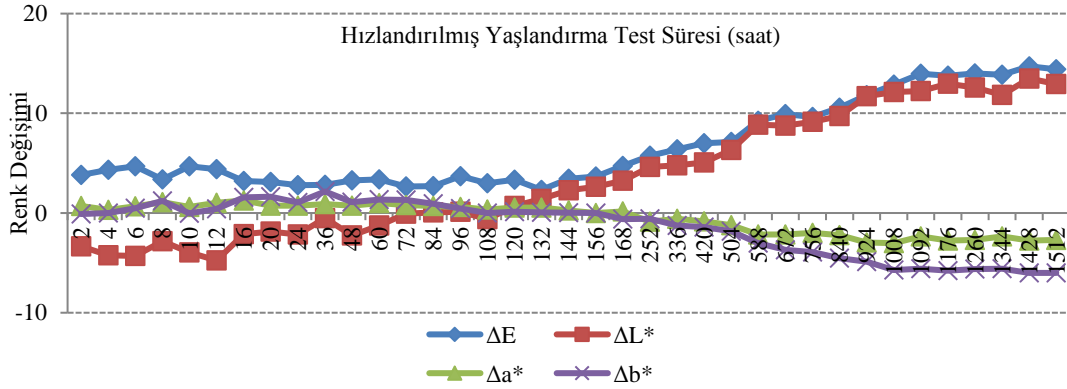
degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.1.10 Tik örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

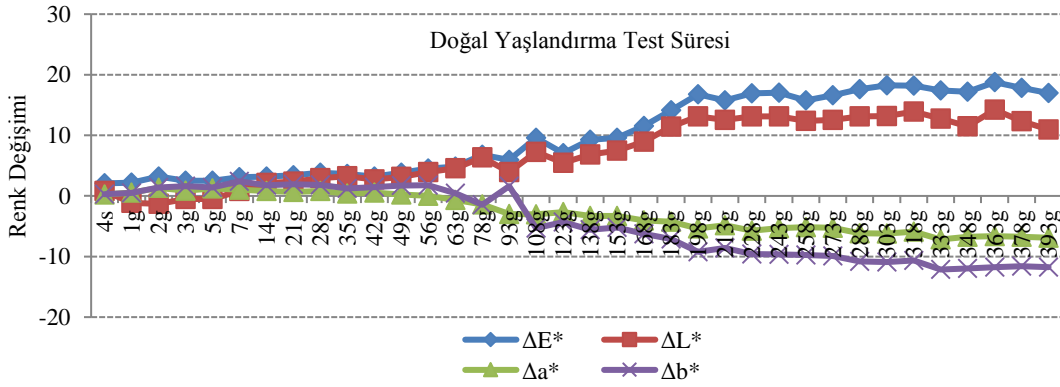
Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan tik test örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.55 ve 4.56'da, FTIR spektraları ise Şekil 4.57 ve 4.58'de gösterilmiştir. 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakılan örneklerde ΔL^* değerleri incelendiğinde 6. saatten sonra koyu yüzey açılmaya başlamakta ve 8. saatten sonra 12. saate kadar tekrar koyulaşma eğilimi görülmektedir. Şekil 4.55'te renk grafiğine göre ilk lignin degradasyonunun 6. saatte gerçekleştiği düşünülmekte, sonrasında yeni yüzey meydana gelmekte ve 8. saatten sonra yine kısa sürede 2. lignin degradasyonunun başladığı yorumlanmaktadır. 12. saatte örneklerde en koyu yüzey görülmektedir (-4,76). 16. saatten sonra ΔL^* değerlerinde test süresi sonuna kadar doğrusal şekilde artma devam etmektedir. 16. saatten sonra meydana gelen yeni tabakanın degradasyonu pozitif yönde ilerlemekte, örneklerin yüzey rengi açılmaktadır. En yüksek ΔL^* değeri test süresi sonunda görülmektedir (12,93). 16. saatten sonra tik test örneklerinde lignin degradasyonun tamamlandığı Şekil 4.57'de FTIR spektraları ile desteklenmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde ΔE^* değeri 132. saate kadar belirgin farklılık olmadan değer verirken 132. saatten sonra test süresi sonuna kadar artmaktadır. En yüksek ΔE^* değeri, test süresi sonunda görülmektedir (14,41). ΔE^* değeri başlangıç seviyesinden yüksek değer vermesi, örnek yüzeyinde başlangıç seviyesine göre renk değişiminin fazla olduğu ile açıklamaktadır. Doğal yaşlandırma test örneklerine ait ΔL^* değerleri Şekil 4.56'da görüldüğü üzere, ilk ölçüm periyodundan sonra pozitif yöne ilerlemekte, örnek yüzeylerinde açılma eğilimi test süresi sonuna kadar devam etmektedir. 93. ve 123. gün sonundaki değişim önemli bulunmuştur. ΔE^* değeri hızlandırılmış yaşlandırma test örnekleriyle benzer özellik göstermekte ve test süresi sonuna kadar artmaktadır. En yüksek ΔE^* değeri 393. günde (17,01) olarak görülmektedir.

Tik hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* ve Δb^* değerleri 168. saatte kadar stabil olarak değer vermekte, ancak 168. saatten sonra negatif yönde ilerlemektedir. 1008. saate kadar belirgin şekilde değerlerde azalma görülürken, sonrasında test süresi sonuna kadar stabil olarak devam etmektedir. Doğal

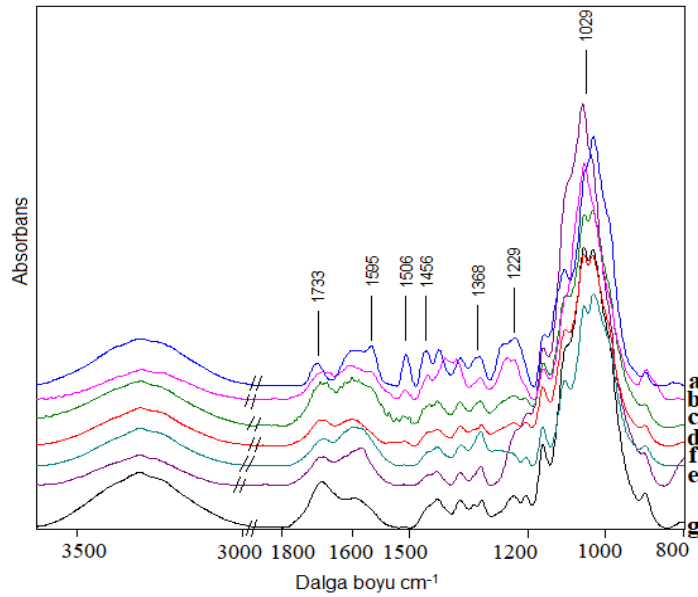
yaşlandırma Δa^* ve Δb^* değerleri 93. günden sonra negatif yönde ilerlemekte ve test süresi sonuna kadar devam etmektedir.



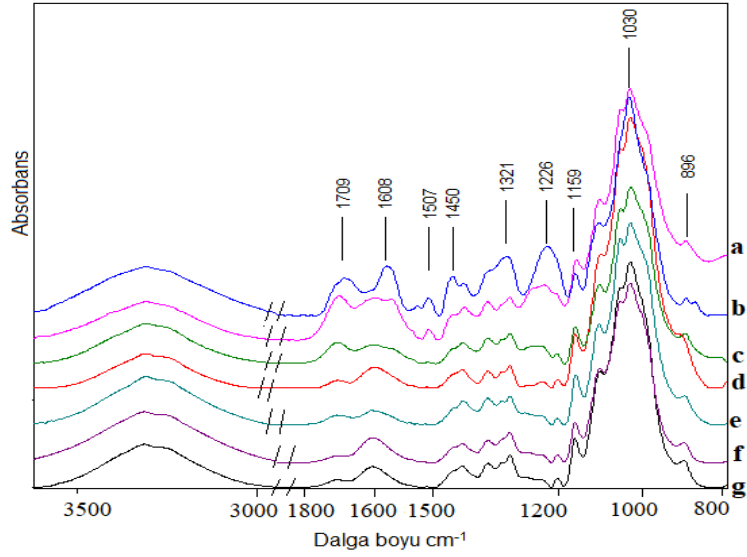
Şekil 4.55: Tik hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.56: Tik doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.

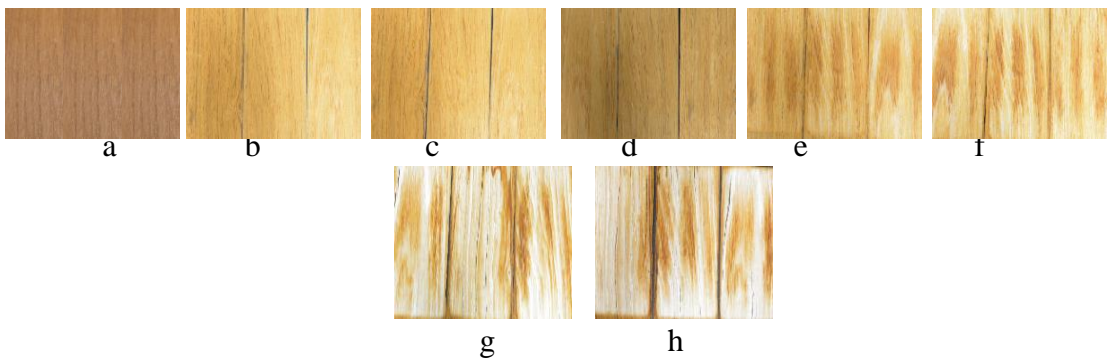


Şekil 4.57: Tik hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:4. saat, c:16. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:588. saat, g: 1512. saat).

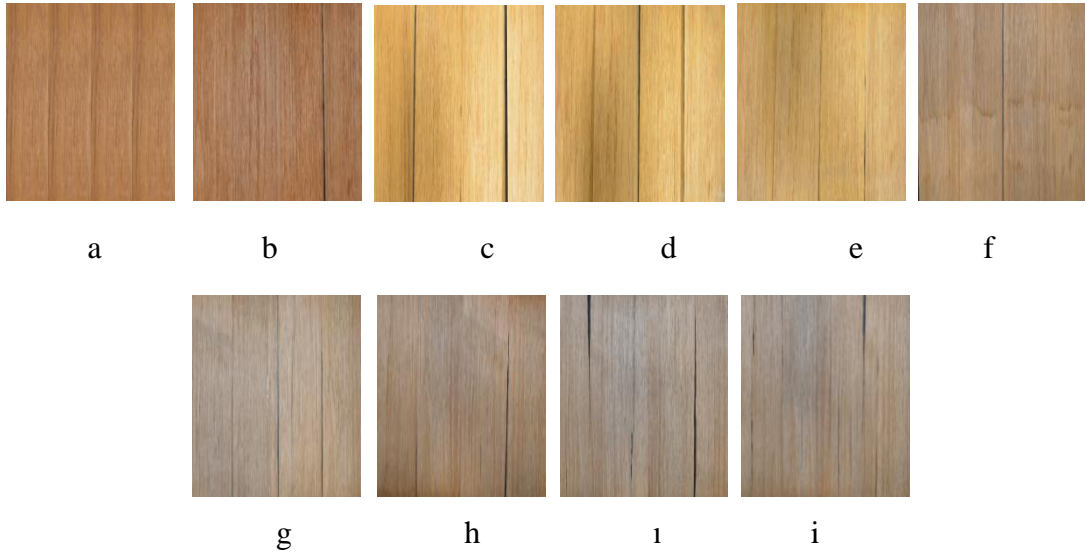


Şekil 4.58: Tik doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:42. gün, d:198. gün, e:213. gün, f:348. gün, g:393. gün).

Tik örneklerinde ligninin karakteristik piki 1506 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 16. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.57). $1200\text{-}1270$ ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. $1160\text{-}1030\text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikini aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 16. saatten sonra iken doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 42. günden sonra görülmektedir.



Şekil 4.59: Tik test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:16. saat, d:48. saat, e:60. saat, f:132. saat, g:336. saat, h:1512. saat).



Şekil 4.60: Tik test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:35. gün, d:42. gün, e:78. gün, f:93. gün, g:198. gün, h:213. gün, ı:348. gün, i:393. gün).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere (Şekil 4.59 ve 4.60) hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 16. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha açık yüzey olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 93. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır. Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.1.11 Beli örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

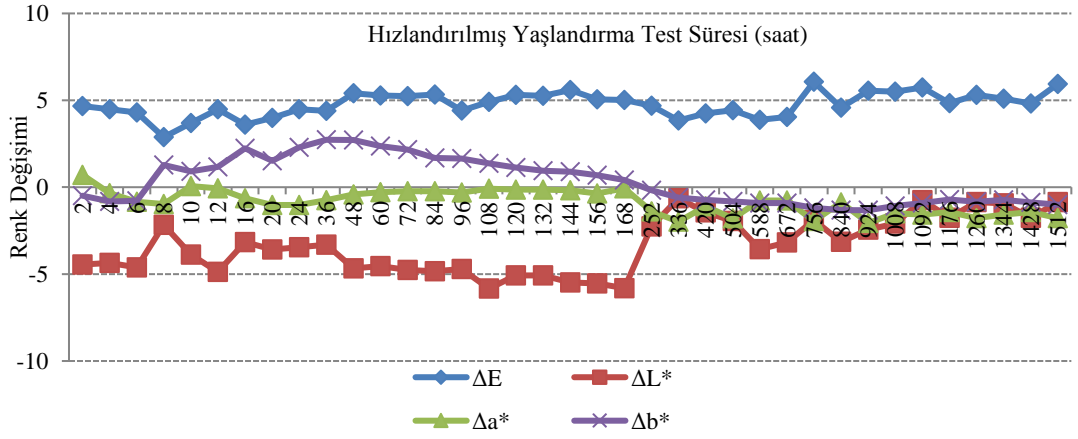
Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan beli örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.61 ve 4.62’de, FTIR spektralleri ise Şekil 4.63 ve 4.64’de gösterilmiştir.

Şekil 4.61’de gösterilen hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan beli test örneklerine ait ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 3 ölçüm periyodu değerleri başlangıç seviyesi ile stabil devam etmekte, 6. saatten sonra belirgin olarak açılma eğilimi görülmektedir. 8. saatten sonra 12. saate kadar yüzeylerde koyulaşma gözlenmektedir. 12. saatten sonra açılma gözlenen yüzeyler, 16. saatten 168. saate kadar doğrusal kabul edilebilecek şekilde hafifçe koyulaşmaya devam etmektedir. 168. saatten sonra belirgin olarak yüzeylerde açılma eğilimi görülmekte olup test süresi sonuna kadar açılma ve koyulaşma şeklinde hafif değişiklikler ile devam

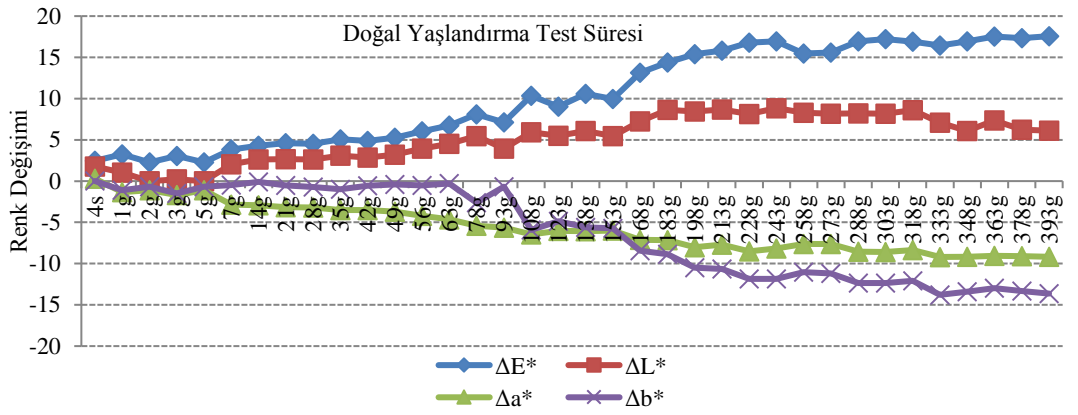
etmektedir. 6. saatteki ilk lignin degradasyonu olduğu ve sonrasında açılan renk ile birlikte yeni yüzeylerin ortaya çıktığı düşünülmektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri dikkate alındığında bozunmanın ilk saatlerde hızlı şekilde olduğunu, 8. saatte yeni çıkan yüzeydeki ligninin 12. saatte 2. kez degradasyona uğradığını söylemek mümkündür. Son lignin degradasyonu 16. saatte başlamakta ve 168. saat sonunda tamamlanmaktadır. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edilmesi daha az olacağından, selüloz bileşenlerinin bütünlüğünün yüzey degradasyonu daha yavaş gerçekleştirdiği düşünülmektedir. ΔE^* değeri test süresi boyunca belirgin olarak değişmemektedir.

Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 5 günde hafif azalma, ardından 78. güne kadar hafif artış gözlenmektedir. 78. güne kadar açılma eğilimi gösteren örnek yüzeyleri 93. günde koyulaşmakta, ardından test süresi sonuna kadar hafif olarak açılmaya devam etmektedir. Buradan 5. günde ilk lignin degradasyonu olduğu, ortaya çıkan yeni yüzeyde degradasyon yavaş şekilde ilerlediği, 78. günden sonra 2. lignin degradasyonunun olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.62'den görüldüğü gibi 93. günden sonra belirgin şekilde selülozca zengin yeni tabakada meydana gelmekte ve Şekil 4.64'te belirtilen FTIR sonuçları ile 93. günden sonra lignin pikinin görülmediği desteklenmektedir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu durum, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır.

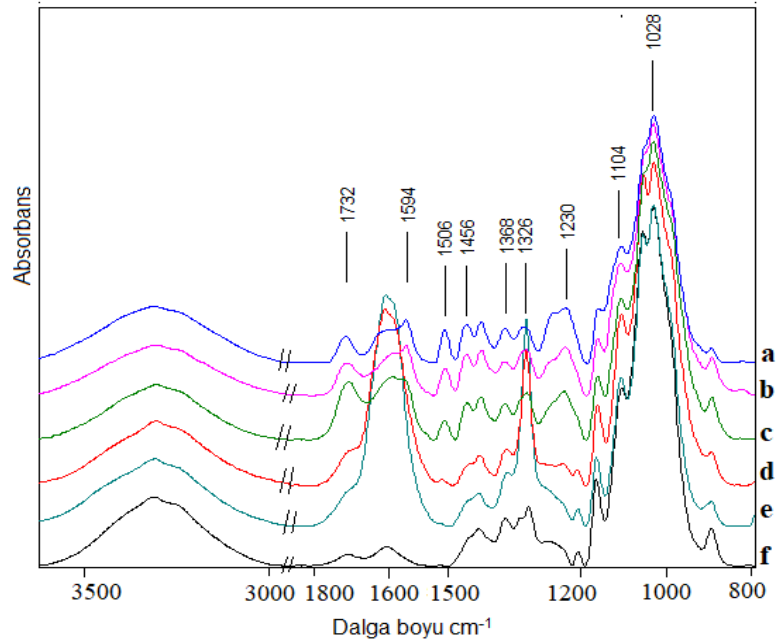
Beli hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* değeri test süresi boyunca belirgin değişiklik göstermeden devam etmektedir. Örneklerin Δb^* değeri incelendiğinde ise başlangıçtan itibaren artan değerler, 168. saatten sonra negatif yönde devam etmektedir (Şekil 4.61). Doğal yaşlandırma Δa^* değerleri test süresi boyunca doğrusal bir görüntü ile negatif yönde azalma eğilimi göstermekte, Δb^* değeri ise 93. günden sonra belirgin şekilde negatif yönde ilerlemekte ve test süresi sonuna kadar devam etmektedir (Şekil 4.62). Doğal yaşlandırma örneklerinde görülen grileşme, Δa^* ve Δb^* değerlerinin negatif yönde ilerlemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



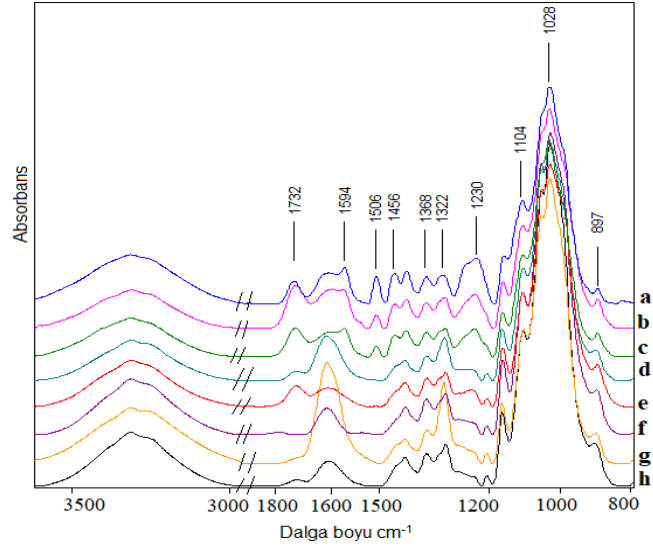
Şekil 4.61: Beli hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.62: Beli doğalyaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.

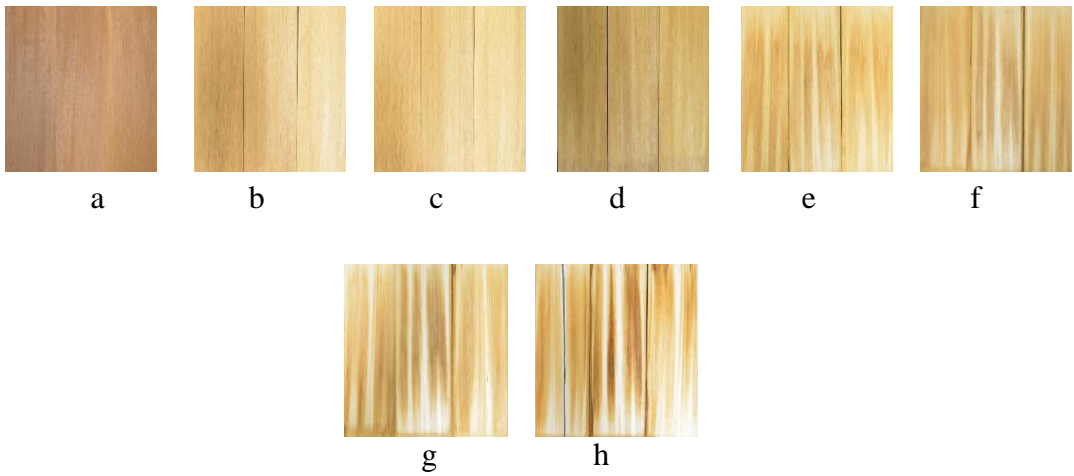


Şekil 4.63: Beli hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:12. saat, c:48. saat, d:168. saat, e: 336. saat, f:1512. saat).

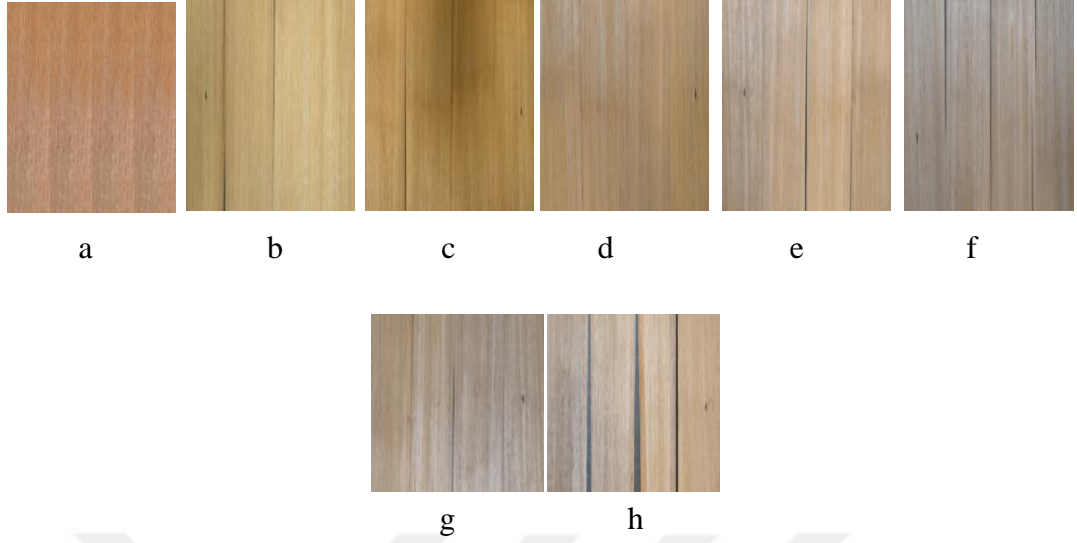


Şekil 4.64: Beli doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b:5. gün, c:42. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).

Beli örneklerinde ligninin karakteristik piki 1506 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 168. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.63). $1200\text{-}1270$ ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. $1160\text{-}1030\text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikini aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine ait FTIR grafiğinde 168. saatten sonra iken doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 93. günden sonra görülmektedir (Şekil 4.64).



Şekil 4.65: Beli test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:12. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:336. saat, g:588. saat, h:1512. saat).



Şekil 4.66: Beli test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:5. gün, c:42. gün, d:93. gün, e:123. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 12. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha açık yüzey olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 93. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır (Şekil 4.65 ve 4.66). Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

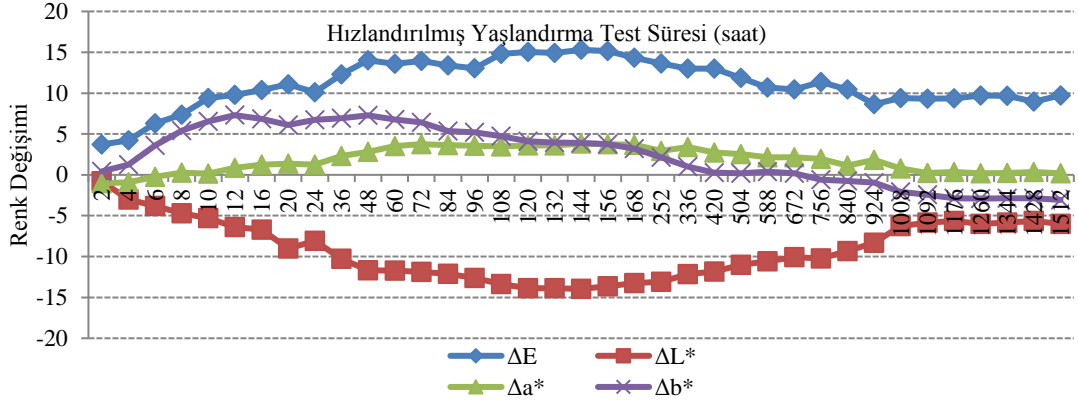
4.1.12 Mazel örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan mazel örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.67 ve 4.68’de, FTIR spektraları ise Şekil 4.69 ve 4.70’de gösterilmiştir. Şekil 4.67’de gösterilen hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan mazel test örneklerine ait ΔL^* değerleri incelendiğinde 144. saate kadar degradasyon neredeyse doğrusal olarak negatif yönde devam etmekte ve yüzey rengi koyulaşmaktadır. En yüksek ΔL^* değeri 144. saatte görülmektedir (-13,96). 14. saatten sonra yüzeylerde açılma eğilimi başlamakta, 1008. saate kadar doğrusal artış göstermekte, 1008. saatten sonra test süresi sonuna kadar stabil olarak devam etmektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri dikkate alındığında bozunmanın yavaş gerçekleştiği, Şekil 4.69’da gösterilen FTIR spektraları ile 144. saatten sonra lignin

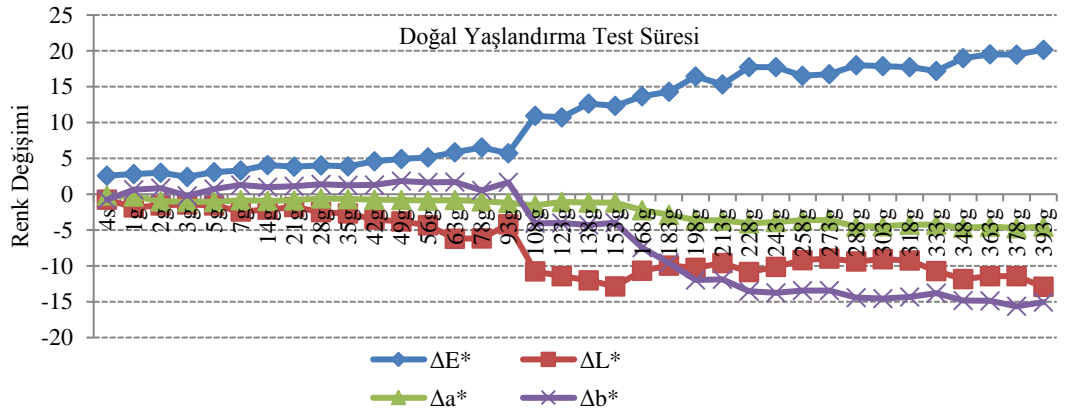
degradasyonun tamamlandığı desteklenmektedir. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edilmesi daha az olacağından, selüloz bileşenlerinin bütünlüğünün yüzey degradasyonu daha yavaş gerçekleştirdiği düşünülmektedir. En yüksek ΔE^* değeri yine 144. saatte görülmektedir (15,29).

Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 63 günde hafif koyulaşma, ardından 93. güne kadar hafif açılma gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde, hızlandırılmış test örneklerine benzer yavaş ve uzun süreli degradasyon yaşandığı görülmektedir. 93. günde açılma eğilimi gösteren örnek yüzeyleri 93. günden sonra koyulaşmakta ve bu durum 153. güne kadar etmektedir. 153. günden sonra yüzeylerde görülen hafif açılma eğilimi 318. güne kadar devam etmekte, 318. günden sonra test süresi sonuna kadar koyulaşma görülmektedir. Buradan 63. günde ilk lignin degradasyonu olduğu, 93. günde ortaya çıkan yeni yüzeyde degradasyon yavaş şekilde ilerlediği, 153. günde 2. lignin degradasyonu olduğu görülmektedir (Şekil 4.68). 153. günden sonra yeni tabaka meydana gelmekte ve Şekil 4.70'de belirtilen FTIR sonuçları ile 153. günden sonra lignin pikinin görülmediği desteklenmektedir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. ΔE^* değeri 93. gün sonunda önemli ölçüde artmaktadır. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu durum, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır.

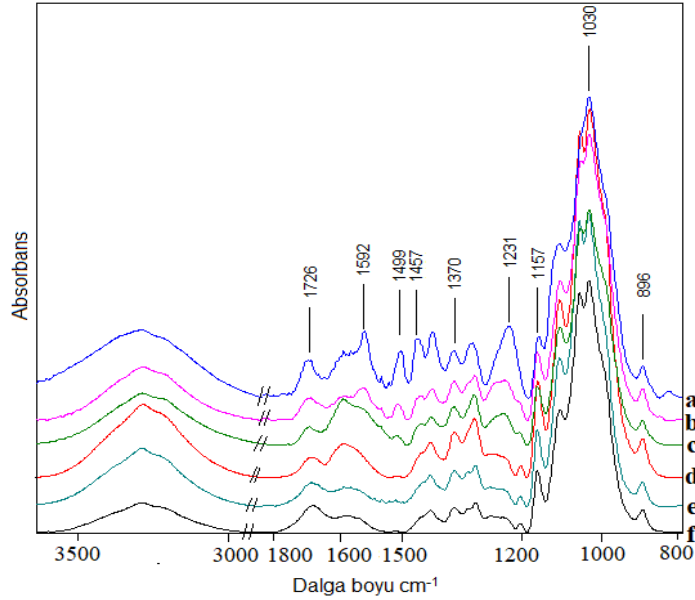
Mazel hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* değerleri 1512 saat hızlandırılmış yaşlandırma testi süresince pozitif değer göstermektedir (Şekil 4.67). Örneklerin Δb^* değeri incelendiğinde ise 672. saatten sonra negatif yönde devam ettiği görülmektedir (Şekil 4.67). En yüksek Δb^* değeri 12. saatte görülmekte (7,30) ve bu saatten sonra test süresi sonuna kadar azalma eğilimi devam etmektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinde ise Δa^* değerlerinin test süresi boyunca neredeyse başlangıç seviyesindeki değerler ile aynı olduğu gözlenmekte, Δb^* değeri ise 93. günden itibaren azalmakta, 153. gün sonunda belirgin şekilde negatif yönde ilerlemekte ve bu durum test süresi boyunca devam etmektedir (Şekil 4.68). İki yaşlandırma testi arasında Δa^* ve Δb^* değerlerinde görülen farklılığın, dış ortamda bulunun toz, çamur gibi kirlilikten kaynaklandığı düşünülmektedir.



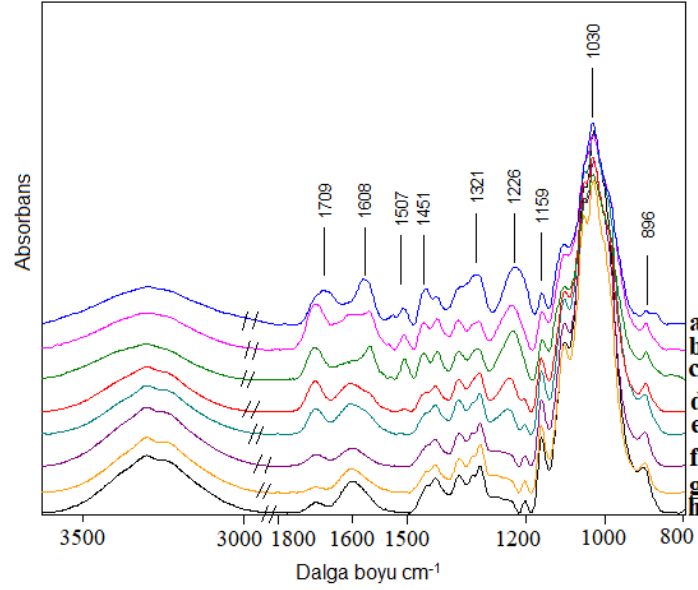
Şekil 4.67: Mazel hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.68: Mazel doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.69: Mazel hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:20. saat, c:48. saat, d:144. saat, e:1008. saat, f:1512. saat).



Şekil 4.70: Mazel doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).

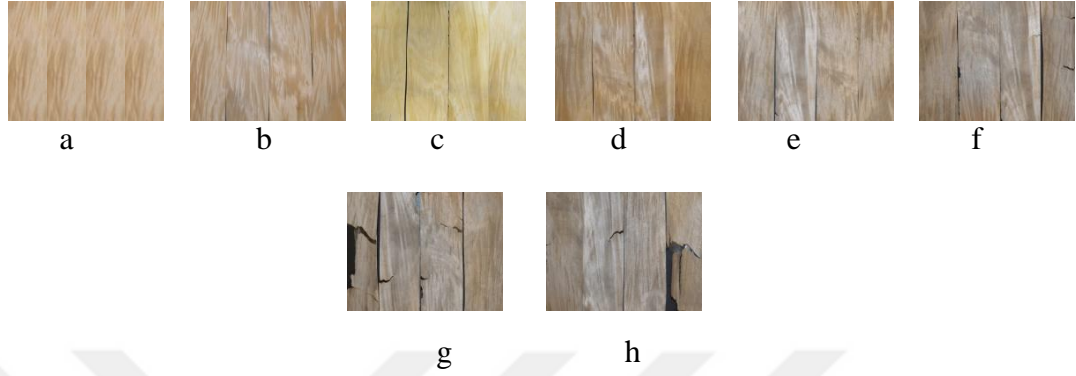
Mazel örneklerinde ligninin karakteristik piki 1499 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 144. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.69). $1200\text{-}1270$ ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. $1160\text{-}1030\text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikin aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Doğal yaşlandırma örneklerinde ise lignin pikinin kaybolması 153. günden sonra görülmektedir (Şekil 4.70).



Şekil 4.71: Mazel test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:20. saat, c:48. saat, d:144. saat, e:1008. saat, f:1512. saat).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 144. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha açık yüzey olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 153. günden sonra başlamakta ve test süresi

sonuna kadar artmaktadır (Şekil 4.71 ve 4.72). Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir. Her iki yaşlandırma testi esnasında örneklerde derin çatlamlar gözlenmiştir.



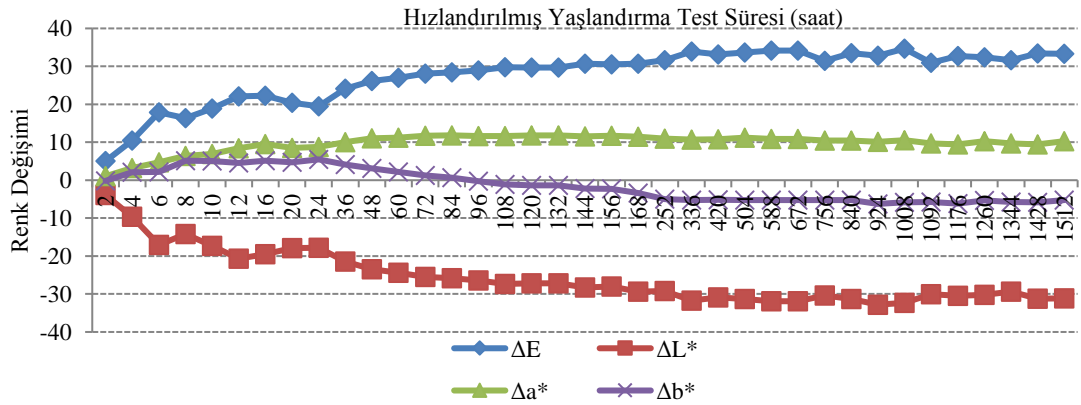
Şekil 4.72: Mazel test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:7. gün, c:63. gün, d:93. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).

4.1.13 Tulipe örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

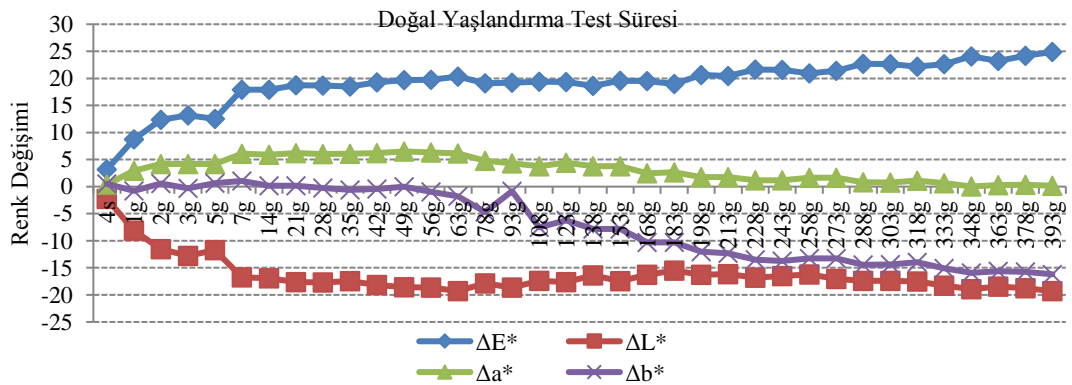
Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan tulipe örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.73 ve 4.74’de, FTIR spektralleri ise Şekil 4.75 ve 4.76’de gösterilmiştir. Şekil 4.73’te gösterilen hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan tulipe test örneklerinde ilk 6 saatte yüzeylerde koyulaşma görülmüş ardından hafifçe açılma, 8. saatten sonra 12. saate kadar tekrar koyulaşma eğilimi görülmektedir. Şekil 4.73’te renk grafiğine göre ilk lignin degradasyonunun 6. saatte gerçekleştiği düşünülmekte, sonrasında yeni yüzey meydana gelmekte ve 8. saatten sonra yine kısa sürede 2. lignin degradasyonunun başladığı yorumlanmaktadır. 3. tabaka yüzeyleri 12. saatten 24. saate kadar açılma eğiliminde olup, 24. saatten sonra test süresi sonuna kadar neredeyse doğrusal olarak yüzeylerde koyulaşma görülmektedir. Tulipe hızlandırılmış yaşlandırma testine ait örneklerin degradasyonun ilk saatlerde gerçekleştiğini söylemek mümkündür. 336. saatten sonra Şekil 4.75’te gösterilen FTIR spektrallerine göre lignin kaybolmaktadır. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. ΔE^* değerinin fazla olması test örneğinin başlangıç seviyesine göre renk değişiminin fazla olduğunu açıklamaktadır. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 3 günde hafif azalma, ardından 5. günde hafif bir artış ve ardından belirgin şekilde azalma görülmektedir. 7. günde başlayan yüzey

koyulaşması 63. gün sonunda hafifçe artma eğiliminde test süresi sonuna kadar devam etmektedir. Buradan 3. günde ilk lignin degradasyonu olduğu, ortaya çıkan yeni yüzeyde degradasyon 5. günden 63. güne kadar ilerlediği, 63. günden sonra 2. lignin degradasyonunun tamamlandığı düşünülmektedir. Şekil 4.76'dan belirtilen FTIR sonuçları ile 63. günden sonra lignin pikinin görülmediği desteklenmektedir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, en yüksek ΔE^* değeri test süresi sonunda görülmektedir (24,88). Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha düşük bulunmuştur.

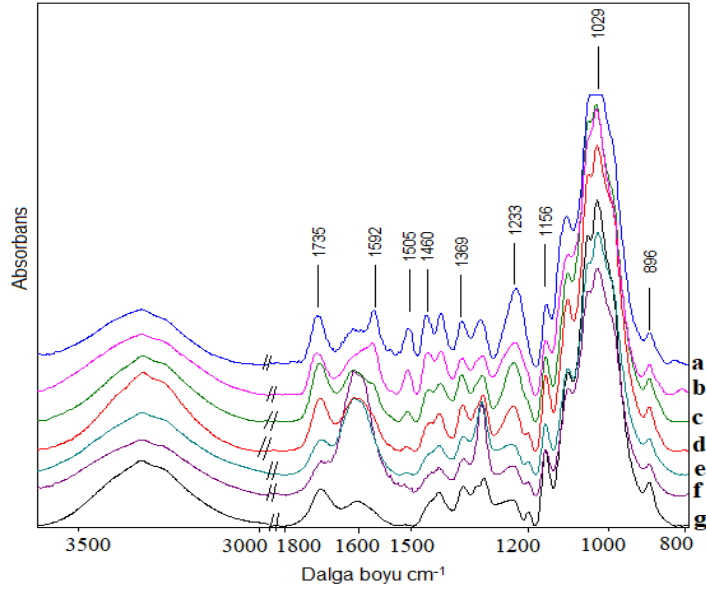
Tulipe hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde pozitif olan Δa^* değeri test süresi sonuna kadar stabil devam etmekte, Δb^* değeri ise 108. saatte negatif yönde ilerlemektedir (Şekil 4.73). Doğal yaşlandırma Δa^* değerleri test süresi sonuna kadar pozitif yönde değer vermektedir. Bu değerler 63. günden sonra hafifçe azalma eğilimindedir. Δb^* değeri ise 49. günden sonra negatif yönde ilerlemekte ve test süresi sonuna kadar devam etmektedir (Şekil 4.74).



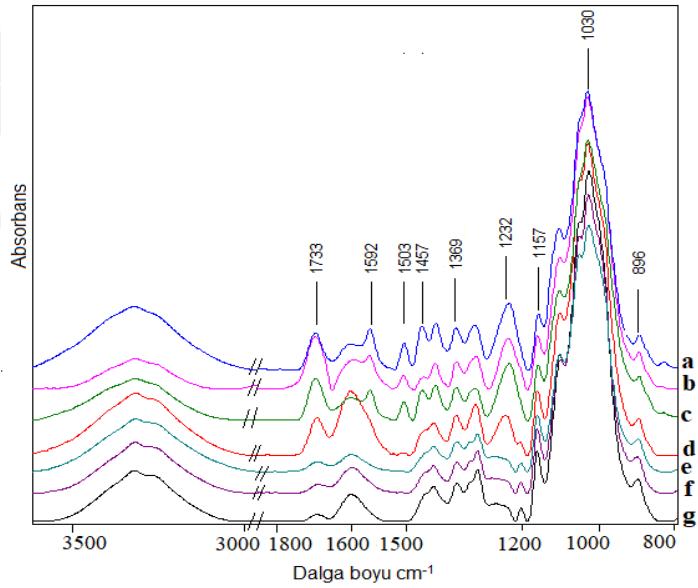
Şekil 4.73: Tulipe hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.74: Tulipe doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.

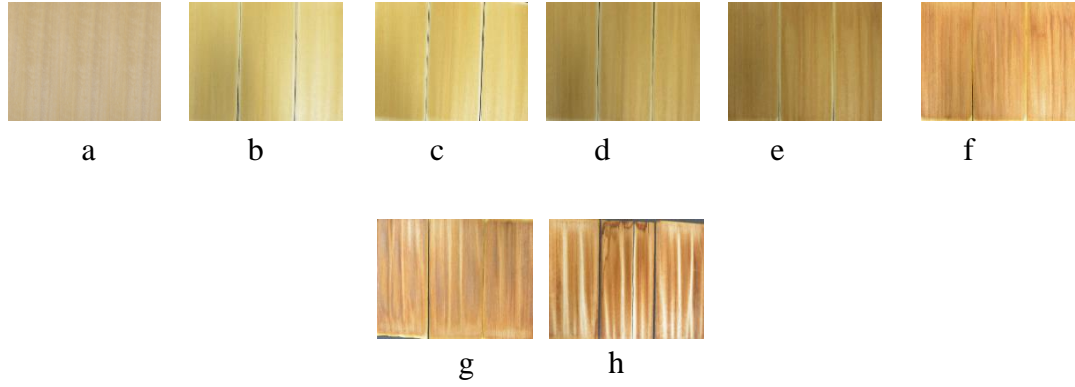


Şekil 4.75: Tulipe hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:6. saat, c:12. saat, d:24. saat, e:48. saat, f:336. saat, g:1512. saat).

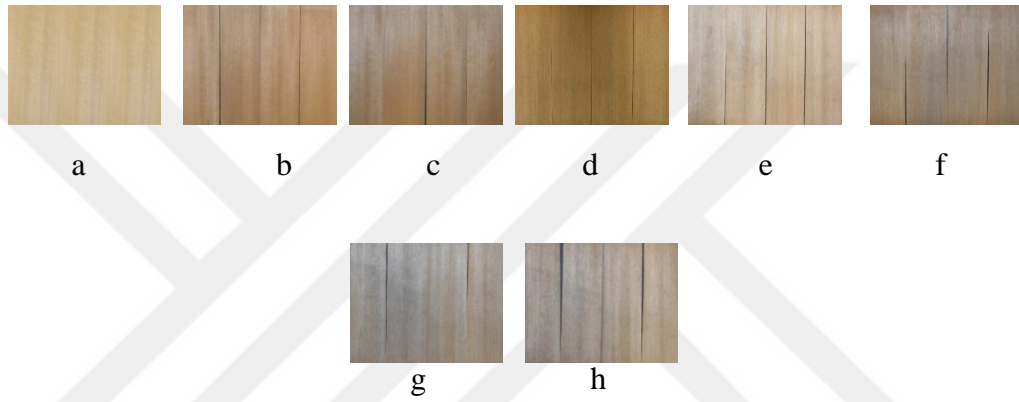


Şekil 4.76: Tulipe doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:3. gün, c:7. gün, d:63. gün, e:228. gün, f:348. gün, g:393. gün).

Tulipe örneklerinde ligninin karakteristik piki 1502 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 48. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.75). 1732, 1369, 1237, 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 63. günden sonra görülmektedir (Şekil 4.76).



Şekil 4.77: Tulipe test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a:kontrol, b:6. saat, c:12. saat, d:24. saat, e:48. saat, f:168.saat, g:336. saat, h:1215. saat).



Şekil 4.78: Tulipe test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:3. gün, c:7. gün, d:63. gün, e:93. gün, f:228. gün, g:348. gün, h:393. gün).

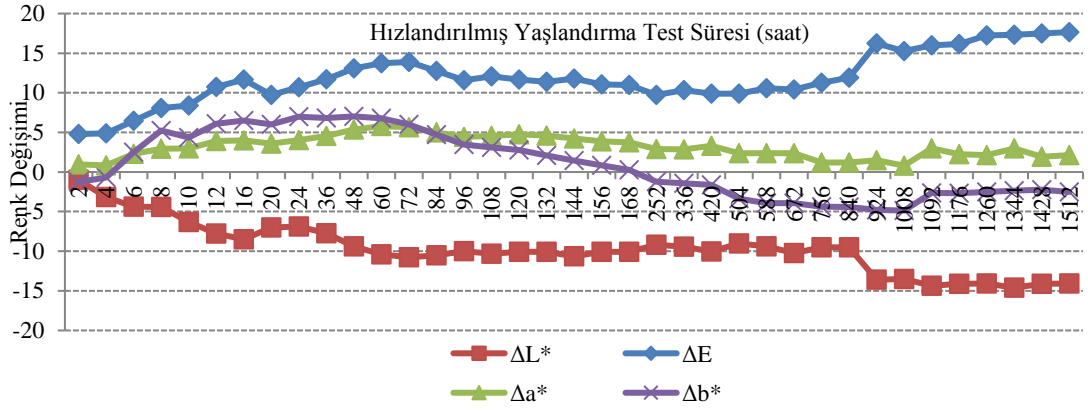
Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere (Şekil 4.77 ve 4.78), hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 12. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha koyu yüzey olduğu gözlenmektedir. 48. saatte en koyu yüzey görüntüsü görülmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 93. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır. Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.1.14 Anigre örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

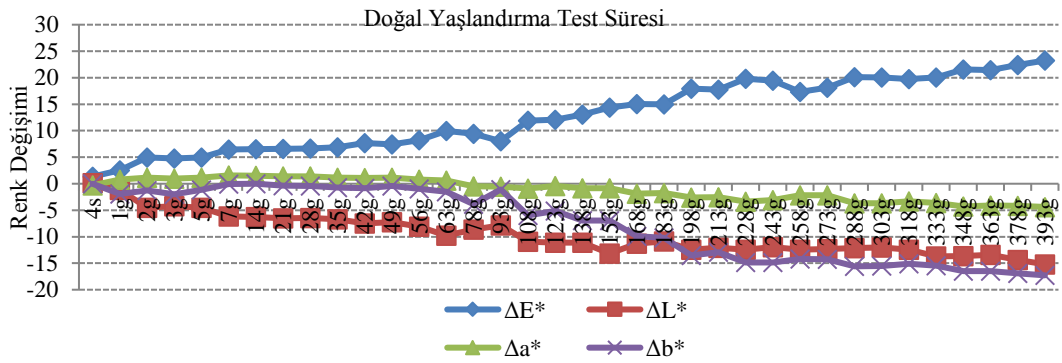
Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan anigre örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.79 ve 4.80'de, FTIR spektralleri ise Şekil 4.81 ve 4.82'de gösterilmiştir. Şekil 4.79'de gösterilen hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan

anigre test örneklerine ait ΔL^* değerleri incelendiğinde 16. saate kadar yüzeylerde koyulaşma görülmektedir. 16. saatten sonra 20. saate kadar açılma görülmekte, 24. saatten 60. saate kadar neredeyse lineer bir şekilde koyulaşma devam etmektedir. ΔL^* değerleri 60. saatten sonra 840. saate kadar stabil devam olarak devam etmekte, 840 saatten sonra belirgin koyulaşmakta, ardından test süresi sonuna kadar yine stabil olarak devam etmektedir. Buradan 16. saatte ilk lignin degradasyonu olduğu ve sonrasında açılan renk ile birlikte yeni yüzeylerin ortaya çıktığı düşünülmektedir. 24. saatten sonra 2. lignin degradasyonu başlamakta, 60 saat ve 840. saatte degradasyon hızı yavaşlamaktadır. Yavaş ilerleyen degradasyon hızı bozulan lignin ürünlerinin yıkanmasının yavaş gerçekleşmesi olarak düşünülmektedir. Bu durum Şekil 4.81’de yer alan FTIR spektralarına göre 60. saatten sonra lignin pikinde önemli azalma ve ardından pik görülmemesi ile desteklenmektedir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. En yüksek ΔE^* değeri 1512. saat sonunda (17,66) görülmektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 63 günde hafif azalma, ardından 93. güne kadar artış gözlenmektedir. 93. güne kadar açılma eğilimi gösteren örnek yüzeyleri 153. güne kadar koyulaşmakta, ardından 183. güne kadar açılma eğilimi göstermektedir. 183. günden sonra test süresi sonuna kadar koyulaşma devam etmektedir. En koyu yüzey test süresi sonunda görülmektedir (-15,20). Buradan 63. günde ilk lignin degradasyonu olduğu, ortaya çıkan yeni yüzeyde degradasyon 93. günde başlayarak, 153. günde ise 2. lignin degradasyonunun olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.82’de belirtilen FTIR sonuçları ile 153. günden sonra lignin pikinin görülmediği desteklenmektedir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır.

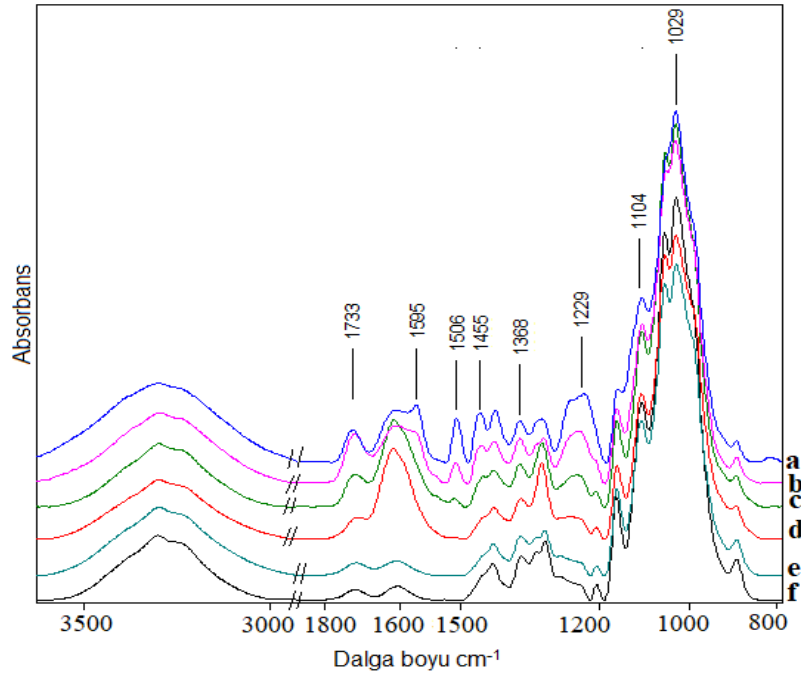
Anigre hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* değeri test süresi boyunca önce artış sonra hafif azalmalar ile devam etmektedir. Örneklerin Δb^* değeri incelendiğinde ise artan değerler, 168. saatten sonra negatif yönde etmektedir (Şekil 4.79). Doğal yaşlandırma Δa^* değerleri test süresi boyunca doğrusal bir görüntü ile negatif yönde azalma eğilimi göstermekte, Δb^* değeri ise 93. günden sonra belirgin şekilde negatif yönde ilerlemekte ve test süresi sonuna kadar devam etmektedir (Şekil 4.80). Doğal yaşlandırma sonucunda toplam renk değişimi hızlandırılmış yaşlandırmaya kıyasla daha fazla olmuştur.



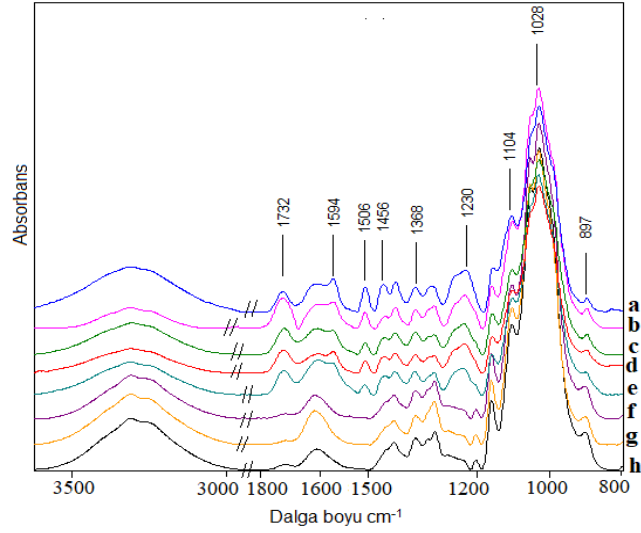
Şekil 4.79: Anigre hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.80: Anigre doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.

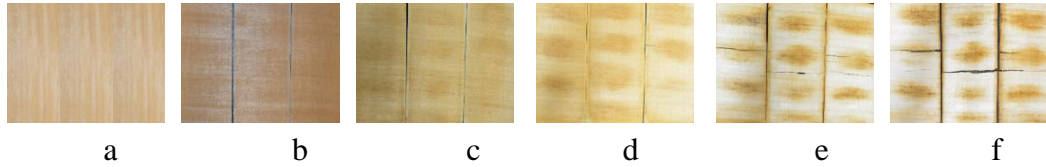


Şekil 4.81: Anigre hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:16. saat, c:60. saat, d:168. saat, e: 924. saat, f:1512. saat).

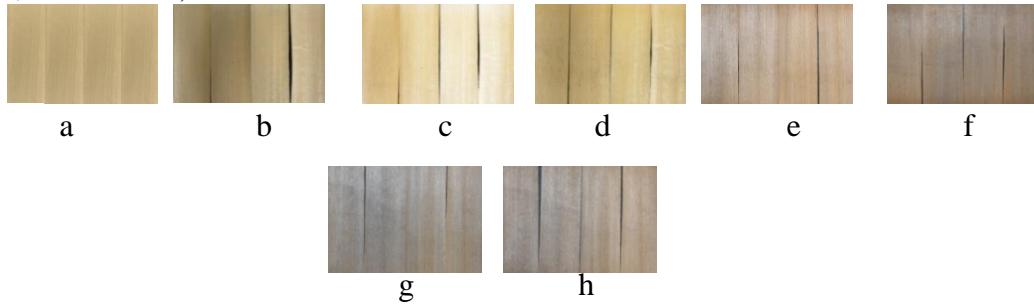


Şekil 4.82: Anigre doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:7. gün, c:42. gün, d:63. gün, e:93. gün, f:153. gün, g:333. gün, h:393. gün).

Anigre örneklerinde ligninin karakteristik piki 1506 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 168. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.81). $1200\text{-}1270$ ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. $1160\text{-}1030\text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikin aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat piklerinde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 153. günden sonra görülmektedir (Şekil 4.82).



Şekil 4.83: Anigre test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b:16. saat, c:60. saat, d:168. saat, e:840. saat, f:1512. saat).



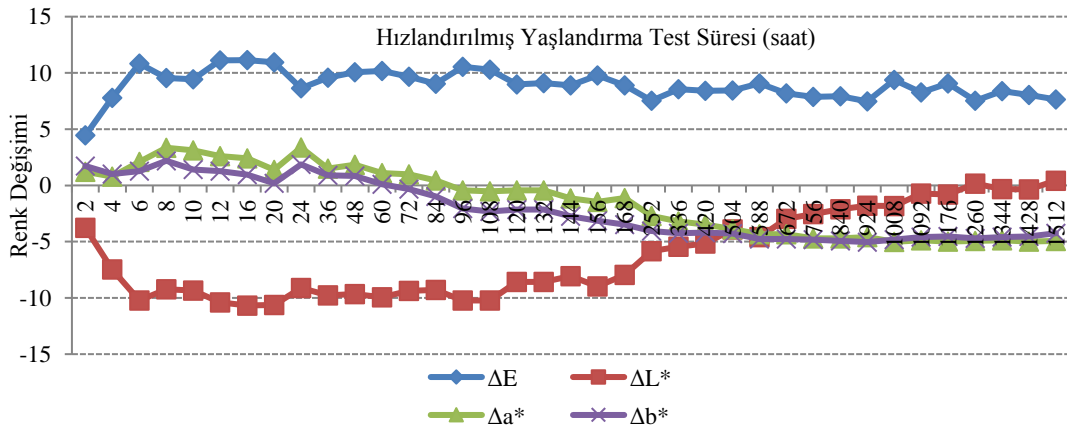
Şekil 4.84: Anigre test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirilmesi (a: kontrol, b: 7. gün, c: 42. gün, d: 63. gün, e: 93. gün, f: 153. gün, g: 348. gün, h: 393. gün).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 16. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha koyu yüzey olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 93. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır (Şekil 4.83 ve 4.84). Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

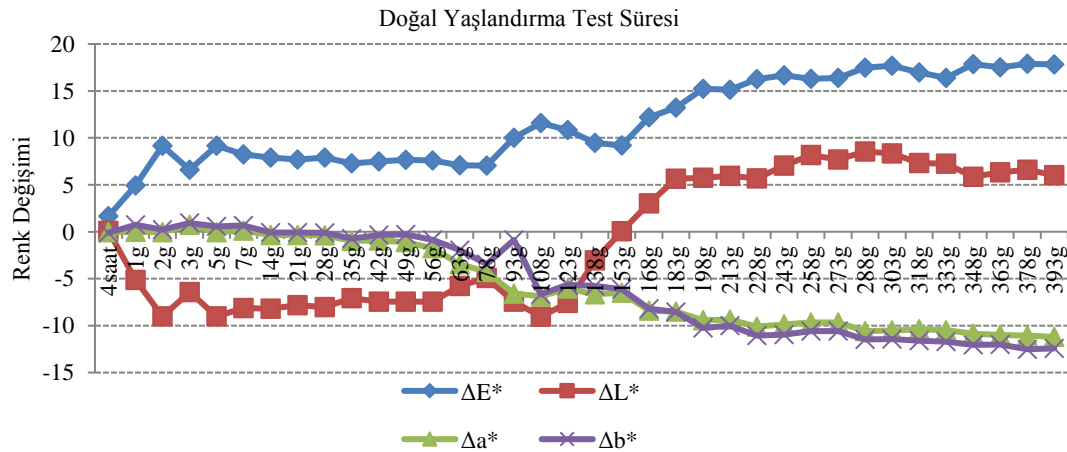
4.1.15 Sapelli örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

Hızlandırılmış yaşlandırma ve doğal dış ortam testine bırakılan sapelli örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.85 ve 4.86'da, FTIR spektraları ise Şekil 4.87 ve 4.88'de gösterilmiştir. Şekil 4.85'te gösterilen hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan sapelli test örneklerine ait ΔL^* değerleri incelendiğinde, 6. saatte kadar yüzeylerde koyulaşma, 6. saatten sonra hafifçe açılma eğilimi görülmektedir. 10. saatten sonra 20. saate kadar yüzeylerde tekrar hafif koyulaşma gözlenmektedir. 20. saatten sonra açılma gözlenen yüzeyler, 24. saatten 84. saate kadar stabil olarak devam etmekte, ardından 108. saat sonunda hafif koyulaşma görülmektedir. 108. saatten sonra yüzeylerdeki hafif açılma eğilimi test süresi sonuna kadar lineer olarak devam etmektedir. Buradan 6. saatte ilk lignin degradasyonu olduğu ve sonrasında açılan renk ile birlikte yeni yüzeylerin ortaya çıktığı düşünülmektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri dikkate alındığında bozunmanın ilk saatlerde hızlı şekilde olduğunu, yeni çıkan yüzeydeki ligninin 20. saatte 2. kez degradasyona uğradığını söylemek mümkündür. Son lignin degradasyonu 108. saat sonunda tamamlanmaktadır. Ligninin bozunmasıyla UV ışığının absorbe edimesi daha az olacağından, selüloz bileşenlerinin bütünlüğünün yüzey degradasyonu daha yavaş gerçekleştirdiği düşünülmektedir. ΔE^* değeri test süresi boyunca belirgin olarak değişmemektedir. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 5 günde azalma, ardından 78. güne kadar hafif artış gözlenmektedir. 78. güne kadar açılma eğilimi gösteren örnek yüzeyleri 93. günde koyulaşmaya başlamakta ve 108. günden sonra yüzeylerde artık koyulaşma görülmemektedir. Örnek yüzeyleri test süresi sonuna kadar hafif olarak açılmaya devam etmektedir. Buradan 5. günde ilk lignin degradasyonu olduğu, ortaya çıkan yeni yüzeyde degradasyon yavaş şekilde ilerlediği, 78. günden sonra 2. lignin degradasyonunun olduğu düşünülmektedir.

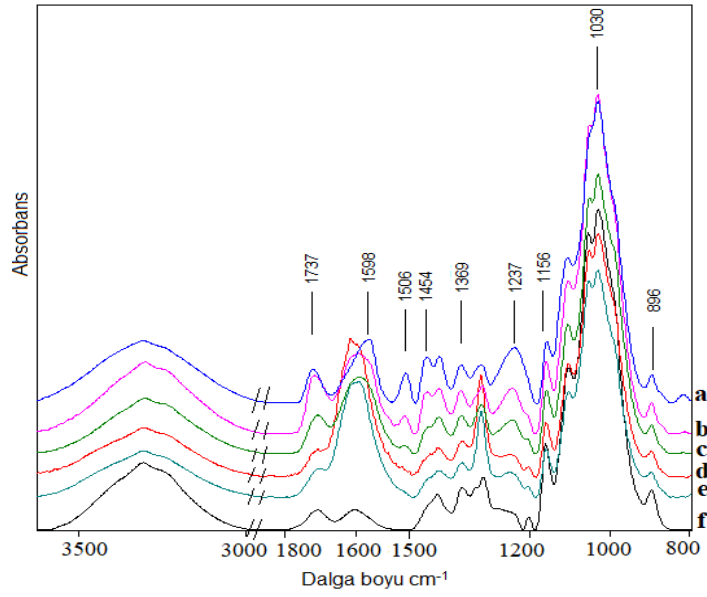
Şekil 4.86'dan görüldüğü gibi 108. günden sonra belirgin şekilde selülozca zengin yeni tabakada meydana gelmektedir. Şekil 4.88'de belirtilen FTIR sonuçları ile 108. günden sonra lignin pikinin görülmediği desteklenmektedir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Bu durum, dış ortamda hem abiyotik hem de biyotik etkilerin olması olarak açıklanmaktadır. Sapelli hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* ve Δb^* değerlerinde test süresi boyunca doğrusal sayılabilecek şekilde azalma görülmektedir (Şekil 4.85). Doğal yaşlandırma örneklerinin Δa^* ve Δb^* değerleri de hızlandırılmış yaşlandırma örnekleri ile benzer durum sergilediği Şekil 4.86'da görülmektedir.



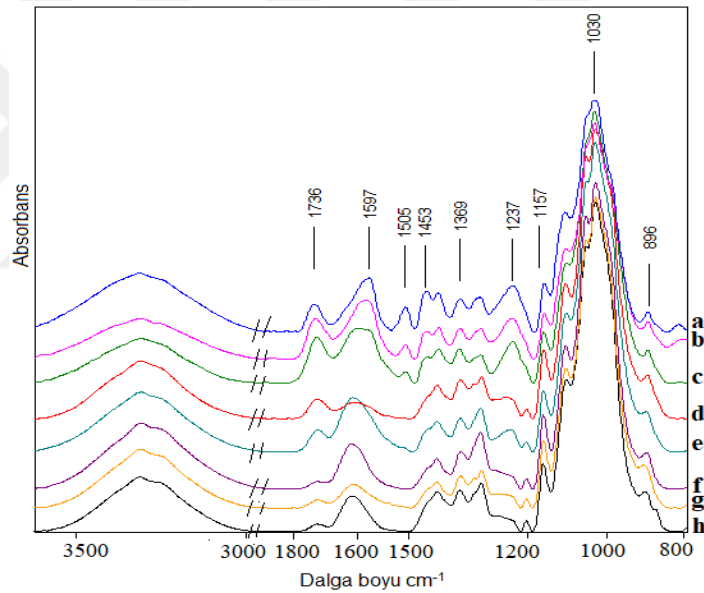
Şekil 4.85: Sapelli hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.86: Sapelli doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



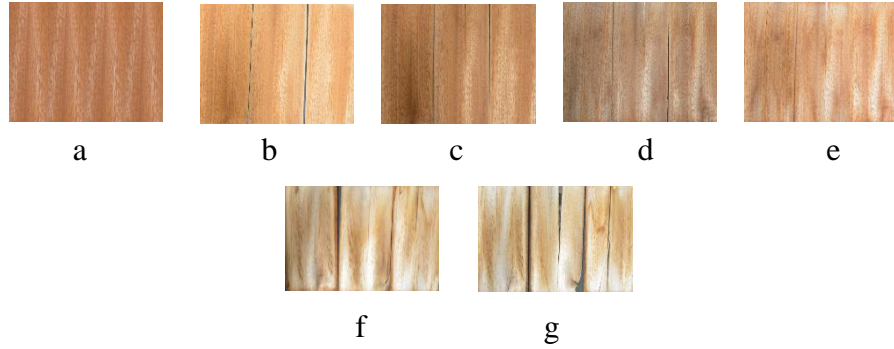
Şekil 4.87: Sapelli hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:6. saat, c:20. saat, d:108. saat, e:168. saat, f:1512. saat).



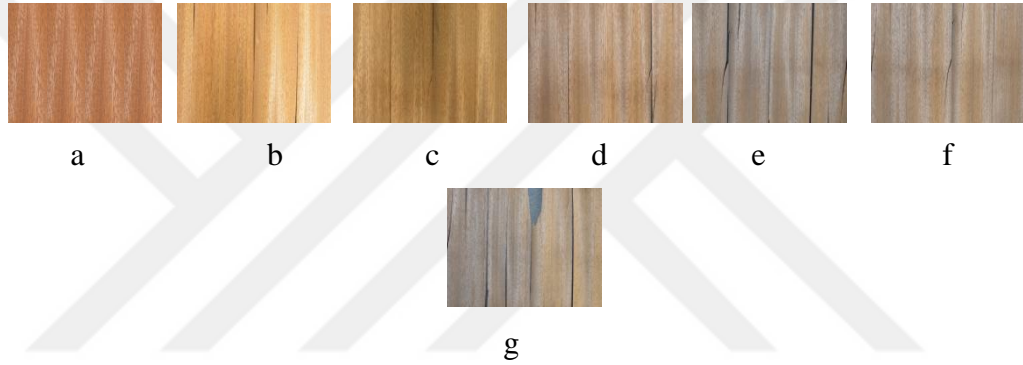
Şekil 4.88: Sapelli doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:5. gün, c:78. gün, d:108. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:313. gün, h:393. gün).

Sapelli örneklerinde ligninin karakteristik piki 1508 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 108. saatten sonra tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.87). $1200\text{-}1270$ ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. $1160\text{-}1030 \text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikin aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerine benzer şekilde

doğal yaşlandırma örneklerinde de lignin pikinin kaybolması 108. günden sonra görülmektedir (Şekil 4.88).



Şekil 4.89: Sapelli test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:6. saat, c:20. saat, d:84. saat, e:108. saat, f:672.saat, g: 1512. saat).



Şekil 4.90: Sapelli test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:5. gün, c:28. gün, d:78. gün, e:108. gün, f:183. gün, g:393. gün)

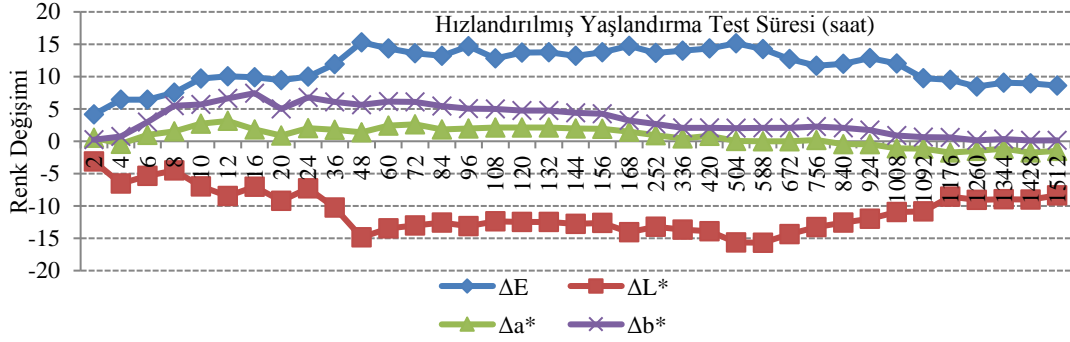
Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen ve Şekil 4.89 ve 4.90'daki fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 84. saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha açık yüzey olduğu gözlenmektedir. Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 78. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır. Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.1.16 Kayın örneklerine ait renk değişimi ve FTIR bulguları

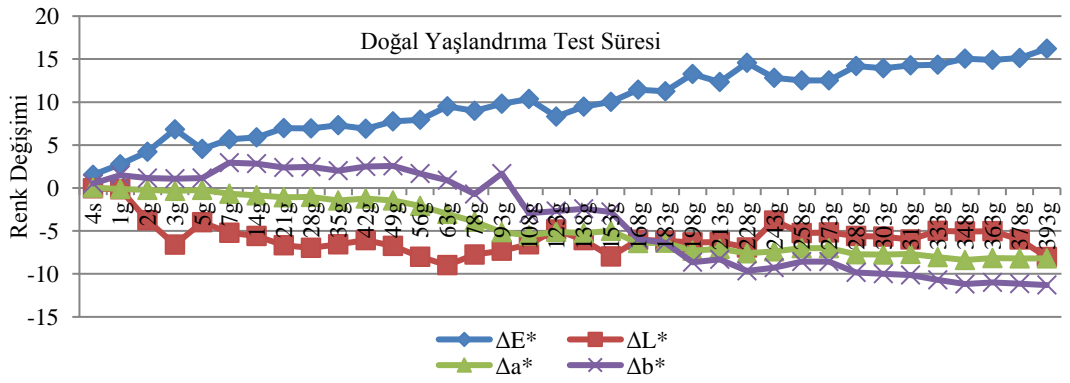
Yaşlandırma testine bırakılan kayın örneklerinin renk parametreleri Şekil 4.91 ve 4.92'da, FTIR spektralleri ise Şekil 4.93 ve 4.94'te gösterilmiştir. Şekil 4.91'te gösterilen hızlandırılmış yaşlandırılan kayın test örneklerine ait ΔL^* değerleri

incelendiğinde, 4. saatte kadar yüzeylerde koyulaşma, 4. saatten 8. saate kadar açılma eğilimi görülmektedir. 8. saatten 48. saate kadar koyulaşmanın belirgin olduğu Şekil 4.91'de görülmektedir. En koyu yüzey 48. saatte görülmektedir. Ardından yüzeylerde 60. saatten 156. saate kadar lineer olarak açılma devam etmekte, sonrasında 168. saate kadar hafif bir koyulaşma görülmektedir. 168. saatten 252. saate kadar hafif açılma gözlenmekte ve ardından 588. saate kadar örnek yüzeylerinde yeniden koyulaşma görülmektedir. Bu saatten sonra yüzeylerde açılma eğilimi test süresi sonuna kadar devam etmektedir. Buradan 4. saatte ilk lignin degradasyonu olduğu ve sonrasında açılan renk ile birlikte yeni yüzeylerin ortaya çıktığı düşünülmektedir. Örneklerde ΔL^* değerleri dikkate alındığında bozunmanın ilk saatlerde hızlı şekilde olduğunu, yeni çıkan yüzeydeki ligninin 24. saatte başlayarak 48. saatte (-14,86) bozunduğu görülmektedir. 48. saatten sonra degradasyonun daha yavaş olduğu Şekil 4.91'de görülmektedir. Şekil 4.93'de belirtilen FTIR sonuçları ile 48. saatten sonra lignin pikinin azaldığı 168. saatten sonra ise görülmediği belirlenmiştir. ΔL^* değerindeki bu belirgin değişim toplam renk değişimini arttırmakta, ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. Doğal yaşlandırma test örneklerinin ΔL^* değerleri incelendiğinde ilk 3 günde azalma, ardından 5. güne kadar hafif artış gözlenmektedir. 5. günden 63. güne kadar tekrar koyulaşma gösteren örnek yüzeyleri, sonrasında 123. güne kadar açılma eğilimi göstermektedir. 123. günden 153. güne kadar koyulaşan yüzeylerde, 153. günden sonra artık koyulaşma görülmemektedir. Şekil 4.94'de belirtilen FTIR sonuçları ile 63. günden sonra lignin pikinin görülmediği desteklenmektedir. Örnek yüzeyleri, test süresi sonuna kadar hafif olarak açılmaya devam etmektedir. Buradan 3. günde ilk lignin degradasyonu olduğu, ortaya çıkan yeni yüzeyde degradasyon yavaş şekilde ilerlediği, 63. günden sonra 2. lignin degradasyonunun olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.92'de görüldüğü gibi 63. günden sonra belirgin şekilde selülozca zengin yeni tabakada meydana gelmektedir. 153. günde son lignin degradasyonu tamamlanmaktadır. ΔE^* değeri test süresi sonuna kadar artmaktadır. Dış ortam testine tabi tutulan örneklerde toplam renk değişimi, hızlandırılmış yaşlandırma örneklerine kıyasla daha fazla görülmektedir. Kayın hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde Δa^* değerlerinde test süresi boyunca hafifçe azalmaktadır. 504. saatin sonunda değerler negatif olmaktadır (Şekil 4.91). Δb^* değeri 16. saatten sonra azalma eğilimi göstermekte ve test süresi sonuna kadar azalma devam etmektedir. En yüksek Δb^* değeri 16. saatte (7,43) görülmektedir.

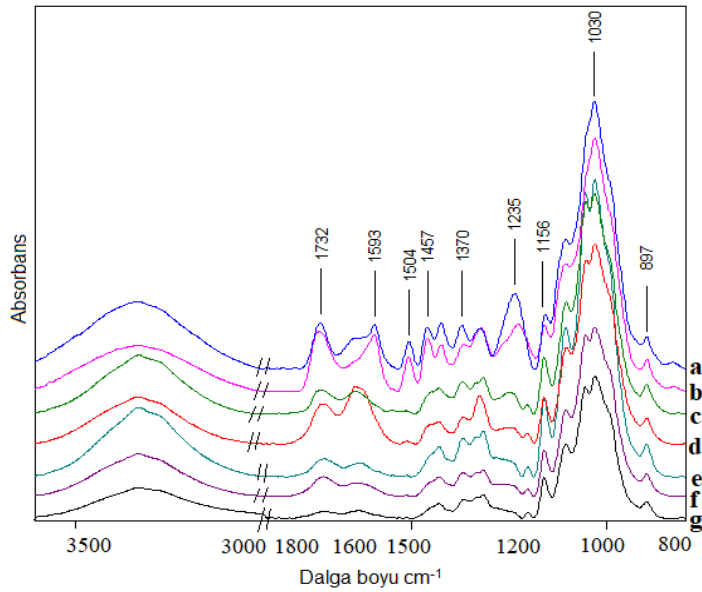
Doğal yaşlandırma örneklerinin Δa^* ve Δb^* değerleri test süresi boyunca azalma eğilimi göstermektedir. Ve her iki renk parametresi negatif değerler vermiştir.



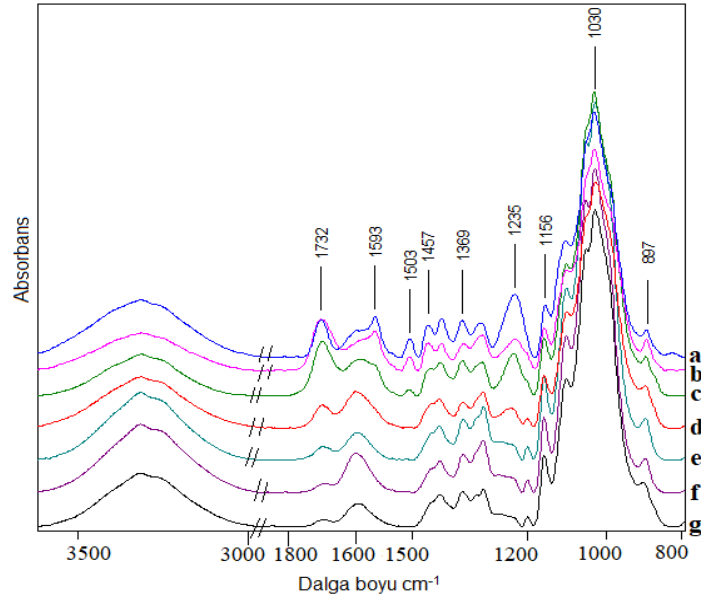
Şekil 4.91: Kayın hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.



Şekil 4.92: Kayın doğal yaşlandırma test örneklerinin renk değişim değerleri.

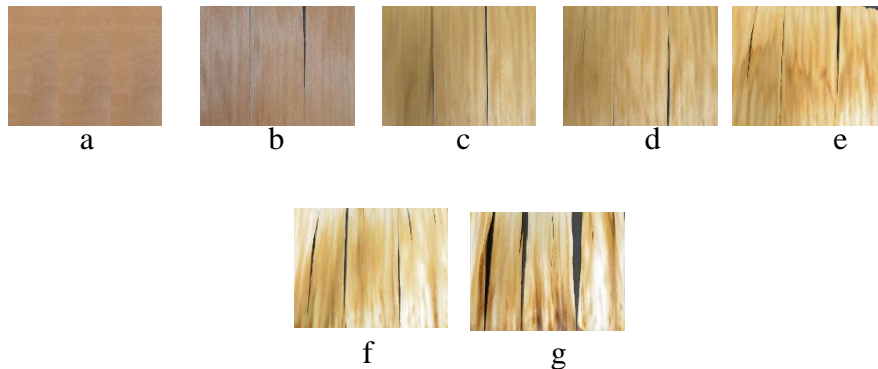


Şekil 4.93: Kayın hızlandırılmış yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a:kontrol, b: 4.saat, c: 24. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:588. saat, g:1512. saat).



Şekil 4.94: Kayın doğal yaşlandırma FTIR analiz sonuçları (a: kontrol, b:3. gün, c:28. gün, d:63. gün, e:153. gün, f:228. gün, g:393. gün).

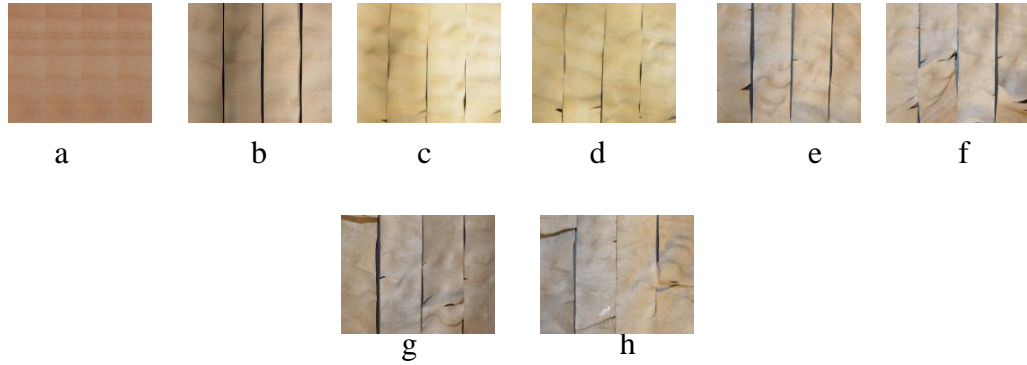
Kayın örneklerinde ligninin karakteristik piki 1504 cm^{-1} dalga boyunda görülmektedir. Bu pik, hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında 168. saatte tamamen kaybolmaktadır (Şekil 4.93). $1200\text{-}1270$ ve 1593 cm^{-1} band aralığında lignin birimlerinde azalma görülmektedir. $1160\text{-}1030 \text{ cm}^{-1}$ band aralığında görülen selüloz ve hemiselülozun kuvvetli pikini aynı kaldığı hatta arttığı gözlenmektedir. 1732 , 1369 , 1237 , 1157 ve 897 cm^{-1} band aralığında görülen karbonhidrat pikleri, yaşlandırma boyunca kaybolmamakta ancak piklerde gözle görülür şekilde azalma meydana gelmektedir. Doğal yaşlandırma örneklerinde lignin pikinin kaybolması 63. günden sonra görülmektedir (Şekil 4.94).



Şekil 4.95: Kayın test örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:4. saat, c:24. saat, d:48. saat, e:168. saat, f:588. saat, g: 1512. saat).

Hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma test süresinde her bir periyotta çekilen fotoğraflardan görüldüğü üzere, hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde 48.

saatten sonra yüzey degradasyonu gözle görülür şekilde belirginleşmektedir. 1512. saat sonunda ise başlangıç renginden daha açık yüzey olduğu gözlenmektedir .

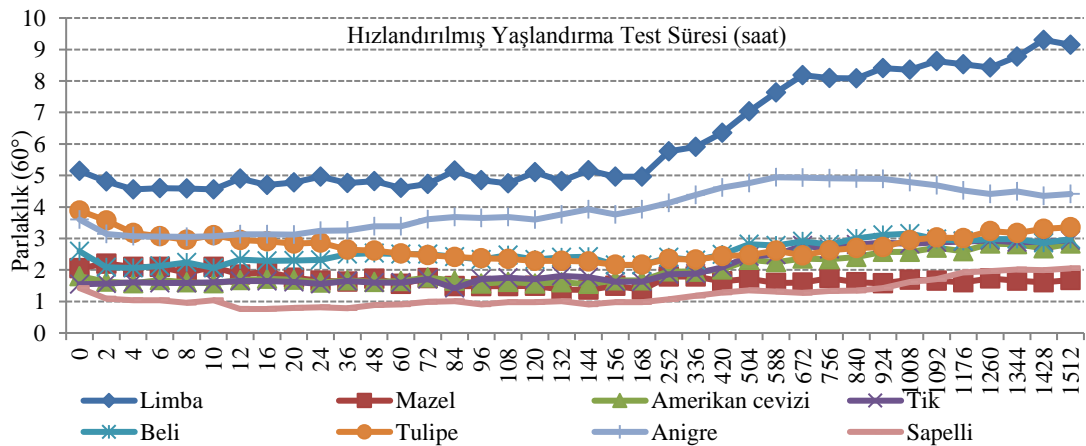


Şekil 4.96: Kayın test örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında makroskobik değerlendirmesi (a: kontrol, b:3. gün, c:28. gün, d:63. gün, e:123. gün, f:153. gün, g:228. gün, h:393. gün).

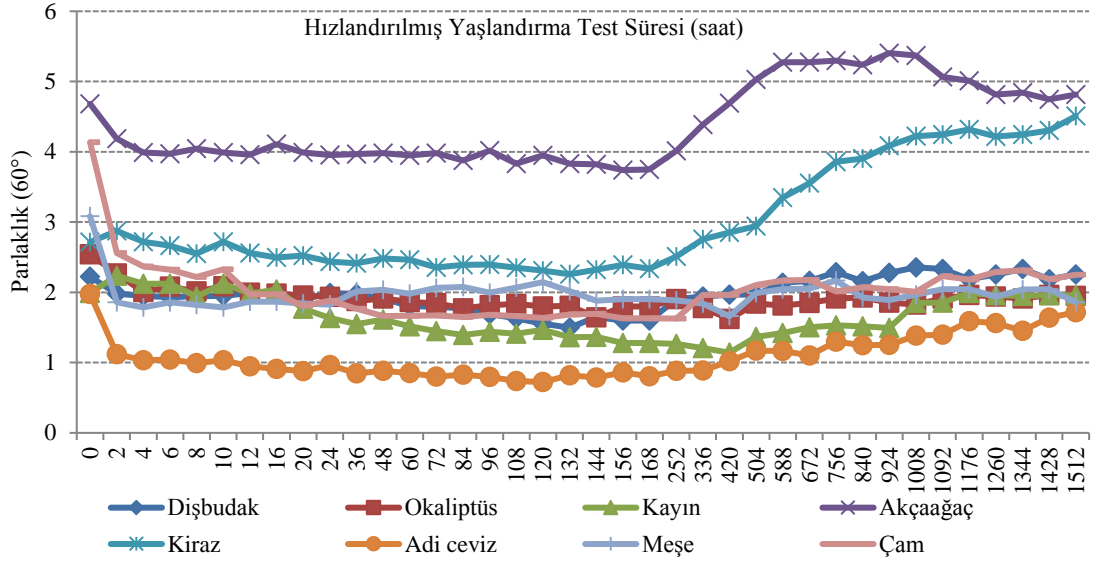
Doğal ortam test örneklerinde ise grileşme 123. günden sonra başlamakta ve test süresi sonuna kadar artmaktadır (Şekil 4.96). Bu durum yüzey bileşenlerinin degradasyonu ile ilişkilidir. Makroskobik değerlendirme, renk grafikleri ve FTIR sonuçları ile desteklenmektedir.

4.2 Hızlandırılmış ve Doğal Yaşlandırmaya Maruz Bırakılan Örneklerin Parlaklık Değerlerine ait Bulgular

Hızlandırılmış dış ortam test öncesi ve test süresince alınan parlaklık değerlerine (60°) ait sonuçlar limba, tik, anigre, mazel, beli, sapelli, amerikan cevizi, tulipe örnekleri için Şekil 4.97’de; dişbudak, kiraz, okaliptus, adi ceviz, meşe, akçağaç, kayın ve çam örnekleri için ise Şekil 4.98’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.97: Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin parlaklık değerleri.



Şekil 4.98: Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin parlaklık değerleri.

Limba örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 5,14 ile 9,15 arasında görülmüştür. Testin ilk 4 saati boyunca parlaklıkta hızlı bir şekilde düşüş görülmüştür. İlk 4 saatin ardından parlaklık değerindeki değişim yavaş bir şekilde artarak 168. saate gelindiğinde 4,96 olarak hesaplanmış ve 168. saat ile 1512. saat arasında parlaklık değeri sürekli bir artış göstermiş ve test sonunda 9,15 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile arttığı gözlenmiştir. Anigre örneklerinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 3,6 ile 4,42 arasında gözlemlenmiştir. 2. saat sonunda test başlangıcında 3,6 olan parlaklık değerinin 3,14'e kadar düştüğü görülmüştür. 2-588. saat arasında ortalama parlaklık değeri genel olarak artış göstermiştir ve 588. saat sonunda 4,94 olarak ölçülmüştür. 588-1512. saatler arasında parlaklık değerlerinde genel olarak bir azalma görülmüştür ve 1512. saat sonunda yapılan ölçümde parlaklık değerinin 4,42 olduğu bulunmuştur. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile hafifçe arttığı gözlenmiştir. Tik örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 1,55 ile 2,94 arasında görülmüştür. Testin ilk 168 saati boyunca parlaklık değerinde büyük bir değişim görülmemiştir. 168. saat ile 1512. saat arasında artış göstererek test sonucunda tik örneğine ait numuların parlaklık değerleri 2,94 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile arttığı gözlenmiştir. Mazel örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 2,06 ile 1,68 arasında görülmüştür. Ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca genel olarak düşüş göstermiştir ve 1512. saat sonrasında alınan

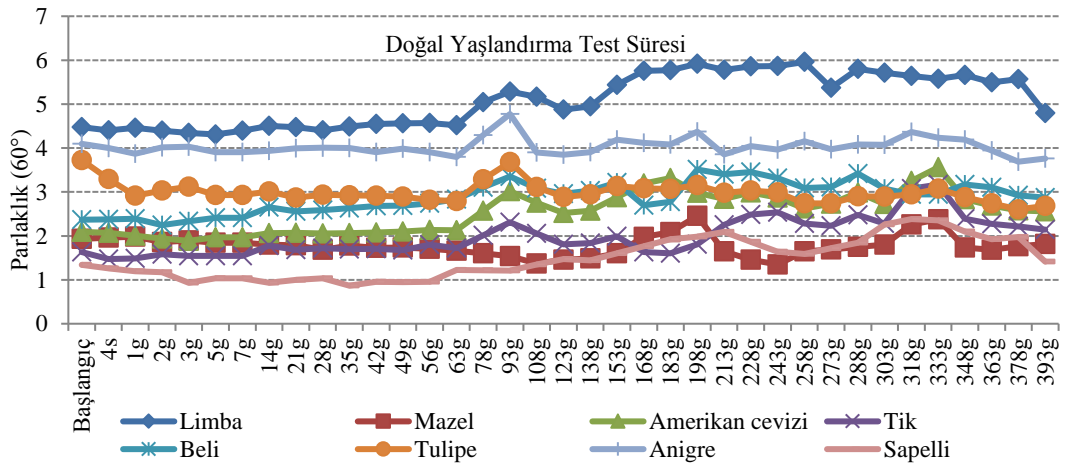
ölçümde parlaklık değerinin 1,68'e düştüğü görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile azaldığı gözlenmiştir. Beli örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 2,6 ile 2,98 arasında görülmüştür. 2. saatin sonunda parlaklık değerinin 2,6'dan 2,08'e düştüğü görülmüştür. 2. saat ile 144. saat arasında parlaklık değeri genel olarak hafif bir artış göstermiştir ve 144. saat sonunda 2,42 olarak ölçülmüştür. 144-168. saat arasında parlaklık değerinde genel olarak düşüş görülmüştür ve 2,15 olarak görülmüştür. 168- 1008. saat arasında parlaklık değerinde genel olarak artış görülmüştür ve parlaklık değeri 3,15 olarak ölçülmüştür. 1008-1512. saat arasında genel olarak parlaklık değerinde hafif düşüş görülmüştür ve 1512. saat sonunda ortalama parlaklık değeri 2,98 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile arttığı gözlenmiştir. Sapelli örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 1,42 ile 2,05 arasında görülmüştür. 36. saate kadar parlaklık değeri genel olarak düşüş göstermiştir ve 36. saat sonunda 0,79 olarak ölçülmüştür. 36-1512. saatler arasında parlaklık değeri genel olarak artış göstermiştir ve 1512. saat sonunda alınan ölçümde 2,05 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile arttığı gözlenmiştir. Amerikan cevizi örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 1,8 ile 2,83 arasında görülmüştür. Bu örneklerin ortalama parlaklık değerlerinde 168. saate kadar genel olarak hafif bir düşüş görülmüştür ve 168. saat sonunda parlaklık değeri 1,67 olarak ölçülmüştür. 168-1512. saat arasında ise parlaklık değerinde genel olarak bir artış görülmüştür ve 1512. saat sonunda yapılan ölçümde ortalama parlaklık değeri 2,83 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile arttığı gözlenmiştir. Tulipe örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 3,89 ile 3,35 arasında görülmüştür. Parlaklık değeri 168. saate kadar genel olarak düşüş göstermiş ve 168. saat sonrasında yapılan ölçümde 2,16 olarak görülmüştür. 168-1512. saat arasında ise ortalama parlaklık değeri genel olarak artış göstermiştir ve 1512. saat sonrası 3,35 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile hafifçe azaldığı gözlenmiştir.

Şekil 4.97'de görüleceği üzere test sonunda benzer parlaklık değerleri tik, beli, amerikan cevizi ve tulipe örneklerinde elde edilmiştir. Sapelli ve mazel ise yine birbirine benzer bir sonuç vermiş ve bu gruptaki en düşük parlaklık bu örneklerde elde edilmiştir. Tüm örnekler içinde en yüksek parlaklık limba örneklerinde elde edilmiştir. Limbadan sonra en yüksek parlaklık anigrede gözlenmiştir.

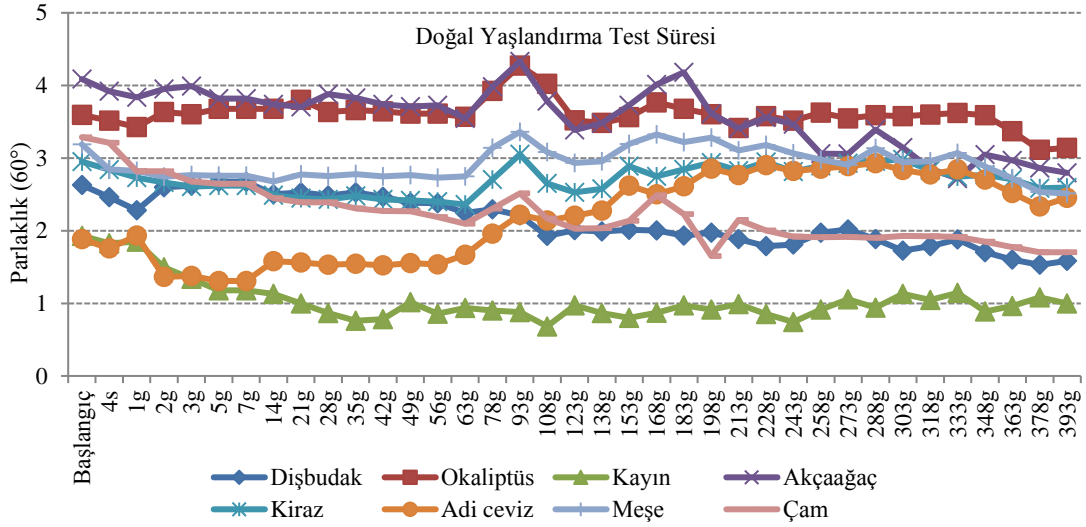
Şekil 4.98'den görüleceği üzere, dişbudak örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresince 2,22 ile 2,25 arasında olmuştur. Dişbudak örneklerinin ortalama parlaklık değeri 132. saate kadar genel olarak düşüş göstermiştir ve 132. saat sonunda 1,5 olarak ölçülmüştür. 132-1512. saat arasında ise ortalama parlaklık değeri genel olarak artış göstermiş ve test sonunda 2,25 olarak ölçülmüştür. Örneklerin başlangıç ve 1512 saat sonundaki parlaklık değerlerinde önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Okalıptus örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresince 2,54 ile 1,95 arasında görülmüştür. 144. saat sonunda alınan ölçüme kadar ortalama parlaklık değeri genel olarak düşüş göstermiştir. 144-420. saatler arasında çok hafif bir artış ve ardından tekrar azalış göstererek 420. saat sonunda tekrar 1,62 olarak ölçülmüştür. 420. saat sonrasında ise genel olarak artış göstererek 1512. saat sonrasında yapılan ölçümlerde 1,95 olarak görülmüş ve örneklerin başlangıç parlaklığını kaybettiği belirlenmiştir. Kayın örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresince 1,99 ile 1,96 arasında görülmüştür. Bu örneklerin parlaklık değerleri 2-420. saatler arasında hafif bir azalma gösterirken, 420. saatten (1,14) itibaren hafif artışlar göstermiştir. Test sonunda da 1,96 değerini vermiştir. Örneklerin başlangıç ve 1512 saat sonundaki parlaklık değerlerinde önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Akçaağaç örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresince 4,68 ile 4,82 arasında görülmüştür. Örnekler ilk 4 saatte önemli bir parlaklık kaybına uğrarken, parlaklıkta azalma 4. saatten 168. saatte kadar hafif azalmalar gözlenmiştir. 168. saat sonundaki parlaklık değeri 3,75 olarak belirlenmiştir. 168. saatten sonra ise parlaklık değerleri test sonuna kadar artış göstermiştir. Test sonunda da bu değer 4,82 olarak belirlenmiştir. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile arttığı gözlenmiştir. Kiraz örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresince 2,71 ile 4,51 arasında görülmüştür. Örneklerin parlaklık değeri 168 saat boyunca hafif bir şekilde azalırken (2,33), daha sonra artış göstermiştir ve 1512 saat sonunda 4,51 değerini almıştır. Bu örneklerde de yaşlandırma etkisi ile parlaklığın arttığı gözlenmiştir. Adi ceviz örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresince 1,98 ile 1,72 arasında görülmüştür. Örneklerin parlaklık değerleri ilk 2 saatte önemli bir şekilde azalırken (1,12), 168. saate kadar hafif azalmalar göstermiştir (0,81). 168. saat-1512. saat arasında ise parlaklık değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile arttığı gözlenmiştir. Meşe örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresince 3,08 ile 1,86 arasında görülmüştür. Örneklerin parlaklık değerleri ilk 2 saatte önemli bir şekilde azalırken (1,85), daha sonra hafif artış ve azalmalar

gözlenmekle birlikte neredeyse stabil devam etmiştir. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile azaldığı gözlenmiştir. Çam örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresince 4,13 ile 2,25 arasında görülmüştür. Örneklerin parlaklık değerleri ilk 2 saatte önemli bir şekilde azalırken (2,56), daha sonra 252. saate kadar hafif artış ve azalmalar gözlenmekle birlikte neredeyse stabil devam etmiştir. Bundan sonra ise değerler hafifçe artmıştır. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile azaldığı gözlenmiştir. Şekil 4.98'den görüleceği üzere test sonunda benzer parlaklık değerleri akçaağaç ve kiraz örneklerinde elde edilmiştir. Diğer tüm örnekler ise yine birbirine benzer bir sonuç vermiş ve bu gruptaki en düşük parlaklık bu örneklerde elde edilmiştir. Tüm örnekler içinde en yüksek parlaklık akçaağaç örneklerinde elde edilmiştir.

Hızlandırılmış yaşlandırılan tüm örnekler değerlendirildiğinde en yüksek parlaklık limbada ardından sırasıyla akçaağaç, kiraz ve anigrede bulunmuştur. En düşük değerler ise sırasıyla mazel, adi ceviz, meşe, okalıptus, kayın, sapelli, dişbudak ve çamda tespit edilmiştir. Genel olarak ağaçlarda parlaklık değişimi ilk saatlerde olmakta ve 168. saate kadar hafifçe azalmakta ardından bazı türler hariç artış göstermektedir. Bu durumun muhtemel nedeni yüzeydeki lignin degradasyonu nedeniyle bozunan ürünlerin ışığın yansımalarını azaltması ve ligninin bozunması tamamlandıktan sonra (genel olarak 168. saat) ortaya çıkan selüloz ve hemiselülozun açılan yüzey rengi grileşme-beyazlaşma ile birlikte ışığın yansımalarını arttırması olabilir. Doğal dış ortam testi öncesi ve test süresince alınan parlaklık değerlerine (60°) ait sonuçlar Şekil 4.99 ve Şekil 4.100' de gösterilmiştir.



Şekil 4.99: Doğal yaşlandırma test örneklerinin parlaklık değerleri.



Şekil 4.100: Doğal yaşlandırma test örneklerinin parlaklık değerleri.

Limba örneğinin ortalama parlaklık değeri doğal yaşlandırma test süresi boyunca 4,48 ile 4,79 değerlerini almıştır. Başlangıç periyodundan 63. güne kadar parlaklık değerindeki değişim yavaş bir şekilde artarak devam etmektedir (4,52). 93. günde önemli bir artış (5,28), ardından genel olarak 378. güne kadar (5,57) belirgin şekilde artma eğilimi görülmekte, test süresi sonunda azalarak 4,79 olarak ölçülmüştür. Tüm örnekler içinde en yüksek parlaklık limba örneklerinde elde edilmiştir. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile arttığı gözlenmiştir. Anigre örneklerinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 4,10 ile 3,76 arasında gözlemlenmiştir. 1. gün sonunda test başlangıcında 4,10 olan parlaklık değerinin 3,87'ye kadar düştüğü görülmüştür. 1-63. gün arasında ortalama parlaklık değeri neredeyse stabil olarak devam etmiştir ve 63. gün sonunda 3,79 olarak ölçülmüştür. 63-93. gün arasında değerler hızlı artış göstermekte, 93. günde 4,77 olarak ölçülmüştür. 93. günden sonra aniden parlaklık değerlerinde azalma görülmekte, 393. gün sonunda 3,76 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile çok fazla bir değişim göstermediği gözlenmiştir. Tik örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 1,63 ile 2,14 arasında görülmüştür. Testin ilk 63 günü boyunca parlaklık değerinde büyük bir değişim görülmemiştir. 63-93. gün arasında değerler hızlı artış göstermekte, 93. günden (2,31) sonra 183. güne kadar aniden parlaklık değerlerinde azalma görülmektedir (1,60). 183. günden sonra test süresi sonuna kadar değerlerde artış eğilimi gözlenmiştir. Test sonucunda tik örneğine ait numuların parlaklık değerleri 2,14 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma

ile hafifçe arttığı gözlenmiştir. Mazel örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 1,93 ile 1,82 arasında görülmüştür. Ortalama parlaklık değeri 108. güne kadar hafif bir azalma, 108. günden 198. güne kadar ani artış göstermektedir. 198. gün sonunda 2,45 olarak ölçülmüştür. Mazel örneklerin parlaklık değerleri daha sonra artış ve azalışlar göstermekte ve 393. gün sonrasında alınan ölçümde parlaklık değerinin 1,82'ye düştüğü görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile çok fazla bir değişim göstermediği gözlenmiştir. Beli örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 2,37 ile 2,87 arasında görülmüştür. Değerlerde ilk 93 gün boyunca sürekli artış görülmekte, 93-183 gün arasında genel olarak azalma gözlenmiştir. 93. günde parlaklık değeri 3,35'dir. 183. günden sonra (2,77) parlaklık değerleri aniden artmakta, ardından test süresi sonuna kadar genel olarak azalma eğilimindedir. Test sonunda ortalama parlaklık değeri 2,87 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile hafifçe arttığı gözlenmiştir. Sapelli örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 1,35 ile 1,41 arasında görülmüştür. 56. güne kadar parlaklık değeri hafifçe azalmıştır (0,96). Ardından 218. güne kadar genel olarak artış göstermiştir. 218. günde 2,09 olarak ölçülmüştür. Sonrasında test süresi sonuna kadar genel olarak azalma göstermiş ve test süresi sonunda ortalama parlaklık değeri 1,41 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile çok fazla bir değişim göstermediği gözlenmiştir. Amerikan cevizi örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 2,09 ile 2,56 arasında görülmüştür. Bu örnekler 63. güne kadar hafif bir artış ile devam etmekte, 63. günden sonra 93. güne kadar belirgin olarak artış göstermektedir. 93. günden (3,02) sonra 123. güne kadar parlaklık değerlerinde azalma görülmüş (2,52), ardından genel olarak test süresi sonuna kadar artma eğilimi görülmüştür. 393. gün sonunda yapılan ölçümde ortalama parlaklık değeri 2,56 olarak ölçülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile hafifçe arttığı gözlenmiştir. Tulipe örneğinin ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 3,73 ile 2,68 arasında görülmüştür. Parlaklık değeri ilk 1 gün sonunda azalmış (2,91), ardından 63. güne kadar neredeyse stabil devam etmiştir. 63. günden sonra belirgin artış değeri görülmektedir ve 93. günde 3,68 değeri ölçülmüştür. Parlaklık değerleri 108. günden sonra test süresi sonuna kadar hafifçe azalarak devam etmiştir. 393. gün sonrası ortalama parlaklık değeri 2,68 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.99'dan görüleceği üzere test sonunda benzer parlaklık değerleri beli, amerikan cevizi ve tulipe örneklerinde

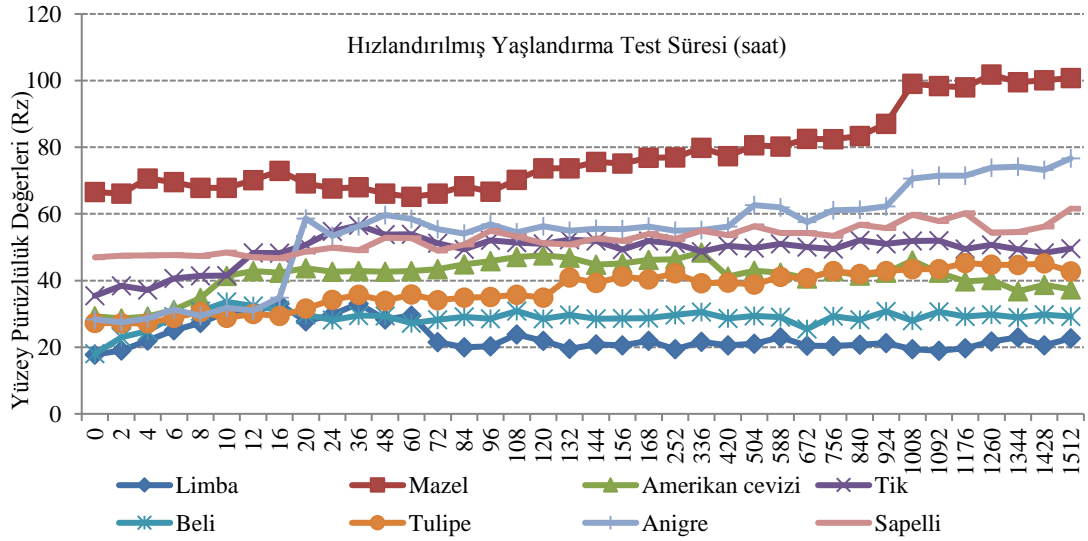
elde edilmiştir. Tik ve mazel ise yine birbirine benzer bir sonuç vermiştir. Sapelli bu gruptaki en düşük parlaklık değerine sahip tür olmuştur. Tüm örnekler içinde en yüksek parlaklık limba örneklerinde elde edilmiştir. Limbadan sonra en yüksek parlaklık anigrede gözlenmiştir. Benzer bulgular hızlandırılmış yaşlandırma testinde de elde edilmiştir.Şekil 4.100'den görüleceği üzere, dişbudak örneğine ait ortalama parlaklık değeri test süresince 2,63 ile 1,58 arasında olmuştur. Ortalama parlaklık değeri 1 gün sonrasında (2,28) önemli oranda azalmış ardından 2-7. günler arasında artmış ve sonrasında lineer olarak azalarak test sonuna kadar devam etmiştir. 393. gün sonrasında alınan ölçümde parlaklık değerinin 1,58'e düştüğü görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma faktörleri nedeniyle azaldığı gözlenmiştir. Okaliptus örneğine ait ortalama parlaklık değeri test süresince 3,59 ile 3,14 arasında görülmüştür. 1. güne kadar parlaklık değerlerinde azalma sonrasında 63. güne kadar hafif artış devam etmekte, ardından 93. kadar belirgin artış gözlenmiştir. 93. günde parlaklık değeri 4,27 ölçülmüştür. Parlaklık değerlerinde 123. güne kadar hızlı azalma görülmekte, ardından test süre sonuna kadar hafifçe azalarak devam etmektedir. 393. gün sonrasında yapılan ortalama parlaklık ölçümlerinde değer 3,14 olarak görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile çok fazla bir değişim göstermediği gözlenmiştir. Kayın örneğine ait ortalama parlaklık değeri test süresince boyunca 1,93 ile 1,00 arasında görülmüştür. İlk 35 günde doğrusal kabul edilen azalma görülmüş (0,76), 35. günden test süresi sonuna kadar hafif artış gözlenmiştir. 393. gün sonrasında yapılan ortalama parlaklık ölçümlerinde değer 1,00 olarak görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma faktörleri nedeniyle azaldığı gözlenmiştir. Akçaağaç örneğine ait ortalama parlaklık değeri test süresi boyunca 4,09 ile 2,80 arasında görülmüştür. Şekil 4.100'de görüleceği üzere başlangıçtan test sonuna kadar okaliptüs örneği ile benzer özellik göstermektedir. Parlaklık değerleri 4. saatten 63. güne kadar hafifçe azalmakta, ardından 93. güne kadar belirgin artış gözlenmiştir. En parlak yüzey 93. günde 4,33 olarak ölçülmüştür. Parlaklık değerlerinde 123. güne kadar hızlı azalma görülmekte, ardından test süre sonuna kadar artış ve azalışlar olmakla birlikte genel eğilim azalma olarak gözlenmiştir. 393. gün sonrasında yapılan ortalama parlaklık ölçümlerinde değer 2,80 olarak görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma faktörleri nedeniyle azaldığı gözlenmiştir. Kiraz örneğine ait ortalama parlaklık değeri test süresince boyunca 2,95 ile 2,59 arasında

görülmüştür. 63. güne kadar değerler lineer olarak azalmakta (2,36), ardından 93. güne kadar belirgin artış gözlenmiştir. 93. günde parlaklık değeri 3,05 ölçülmüştür. Parlaklık değerlerinde 123. güne kadar hızlı azalma görülmekte, ardından test süre sonuna kadar azalarak devam etmektedir. 393. gün sonrasında yapılan ortalama parlaklık ölçümlerinde değer 2,59 olarak görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma ile çok fazla bir değişim göstermediği gözlenmiştir. Adi ceviz örneğine ait ortalama parlaklık değeri test süresince test boyunca 1,88 ile 2,45 arasında görülmüştür. İlk 7 günde genel olarak azalma eğiliminde olan değerler, 7. günden sonra test süresi boyunca artış göstermiştir. 393. gün sonrasında yapılan ortalama parlaklık ölçümlerinde değer 2,45 olarak görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma faktörleri nedeniyle azaldığı gözlenmiştir. Adi ceviz bu grupta test boyunca verilerin artış gösterdiği tek tür olmuştur. Meşe örneğine ait ortalama parlaklık değeri test süresince boyunca 3,19 ile 2,51 arasında görülmüştür. Değerler 63. güne kadar hafifçe azalmakta (2,75), ardından 93. güne kadar belirgin artış göstermektedir. 93. günde parlaklık değeri 3,36 ölçülmüştür. Parlaklık değerlerinde 123. güne kadar hızlı azalma görülmekte, ardından test süre sonuna kadar azalma devam etmektedir. 393. gün sonrasında yapılan ortalama parlaklık ölçümlerinde değer 2,51 olarak görülmüştür. Bu örneklerde parlaklığın başlangıç değerine kıyasla yaşlandırma faktörleri nedeniyle azaldığı gözlenmiştir. Çam örneğine ait ortalama parlaklık değeri test süresince 3,29 ile 1,70 arasında görülmüştür. Ortalama parlaklık değeri 63. güne kadar sürekli olarak azalmakta sonrasında artış ve azalışlar gözlenmiştir. Genel olarak veriler azalma eğilimindedir. 393. gün sonrasında alınan ölçümde parlaklık değerinin 1,70'e düştüğü görülmüştür. Şekil 4.100'de görüleceği üzere parlaklık değerleri kiraz, meşe, akçaağaç ve okalipütüs örnekleri ile benzer bir eğilim göstermektedir. Şekil 4.100'den görüleceği üzere test sonunda benzer parlaklık değerleri akçaağaç, kiraz, adi ceviz ve meşe örneklerinde elde edilmiştir. Dişbudak ve çam ise yine birbirine benzer bir sonuç vermiştir. Kayın bu gruptaki en düşük parlaklık değerine sahip tür olmuştur. Tüm örnekler içinde en yüksek parlaklık okalipütüs örneklerinde elde edilmiştir. Doğal dış ortam koşullarına maruz bırakılan örneklerin parlaklık değerleri hızlandırılmış yaşlandırmaya maruz bırakılan örneklerin parlaklık değerlerinden farklılık göstermiştir. Doğal yaşlandırılan tüm örnekler değerlendirildiğinde en yüksek parlaklık limbada ardından sırasıyla anigre ve okaliptusta bulunmuştur. En düşük değerler ise sırasıyla kayın, sapelli, dişbudak,

çam ve mazelde tespit edilmiştir. Genel olarak ağaçlarda parlaklık değişimi ilk saatlerde çok belirgin olmamaktadır. Örneklerin pek çoğunda 93. günde önemli bir parlaklık artışı tespit edilmiştir. İlk gruptaki ağaçlarda (Şekil 4.99) anigre, mazel ve tulipe hariç diğerlerinde doğal yaşlandırma faktörleri yüzeyde parlaklığın artmasına neden olmuş, diğer grupta ise (Şekil 4.100) bu durum sadece adi cevizde gözlenmiştir. Genel olarak doğal yaşlandırılan örneklerde parlaklık kaybı, laboratuvar koşullarındaki hızlandırılmış yaşlandırmaya kıyasla daha fazla olmuştur. Bu durumun muhtemel sebepleri doğal dış ortam koşullarındaki kirlilik, toz, biyotik faktörler olabilir.

4.3 Hızlandırılmış ve Doğal Yaşlandırmaya Maruz Bırakılan Örneklerin Pürüzlülük Değerlerine ait Bulgular

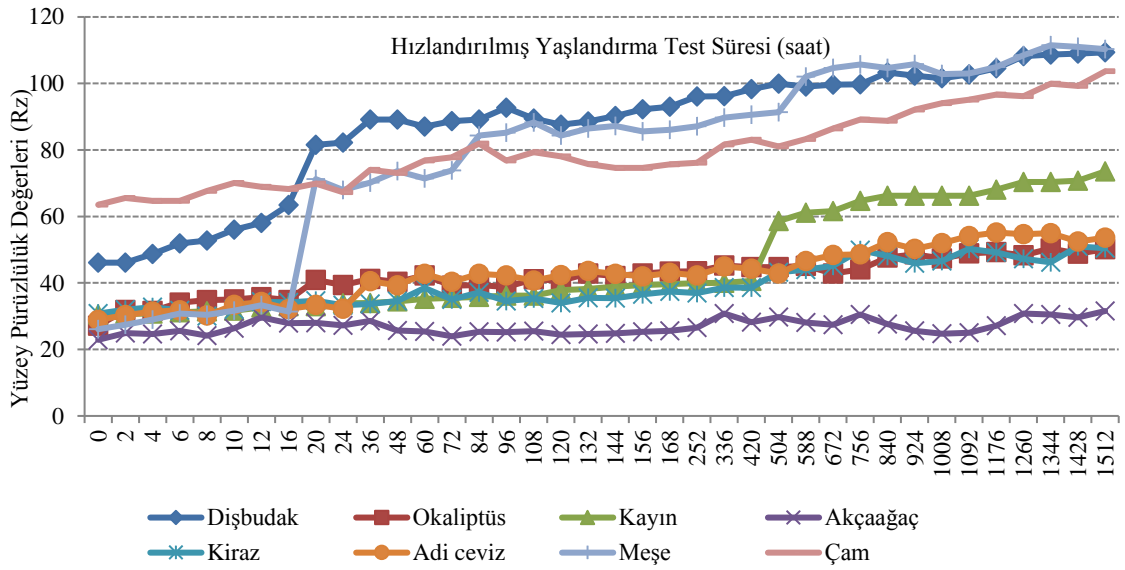
Hızlandırılmış dış ortam test öncesi ve test süresince alınan yüzey pürüzlülüğü (Rz) değerlerine ait sonuçlar limba, tik, anigre, mazel, beli, sapelli, amerikan cevizi, tulipe örnekleri için Şekil 4.101'de dişbudak, kiraz, okalıptus, kayın, adi ceviz, meşe, akçaağaç ve çam örnekleri için ise Şekil 4.102'de gösterilmiştir.



Şekil 4.101: Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

Limba örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 17,79 ile 22,64 arasında görülmüştür. İlk 16 saatte pürüzlülük değerlerinde artış görülmekte (33,01), ardından 72. saate kadar belirgin (21,51) ve sonrasında test süresi sonuna kadar çok yavaş şekilde azalma görülmektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 22,64 olarak ölçülmüştür. Anigre örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 28,31 ile 76,65 arasında görülmüştür. İlk 16 saatte pürüzlülük değerlerinde

(34,82) çok yavaş artış görülmektedir. 20. saatte kadar aniden artış (58,56) görülmüş ve sonrasında test süresi sonuna kadar yavaş şekilde artış devam etmiştir. 1512. saat sonunda ortalama pürüzlülük değeri 76,65 olarak görülmektedir. Tik örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 35,42 ile 49,54 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 1512. saate kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 49,54 olarak ölçülmüştür. Mazel örneklerinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 66,56 ile 100,76 arasında görülmüştür. Başlangıçtan 924. saate kadar yavaş bir şekilde artış gerçekleşmekte, 924. saatten sonra yüzey pürüzlülük değerleri belirgin şekilde artmaktadır (99,03). 1512. saat sonunda ortalama pürüzlülük değeri 100,76 olarak ölçülmüştür. Beli örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 18,03 ile 29,21 arasında görülmüştür. İlk 16 saatte pürüzlülük değerlerinde artış görülmekte (31,15), ardından test süresi sonuna kadar yavaş şekilde azalma görülmektedir. 1512. saat sonunda ortalama pürüzlülük değeri 29,21 olarak ölçülmüştür. Sapelli örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 46,95 ile 61,56 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 1512. saate kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 61,56 olarak ölçülmüştür. Amerikan cevizi örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 29,34 ile 37,34 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 336. saate kadar hafif seyirli bir artış gösterirken (48,42), bu saatten sonra hafifçe azalma eğilimindedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 37,34 olarak ölçülmüştür. Tulipe örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 27,27 ile 42,79 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 1512. saate kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 42,79 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.101'den görüleceği üzere test sonunda en az pürüzlü yüzeyler limba, beli ve Amerikan cevizinde elde edilmiştir. Bu ağaç türlerinde yüzey pürüzlülüğü yavaş ve devamlı bir şekilde test süresi sonuna kadar devam etmiştir. Mazel ve anigre örneklerinde ise yüzey pürüzlülüğü test sonunda belirgin şekilde artmış ve diğer örneklere kıyasla daha pürüzlü yüzeyler elde edilmiştir. Dişbudak örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 46,10 ile 109,35 arasında görülmüştür. Testin ilk 16 saati boyunca pürüzlülükte lineer bir şekilde artış görülmekte, 16-20. saat aralığında artış belirgin olarak görülmektedir. 20. saatte ortalama pürüzlülük değeri 81,56 olarak ölçülmüştür. Bu saatten sonra test süresi sonuna kadar artış eğilimi yavaş bir şekilde devam etmektedir.

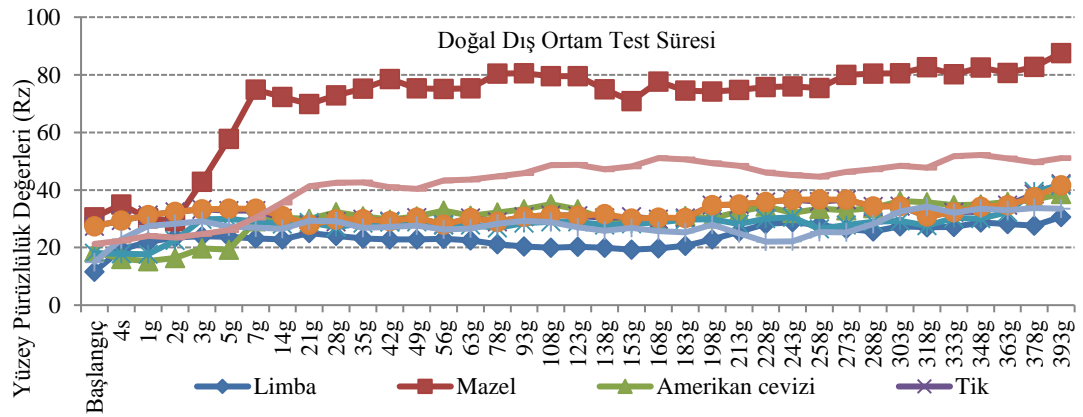


Şekil 4.102: Hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 109,35 olarak ölçülmüştür. Dişbudak örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri başlangıçtan 1512. saate kadar belirgin şekilde artmıştır. Okaliptüs örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 27,12 ile 50,16 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 1512. saate kadar devamlı olarak yavaş bir artış göstermektedir. Kayın örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 30,49 ile 73,54 arasında görülmüştür. İlk 420. saate kadar hafifçe artış gözlenmekte, 420. saatten sonra ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri belirgin artış göstermektedir. 504. saatten (58.66) test süresi sonuna kadar yavaşça artış devam etmektedir. 1512. saatte ortalama pürüzlülük değeri 73,54 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.102'deki grafiğe göre başlangıçtan 1512. saate kadar belirgin şekilde farklılık göstermektedir. Akçaağaç örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 22,90 ile 31,55 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 1512. saate kadar devamlı olarak yavaş bir artış göstermektedir. Kiraz örneklerinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 30,84 ile 50,47 arasında gözlemlenmiştir. Değerler başlangıçtan 1512. saate kadar devamlı olarak yavaş bir artış göstermektedir. Adi ceviz örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 28,90 ile 53,58 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 1512. saate kadar devamlı olarak yavaş artış göstermektedir. Meşe örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 26,08 ile 110,36 arasında görülmüştür. Testin ilk 16 saati boyunca pürüzlülükte yavaş bir şekilde artış görülmekte, 16-20. saat aralığında artış belirgin olarak görülmektedir. 20. saatte ortalama pürüzlülük değeri

71,20 olarak ölçülmüştür. Bu saatten sonra test süresi sonuna kadar artış eğilimi yavaş bir şekilde devam etmektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 110,36 olarak ölçülmüştür. Hızlandırılmış yaşlandırmaya ait meşe örneklerinin yüzey pürüzlülüğünün başlangıç seviyesinden test sonuna kadar belirgin şekilde arttığı görülmektedir ve bu durum dişbudak örnekleri ile benzerdir. Çam örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 63,51 ile 103,64 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 1512. saate kadar devamlı olarak yavaş bir artış göstermektedir. Şekil 4.102’de görüleceği üzere test sonunda en pürüzlü yüzeyler meşe, dişbudak ve çam örneklerinde görülmüştür. Bu türlere kıyasla daha az pürüzlü yüzeyler okalıptüs, adi ceviz ve kiraz örneklerinde elde edilmiştir. En az pürüzlü yüzeyler ise akçaağaç örnek yüzeylerinde gözlenmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma testine maruz bırakılan tüm örnekler değerlendirildiğinde, en pürüzlü yüzeyler sırasıyla meşe, dişbudak, çam, mazel, anigre ve kayında elde edilmiştir. En düzgün yüzeyler ise limba, beli, akçaağaç ve Amerikan cevizinde gözlenmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma faktörleri ile örneklerin orta lamelindeki ligninin bozunması ve bunun sonucunda hücrelerin birbirinden ayrılması ve böylelikle yüzeyin liflenmesine neden olduğu düşünülmektedir. Suyun etkisiyle yüzeyde görülen çatlaklık ve yarılmaların pürüzlülüğü arttırdığı düşünülmektedir (Feist ve Hon, 1984).

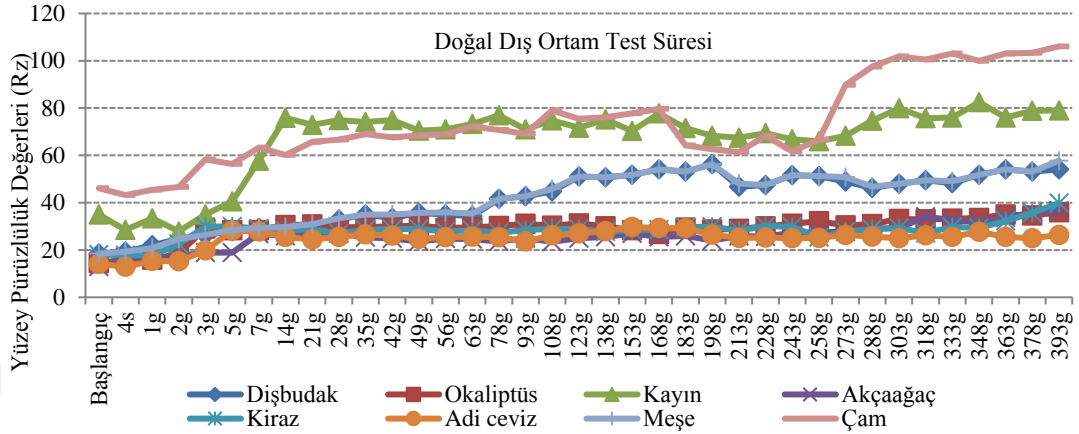
Doğal dış ortam test öncesi ve test süresince alınan yüzey pürüzlülüğü (Rz) değerlerine ait sonuçlar limba, tik, anigre, mazel, beli, sapelli, amerikan cevizi, tulipe örnekleri için Şekil 4.103’de dişbudak, kiraz, okalıptüs, kayın, adi ceviz, meşe, akçaağaç ve çam örnekleri için ise Şekil 4.104’de gösterilmiştir.



Şekil 4.103: Doğal yaşlandırma test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

Limba örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 11,65 ile 30,66 arasında görülmüştür. İlk 183 gün pürüzlülük değerlerinde (20,61) hafif, ardından test sonuna kadar daha belirgin artış görülmektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 30,66 olarak ölçülmüştür. Anigre örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 14,98 ile 33,48 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 393. güne kadar devamlı bir şekilde yavaş artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 33,48 olarak ölçülmüştür. Tik örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 27,38 ile 42,21 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 393. güne kadar devamlı bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 42,21 olarak ölçülmüştür. Mazel örneklerinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 30,46 ile 87,57 arasında görülmüştür. İlk 2 gün yavaş bir şekilde artış gerçekleşmekte (29,17), 3. günden sonra (42,87) yüzey pürüzlülük değerleri belirgin şekilde artmaktadır. 7. günden sonra (74,84) test süresi sonuna kadar ortalama pürüzlülük değeri yavaş bir artışla devam etmektedir. 393. günde ortalama pürüzlülük değeri 87,57 olarak ölçülmüştür. Beli örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 18,08 ile 41,66 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 393. güne kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 41,66 olarak ölçülmüştür. Sapelli örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 21,28 ile 51,11 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 393. güne kadar devamlı bir şekilde yavaş artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 51,11 olarak ölçülmüştür. Amerikan cevizi örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 18,54 ile 38,62 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 393. güne kadar devamlı bir şekilde yavaş artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 38,62 olarak ölçülmüştür. Tulipe örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 27,38 ile 41,66 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 393. güne kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 41,66 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.103'den görüleceği üzere test sonunda benzer pürüzlülük değerleri limba, anigre, tik, beli, Amerikan cevizi ve tulipe örneklerinde elde edilmiştir. Bu ağaç türlerinde yüzey pürüzlülüğü yavaş ve devamlı bir şekilde test süresi sonuna kadar devam etmiştir. Mazel örneklerinde ise yüzey pürüzlülüğü test sonunda belirgin şekilde artmış ve diğer örneklere kıyasla daha pürüzlü yüzeyler elde edilmiştir. Genel olarak tüm ağaç türlerinde pürüzlülük değişimi test süresi boyunca

artış göstermektedir. Bu durumun nedeni olarak, UV ve suyun etkisiyle liflerin serbest hale gelerek daha pürüzlü yüzeyler vermesi, aynı zamanda yüzeyde oluşan çatlamlar ve yarılmaların yaşlandırmanın etkisiyle her geçen sürede daha da artmasından kaynaklandığını söylemek mümkün olabilir.



Şekil 4.104: Doğal yaşlandırma test örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri.

Dişbudak örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 18,43 ile 54,11 arasında görülmüştür. İlk 63 gün boyunca pürüzlülükte yavaş bir şekilde artış görülmekte, 63. günden sonra artış belirgin olarak görülmektedir. Pürüzlülük değeri 198. günde en yüksek değeri vermektedir (56,26). Bu saatten sonra test süresi sonuna kadar bazı periyotlarda azalma görülse de genel olarak test süresi sonuna kadar artış eğilimi devam etmektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 54,11 olarak ölçülmüştür. Dişbudak örneklerinin yüzey pürüzlülük değerleri başlangıçtan 393. güne kadar belirgin şekilde farklılık göstermektedir. Okaliptüs örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 14,46 ile 35,91 arasında görülmüştür. İlk ölçümlerde daha belirgin olsa da genel olarak ortalama pürüzlülük değerleri başlangıçtan 393. güne kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 35,91 olarak ölçülmüştür. Kayın örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 35,04 ile 78,93 arasında görülmüştür. İlk 2 gün hafifçe artış gözlenmekte (27,86), 2. günden sonra (35,01) ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri belirgin artış göstermektedir. 14. günden test süresi sonuna kadar yavaşça artış devam etmektedir. Başlangıçta 35,04 olan ortalama pürüzlülük değeri, 14. günde 75,82 olarak ölçülmüştür. En yüksek ortalama pürüzlülük değeri test süresi sonunda gözlenmiştir (78,93). Dişbudak örneği ile benzer özellik görülmektedir. Akçaağaç örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test

süresi boyunca 12,93 ile 36,66 arasında görülmüştür. Genel olarak ortalama pürüzlülük değerleri başlangıçtan 393. güne kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 36,66 olarak ölçülmüştür. Kiraz örneklerinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 18,08 ile 39,83 arasında gözlemlenmiştir. İlk ölçümlerde daha belirgin olsa da genel olarak ortalama pürüzlülük değerleri başlangıçtan 393. güne kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 39,83 olarak ölçülmüştür. Adi ceviz örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 14,14 ile 26,28 arasında görülmüştür. İlk ölçümlerde daha belirgin olsa da genel olarak ortalama pürüzlülük değerleri başlangıçtan 393. güne kadar devamlı ve yavaş bir şekilde artış göstermektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 26,28 olarak ölçülmüştür. Meşe örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 18,43 ile 57,75 arasında görülmüştür. İlk 63 gün boyunca pürüzlülükte yavaş bir şekilde artış görülmekte, 63. günden sonra artış belirgin olarak görülmektedir. Pürüzlülük değeri 198. günde en yüksek değeri vermektedir (56,26). Bu saatten sonra test süresi sonuna kadar bazı periyotlarda azalma görülsede genel olarak test süresi sonuna kadar artış eğilimi devam etmektedir. Test süresi sonunda ortalama pürüzlülük değeri 57,75 olarak ölçülmüştür. Kayın ve dişbudak örneği ile benzer özellik görülmektedir. Çam örneğinin ortalama pürüzlülük değeri test süresi boyunca 46,12 ile 106,09 arasında görülmüştür. Değerler başlangıçtan 393. güne kadar genel olarak artış eğilindedir. Pürüzlülük değerlerinin değişimi kayın örneklerine benzemektedir.

Şekil 4.104'den görüleceği üzere test sonunda benzer pürüzlülük değerleri okaliptüs, adi ceviz, kiraz ve akçağaç örneklerinde elde edilmiştir. Meşe ve dişbudak örneklerinde ise pürüzlülük artışı benzer özellik göstermektedir. 393. gün sonunda bu türler arasında en fazla yüzey pürüzlülüğüne çam örneğinde ardından kayın örneğinde rastlanmıştır. Doğal dış ortam testine bırakılan tüm örnekler değerlendirildiğinde en pürüzlü yüzeyler sırasıyla çam, mazel ve kayında elde edilmiştir. En az pürüzlülük ise, adi ceviz, limba, anigre, okaliptüs, akçağaç, Amerikan cevizi ve kirazda gözlenmiştir. Genel olarak tüm ağaç türlerinde pürüzlülük değişimi test süresi boyunca artış göstermektedir. Bu durumun muhtemel nedeni olarak, UV ve suyun etkisiyle liflerin serbet hale gelerek yıkanması, aynı zamanda yüzeyde oluşan çatlamlar ve yarılmaların yaşlandırmanın etkisiyle her geçen sürede daha da artmasından kaynaklandığını söylemek mümkün olabilir.

Hızlandırılmış yaşlandırma testi ile doğal dış ortam testi kıyaslandığında, hızlandırılmış yaşlandırmanın daha pürüzlü yüzeylere neden olduğu gözlenmiştir.

4.4 Hızlandırılmış ve Doğal Yaşlandırmaya Maruz Bırakılan Örneklerin Kıyaslanması

Çalışmada ΔL ve ΔE değerlerinin, doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olup olmadığı her tür için yapılan bağımsız iki örnek t-testi ile analiz edilmiş olup, sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.2’de verilmektedir. Yapılan bağımsız iki örnek t-testi sonuçlarına göre ΔL değerleri açısından doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunan ağaç türleri okalıptus, kayın, kiraz, adi ceviz, meşe, mazel, amerikan cevizi, tik, beli, tulipe ve sapellidir ($P < 0,05$). Diğer türler arasında doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma arasında bir farklılık gözlenmemiştir. ΔE değerlerinde ise kayın, akçaağaç, meşe, amerikan cevizi, tik, beli, tulipe ve sapelli türlerinin hızlandırılmış ve doğal yaşlandırmalar arasında önemli farklılıklar bulunmuştur ($P < 0,05$). Diğer tüm türlerde doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmamıştır.

Çizelge 4.2: ΔL ve ΔE değerlerinin doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma bakımından bağımsız iki örnek t-testi sonuçları.

Tür	Grup	ΔL			ΔE		
		Ort.	S.sapma	Önem Derecesi	Ort.	S.sapma	Önem Derecesi
Dişbudak	Doğal	-8,73	4,36	0,914	12,72	7,68	0,251
	Hızlandırılmış	-8,84	4,32		11,13	3,01	
Okalıptus	Doğal	-5,90	2,07	0,000	10,54	5,17	0,872
	Hızlandırılmış	-9,63	3,24		10,69	1,51	
Kayın	Doğal	-5,78	1,84	0,000	10,01	3,88	0,032
	Hızlandırılmış	-11,10	2,98		11,71	2,57	
Akçaağaç	Doğal	-12,46	5,65	0,116	14,18	6,28	0,035
	Hızlandırılmış	-14,35	4,37		16,72	3,34	
Kiraz	Doğal	-5,78	2,55	0,000	12,47	5,64	0,251
	Hızlandırılmış	-8,48	3,53		11,31	2,17	
Adi Ceviz	Doğal	6,18	7,31	0,000	8,93	5,18	0,076
	Hızlandırılmış	-8,07	3,07		10,65	2,44	
Meşe	Doğal	-5,25	2,05	0,000	9,59	4,13	0,000
	Hızlandırılmış	-10,34	2,61		12,52	2,25	
Çam	Doğal	-20,93	6,05	0,212	23,01	7,28	0,370
	Hızlandırılmış	-22,68	5,77		24,36	5,28	
Limba	Doğal	-6,59	2,87	0,076	12,69	7,39	0,111
	Hızlandırılmış	-7,73	2,51		10,62	2,19	
Mazel	Doğal	-7,21	4,13	0,018	10,83	6,50	0,676
	Hızlandırılmış	-9,36	3,35		11,32	2,68	

Amerikan Cevizi	Doğal	6,10	6,85	0,000	8,78	4,81	0,025
	Hızlandırılmış	-1,85	5,07		6,86	1,45	
Tik	Doğal	7,21	5,23	0,013	10,03	6,41	0,014
	Hızlandırılmış	3,80	6,10		6,79	4,32	
Beli	Doğal	5,20	2,81	0,000	10,39	5,76	0,000
	Hızlandırılmış	-3,31	1,62		4,77	0,72	
Tulipe	Doğal	-16,39	3,37	0,000	19,09	4,36	0,000
	Hızlandırılmış	-26,24	5,95		28,31	6,06	
Anigre	Doğal	-9,57	3,78	0,663	12,85	6,55	0,506
	Hızlandırılmış	-9,92	2,88		12,05	3,07	
Sapelli	Doğal	-0,65	6,91	0,000	11,65	4,64	0,002
	Hızlandırılmış	-6,27	3,85		9,06	1,08	

Doğal yaşlandırmanın hızlandırılmış yaşlandırmaya kıyasla daha fazla renk değişimine neden olduğu türler dişbudak, kiraz, limba, amerikan cevizi, tik, beli, anigre ve sapellidir. Diğer türlerde ise hızlandırılmış yaşlandırma doğal yaşlandırmaya kıyasla daha fazla renk değişimine neden olmuştur. En büyük renk değişimi tulipe ve çam örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında elde edilmiştir. En küçük renk değişimi ise beli ve tik türlerinin hızlandırılmış yaşlandırmasında gözlenmiştir.

Çizelge 4.3: Pürüzlülük ve parlaklık değerlerinin doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma bakımından bağımsız iki örnek t-testi sonuçları.

Tür	Grup	Pürüzlülük			Parlaklık		
		Ort.	S.sapma	Önem Derecesi	Ort.	S.sapma	Önem Derecesi
Dişbudak	Doğal	42,03	10,87	0,032	2,12	0,34	0,032
	Hızlandırılmış	89,17	17,18		1,97	0,24	
Okaliptus	Doğal	29,54	4,38	0,000	3,61	0,20	0,000
	Hızlandırılmış	42,50	4,96		1,88	0,10	
Kayın	Doğal	67,45	14,84	0,000	1,02	0,26	0,000
	Hızlandırılmış	46,77	15,43		1,63	0,30	
Akçaağaç	Doğal	26,15	4,82	0,344	3,56	0,42	0,000
	Hızlandırılmış	27,00	2,23		4,39	0,58	
Kiraz	Doğal	28,47	3,75	0,000	2,70	0,19	0,016
	Hızlandırılmış	39,50	6,51		3,03	0,78	
Adi Ceviz	Doğal	25,06	3,69	0,000	2,18	0,58	0,000
	Hızlandırılmış	43,29	7,57		1,06	0,28	
Meşe	Doğal	42,39	11,03	0,000	2,92	0,22	0,000
	Hızlandırılmış	81,55	26,08		1,95	0,11	
Çam	Doğal	74,16	17,64	0,061	2,20	0,36	0,001
	Hızlandırılmış	80,74	10,85		1,96	0,26	
Limba	Doğal	24,04	3,17	0,454	5,10	0,59	0,001
	Hızlandırılmış	23,38	4,19		6,19	1,72	
Mazel	Doğal	72,09	14,53	0,042	1,77	0,25	0,068
	Hızlandırılmış	78,58	11,88		1,68	0,19	
Amerikan	Doğal	30,54	5,89	0,000	2,54	0,47	0,000

Cevizi	Hızlandırılmış	42,17	4,23		2,00	0,46	
Tik	Doğal	32,35	3,18		1,99	0,43	
	Hızlandırılmış	49,79	3,93	0,000	2,08	0,56	0,448
Beli	Doğal	28,69	4,16		2,89	0,35	
	Hızlandırılmış	29,26	1,60	0,451	2,55	0,33	0,000
Tulipe	Doğal	32,48	3,08		2,97	0,20	
	Hızlandırılmış	37,80	5,38	0,000	2,70	0,35	0,000
Anigre	Doğal	27,96	3,18		4,03	0,20	
	Hızlandırılmış	56,03	13,10	0,000	3,96	0,67	0,575
Sapelli	Doğal	42,93	8,87		1,49	0,46	
	Hızlandırılmış	52,86	3,84	0,000	1,20	0,39	0,006

Bağımsız iki örnek t-testi sonuçlarına göre pürüzlülük değerleri açısından doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunan ağaç türleri dişbudak, okaliptus, kayın, kiraz, adi ceviz, meşe, mazel, amerikan cevizi, tik, tulipe, anigre ve sapellidir ($P < 0,05$). Diğer türler arasında doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma arasında bir farklılık gözlenmemiştir. Doğal yaşlandırmanın hızlandırılmış yaşlandırmaya kıyasla daha fazla pürüzlülüğe neden olduğu türler kayın ve limbadır. Diğer türlerde ise hızlandırılmış yaşlandırma doğal yaşlandırmaya kıyasla daha fazla pürüzlülüğe neden olmuştur. En büyük pürüzlülük, dişbudak, meşe, çam ve mazel olarak sıralanmıştır. En az pürüzlü yüzeyler ise limba, adi ceviz, akçaağaç, kiraz, okaliptus ve belide gözlenmiştir. Parlaklık değerlerinde ise doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma arasında farklılık olan türler, dişbudak, okaliptus, kayın, akçaağaç, kiraz, adi ceviz, meşe, çam, limba, amerikan cevizi, beli, tulipe ve sapellidir ($P < 0,05$). Diğer türler arasında doğal ve hızlandırılmış yaşlandırma arasında bir farklılık gözlenmemiştir. Doğal yaşlandırmanın hızlandırılmış yaşlandırmaya kıyasla daha fazla parlaklığa neden olduğu ağaç türleri, dişbudak, okaliptus, adi ceviz, meşe, çam, mazel, amerikan cevizi, beli, tulipe, anigre ve sapellidir. Diğer türlerde ise hızlandırılmış yaşlandırma doğal yaşlandırmaya kıyasla daha fazla parlaklık değeri vermiştir. En büyük parlaklık, limba ve akçaağaç örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırması sonrasında, anigre ve okaliptus örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında gözlenmiştir. En az parlak yüzeyler ise kayın örneklerinin doğal yaşlandırma sonrasında, adi ceviz ve sapelli örneklerinin hızlandırılmış yaşlandırma sonrasında elde edilmiştir. Araştırılan parametrelerin ağaç türleri arasındaki farklılıkları basit varyans analizi ile incelenmiş, anlamlı farklılıklar Post-Hoc testlerinden olan Duncan homojenlik grupları tayin edilmiştir. Analizlere yönelik değerlendirme Çizelge 4.4-4.7 arasında verilmiştir.

Çizelge 4.4: ΔL değerlerinin basit varyans analizi ve duncan homojenlik grupları.

Türler	Doğal dış ortam testi			Hızlandırılmış yaşlandırma testi		
	Ort.	S. sapma	Post-Hoc Duncan	Ort.	S. sapma	Post-Hoc Duncan
Dişbudak	-8,73	4,36	de	-8,84	4,32	efg
Okaliptus	-5,90	2,07	f	-9,63	3,24	defg
Kayın	-5,78	1,84	f	-11,10	2,98	d
Akçaağaç	-12,46	5,65	c	-14,35	4,37	c
Kiraz	-5,78	2,55	f	-8,48	3,53	efg
Adi Ceviz	6,18	7,31	h	-8,07	3,07	fgh
Meşe	-5,25	2,05	f	-10,34	2,61	de
Çam	-20,93	6,05	a	-22,68	5,77	b
Limba	-6,59	2,87	ef	-7,73	2,51	gh
Mazel	-7,21	4,13	ef	-9,36	3,35	defg
Amerikan Cevizi	6,10	6,85	h	-1,85	5,07	ı
Tik	7,21	5,23	h	3,80	6,10	j
Beli	5,20	2,81	h	-3,31	1,62	ı
Tulipe	-16,39	3,37	b	-26,24	5,95	a
Anigre	-9,57	3,78	d	-9,92	2,88	def
Sapelli	-0,65	6,91	g	-6,27	3,85	h

Basit varyans analizi sonucuna göre doğal ve hızlandırılmış yaşlandırılan örneklerin ΔL , ΔE , parlaklık ve pürüzlülük değerlerinin önem derecesi 0,000 olarak belirlenmiştir ($P < 0,05$). Bu durum, türler arasında araştırılan parametreler bakımından önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir. Duncan homojenlik gruplarından görüleceği üzere doğal yaşlandırmanın ΔL değerlerinde en düşük değer (en koyu yüzey) sırasıyla çam, tulipe ve akçaağaçta gözlenmiştir. En açık yüzeyler ise sırasıyla beli, amerikan cevizi, adi ceviz ve tikde elde edilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırmanın ΔL değerlerinde en koyu yüzey doğal yaşlandırmada olduğu gibi tulipe, çam ve akçaağaçta elde edilmiştir. En açık yüzeyler ise sırasıyla tik, amerikan cevizi ve belide gözlenmiştir. ΔL değerlerinin gerek doğal gerekse hızlandırılmış yaşlandırmada en açık ve en koyu yüzeyler aynı ağaç türlerinde tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

Duncan homojenlik gruplarından görüleceği üzere, doğal yaşlandırmanın ΔE değerlerinde en büyük renk değişimi sırasıyla çam, tulipe ve akçaağaçta gözlenmiştir. En az renk değişimi ise sırasıyla amerikan cevizi, adi ceviz ve meşede bulunmuştur. Hızlandırılmış yaşlandırmanın ΔE değerlerinde en büyük renk değişimi doğal yaşlandırmada olduğu gibi tulipe, çam ve akçaağaçta elde edilmiştir. En az renk değişimi ise ΔL değerlerinde olduğu gibi beli, tik ve amerikan cevizinde gözlenmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5: ΔE değerlerinin basit varyans analizi ve duncan homojenlik grupları.

Türler	Doğal dış ortam testi			Hızlandırılmış yaşlandırma testi		
	Ort.	S. sapma	Post-Hoc Duncan	Ort.	S. sapma	Post-Hoc Duncan
Dişbudak	12,72	7,68	bcd	11,13	3,01	de
Okalıptus	10,54	5,17	abc	10,69	1,51	d
Kayın	10,01	3,88	abc	11,71	2,57	de
Akçağaç	14,18	6,28	d	16,72	3,34	f
Kiraz	12,47	5,64	bcd	11,31	2,17	de
Adi Ceviz	8,93	5,18	a	10,65	2,44	d
Meşe	9,59	4,13	ab	12,52	2,25	e
Çam	23,01	7,28	f	24,36	5,28	g
Limba	12,69	7,39	bcd	10,62	2,19	d
Mazel	10,83	6,50	abc	11,32	2,68	de
Amerikan Cevizi	8,78	4,81	a	6,86	1,45	b
Tik	10,03	6,41	abc	6,79	4,32	b
Beli	10,39	5,76	abc	4,77	0,72	a
Tulipe	19,09	4,36	e	28,31	6,06	h
Anigre	12,85	6,55	cd	12,05	3,07	de
Sapelli	11,65	4,64	abcd	9,06	1,08	c

Çizelge 4.6: Pürüzlülük değerlerinin basit varyans analizi ve duncan homojenlik grupları.

Türler	Doğal dış ortam testi			Hızlandırılmış yaşlandırma testi		
	Ort.	S. sapma	Post-Hoc Duncan	Ort.	S. sapma	Post-Hoc Duncan
Dişbudak	42,03	10,87	e	89,17	17,18	ı
Okalıptus	29,54	4,38	bcd	42,50	4,96	cd
Kayın	67,45	14,84	f	46,77	15,43	de
Akçağaç	26,15	4,82	abc	27,00	2,23	ab
Kiraz	28,47	3,75	abcd	39,50	6,51	c
Adi Ceviz	25,06	3,69	ab	43,29	7,57	cd
Meşe	42,39	11,03	e	81,55	26,08	h
Çam	74,16	17,64	g	80,74	10,85	h
Limba	24,04	3,17	a	23,38	4,19	a
Mazel	72,09	14,53	g	78,58	11,88	h
Amerikan Cevizi	30,54	5,89	cd	42,17	4,23	cd
Tik	32,35	3,18	d	49,79	3,93	ef
Beli	28,69	4,16	bcd	29,26	1,60	b
Tulipe	32,48	3,08	d	37,80	5,38	c
Anigre	27,96	3,18	abcd	56,03	13,10	g
Sapelli	42,93	8,87	e	52,86	3,84	fg

Doğal yaşlandırmanın pürüzlülük değerlerinde en yüksek değer (en pürüzlü yüzey) sırasıyla çam, mazel ve kayında gözlenmiştir. En az pürüzlü yüzeyler ise limba ve

adi cevizde elde edilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırmanın pürüzlülük değerlerinde en pürüzlü yüzeyler dişbudak, meşe, çam ve mazelde gözlenmiştir. En pürüzsüz yüzeyler ise sırasıyla limba, akçaağaç ve belide gözlenmiştir. Pürüzlülük değerlerinin gerek doğal gerekse hızlandırılmış yaşlandırmasında en pürüzlü yüzeyler çam ve mazelde, en az pürüzlü yüzeyler ise limbada gözlenmiştir (Çizelge 4.6).

Doğal yaşlandırmanın parlaklık değerlerinde en yüksek değer (en parlak yüzey) sırasıyla limba, anigre, okaliptus ve akçaağaçta bulunmuştur. En düşük parlaklık değerleri ise (en az parlak yüzey) kayın, sapelli ve mazelde tespit edilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırmanın parlaklık değerlerinde ise en parlak yüzeyler limba, akçaağaç, anigre ve kirazda tespit edilmiştir. En düşük parlaklık değerleri ise adi ceviz ve sapelli de gözlenmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7: Parlaklık değerlerinin basit varyans analizi ve duncan homojenlik grupları.

Türler	Doğal dış ortam testi			Hızlandırılmış yaşlandırma testi		
	Ort.	S. sapma	Post-Hoc Duncan	Ort.	S. sapma	Post-Hoc Duncan
Dişbudak	2,12	0,34	de	1,97	0,24	cd
Okaliptus	3,61	0,20	h	1,88	0,10	bcd
Kayın	1,02	0,26	a	1,63	0,30	b
Akçaağaç	3,56	0,42	h	4,39	0,58	h
Kiraz	2,70	0,19	f	3,03	0,78	f
Adi Ceviz	2,18	0,58	e	1,06	0,28	a
Meşe	2,92	0,22	g	1,95	0,11	cd
Çam	2,20	0,36	e	1,96	0,26	cd
Limba	5,10	0,59	j	6,19	1,72	ı
Mazel	1,77	0,25	c	1,68	0,19	bc
Amerikan Cevizi	2,54	0,47	f	2,00	0,46	d
Tik	1,99	0,43	d	2,08	0,56	d
Beli	2,89	0,35	g	2,55	0,33	e
Tulipe	2,97	0,20	g	2,70	0,35	e
Anigre	4,03	0,20	ı	3,96	0,67	g
Sapelli	1,49	0,46	b	1,20	0,39	a

Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bir bağımlı değişkenin bir bağımsız değişken tarafından tahmin edildiği modellere ise basit regresyon analizi denilir. Eğer iki veya daha fazla bağımsız değişken tarafından açıklanmaya çalışılan modeller ise çoklu regresyon analizi olarak adlandırılır.

Bu çalışmada hızlandırılmış yaşlandırma testi ile doğal dış ortam testi arasındaki ilişkiden (korelasyondan) faydalanılarak doğal dış ortamda ele alınan ağaç türlerinin daha sonraki dönemlerde göstereceği sonuçlar kestirilmeye çalışılmıştır. Öncelikle regresyon modellerinde zaman ve hızlandırılmış yaşlandırma testi sonuçları bağımsız değişken olarak alınarak çoklu regresyon denemeleri yapılmış ve yüksek oranda açıklayıcılık (R^2 , belirtme katsayısı) değerlerine ulaşılmıştır. Ancak modelin ileri dönük denemeleri araştırıldığında yapılan tahminlerin çok gerçekçi olmadığı kanaatine varılmıştır. Bu yüzden zaman değişkeni regresyon modellerinde bağımsız değişken olarak kullanılmamıştır. Sadece tek bağımsız değişken (hızlandırılmış yaşlandırma testi) kullanılmıştır. Böylece çok daha gerçekçi kestirimler elde edilmiştir. Her bir ağaç türü için ayrı ayrı senaryolar tespit edilmiştir. Bu senaryolar gerek grafikler yardımıyla gerekse bağımlı (doğal dış ortam testi) ve bağımsız (hızlandırılmış yaşlandırma testi) değişkenler arasındaki ilişkilerin (korelasyon) belirlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle her bir ağaç türüne ilişkin tahmin edilen öngörü sayıları farklılık arz etmektedir (Örneğin bazı ağaç türünde 24 bazısında 18 vb. tahmin yapılmıştır). Tüm ağaç türlerine ilişkin elde edilen basit regresyon denklemleriyle R^2 değerleri ve geleceğe dönük bağımlı değişkenin alacağı öngörü değerleri aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir. Her bir ağaç türü için basit regresyon denklemlerinde Y, doğal dış ortam sonuçlarını, X ise hızlandırılmış yaşlandırma testi sonuçlarını belirtmektedir. Kurulan tüm basit regresyon denklemleri %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı ($P<0,05$) çıkmıştır.

Basit regresyon modeli denklemi (4.1) ve parametrelerin ne anlama geldiği aşağıda ayrıntılı olarak ifade edilmektedir.

$$Y_i = b_0 + b_1 * X_i + \epsilon_i \quad (4.1)$$

Bu modelde;

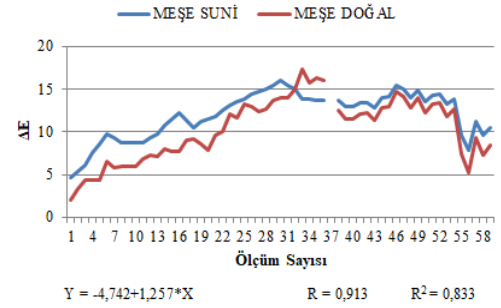
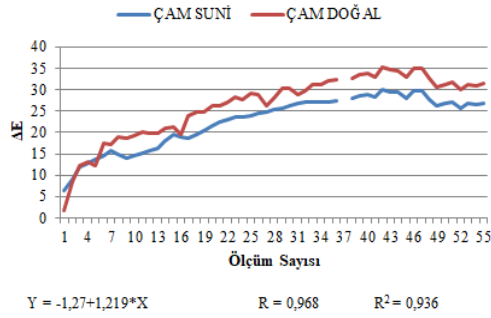
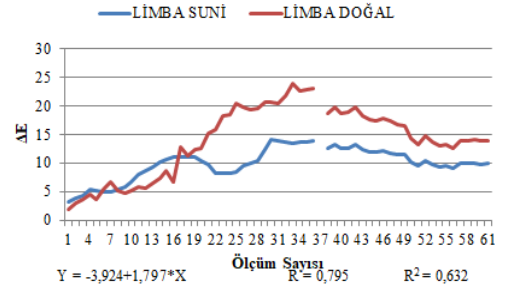
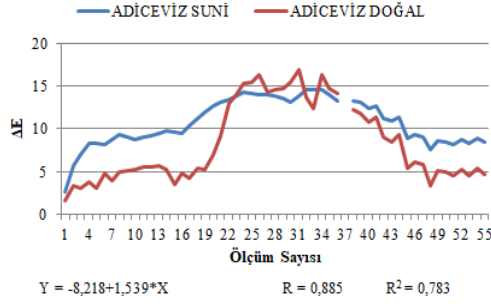
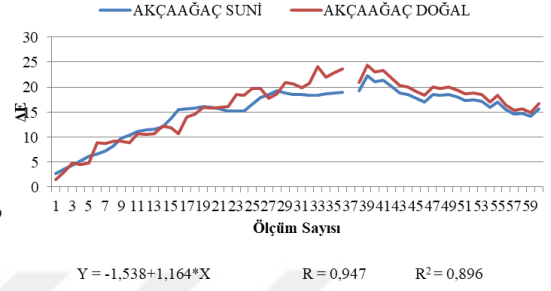
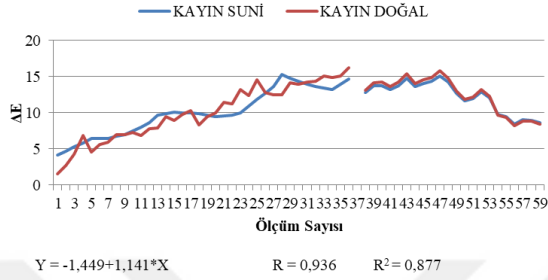
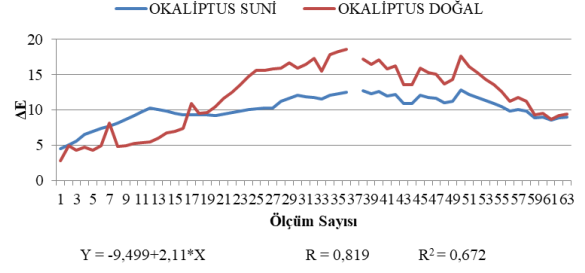
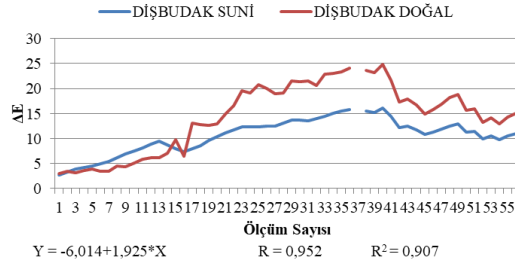
Y; bağımlı (sonuç) değişken olup belli bir hataya sahip olduğu varsayılır.

X; bağımsız (sebeup) değişken olup hatasız ölçüldüğü varsayılır.

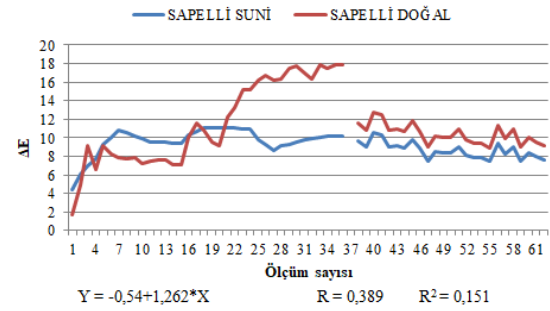
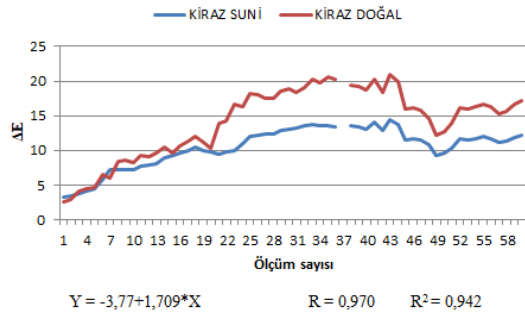
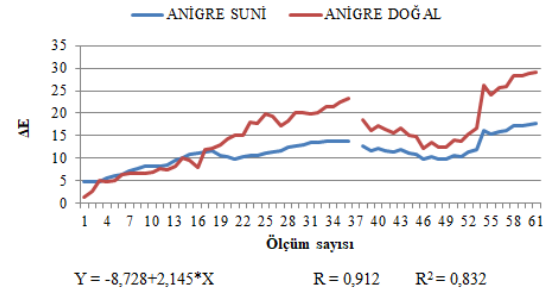
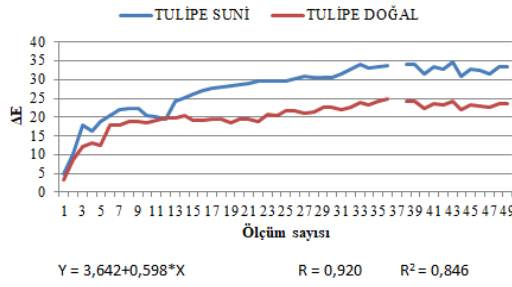
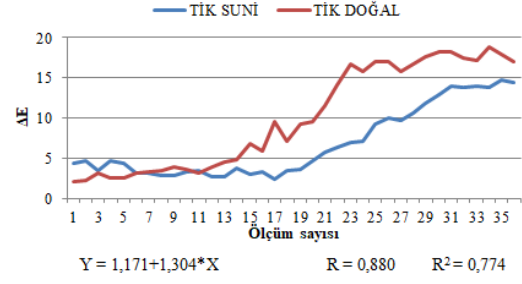
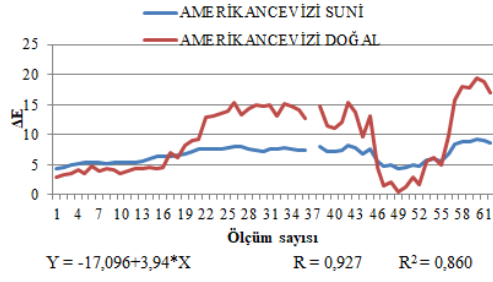
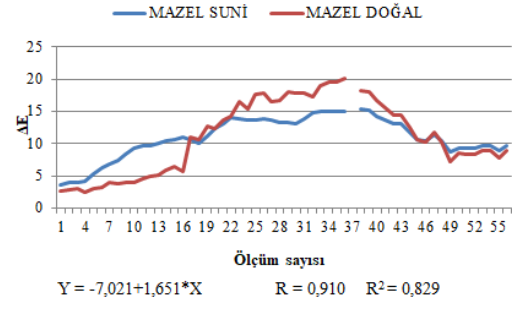
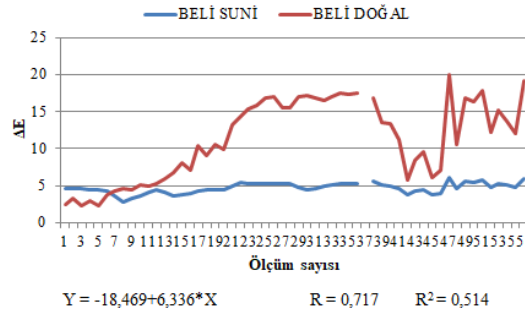
b₀; sabit olup $X=0$ olduğunda Y'nin aldığı değerdir.

b₁; regresyon katsayısı olup, X'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişmesine karşılık Y'de kendi birimi cinsinden meydana gelecek değişme miktarını ifade eder.

ϵ ; tesadüfi hata terimi olup Y'deki değişimin, regresyon modeli ile açıklanamayan kısmını gösterir. Şekil 105 ve 106'da ağaç türlerinin ΔE değerlerinin basit regresyon modelleri görülmektedir. Dişbudak örnekleri için doğal yaşlandırma, %95 güven aralığında %90,7 oranında hızlandırılmış yaşlandırma bağımsız değişkeni tarafından açıklanabilmektedir. Bu değer, kayın için %87,7; akçaağaç için %89,6; kiraz için %94,2; meşe için %83,3; çam için %93,6; mazel için %82,9; amerikan cevizi için %86; tulipe için %84,6; anigre için %83,2 bulunmuştur. Bu örneklerde denklemlerin açıklayıcılıkları (belirtme katsayıları, R^2) yüksektir. R^2 değerleri okalıptus için %67,2; adi ceviz için %78,3; limba için %63,2; tik için %77,4 ve beli için %51,4 bulunmuştur. Bu örneklerde denklemin açıklayıcılığı orta düzeyde elde edilmiştir. Sapelli için R^2 değeri %15,1 olarak bulunmuştur. Bu türde denklemin açıklayıcılığı düşüktür.



Şekil 4.105: Ağaç türlerinin ΔE değerlerinin basit regresyon modellenmesi.



Şekil 4.106: Ağaç türlerinin ΔE değerlerinin basit regresyon modellemesi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Çalışmada sonuçları özetlemek gerekirse, ΔL değerleri açısından okalıptus, kayın, kiraz, adi ceviz, meşe, mazel, amerikan cevizi, tik, beli, tulipe ve sapelli türlerinin hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma örnekleri arasında farklılık gözlenmiştir.
- En koyu yüzey her iki yaşlandırma testi sonunda tulipe, çam ve akçaağaçta elde edilmiştir.
- En açık yüzeyler ise her iki yaşlandırma testi sonunda tik, amerikan cevizi ve belide gözlenmiştir.
- ΔE değerlerinde kayın, akçaağaç, meşe, amerikan cevizi, tik, beli, tulipe ve sapelli türlerinin hızlandırılmış ve doğal yaşlandırma örnekleri arasında farklılıklar görülmektedir.
- Her iki yaşlandırma sonunda toplam renk değişimin en fazla görüldüğü türler sırasıyla çam, tulipe ve akçaağaçtır.
- En az renk değişimi ise doğal yaşlandırmada sırasıyla amerikan cevizi, adi ceviz ve meşede gözlenirken, hızlandırılmış yaşlandırmada beli, tik ve amerikan cevizinde bulunmuştur.
- Pürüzlülük değerleri açısından doğal yaşlandırma hızlandırılmış yaşlandırmaya kıyasla daha fazla pürüzlülüğe neden olan türler limba ve kayın iken, hızlandırılmış yaşlandırma sonunda doğal yaşlandırmaya göre daha fazla pürüzlü yüzey elde edilen türler dişbudak, okalıptüs, kiraz, adi ceviz, meşe, mazel, amerikan cevizi, tik, tulipe, anigre, sapelli, çam, beli ve akçaağaçtır.
- Her iki yaşlandırma sonunda en pürüzlü yüzey çam ve mazelde görülürken, en az pürüzlülük değeri limbada elde edilmiştir.
- Parlaklık değerlerinde ise her iki yaşlandırma sonunda en parlak yüzey limba ve anigrede, parlaklık kaybına en fazla uğramış tür ise sapelli olarak bulunmuştur.

- Tüm örneklerin FTIR spektraları sonunca genel olarak hızlandırılmış yaşlandırma test sonunda, karakteristik lignin piki 60-168 saat aralığında kaybolmaktadır. Bu saat aralığından sonra genelde selülozca zengin, lignince az yeni yüzeyler ortaya çıkmaktadır.
 - Doğal yaşlandırmaya ait FTIR spektraları inceleğinde genel olarak 93-123 gün aralığında karakteristik lignin piki görülmemektedir. Makraskobik değerlendirme sonucunda hızlandırılmış yaşlandırma test örneklerinde ilk 48 saatte yüzey değişimi gözle görülür şekilde belirginleşmeye başlamıştır. Doğal ortamda ise genelde 93. günden sonra grileşme görülmektedir.
 - Her ağaç türünün iki yaşlandırma testinin karşılaştırılması için yapılan regresyon modellemesinin anlamlı düzeyde olduğu, hızlandırılmış yaşlandırma verilerinden yola çıkarak doğal yaşlandırmada kullanım ömrünün belirlenmesinin tahmini olarak yapılabileceği görülmüştür.
 - Yapılan tüm analizlere ek olarak, çalışmada kullanılan tüm örneklerin her iki yaşlandırmada hücre çeper temel bileşenleri açısından ne kadar ağırlık kaybına uğradığını belirlemek için temel kimyasal analizlerin yapılması önerilmektedir.
1. Türkiye'nin iklimsel parametreleri bölgeler bazında farklılık göstermesinden dolayı, her bir bölge için çalışmanın yapılması önerilmektedir.
 2. Modellemenin gerçekçilik değerini arttırmak açısından doğal yaşlandırma süresinin 1 yıldan fazla tutulması önerilmektedir.
 3. Test ölçüm periyotlarının eşit aralıklarda yapılmasının (örneğin; hızlandırılmış yaşlandırma için test süresi sonuna kadar sürekli olarak 24 saatte bir, doğal yaşlandırma için 7 günde bir ölçüm alınması gibi) zamana bağlı modelleme oluşturulmasında daha uygun olduğu tespit edilmiş, ileride yapılacak çalışmalar için ölçüm aralığının sabitlenmesi önerilmektedir.
 4. Kullanılan örneklerin kaplama olması nedeniyle dış ortamda kullanımı kısıtlı olduğu için masif odun parçalarıyla çalışmanın yapılması önerilmektedir.
 5. Ahşap malzeme kullanım yeri ne olursa olsun herhangi bir koruyucu madde ile korunmadığı sürece deformasyona uğraması daha kolaydır, bu nedenle kullanım ömrünü arttırmak amacıyla uygun koruyucu maddelerle işleme tabi tutulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Anderson, E.L., Pawlak, Z., Owen, N.L., Feist, W.C. (1991). Infrared Studies of Wood Weathering. Part I: Softwoods”, *Applied Spectroscopy*, 45(4), 641–647.

Arndt, U., H. Willeitner. (1969). On The Resistance Behaviour Of Wood In Natural Weathering”. *Holz Roh Werkstoff Journal*. 27(5), 179-1 88.

ASTM G154. (2006). Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, American Society for Testing and Materials.

ASTM G7. (2013). Standard Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials.

ASTM D358-98. (2006). Standard Specification for Wood to Be Used as Panels in Weathering Tests of Coatings, American Society for Testing and Materials.

Bal, B. C., & Bektaş, İ. (2013). Okaliptüs, Kayın ve Kavak Kaplamalarından Üretilen Kontrplakların Eğilme Özellikleri. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2), 175-181

Banana, A. Y. (1984). *Weathering Characteristics Of The Wood Of Four Australian Grown Timber Species*, Ph.D. Thesis, Australian National University, Canberra, Australia.

Bozkurt, A.Y. & Erdin, N. (1997). *Ahşap Teknolojisi*. İstanbul, İstanbul Üniversitesi

Bozkurt, Y., & Erdin, N. (1987). Afrika'nın tropik bölgesinde yetişen ağaç türleri ve genel özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 37(1), 40-58.

Chang, H. T., Chang, S. T. (2001). Correlation between softwood discoloration induced by accelerated lightfastness testing and by indoor exposure, *Polymer Degradation and Stability*, 72, 361–365.

Cogulet, A., Blanchet, P., & Landry, V. (2016). Wood degradation under UV irradiation: A lignin characterization. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 158, 184-191

Çakıcıer, N. (2007). *Ağaç malzeme yüzey işlem katmanlarında yaşlanma sonucu belirlenen değişiklikler* (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi, İstanbul-Türkiye.

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 / Fen Bilimleri Enstitüsü / Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.

Derbyshire, H., Miller, E. R. (1981). The photodegradation of wood during solar irradiation. *Holz Roh Werkstoff Journal*, 39(8), 341-350.

EN 927-3. (2003). Paints and varnishes - Coating materials and coating systems for exterior wood - Part 3: Natural weathering test.

Erdin, N., Bozkurt, A. Y., 2013. *Ticarette Önemli Yabancı Ağaç Türleri*. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No;5145/506. İstanbul.

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.

Evans, P.D., Banks, W.B. (1988). Degradation of wood surfaces by water: changes in mechanical properties of thin wood strips, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 46, 427-435.

Feist, W. C. (1990). *Outdoor wood weathering and protection*. Kansas City. 263-298.

Feist, W. C., & Hon, D. N. S. (1983). *Chemistry of weathering and protection*. The chemistry of solid wood, 175-183.

Feist, W.C., Hon, D.N.S. (1984). Chemistry of weathering and protection, The chemistry of solid wood, *Advances in chemistry series*, 207, 401-451

Fengel, D., & Wegener, G. (1984). Wood: chemistry, ultrastructure. *Reactions*, 613, 1960-1982.

Hon, D. N. S., & Shiraishi, N. W. (2001). *Cellulosic chemistry*. New York: Marcel Dekker.

Hon, D.N.S., Clemson S. C., W. C. Feist, W. C. (1986). Weathering characteristics of hardwood surfaces, *Wood Science and Technology*, 20,169-183.

Kartal,S.N. (1992). Odun Degradasyonunda Güneş Işığı ve Su Etkileri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 42,169-176.

Kılıç, A., & Hafizoğlu, H. (2007). Açık hava koşullarının ağaç malzemenin kimyasal yapısında meydana getirdiği değişimler ve alınacak önlemler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orm Fak Derg A (2)*, 175-183.

Kim, Y. S., Lee, K. H., & Kim, J. S. (2016). Weathering characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescence*) exposed to outdoors for one year. *Journal of wood science*, 62(4), 332-338.

Liu, R., Pang X., Yang, Z. (2017). Measurement of three wood materials against weathering during long natural sunlight exposure, *Measurement*, 102, 179-185.

Liu, X. Y., Timar, M. C., Varodi, A. C., Yi, S. L. (2016). Effects of Ageing on the Color and Surface Chemistry of Paulownia Wood (*P. elongata*) from Fast Growing Crops, *Qing Hua East Road*, 35, 100083.

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology*, 83(1), 37-46.

Mesquita, R. R. S., Gonçalez, J. C., De Paula, M. H. (2017). Comportamento Da Madeira De *Tectona Grandis* Frente Ao Intemperismo, *Revista Floresta Issn Eletrônico*, 1982-4688.

Müller, U., Rätzsch, M., Schwanninger, M., Steiner, M., & Zöbl, H. (2003). Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 69(2), 97-105.

Nzokou, P. (2004). *The influence of wood extractives on durability properties of hardwood and softwood species exposed to artificial weathering*. Michigan State University. Department of Forestry.

Oberhofnerová, E., & Pánek, M. (2016). Surface wetting of selected wood species by water during initial stages of weathering. *Wood research*, 61(4), 545-552.

Oltean, L., Teischinger, A., Hansmann, C. (2008). Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66, 51–56.

Owen, J. A., Owen, N. L., & Feist, W. C. (1993). Scanning electron microscope and infrared studies of weathering in Southern pine. *Journal of Molecular Structure*, 300, 105-114.

Pastore, T. C. M., Santos, K. O., Rubim, J. C. (2004). A Spectrocolorimetric Study On The Effect Of Ultraviolet Irradiation Of Four Tropical Hardwoods, *Bioresource Technology*, 93, 37–42.

PÉrez, S., & Samain, D. (2010). Structure and engineering of celluloses. *In Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry* (Vol. 64, pp. 25-116). Academic Press.

Persze, L., Tolvaj, L. (2012). Photodegradation of wood at elevated temperature: Colour change, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 108, 44–47.

Podgorski, L., Arnold, M., Hora, G. (2003). A Reliable Artificial Weathering Test For Wood Coatings, *Coatings World*, 39–48.

Reinprecht, L., Mamoňová, M., Pánek, M., & Kačík, F. (2018). The impact of natural and artificial weathering on the visual, colour and structural changes of seven tropical woods. *European journal of wood and wood products*, 76(1), 175-190.

Schnabel, R. (2017). Squeezed states of light and their applications in laser interferometers. *Physics Reports*, 684, 1-51.

- Sharma, R. K., Wooten, J. B., Baliga, V. L., Lin, X., Chan, W. G., & Hajaligol, M. R.** (2004). Characterization of chars from pyrolysis of lignin. *Fuel*, 83(11-12), 1469-1482.
- Sharratt, V., Hill, C. A. S., Kint, D. P. R.** (2009). A Study Of Early Colour Change Due To Simulated Accelerated Sunlight Exposure İn Scots Pine (*Pinus Sylvestris*), *Polymer Degradation And Stability*, 94, 1589–1594.
- Shunzhi, L., Jinguo, L., Jinming, C.** (2013). Variation law of surface properties during the aging process of common decorative wood, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, 2014002629.
- Sudiyani, Y., Imamura, Y., Doi, S., Yamauchi, S.** (2003). Infrared spectroscopic investigations of weathering effects on the surface of tropical wood. *Journal Wood Science* 49, 86-92.
- Temiz, A.,** (2005). *Benzetilmiş dış ortam koşullarının emprenyeli ağaç malzemeye etkileri* (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Temiz, A., Yildiz, U. C., Aydın, I., Eikenes, M., Alfredsen, G., & Çolakoglu, G.** (2005). Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. *Applied surface science*, 250(1-4), 35-42.
- Timar, M. C., Varodi, A. M., Guraçu, L.** (2016). Comparative Study Of Photodegradation Of Six Wood Species After Short-Time UV Exposure. *Wood Science And Technology*, 50, 135–163.
- Tintner, J., & Smidt, E.** (2018). Resistance of wood from black pine (*Pinus nigra* var. *austriaca*) against weathering. *Journal of wood science*, 64(6), 816-822.
- Tolvaj, L., Mitsui, K.** (2005). “Light Source Dependence Of The Photodegradation Of Wood”, *Journal Of Wood Science*, 51, 468–473.
- Tomak, E. D., Ustaomer, D., Ermeýdan, M. A., Yildiz, S.** (2018). An investigation of surface properties of thermally modified wood during natural weathering for 48 months, *Measurement*, 127, 187-197.
- Ustaömer, D.** (2008). *Çeşitli Yanmayı Geciktirici Kimyasal Maddelerle Muamele Edilerek Üretilmiş Orta Yoğunluktaki Liflevhaların (MDF) Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi*, (Doktora Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Valverde, J. C., Moya, R.** (2014). Correlation And Modeling Between Color Variation And Quality Of The Surface Between Accelerated And Natural Tropical Weathering İn *Acacia Mangium*, *Cedrela Odorata* And *Tectona Grandis* Wood With Two Coating, *Color Research And Application*, 39, 5.
- Volkmer, T., Noël, M., Arnold, M., & Strautmann, J.** (2016). Analysis of lignin degradation on wood surfaces to create a UV-protecting cellulose rich layer. *International Wood Products Journal*, 7(3), 156-164.

Williams, R. S., Knaebe, M. T., Evans, J. W., & Feist, W. C. (2001). Erosion rates of wood during natural weathering. Part III. Effect of exposure angle on erosion rate”, *Wood and fiber science*, 33(1), 50-57.

Williams, R. S., Knaebe, M. T., Evans, J. W., & Feist, W. C. (2001). Erosion rates of wood during natural weathering. Part III. Effect of exposure angle on erosion rate”, *Wood and fiber science*, 33(1), 50-5.

Williams, R.S. (2005). *Weathering of wood*, Handbook of wood chemistry and wood composites. R. Florida. 139-185.

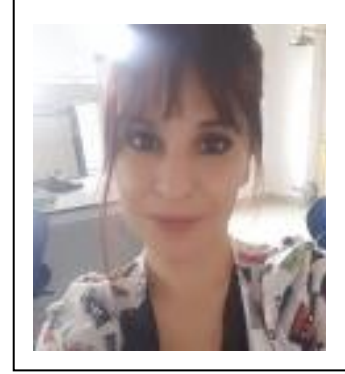
Wu, J. Y., Wu, S. Y., Hsieh, T. Y., Chang, S. T. (2002). Effects of copper-phosphorous salt treatments on green colour protection and fastness of ma bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*), *Polymer Degradation and Stability*, 78, 379–384.

Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, 86(12-13), 1781-178

Yazıcı, H. (2015). Açık Hava Koşullarının Odun Dayanımına Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(8), 72-7

Zahri, S., Belloncle, C., Charrie, F., Pardon, P., Quideau, S., Charrier, B. (2007). UV light impact on ellagitannins and wood surface colour of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*), *Applied Surface Science*, 253, 4985–4989.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Şebnem Sevil ARPACI

E-posta : sebnem.arpaci@btu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :İstanbul Üniversitesi - Orman Endüstri Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Bursa Teknik Üniversitesi Araştırma Görevlisi 2018, -

DİĞER ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- S.S. Arpacı, E.D. Tomak, 2019, Doğal ve Suni Yaşlandırma Testlerinin Ahşap Kaplamanın Yüzey Özelliklerine Etkisi, 2. International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences, 28-29 Haziran 2019, Ankara