



Yaşlandırma Testlerinin Ahşap Malzemenin Özelliklerine Etkisi

Şebnem Sevil ARPACI*¹, Eylem DİZMAN TOMAK¹

Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Mimar Sinan Yerleşkesi, 16310 Bursa, Türkiye

Öz

Ahşap malzemenin yaşlandırılması ve yaşlandırılan ahşabın özelliklerindeki değişimin bilinmesi tarihi ahşap binalar ve ahşaptan yapılmış nesnelere, objelere gibi ahşap kültürel mirasların korunması açısından çok önemlidir. Yaşlandırmayı konu alan çalışmalar, malzemenin kullanım ömrünün belirlenmesini de sağlamaktadır. Bunun için malzeme doğal dış ortam koşullarının bozunduruca faktörlerine direkt olarak maruz bırakılabileceği gibi laboratuvar koşullarında da dış ortam bozunması yapay olarak simüle edilebilmektedir. Doğal dış ortam koşullarına maruz bırakma en doğru ve güvenilir sonuçlar verse de testlerin uzun yıllar sürmesi ve yüksek güvenlik ihtiyacı sebeplerinden dolayı çoğunlukla laboratuvar koşullarında kontrollü gerçekleştirilen yapay yaşlandırmalar tercih edilmektedir. Bu derleme çalışmasında, ahşap malzemenin dış ortam koşullarında kullanımı sırasında maruz kalabileceği bozunduruca faktörlerin ahşap özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada ahşabı bozandıran abiyotik ve biyotik faktörler, ahşap malzemenin fotodegradasyonu ve bunun sonucu olarak ahşapta meydana gelen değişimler incelenmiş, farklı yapay ve doğal yaşlandırma test yöntemleri irdelenmiştir. Ayrıca yapay ve doğal yaşlandırma arasında modelleme çalışmalarına da değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay yaşlandırma, Doğal yaşlandırma, Fotodegradasyon, Modelleme.

Effect of Weathering Tests on Wood Properties

Abstract

The knowledge on the aging of wood and changes on wood properties due to aging is very important in terms of preserving historical wood buildings and wood cultural heritage such as wood objects. Furthermore, aging studies can help to predict the service life of wood. For this purpose, wood can be directly exposed to degrading factors in outdoor conditions, or degradation can be artificially simulated in laboratory conditions. Although natural weathering tests gives the most accurate and reliable results, it is not commonly preferred due to long test periods and high safety requirements. For this reason, artificial aging, which is mostly controlled under laboratory conditions, is commonly preferred by the researchers. In this review study, the effects of the degrading factors of wood in outdoor conditions were investigated. In the study, abiotic and biotic factors, wood degradation, photodegradation of wood, and its effects on wood properties have been reported. Besides, different artificial and natural aging test methods and modelling between the aging methods are examined.

Keywords: Accelerated weathering, Natural weathering, Photodegradation, Modelling.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Şebnem Sevil ARPACI, Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği,
Mimar Sinan Yerleşkesi, 16310 Bursa, Türkiye. Tel: 02243003857, E-mail:
sebnem.arpaci@btu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2591-2837

Geliş (Received) : 09.02.2020

Kabul (Accepted) : 21.07.2020

Basım (Published) : 15.08.2020

1. Giriş

Ahşap malzeme için dış ortam şartları diğer bir ifade ile “weathering” önemli bir risk faktörü olarak görülmektedir. Weathering; güneş ışığı (UV), nem (yağmur, kar, çığ), mekanik güçler (rüzgar, kum, kir) ve sıcaklık etkisi ile yüzeyde meydana gelen renk değişimi, yüzey pürüzlülüğü 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 Hafızoğlu 2007).

Ahşap malzemenin rengi, estetik görünüm ve ticari değerini belirlemede önemli bir parametredir ve dolayısı ile dayanıklılık özelliği kadar dikkat edilmesi gereken bir parametredir (Baar ve Gryc 2012). Ahşap malzemenin rengi, ışıkla etkileşime giren kimyasal bileşenler (ekstraktifler gibi) tarafından tanımlanmakta, ekstraktiflerin çokluğu, azlığı veya bazı etkiler ile değişimi ile yüzey rengi değişmektedir (Hon ve Minemura 2001). Ahşap malzemenin dış ortam koşullarında kullanımı sırasında yüzeyinde renk değişikliği meydana gelmektedir. Ahşap malzemenin renk değiştirmesi, yapısında bulunan kimyasal maddelerin oksidasyonu sonucu meydana gelmektedir. Özellikle fenolik bileşenler, UV açısından önemli rol oynamaktadır. Güneş ışığının ultraviyole (UV) kısmına ek olarak görünür dalga boyundaki ışıkta (VIS) yüzey renginde değişikliklere neden olabilmektedir. Her iki kısımda fotokimyasal reaksiyon gerçekleştirir ve sonuç olarak yüzeysel renk bozunmaları oluşur (Derbyshire ve Miller 1981; Zivković vd 2014). UV ve VIS ahşap yüzeyine sırasıyla 75 ve 200 µm'ye kadar nüfuz etmektedir (Feist ve Hon 1984). Uzun süreli dış ortam koşullarına maruz kalma durumunda ise nüfuz derinliği 400 µm olmaktadır (Kataoka ve Kiguchi 2001). Absorbe edilen ışık yani enerji, moleküller arasına yerleşerek depolimerizasyon, dehidrojenasyon ve dehidrometilasyon gibi ayrılma reaksiyonları oluşturmakta (Fengel ve Wegener 1984) ve bunun sonucu olarak karboniller, karboksiller, peroksitler, hidroperoksitler ve konjuge çift bağlar gibi kromoforik gruplar meydana gelmektedir (Hon ve Shiraishi 2001). Odunun kimyasal bileşenleri arasında UV emilimini en fazla yapan lignindir. Lignin oksijen ile reaksiyona girerek serbest radikaller oluşturmakta ve renk değişikliklerinden sorumlu kromoforik gruplar üretmektedir (Feist ve Hon 1984; Hon 1991). Renk ve kimyasal değişimlerin yanı sıra ahşap malzemede fiziksel değişimler de meydana gelmektedir. Dış ortam koşullarında, ağaç malzeme yüzeyi pürüzlenmekte, başlangıçta küçük çatlaklar oluşmakta, tekstürü zayıflamakta, eğilme, çarpılma ve burkulmalar meydana gelmektedir (Feist 1983). Yüzeyde meydana gelen bozunma hücre çeperi bağlarını zayıflatmakta, hücreler arası ve hücreler içi makroskopik-mikroskopik gerilmelere ve daha derin çatlaklara yol açmaktadır. Yağmurun etkisi ile çatlaklar daha ileri düzeyde erozyonlara neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmaya göre iğne yapraklı ağaçlarda erozyon miktarı ortalama 1 yüzyıl için 6,4 mm olduğu belirtilmiştir (Feist ve Hon 1983). Ahşap malzemede fiziksel değişimlerin yanısıra mikroskopik değişimlerde görülmektedir. Yine yapılan bir çalışmaya göre sarıçam örneği 100 gün boyunca su ve ışık altında bekletilmiş, SEM görüntüsü sonucunda geçitlerin kollapsa uğradığı gözlenmiştir (Owen vd 1993). Oluşan bu bozunmalar çoğunlukla yüzeylerde 0,05-2,5 mm'de gerçekleşmektedir (Feist ve Hon 1983).

Uzun süre dış ortam koşullarına maruz kalan ahşap tarihi yapıların yüzeyleri ve görünümü zarar görmekte, bu nedenle ahşabın korunması için dış ortam koşulları dikkate alınmalıdır. Özellikle dış ortam koşulları nedeniyle meydana gelen yüzey bozunması biyolojik organizmalardan (mantarlar) kaynaklanan odunun çürümesi ile karıştırılmamalıdır. Çürüme uygun koşullar altında, ahşapta hızlı bozunmaya neden olmakta ve meydana gelen bozunma dış ortam koşullarında gözlemlenen bozunmadan çok farklı olmaktadır (Feist 1983).

2. Açık Hava Koşullarında Ahşap Malzemeyi Bozunduran Etmenler

2.1. Biyotik etmenler

Dış ortamda kullanılan ahşaptaki bozundurucu biyotik faktörlerden renk ve küf mantarları, renk değişimleri ve estetik yönden olumsuz etki yapmakta; çürüklük mantarları ise enzimler yardımıyla odun hücre çeper bileşenlerini ve ahşabın bütünlüğünü bozarak önemli bozunmalara neden olmaktadır (Yıldız 2000). Dış ortam koşullarına maruz kalan odun sıklıkla *Aureobasidium pullans* gibi küflenme mantarlarının etkisine maruz kalmaktadır (Williams 2005). UV ve dış ortam koşulları odun yüzeyinde yüzyıllar sonrasında bile birkaç mm değişikliğe neden olurken, çürütücü mantarlar uygun koşulların oluşması durumunda birkaç yıl içerisinde ahşabı tamamiyle yok edebilmektedir. Çürütücü mantarlar için kritik faktör ahşaptaki rutubettir (Williams 2005). Ahşapta rutubetin %20'den fazla olması, yeterli miktarda oksijenin bulunması ve sıcaklığın 15-45°C arasında olması halinde mantarlar için uygun bir yaşam ortamı sağlanmış olmaktadır. Açık havada kullanılan ağaç malzeme genellikle bu değerler arasında bulunduğundan mantar tahribatı sık sık görülmektedir (Zabel ve Morrell 1992; Yıldız 2000).

Esmer çürüklük mantarları, ahşap malzemenin hücre lümenleri, reçine kanalları ve öz ışınları içinde gelişmekte ve sekonder çeperin selüloz iskeletini enzimatik yolla tahrip etmektedir. Çürüklüğün ilerleyen aşamalarında,

selülozun tahribatından sonra geriye kalan lignin, tanenler ve ekstraktif maddeler malzemenin koyu renk almasına neden olmaktadır (Zabel ve Morrell 1992). Beyaz çürüklük mantarı ahşap malzemede, lignin başta olmak üzere, selüloz ve hemiselülozun yapısında yıkım oluşturmaktadır. Bu tür mantarların saldırısı altında olan ahşap malzeme rengi önce gri, daha sonra beyaz renk almaktadır. Çürüklüğün meydana geldiği malzemeler uzun süre strüktür ve hacmini korur, sonrasında uzun parçalar halinde koparılabilir. Yumuşak çürüklük mantarları ise yapraklı ağaçlarda genellikle lümen tarafında, iğne yapraklılarda ise S2 tabakasında boşluklar açarak tahribata yol açmaktadır. Yapraklı ağaçlarda lignin az olduğu için yumuşak çürüklük, iğne yapraklılara nazaran daha hızlı ve geniş çapta gelişmektedir (Zabel ve Morrell 1992). Bakteriler ise, genelde öz ışınları, reçine kanalları ve diğer paranzim hücrelerinde kümeler halinde görülmektedir ve hücre çeperine oluşturdukları zarar önemsiz kabul edilmektedir. Bazı kullanım ve işleme alanları için ise oluşturdukları hafif boyutlu degradasyon istenen bir durum haline gelmektedir. Örneğin; odun geçirgenliği arttığından, emprenye edilebilirliğinin artması ya da suda depolanan tomrukların kolay soyulabilir olması bakterilerin verdiği etki nedeniyle düşünülmektedir (Bozkurt vd 1995).

Ahşap malzemeyi besin kaynağı olarak kullanmakta olan bazı böcekler de ciddi degradasyona neden olmaktadır. Genellikle tahribat derecesi tehlikeli kabul edilen ve ciddi ekonomik kayıplara neden olan 3 böcek türü mobilya böceği (*Anobium punctatum*), ev teke böceği (*Hylotrupes bajulus*) ve ölüm saati böceği (*Xestobium rufovillosum*) yaygın olarak görülen önemli türlerdendir. Mobilya böceği tahribatına genelde eski mobilyalarda, tüm konstrüksiyon kerestelerinde, duvarla teması olan kerestelerde ve yer döşemelerinde rastlanmakta, iğne ve geniş yapraklı ağaç türlerinde görülmektedir. Ev teke böceği ise çatıda kullanılan kerestelerde görülürken, özellikle iğne yapraklı ağaç türlerinin diri odun kısımlarına arız olmaktadır. Ölüm saati böceği, yapı malzemesi olarak meşe ve karaağaç kullanılan tarihi binalarda sık görülmekte, ayrıca mantar arız olmuş ahşapta ve yonga levhalarda da rastlanmaktadır (Erdin 2009).

Odun kurdu olarak tanımlanan termitler ise ahşap malzemeye arız olması halinde saatler içerisinde ciddi tahribata yol açmaktadır. Ahşapta yaptıkları tahribat bakımından termitler, toprak altı, kuru odun ve ıslak odun termitleri olmak üzere 3 grupta sınıflandırılmakta olup, bu türlerin arasında en tehlikelisi toprak altı termitleri olarak bilinmektedir. Bu tip termitler ilkbahar odunu tabakasını tamamen yok etmektedir (Bozkurt vd 1993).

Ahşap malzemeye etki eden biyotik faktörler ile odun bileşenlerini bozunmakta, estetik görünümü olumsuz etkilenmekte, fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklerini etkilemekte (Evans vd 2005; Williams 2005) ve sonuçta ahşabın kullanım ömrü kısalmaktadır.

2.2. Abiyotik etmenler

Güneş ışığı, su (rutubet), yanma, rüzgar, hava kirliliği gibi etkiler sonucunda ahşap malzemenin yapısında fiziksel ve kimyasal değişimler olmaktadır. Fiziksel bozunmalar zamana bağlı olarak açık hava etkileri, aşınma ve yangın etkisiyle meydana gelmekte, kimyasal bozunmalar ise ahşabın kuvvetli asitler, bazlar ve gazlar tarafından etkilenmesi sonucunda oluşmaktadır (Erdin 2009).

UV, abiyotik faktörler içinde ahşap yüzeyinde renk değişimine neden olan en önemli etmen olarak kabul edilmektedir. Bunun yanı sıra, rüzgar ve yağmurun bileşik etkilerine maruz kalan ahşap malzeme yüzeyinde gerilmeler ile ince ya da derin çatlaklar oluşmaktadır. Maruz kalma süresi uzarsa, derin izler taşıyan bir yüzey tekstürü meydana gelmektedir. Bu etkilerin yanı sıra yüksek sıcaklıklara maruz kalan ahşap malzemede, tutuşma kabiliyetinden dolayı yanma görülmektedir (Feist ve Hon 1983). 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ahşap malzemenin kimyasal yapısında degradasyon başlamaktadır. 100 - 200°C sıcaklıklarda CO₂, organik bileşikler ve su buharı gibi ürünler görülmektedir. 200°C sıcaklıkta selüloz parçalanmaya başlamaktadır. 300°C'nin üzerindeki sıcaklıklara maruz kalması sonucunda ise ahşap malzemenin kimyasal yapısını tamamen değiştirmekte, bu durum mekanik özelliklerini etkilemektedir (Terzi 2008).

Asidik ve alkali kimyasal maddeler ahşap malzemede ilk olarak renk değişikliği meydana getirmekte ve mantarların çürüklük etkilerine benzer şekilde tahribata neden olmaktadır. Asitler, hücre çeperindeki şekerler arasındaki karbon bağlarını parçalayarak selülozdan önce hemiselülozları degradasyona uğratmaktadır. Asitler ahşabı kırılğan yaptığından, traheidler ve lifler birbirinden ayrılmakta, sonuçta ahşabın beyaz çürüklüğe benzetilen bir lif kitlesi görünümü almasına neden olmaktadır. Alkali ortamlar ise odun dokusunu tamamen liflerine ayırırlar ve ahşapta direnç kaybı ile birlikte yumuşama meydana getirirler (Erdin 2009).

Ahşap malzemenin gaz absorpsiyon kapasitesi ve etkilenme derecesi; türüne, yoğunluğa, anatomik yapısına, boyutlarına, yaşına, diri odun-öz odun oluşuna ve gazın yoğunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Gazların sorpsiyonu (soğurulması, içte tutulması) ise, sıcaklık yükseldikçe artmakta, ortamda suyun bulunması ile iç kısımlara ilerleyerek korozyon için daha uygun bir ortam oluşmaktadır. Gazların korozyonuna örnek olarak,

geçmişte böceklerle mücadelede fumigasyon maddesi olarak kullanılan kükürt dioksit ile yapılan uygulamalar verilebilir. Çünkü ahşap malzemede geri dönüşümü olmayan hasara yol açan sülfürlü bileşikler ve sülfürik asit gibi maddelerin oluşmasına neden olmuştur (Bozkurt vd 1993; Erdin 2009).

2.3. Ahşap Malzemenin Fotodegradasyonu ve Ahşapta Meydana Gelen Değişimler

Bozundurucu dış ortam koşulları; ahşabın yüzeyinde renk değişimine, grileşmeye ve yüzey kalitesinin bozulmasına sebebiyet veren karmaşık fiziksel ve kimyasal değişimlere neden olmaktadır (Derbyshire ve Miller 1981). Dış ortam koşullarına maruz kalma süresinin artmasıyla odundaki bu değişimleri, mantar gelişimi, çatlama ve yarıma ile eğrilmeler takip etmektedir (Williams 2005). Degradasyon mekanizması odun türü, güneş ışığı, rutubet, sıcaklık, oksijen, atmosferik kirlilik, kimyasallar, sıcak/soğuk, rüzgar aşındırması ve biyolojik faktörlerden etkilenmektedir (Feist ve Hon 1984; Williams 2005). Bu faktörler arasında UV ve suyun etkisinin çok önemli olduğu düşünülmektedir (Feist ve Hon 1984; Anderson vd 1991a; Temiz vd 2005, 2007; Zhang vd 2009). Odunun fotodegradasyonunda etkili faktör, yapısındaki kromoforik gruplardır. Odun bileşenlerindeki kromoforik gruplar karbonil, karboksil, kinon, peroksit, hidroperoksit, konjuge çifte bağlar, asetil vb.'dir (Feist ve Hon 1984; Temiz 2005; Williams 2005; Can ve Sivrikaya 2019). Odunda fotodegradasyonun olabilmesi için kimyasal bağların yeterli ışık ile koparılması gerekmektedir. Güneş ışığı bu etkiye sahiptir. Selüloz ve lignin yüksek oranda ışık absorplayabilme özelliği göstermektedir. Fotodegradasyonda odun bileşenleri içerisinde en çok lignin etkilenmekte olup (%80-90), UV etkisiyle serbest radikaller oluşturmakta ve yüzey kimyasında değişikliklere neden olmaktadır. Karbonhidratların UV ışığını absorplama etkisi %5-20 ve ekstraktiflerin %2 olduğu belirtilmiştir (Temiz 2005). Kromoforik grup ve ışık etkisinin yanısıra su ve oksijen de odunun dış ortam degradasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Su molekülleri odun yapısına penatre olup hücre çeperini genişleterek hidrojen bağlarında bir azalmaya neden olmakta, serbest radikalleri kendilerine çekebilme ve onlarla etkileşime girebilmektedir. Odun rutubetinin %5-7 oranında olması serbest radikal oluşumunu engellemektedir ancak odundaki bu değerlerden daha fazla olan rutubet, serbest radikal oluşumunu arttırmaktadır. Oksijen ise oksidant olarak, serbest radikaller ile tepkimeye girerek polimerik peroksi radikalleri ve peroksitleri oluşturmaktadır. Bu yüzden oksijen, serbest radikallerin oluşumunu sağlamakta ve ışık etkisiyle oluşan oksitlenmede bir rol oynamaktadır. Sıcaklık ve hava kirliliği, serbest radikallerin ışık tarafından oluşumunu hızlandırır, odunun ışığı absorplama aralığını genişletebilir veya yeni absorplama merkezleri oluşturabilirler. Sıcaklık ile odunda çatlaklar ve yarıklar oluşabilir (Temiz 2005).

Odundaki UV degradasyonu sonucu metoksil ve lignin içeriğinde bir azalma, karboksil ve asidite oranında bir artış meydana gelmektedir. Sonuç olarak, dış ortam koşullarına maruz bırakılan odun yüzeyleri selüloz bakımından zengin olmakta ve çözünebilir yapıdaki lignin bozunma ürünleri yağmur suları ile yıkanmaktadır (Temiz 2005; Can 2018). Odun yüzeyinde ışık ve suyun etkisiyle renk değişimi ve koyulaşmalar, açıklıklar ve çatlaklar meydana gelmektedir. Hücre çeperi bağlarının dayanımı yüzeye yakın olan yerlerde kaybedilir ve bunun sonucunda degradasyon oluşur. Dış hava koşulları devam ettiği sürece bozunmaya uğraşmış kısımlarda erozyon devam eder. Odunun dış ortam koşullarına maruz kaldığında, bozunmanın 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 vd 2001; Nzokou 2004; Williams 2005; Temiz 2005). Dış ortam koşulları etkisiyle görülen mikroskobik değişiklikler zamanla erozyona sebep olmaktadır (Feist ve Hon 1984; Temiz 2005). Dış ortam koşullarına bırakılan odun yüzeylerinde ilk değişiklik yüzeyin sararması ile görülmektedir. Daha sonra renk açılmakta ve son olarak esmer koyu renge dönmektedir. Bu renk değişikliği ve süresi, ahşabın özellikleri, içindeki ekstraktif madde oranı ve iklim faktörlerine göre değişmektedir. 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 oluşmaktadır. Bu radikaller aynı zamanda selülozun yapısındaki oksijenin de ayrılmasına neden olmaktadır. Yüzeyde bulunan kinonların da odunda meydana gelen renk değişikliğine sebep olduğu söylenmektedir. Bu degradasyon oldukça yavaş gelişmektedir (Feist ve Hon 1984; Kartal 1992; Temiz 2005; Williams 2005; Temiz vd 2005; Kılıç ve Hafizoğlu 2007). Yoğunluğu yüksek olan ağaç türlerinde erozyon daha düşük olup (Temiz 2005), fotodegradasyona karşı dayanım daha iyidir (Anderson vd 1991b). Bu durum, weathering sonrası ilgili spektrumların karşılaştırılması sonucunda, düşük yoğunluklu odunların fonksiyonel gruplarında belirgin şekilde değişiklik görülmeyle başlandığında, yüksek yoğunluklu odunlarda daha küçük değişiklikler görülmesiyle açıklanmaktadır (Anderson vd 1991b). 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.

3. Ahşap Malzemeye Uygulanan Yapay ve Doğal Yaşlandırma Testleri

Yaşlandırmanın ahşap malzeme üzerine etkisini tespit etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler doğal dış ortam ve yapay yaşlandırma testleri olarak gruplandırılmaktadır. Bu testlerin amacı, malzemenin uzun yıllar kullanılacağı ortamlarda, degradasyona neden olan etkilerin tespit edilmesidir.

3.1. Yapay Laboratuvar Yaşlandırma Testleri

Ahşap malzeme yüzeyinde dış ortam etkilerinin kısa sürede belirlenmesi amacıyla yapay yaşlandırma testlerine başvurulmaktadır. Yapay yaşlandırma testlerinde, dış ortam etkisini benzetmek için malzeme yüzeyine güneş ışığının, sıcaklığın ve nem ile yağmur etkisinin taklit edilmesini sağlayan döngüler kullanılmaktadır. Yapay yaşlandırma testleri; UV florasan lamba ile yaşlandırma, ksenon-ark lambası ile yapay yaşlandırma ve termal işlemlerle yaşlandırma olarak 3'e ayrılmaktadır (Çakıcıer ve Korkut 2009; Çolak 2014). UV florasan lamba ile yaşlandırma testinde, UV-A 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 kullanılmaktadır. 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 kullanılışlıdır. 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). Yaşlandırma uygulanan malzemenin yüzeyinde doğal dış ortam kullanımı sırasında hiçbir zaman görülmeyecek degradasyonlar söz konusu olabilmektedir (Çakıcıer ve Korkut 2009). Ksenon lamba ile yapay yaşlandırma testlerinde, UV'ye göre daha uzun süren ancak gün ışığına en yakın yaşlanma etkisi olan güvenilir sonuçlar elde edilmektedir. Güneş ışığının tahrip edici etkisini simüle eden 'karbon kıvılcım lambaları' kullanılmaktadır. TS 8106-2, ISO 4892-2 standartlarında yer alan döngüler kullanılarak yaşlandırma işlemi uygulanmaktadır. Termal yaşlandırma ise sıcaklık seviyesine bağlı olarak oksidasyon ve hidroliz reaksiyonların oluşmasına neden olmakta, böylelikle moleküler bağlar değişikliğe uğramaktadır (Çakıcıer ve Korkut 2009). Bu yöntemler Çakıcıer ve Korkut (2009) tarafından detaylı bir şekilde rapor edilmiştir.

Literatürde yapay yaşlandırma uygulanacak odun örneklerine, genellikle ASTM G154 (2006) standardı esas alınarak test yapılmaktadır. Bu standarta göre yaşlandırma, Tablo 1'de belirtilen parametrelere göre yapılabilmektedir.

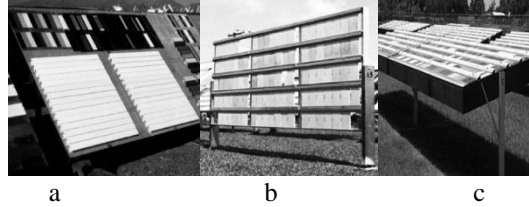
Tablo 1. Yaşlandırma parametreleri (ASTM G154, 2006).

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; 4s 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

3.2. Doğal Yaşlandırma Testleri

Doğal yaşlandırma metodundaki amaç, malzemelerin dış ortam koşullarına karşı dayanıklılığını, UV radyasyonu,

ıslanma süresi, sıcaklık, kirlenmeler, biyolojik organizmalar ve diğer faktörlerde göz önüne alınarak kullanım yerine uygun bir şekilde gözlemlenmektedir. 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 olacağını varsaymak doğru kabul edilmemektedir (ASTM G7 2013; EN 927-3 2006). Doğal yaşlandırma testi her iklim tipine uygulanabilmektedir. Bu yaşlandırma uygulamasında test armatürleri veya rafları boş alanlara yerleştirilmelidir. Korozyona uğramayan bir malzemeden yapılan test armatürü veya raftaki en aşağıdaki örnek sırası zeminden en az 0,45 m uzakta olmalı ve bitki örtüsü ile temas etmemelidir. 45°, 90° ve 180° açı ile test armatürü veya rafı kullanılmaktadır (Şekil 1). En yaygın kullanılan 45°'lik açı ve güney yönü olan test armatürü veya rafıdır (ASTM G7, 2013).



Şekil 1. Doğal dış ortam test armatürü veya rafı sırasıyla a: 45°, b: 90° ve c: 180° açı

4. Odunun Dış Ortam Koşullarında Bozulmasına Yönelik Yapılan Çalışmalar

Uzun yıllardır ahşabın dış ortam koşullarına dayanıklılığı araştırılmış ve günümüzde halen devam etmektedir. Gerek yapay yaşlandırma, gerekse doğal yaşlandırma üzerine pek çok çalışma yürütülmüştür. Tablo 2'de yapay yaşlandırmayı konu alan çalışmalar, Tablo 3'de ise doğal yaşlandırmayı konu alan çalışmalar özetlenmiştir. Tablolardan görüleceği üzere bu alanda yapılan çalışmalarda en çok yapay yaşlandırma test edilmiştir.

Tablo 2. Ahşap malzemenin yapay yaşlandırmasının değerlendirildiği bazı çalışmalar.

Odun Türü	Yaşlandırma prosedürü	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
<i>Eucalyptus delegatensis</i> , <i>Eucalyptus microcorys</i> ve <i>Lophostomen confertus</i>	UVA 340 nm 1800 saat	Doğal ve yapay yaşlandırma sonrasında örneklerde yüksek ağırlık kayıpları bulunmuşlar, yapay yaşlandırma testi sonunda ağırlık kayıplarının <i>Pinus radiata</i> 'ya kıyasla 2-3 kez daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.	Arndt ve Wileitner (1969)- Banana (1984)
Kırmızı meşe, beyaz meşe, sarı-kavak ve Amerikan sığla ağacı	Yüksek basınçlı kuvars civa buhar lambası ve orta basınçlı kuvars civa ksenon lambası-600 saat	500 saat sonunda oksijen ve karbon oranında önemli azalma ve oksidasyon meydana geldiği, lignin kaybının tamamlandığı bildirilmiştir.	Hon vd (1986)
Batı kırmızı sediri, güney çamı ve duglas göknarı	Ksenon lambası ve sprej 2400 saat	Batı kırmızı sedirin 50 saat sonunda degradasyona uğradığı, FTIR sonuçlarına göre karboksil grupların 300 saat sonunda yoğunluğunun azaldığı, 2400 saat sonunda lignin kaybının tamamlandığı bildirilmiştir.	Anderson vd (1991a)
Sarı kavak, titrek kavak, beyaz meşe ve akçaağaç	Ksenon lambası ve sprej 2400 saat	Beyaz meşe ve akçaağaç örneklerinin yaşlandırma etkilerine karşı dayanıklı olduğu, sarı kavak ve titrek kavak örneklerinin diğer çalışmada yer alan iğne yapraklı örnekler ile benzer sonuç verdiği, yaşlandırma etkilerinin malzemenin kimyasal yapısına ek olarak yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. 2400 saat sonunda lignin kaybının tamamlandığı bildirilmiştir.	Anderson vd (1991b)
<i>Amburana crarensis</i> , <i>Anudenanthera macrocarpa</i> , <i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> , <i>Astronium urundeuva</i> , <i>Caesalpinia cf. pluviosa</i> , <i>Diploctropis purpurea</i> , <i>Guihourrii chodatiana</i> , <i>Phyllostylon rhamnoides</i> , <i>Schinopsis cf. quebracho-colorudo</i> , <i>Tabebuia spp.</i> , <i>Eucalyptus marginatu</i> ve <i>Tectona grandis</i>	Ksenon lamba 2400 saat	<i>Anudenanthera macrocarpa</i> ve <i>Schinopsis cf. quebracho-colorudo</i> türlerinin, tik türünden daha dirençli pürüzlülük değerleri verdiği, <i>Amburana cearensis</i> ve <i>Guihourtia chodatiana</i> 'nın boyutsal kararlılığı tikle hemen hemen aynı olduğu bildirilmiştir. Çalışılan tüm ağaç türlerinde yüzey çatlakları görülmüştür.	Williams vd (2001b)
Jatoba, angelim vermelho, garapeira ve marupa	UVA 350nm 100 saat	Tüm türlerin renk değişimi sonuçlarında, <i>Angelim vermelho</i> türünün UVA ışınlarına karşı en dayanıklı tür olduğu belirtilmiştir. Ekstraktların bu ağaçların UV ışınması üzerine önemli rolü olduğu belirtilmiştir.	Pastore vd (2004)
Kara kiraz, akçaağaç ve kırmızı meşe	UVA 340nm ve sprej 22,7 saat	Akçaağaç ve kırmızı meşenin yapay yaşlandırma sonrasında degradasyon oranının siyah kirazdan önemli ölçüde farklı olduğunu, siyah kirazın yaşlandırma etkilerine karşı daha dayanıklı olduğu bildirilmiştir.	Cui vd (2004)
Ekstrakte edilmiş ve edilmemiş <i>Acacia auriculaeformis</i>	1000W ksenon lambası ve 30°C sıcaklık 700 saat	Ekstrakte edilmemiş örneklerde hızlı renk değişimleri olduğu ancak süre ile azaldığı, ekstrakte edilmiş örneklerde ise sürekli artan renk değişimleri olduğu belirtilmiştir.	Pandey (2005)

Tablo 2. Devam ediyor.

Odun Türü	Yaşlandırma prosedürü	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
<i>Q. petraea</i> ve <i>Q. Robur</i>	UV ışığı ve 60°C kondenzasyon 216 saat	216 saat UV ışması sonrasında kazein ve gallik asidin, vescalagin ve ellagic asidin sadece 72 saat sonra yok olduğu bulunmuş, bunların meşe öz odununun renginin değişmesine neden olduğu belirtilmiştir.	Zahri vd (2007)
Gümüşü huş, sarıçam ve <i>Pinus roxburghii</i> kaplamaları	Ksenon ışık kaynağı ve 70 dk.- 244nm -argon iyon lazeri 900 saat	Yapraklı odun lignininin, iğne yapraklı ağaç ligninininden daha hızlı degrade olduğu bulunmuştur.	Pandey ve Vourinen (2008)
Sarıçam	UVA 340nm 168 saat	Önemli renk değişimleri ilk 24 saat içerisinde tespit edildiği bildirilmiştir.	Sharratt vd (2009)
Colorado ve balau	UVB-313nm 912 saat	Balau'nun, Colorado'dan daha yüksek pürüzlülük değeri verdiği (Rz) ve çatlak oluşumunun daha fazla olduğu, bükülmelerin daha fazla meydana geldiği, colorado örneklerinin balau'dan daha hızlı renk değişikliğine uğradığı belirtilmiştir.	Smit (2010)
Dişbudak, kırmızı meşe ve akçaağaç	İlk döngü UVA-340nm ve sprey-ikinci döngü UVA-340nm 1000 saat	Hem UV ışığı hem de su spreyi bulunan uygulamada, dişbudak akçaağaç ile çok benzer performans göstermiş, kırmızı meşe daha iyi bir performans sergilemiş; ancak sadece UV uygulamasında, dişbudak, akçaağaç ve kırmızı meşe ile karşılaştırıldığında daha yüksek renk değişikliği göstermiş, pürüzlülük değerlerinde en kötü sonuç kırmızı meşede elde edilmiştir.	Nzokou vd (2011)
Jatoba, massaranduba, tigerwood, angelim, amargoso, angelim ve pedra	1800W ksenon-ark lambası ve 60°C sıcaklık 144 saat	Örneklerin 2 saat içinde gözlenebilir renk değişimlerinin başladığını, 12 saatte ise önemli renk değişimleri olduğu belirtilmiştir.	Baar ve Gryc (2012)
Dişbudak, kavak, sarıçam ve ladin	Çift civa 800W lamba ile 30°C ve 80°C ortam sıcaklığı olan ışıma odası- Işıma olmadan termal bozunmanın etkisini göstermek için 80°C ortam sıcaklığı olan oda- herbir test 200 saat	Çam örnekleri, 80°C'de, ışık ve 30°C maruz kalınca %57 daha fazla kızarıklık değişikliği gösterdiği, ladin, dişbudak ve kavak için karşılık gelen yüzde değerleri ise sırasıyla % 33,% 40 ve% 15 olduğu, ekstraktif içeriğinin, termal bozulma da önemli etkisi olduğu bildirmiştir.	Persze ve Tovaj (2012)
Isıl işlemler Kuzey Amerikan çamı, titrek kavak ve huş	Ksenon lambası ve sprey 1512 saat	Örnekler, yaşlandırmanın erken dönemlerinde daha iyi renk stabilitesine sahipken, uzun süreli yaşlandırmaya maruz kalması durumunda ısıl işlem görmüş ve görmemiş örneklerin renk değişikliğinin çok benzer olduğunu belirtilmiştir.	Huang vd (2012)

Tablo 2. Devam ediyor.

Odun Türü	Yaşlandırma prosedürü	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
Sapelli, okaliptüs ve shorea	PN-EN 927-6'nın yaşlanma döngüleri 2000 saat	Akrilik reçine esaslı üst yüzey işlemi uygulanan örneklerin yüzeylerinde hiçbir kabarcıklanma, çatlama veya dökülme görülmediği belirtilmiş, en düşük (ΔE^*) değeri okaliptüs örneklerinde görülmüş, en yüksek değerler ise shorea için bulunduğu bildirilmiştir.	Sudol ve Sulik (2012b)
Bambu	1 saat 49°C'de suya daldırma, 3 saat 93°C'de buharlama, 20 saat -12°C'de dondurma, 3 saat 99°C'de kurutma, 3 saat 93°C'de buharlama ve kurutma 99°C'de 18 saat	Yapay yaşlandırma yapılan örneklerin mekanik özelliklerinin azaldığı, özellikle nod olan yerlerin bu duruma etkisinin yüksek olduğu, boyutsal stabilitenin ise kontrol örneklerinden daha iyi olduğu bildirilmiştir.	Tomak vd (2012)
<i>Entandrophragma cylindricum</i> , <i>Guibourtia tessmannii</i> , <i>Fraxinus mandshurica</i> ve <i>Cunninghamia lanceolata</i>	QUV / Sprey yapay yaşlanma odası	Dekoratif ahşap yüzeylerin renginin kırmızılık-yeşillik değerlerinin, yaşlanma süresinin artmasıyla azaldığı belirtilmiştir.	Shunzhi vd (2013)
Isıl işlemlili ladın, çam, dişbudak ve iroko	UVA 340nm 400-800 ve 1600 saat	Isıl işlem uygulamasının renk stabilitesini sağladığını ve örneklerin dış ortam koşullarına (kısa süre) karşı direnç sağladığını, 1600 saat hava koşullarına maruz kalan örneklerde maksimum mukavemet kayıplarının görüldüğü, sert ağaç türlerinin yumuşak ağaç türlerine göre daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir.	Yıldız vd (2013)
Isıl işlemlili (200 ve 180°C) tik öz ve diri odun	UVA 340nm 168 saat	Öz odunun, diri odundan daha iyi renk stabilitesine sahip olduğu, 180°C'de ısıl işlemlili diri odunun en iyi dayanım özellikleri sağladığı belirtilmiştir.	Garcia vd (2014)
Sarıçam, kayın, meşe ve adi ceviz	UVA 340nm ve 20°C kondenzasyon 150 saat	Doğal boyarmadde ile işlem görmüş örneklerin renk değişim değeri, sentetik boyaya göre daha iyi bulunduğu bildirilmiştir.	Yeniocak vd (2015)
Gökmar, sarıçam, melez, dişbudak, kiraz ve ceviz	UVA 295nm ve 20°C kondenzasyon 24 saat	Örneklerin yüzey kimyasındaki değişimler 6 saat sonrasında bile belirgin olarak meydana geldiği bildirilmiştir.	Timar vd (2016)
<i>A. mangium</i> , <i>Alnus acuminata</i> , <i>Bombacopsis quinata</i> , <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Gmelina arborea</i> , <i>Pinus caribaea</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>T. grandis</i> , <i>Terminalia amazonia</i> ve <i>Terminalia oblonga</i>	UVB 313 lamba ve kondenzasyon 400 saat	Poliüretan, yağlar ve wax ile koruma işlemine tabi tutulan örneklerde, açık yüzeyli ağaç türlerinde rengin koyulaştığı, koyu yüzeyli ağaç türlerinde yüzey renginin açıldığı bulunmuştur.	Salas vd (2016)

Tablo 2. Devam ediyor.

Odun Türü	Yaşlandırma prosedürü	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
Tall yağı ile emprenyeli (%5, 10, 15) sarıçam	UVA 340 nm lamba ve 0,75 W/m ² -8 saat, 15 dakika su spreyi	%10 konsantrasyonda tall yağı içerisine demir oksit katılması oluşturulan varyasyonlarda minimum renk değişimi elde edilmiştir.	Sivrikaya ve Can (2016)
Tik	UVA 340nm, kondenzasyon ve sprey 288 saat	Tik ağacının doğal renginde, hava koşullarına karşı önemli bir değişiklik olmamış, bu şekilde ahşabın orijinal rengi korunduğu bildirilmiştir.	Mesquita vd (2017)
Bangkirai, cumaru, cumaru rosa, ipe, jatobe, kusia ve massaranduba	UV ve VIS ışığı yayan 1800W ksenon lamba ve 20±1°C sprey 12 hafta	Örnek yüzeyinde çatlak, ipe hariç tüm test örneklerinde renk koyulaşması tespit edilmiştir.	Reinprecht vd (2018)
Karaçam	UVA 340 nm, 40±3°C kondenzasyon ve sprey 12 hafta	Reçinenin bozunmayı geciktiri etkisi bulunmuştur.	Tintner ve Smidh (2018)
Kayın, akçaağaç, kırmızı meşe, Amerikan kara-cevizi, ve adi ceviz	30°C 30 gün 60°C 60 gün 90°C 90 gün	Renk değişimi en fazla 30°C termal yaşlandırma ile elde edildiği, parlaklık ise genel olarak tüm yaşlandırma tiplerinde azaldığı bildirilmiştir.	Ayata vd (2018)
Adi ceviz, dişbudak, kiraz, meşe, akçaağaç, tik, mazel, beli, limba, anigre, tulipe, sapelli, amerikan cevizi ve okalıptüs, kayın ve çam	UVA 340nm ve 50°C kondenzasyon- 1512 saat	Koyu renkli ağaç türlerin yüzey renginin açıldığı, açık renkli türlerin yüzey renginin koyulaştığı, 168. saat sonrasında genel olarak lignin degradasyonunun tamamlandığı, pürüzlülük test süresi sonuna kadar her bir tür için artış gösterdiği, özellikle limba hariç parlaklık değerlerinin neredeyse stabil kaldığı, eş zamanlı olarak doğal dış ortam testi yapılan örneklerle modelleme oluşturulduğu bildirilmiştir.	Arpacı (2020)

Tablo 3. Ahşap malzemenin doğal yaşlandırmasının değerlendirildiği bazı çalışmalar.

Odun Türü	Doğal dış ortam koşulları	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
Ihlamur ve sarıçam	Princes Risborough, İngiltere-45° açı 5-24 ay	Çekme deneyi sonucunda, mekanik direncin dış ortam koşullarından etkilendiği, sebebi ise selülozun degradasyona uğraması olarak belirtilmiştir. Örneklerde belirgin bir yüzey bütünlüğü kaybı görülmüştür.	Derbyshire ve Miller (1981)
Kırmızı meşe, beyaz meşe, sarı-kavak ve Amerikan sığla ağacı	Blacksburg Virjinya- 45° açı 150 gün	30 gün sonunda oksijen ve karbon oranında önemli azalma ve oksidasyon meydana geldiği, lignin kaybının tamamlandığı bildirilmiştir.	Hon vd (1986)

Tablo 3. Devam ediyor.

Odun Türü	Doğal dış ortam koşulları	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
Sarıçam ve ihlamur	Avustralya-45° açı 10, 20, 40, 60, 80 ve 100 gün	Ağırlık kayıplarının suda çözünebilir ekstraktiflerin yıkanmasından öte lignoselülozik maddelerin degradasyonu nedeniyle oluştuğunu, yaşlandırma deneylerinde büyük boyutlu örneklerde oluşan ağırlık kayıpları ekstraktiflerin yıkanmasına atfedilirken, örnek boyutları küçültüldüğünde bu durumun lignoselülozik maddelerin degradasyonu nedeniyle oluştuğu belirtilmiştir.	Evans ve Banks (1988)
<i>Hamaecypris formosensis</i> , <i>Pinus taiwanensis</i> , <i>Tsuga chinensis</i> , <i>Picea morrisonicola</i> , <i>Tawania cryptomerioides</i> , <i>Acacia confusa</i> , <i>Castanopsis carlesii</i> , <i>Schima superba</i> , <i>Tectona grandis</i> , <i>Alnus formosana</i> , <i>Lithocarpus amygdalifolia</i> , <i>Pasania [Lithocarpus] ternaticupula</i> , <i>Pasania [Lithocarpus] brevicaudata</i> , <i>Fraxinus griffithii</i> , <i>Litsea nantoensis</i> ve <i>Zelkova formosana</i>	Tayvan 3 farklı bölge 7 yıl	Mekanik özellikler üzerindeki etkiler incelendiğinde, sırasıyla; darbe bükülme mukavemeti > kopma modülü > esneklik modülü sonuçlarının elde edildiği, mekanik özelliklerde meydana gelen değişikliklerin iklime göre değişmekte olduğu bildirilmiştir.	Wang (1990)
Radiata çam kaplamaları	Avustralya- 45° açı 30 gün	4 saatlik yaşlandırma sonrasında delignifikasyonun başladığını, 3 gün sonra önemli ölçüde artış gösterdiği, 6 gün sonunda ise delignifikasyonunun tamamen gerçekleştiğini, 30. gün sonunda lignin miktarı %62 oranında azaldığı bildirilmiştir.	Evans vd (1996)
Tulipe, çam, kırmızı meşe ve kavak	Kazık testi- Hawai	11 farklı emprenye maddesi uygulanarak termit ve mantar etkileri araştırılmış, ACQ, kreozot ve bakır sitrat maddelerinin önemli derecede dayanımı arttırdığı bildirilmiştir.	Laks vd (1997)
Isıl işlemlerli çam ve ladin	Finlandiya- 45° açı 5 yıl	Ticari boyalar ile korunan ısıl işlemlerli örneklerin renk ve pürüzlülük değerlerinin stabil kaldığı, koruma yapılmamış örneklerde işe pürüzlülüğün önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir.	Jämsä vd (2000)
Sekoya, boylu mazı, duglas köknarı ve çam	Wisconsin, ABD 16 yıl	İlk 7 yılındaki genç ve olgun odun erozyon hızları arasında büyük farklılıklar görülüp, sonraki yıllarda görülmediği, çam için yaklaşık 12 yıllık bir maruziyetin ardından önemli bir değişim meydana geldiği belirtilmiştir.	Williams vd (2001a)
Douglas göknarı, loblolly çamı, sarıçam, kırmızı sedir, kırmızı meşe ve sarı-kavak	Madison Wisconsin- 0, 45 ve 90°açı 10 yıl	En hızlı yaşlandırma 45 derecelik açı ile elde edilmiş, örneklerin tanjansiyel ve radyal yüzeylerdeki erozyon oranları arasında çok az farklılıklar bulmuşlardır.	Williams vd (2001c)

Tablo 3. Devam ediyor.

Odun Türü	Doğal dış ortam koşulları	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
Albizia, kapur, mahoni, nangka ve puspa	Endonezya-5° açı 2-32 hafta	Fotoakustik spektrumlar ile, yüzeye en yakın bölgede benzen halkaları içeren ahşap bileşenlerin hızlı degradasyona uğradığı, kızılötesi mikrospektroskopi ile suyun, UV ışınlarının lignin-hemiselüloz matrisini yok etmesini hızlandırdığı bildirilmiştir.	Sudiyani vd (2003)
Kapur ve puspa	Endonezya-5° açı 2-32 hafta	Her iki türün kimyasal yapısında fenil gruplarının hızla degradasyona uğradığı ve depolimerizasyon sonucu elde edilen ürünlerinin yağışla ahşabın yüzey katmanlarından yıkandığı, selülozun çok az kimyasal değişiklik gösterdiği bildirilmiştir.	Yamauchi vd (2004)
Sarıçam	Finlandiya- 45° açı 7 yıl	Kimyasal yapılarında değişikliklere göre işlem görmüş örneklerin, işlem görmemiş örneklere kıyasla daha dayanıklı olduğunu belirlemiştir.	Nuopponen vd (2004)
Sarı-kavak ve Amerikan sığıla ağacı	Wisconsin, ABD 16 yıl	Yağ bazlı yarı saydam bir boya ile yüzey işlemine tabi tutulan örneklerde iki kat sürüldüğünde hizmet ömrünün 5 yıl arttığı, 3 kat sürüldüğünde nemi hapsettiği için degradasyonun korunmamış örneklerle aynı olduğu bildirilmiştir.	Williams ve Feist (2004)
Coloroda ve balau	Güney Afrika 30 hafta	Balau'nun, Colorado'dan daha yüksek pürüzlülük değeri verdiği (Rz) ve çatlak oluşumunun daha fazla olduğu, bükülmelerin daha fazla meydana geldiği, ancak toplam renk değişimi (ΔE^*) Colorado örneklerinde Balau'dan daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir.	Smit (2010)
Tik	Nijerya- 45° açı 12 ay	Dış hava koşullarına maruz kalan tik ağacının, üç yaş sınıfı arasında hem radyal hem de teğetsel yönlerde çalışmaya karşı dirençli olduğu, renginde gözlenen değişiklikler ligninin ayrışmasıyla meydana geldiği bildirilmiştir.	Izekor ve Fuwape (2011)
Meşe ve kestane	Bartın- 45° açı 1 yıl	Örneklerin alkil bazlı koruyucu ile yüzey işlemi yapıldığında, doğal hava koşullarına karşı iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.	Sivrikaya vd (2011)
Isıl işlemlili kızılalağaç	Kazık testi- Samsun 3 yıl	Yüksek sıcaklık ve sürede ısıl işleme tabi tutulan örneklerin, dış ortam koşullarına ve mikroorganizma saldırılarına karşı daha dirençli yapıda olduğu, ısıl işlem uygulaması, kazıkların renk değişikliğini geciktirse de tam olarak önleyemediği bildirilmiştir.	Yıldız vd (2011)
Sapelli, okalipütüs ve shorea	Varşova 2 yıl	20 ay sonunda shorea örneklerinde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin diğer örneklerle kıyasla daha fazla artış gösterdiği, tüm örneklerin ilk 3 ayda parlaklık değerlerinde azalma görülürken, 6. aydan sonra neredeyse başlangıç seviyene kadar artış meydana geldiği, yine 6. aydan sonra toplam renk değişim değerlerinin shorea ve okalipütüs örneklerinde arttığı, tüm örneklerin yapışma özelliği ise yaşlandırma süresi boyunca aynı kaldığı bildirilmiştir.	Sudol ve Sulik (2012a)

Tablo 3. Devam ediyor.

Odun Türü	Doğal dış ortam koşulları	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
Afzelia, merbau, padauk, sipo, sapelli, meranti, moabi ve movingui	Belçika'da 3 ayrı bölgede- 90° açı 5 yıl	Genel olarak örnekler uygulanan üst yüzey işlem kalınlığı ne kadar fazla olursa, dış ortam koşullarına karşı dayanıklılığın o derece iyi olduğu belirtilmiştir (30 aylık yaşlandırma sonrasına göre). Su bazlı yüzey işlemi sonuçları iyi performans gösterse de, dış ortam koşullarına 2.5 yıl maruz kalma süresinden sonra deformasyona uğradığı, kaba tekstüre sahip sert ağaç türlerinde görülen bozulma oranının en yüksek düzeyde olduğu belirtilmiştir.	Windt vd (2014)
<i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus tereticornis</i> ve <i>Corymbia citriodora</i>	Brezilya-2 farklı alan- 45° açı 1 yıl	İlk 4 ayda örneklerde koyulaşma, sonra yüzey renginde açılma gözlemlendiği, renk değişimi, ağaç türüne, arazi koşullarına ve maruz kalma süresine göre değişim gösterdiği bildirilmiştir.	Mattos vd (2014)
Bambu	Güney Kore- 45° açı 12 ay	Renk değişiminde ilk 3 ay boyunca hızlı artış, 2 ve 3 yaşındaki bambularda çatlak oluşumu 1 yaşındakinden daha fazla, lignin ve hemiselüloz bozunması, kristalin selülozun ise nispeten sağlam kalmadığı bulunmuştur.	Kim vd (2016)
Ladin, karaçam, çam, douglas köknar, meşe, akasya, akçaağaç, kızılbaş ve kavak	Suchdol, Prag- 45° açı 12 ay	Çam, karaçam ve douglas köknarının 6 aylık periyotta, yüzeyin ıslanabilirliğinin artmadığı, nedeni olarak yoğunluk ve ekstraktif madde miktarının fazla olması, 12 ay periyodu sonunda tüm örneklerde hidrofilik yapının arttığı bildirilmiştir.	Oberhofnerova vd (2016)
<i>Eucalyptus botryoides</i> , <i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus paniculata</i> ve <i>Eucalyptus tereticornis</i>	Kazık testi- Brezilya 540 gün	<i>E. tereticornis</i> örneklerinin çürümeye karşı en dayanıklı tür olduğu, olgun odunun çürümeye karşı genç odunlardan daha dirençli olduğu, alan testinde tüm türlere ait örneklerin rengi daha koyulaştığı (karama), renk parametrelerinden sarımsı ve kırmızımsı pigmentleri kaybedildiği belirtilmiştir.	Delucis vd (2016)
<i>A. mangium</i> , <i>Alnus acuminata</i> , <i>Bombacopsis quinata</i> , <i>Cupressus lusitanica</i> , <i>Gmelina arborea</i> , <i>Pinus caribaea</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>T. grandis</i> , <i>Terminalia amazonia</i> ve <i>Terminalia oblonga</i>	Costa Rika-15° açı 500 gün	Poli ürethan, yağlar ve wax ile koruma işlemine tabi tutulan tüm örneklerde <i>A. mangium</i> hariç, mantar gelişimi gözlemlendiği, açık yüzeyli ağaç türlerinde rengin koyulaştığı, koyu yüzeyli ağaç türlerinde yüzey renginin açıldığı bulunmuştur. Poli ürethan ile kaplanmış numuneler haricinde diğer örneklerin yüzeyinde kabarma görülmediği bildirilmiştir.	Salas vd (2016)

Tablo 3. Devam ediyor.

Odun Türü	Doğal dış ortam koşulları	Elde edilen önemli bulgular	Kaynak
<i>Eucalyptus botryoides</i> , <i>Corymbia citriodora</i> , <i>Eucalyptus paniculata</i> ve <i>Eucalyptus tereticornis</i>	Brezilya 540 gün	Olgun odunun genç oduna kıyasla daha dirençli olduğu, rengin koyulaşması UV-VIS spektrumlarında 200-400 nm aralığındaki lignin ve ekstraktların bozulmasına bağlanırken, 550 nm'nin üzerindeki dalga boyu aralığında ekstraktlarının bozulması ise a* değerinin değişimi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Janka sertlik sonuçlarına göre okaliptüs türleri arasında doğal hava koşullarına karşı dayanıklılık sıralaması <i>E.Tereticornis</i> > <i>E.Paniculata</i> > <i>E.Botryoides</i> olduğu bildirilmiştir.	Delucis vd (2017)
Tik, mabberley ve basralocus	Çin 733 gün	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 bulunmuştur.	Liu vd (2017)
Sapelli	Hollanda- lap joint testi 20 yıl	Üretan alkali bazlı koruyucu madde ile kaplanmış örnekler lap joint testinde dayanıklılık göstermemiş, teste maruz bırakılmayan ama kaplanan örneklerin ise performansının arttığı, lap joint testinde koruyucu madde kullanılan örneklerde çürüme görülmediği ama çatlakların oluştuğu belirtilmiştir. İşlemin maliyetli olduğu bildirilmiştir.	Brischke vd (2017)
Meşe, kayın, karaçam ve ladin	İsviçre- 45° açı 6 ay	Tüm örneklerin 2 aylık FT-IR sonuçlarında ligninin kaybolduğu, ancak UV penetrasyonu yumuşak ağaçların olgun odun örneklerinde, genç oduna kıyasla az olduğu bildirilmiştir.	Volkmer vd (2017)
Bangkirai, cumaru, cumaru rosa, ipe, jatobe, kusia ve massaranduba	Slovenya-45° açı 36 ay	Örnek yüzeyinde çatlak, tüm test örneklerinde renk koyulaşması meydana gelmiştir.	Reinprecht vd (2018)
Isıl işlemlerle dişbudak, iroko, sarıçam ve ladin	Trabzon- 45° açı 4 yıl	Isıl işlem ile modifiye edilmiş örneklerin renk değişimi, dış ortama maruz bırakılan kontrol örneklerine göre çok daha az olmuştur.	Tomak vd (2018)
Borik asit ile emprenyeli sarıçam	Bartın-45 45° açı 18 Ay	İlk 12 ay dış ortam şartlarına maruz bırakılan test örneklerindeki toplam renk değişimi kontrol örneklerinden daha fazla olmuştur. Fakat 18 ay'ın sonunda BA ile emprenyeli örneklerde daha düşük renk değişimi bulunmuştur. Ayrıca BA ile emprenyeli örneklerin uzun süreli hava koşullarına maruz kalma sırasında lignin bozulmasını önleyemediğini ortaya konmuştur.	Can ve Sivrikaya (2019)
Adi ceviz, dişbudak, kiraz, meşe, akçaağaç, tik, mazel, beli, limba, anigre, tulipe, sapelli, amerikan cevizi ve okaliptüs, kayın ve çam	Bursa- 45° açı 1 yıl	Örneklerin yüzey renginin grileştiği, 153. gün sonrasında genel olarak lignin degradasyonun tamamlandığı, pürüzlülük test süresi sonuna kadar her bir tür için artış gösterdiği, özellikle limba hariç parlaklık değerlerinin neredeyse stabil kaldığı, eş zamanlı olarak yapay testi yapılan örneklerle modelleme oluşturulduğu bildirilmiştir.	Arpacı (2020)

Literatürde doğal haldeki çeşitli odun örneklerinin yapay yaşlandırma ve doğal dış ortam koşullarında bekletilmesi ve ardından çeşitli odun özelliklerinin araştırıldığı ve Tablo 2 ve 3’de detaylandırılan pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda yaşlandırma sonrasında genellikle renk değişimi ve yüzey kimyasındaki değişim araştırılmıştır. Çalışmalarda elde edilen sonuçlar, ağaç türü, öz odun-diri odun kullanımı, örnek boyutları, üst yüzey işlem uygulaması veya emprenye edilip edilmemesi, yaşlandırma test süresi, yapay yaşlandırma için cihazda kullanılan lamba, ışınım kapasitesi ve özellikleri, test prosedürü (UV, kondenzasyon ve su sprey döngüsü ve süreleri), doğal dış ortam koşulları için örneklerin bekletildiği yerin iklim ve arazi koşulları ile bozunduruca faktörlerin etkileri, örneklerin doğal dış ortam koşullarında kaç derecelik açı ile bekletilmesine göre değişiklik göstermiştir. Odunun yapay yaşlandırma ve doğal yaşlandırmasını konu alan çalışmalarda yapay yaşlandırma test cihazının kullanıldığı uygulamalar oldukça fazladır. Doğal dış ortam yaşlandırma testinin uzun yıllar sürmesi, güvenilir bir alana ihtiyaç duyulması, deney boyunca örnek kaybı olasılığı, yangın, rüzgar/fırtına gibi faktörlerin olumsuz etkileri nedeniyle uygulaması riskli yöntemlerdendir. Doğal dış ortam koşullarının simülasyonu olan yapay yaşlandırma testleri ise malzemeyi UV ve suyun değişken döngülerine maruz bırakmakta, dış ortam koşullarına kıyasla söz konusu riskler meydana gelmemektedir. Ancak gerçekte, dış ortam koşullarında mikroorganizma, aerosoller, rüzgar gibi bir çok farklı bozunduruca faktör de bulunmaktadır. Bu sebeple, ahşabın servis ömrünün daha doğru tespit edilmesi için laboratuvar koşullarındaki testlerin yanı sıra doğal dış ortam koşullarına maruz bırakılma gerekli görülmektedir (Metsa-Kortelainen ve Viitanen 2017; Brischke ve Veltrup 2015; Tomak vd 2018; Can ve Sivrikaya 2019).

5. Odunun Yapay Yaşlandırma ve Doğal Yaşlandırmasını Konu Alan Modelleme Çalışmaları

Yapay yaşlandırma test sonuçları çoğu kez akla malzemenin doğal dış ortam koşullarında kaç ay/yıl dayanacağı sorusunu da beraberinde getirmektedir. Bu konuda yapay yaşlandırma ve doğal yaşlandırma test sonuçları arasında modellemeler yapılmıştır. Malzemede çatlak oluşumu ve parlaklık kaybı için EN 927-6’da belirtilen yapay yaşlandırma döngüleri ve doğal yaşlandırma arasında Podgorski vd. (2003) tarafından bir model oluşturulmuştur. Tahmini kullanım ömrü (SLP) konusunda Martin (2001), Graystone (2004), Brischke (2007), Grull vd. (2011) ve Thelander vd. (2011) çalışmalarda bulunmuşlardır. Atlas Malzeme Test Cihazı Şirketine göre 2222 saat 340nm’de 0,35W/m² ışınım Güney Florida’da 1 yıla eşdeğer düşmektedir. Buchner vd. (2019) meşe ve duglas köknar örneklerini 24 hafta dış ortam testine ve 12 saat yapay 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. Yapay yaşlandırma testinde ışık, rüzgâr, nem ve sıcaklık değişimleri tamamen taklit edilemediğinden doğal yaşlandırma örnekleri ile karşılaştırılmamağı bildirmiştir. Tolvaj ve Mitsui (2005) kayın, yalancı akasya, zerkova, japon sediri, sarıçam, ladin, selvi ve bambu örneklerinde ksenon lambanın dış ortam koşullarına kıyasla 3 kez daha yüksek bir bozunduruca etkisi olduğunu belirtmiştir. Valverde ve Moya (2014) üst yüzeyi kaplanan *Acacia mangium*, *Cedrela odorata* ve *Tectona grandis* örneklerini yapay yaşlandırmaya (310nm) ve doğal dış ortam koşullarına (Costa Rica, 350 gün) maruz bırakmış, renk parametrelerini ölçmüş ve her iki yaşlandırma arasında bir model geliştirmiştir. Çalışmada, doğal yaşlandırmada 100 gün boyunca her hafta, 100-200 gün arası 2 haftada bir, ve daha sonraki süreci her ay ölçmüş, yapay yaşlandırmada ise her 50 saatte bir ölçümler gerçekleştirilmiştir. *Acacia mangium* yapay yaşlandırma analizinde 8,3 saatin, doğal yaşlandırmada 5,8 güne denk geldiği, *Cedrela odorata* yapay yaşlandırma analizinde 4 saatin, doğal yaşlandırmada 2,8 güne denk geldiği ve *Tectona grandis* için ise yapay yaşlandırma analizinde 16 saatin, doğal yaşlandırmada 11,2 güne denk geldiği bildirilmiştir. Kusia (*Nauclea diderrichii* Merrill), bangkirai (*Shorea obtusa* spp.), massaranduba (*Manilkara bidentata* spp.) ve jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) odunları bitkisel bir yağ ile muamele edildikten sonra 3 yıl Slovakya doğal dış ortam koşulları ile 12 ay yapay yaşlandırma testine tabi tutulmuş ve doğal dış ortam testine bırakılan örneklerin renk değişimleri 1, 3, 6, 12, 24 ve 36 ay sonunda, yapay yaşlandırma testine bırakılan örneklerin 12 ay boyunca her ay belirlenmiştir. Çalışmada doğal dış ortam ile yapay yaşlandırma testi arasında korelasyon ve modellemeler yapılmıştır. Dış ortamda test edilen tropik ağaçların renk değişimi bazı durumlarda yapay yaşlandırma testi tarafından modellenilebilir olduğu, ancak sonuçların her zaman net olmadığı bildirilmiştir (Panek ve Reinprecht 2016). Yine benzer bir çalışma 30 farklı üst yüzey madde ile işlem gören çam odunu örneklerinde yapılmıştır. Çalışmada örnekler 30 ay boyunca Viyana’da dış ortam koşullarına ve 10.000 saat yapay yaşlandırma test cihazına (1, 2, 3, 6 ve her 3 ayda bir ölçümler) konmuş ve üst yüzey maddelerin dayanımı tespit edilmiştir. Yapay ve doğal yaşlandırma test sonuçlarının korelasyonu, yapay yaşlandırmada hızlı çatlakların olduğunu, bu nedenle korelasyonun belirsiz olduğu rapor edilmiştir. Ancak yine de iki yaşlandırma yöntemi arasında dayanıklılığı tahmin etmek için bir eğri oluşturulup kabaca hizmet ömrü tahmini oluşturulabileceği bildirilmiştir (Grull vd 2014). Ruther ve Jelle (2013) çalışmasında çam, ladin ve kavak örneklerini açık havada dış ortam testi ve laboratuvar ortamında yapay yaşlandırma yaparak, oluşan renk değişimlerini modellemiş ve bu karşılaştırma sonucunda dış ortam şartlarına maruz kalan örneklerde görülen renk değişikliklerinin, uygulanan yapay yaşlandırma döngülerinin hiçbirinde aynı renk gelişim modelini yaratmayı başarmadığı belirtmiştir. Anderson vd (1991a) 2400 saat yapay yaşlandırma testine maruz bırakılan örneklerin,

Madison, Wisconsin’de 4-5 yıl dış ortam koşullarına denk geldiğini belirtmiştir. Liu vd (2016) pavlonya odunu örneklerini 3 tip yaşlandırılmaya maruz bırakmış (doğal iç ortam testi-6 ay Brasov koşulları, UV testi -72saat, sıcaklık yaşlandırma testi-288 saat) ve örneklerdeki renk değişimini ve yüzey kimyasını (FTIR) araştırmıştır. Doğal yaşlandırılmış örneklerde her ay ölçümler, UV testinde 24, 48 ve 72 saat, sıcaklık yaşlandırma testinde ise 72, 144, 216 ve 288 saat sonunda ölçümler alınmıştır. Sonuçlarda 3 aylık doğal iç ortam yaşlandırması 36 saatlik UV testine karşılık gelmiştir. Çalışmada daha uzun süreli UV testlerinin yapılmasının modellemeler için gerekli olduğu belirtilmiştir.

Çalışmalardan görüleceği üzere tüm bu parametreler ağaç türüne, lamba türüne, filtre kullanılıp kullanılmamasına, radyasyon süresine, örneklerin konulduğu ülkenin iklimsel parametrelerine ve bozunduruca faktörlerine göre değişiklik göstermektedir. Pandey ve Vourinen (2008), Liu vd (2016) ile Tolvaj vd (2011) de yapay yaşlandırma ile doğal dış ortam koşullarında yaşlandırma arasında korelasyona yönelik çalışmaların az olduğunu ve bu konuda yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu bahsetmiştir. Benzer çalışmaların ülkemiz iklim koşullarında yapılması, ağaç malzemelerin kullanım ömrünün tespiti açısından gerekmektedir.

6. Sonuç ve Tartışma

Literatürde ahşabın yaşlandırılması konu alan pek çok çalışma yapılmıştır. Yaşlandırma ve ağaç türü faktörlerine bağlı olarak odunun yüzey özelliklerinde önemli değişimler olmaktadır. Tahrip süresi uzadıkça bozunma daha yoğun olmaktadır. Bu nedenle, dış ortam koşullarında kullanılacak ahşap malzemenin hizmet ömrünün uzatılması için, mutlaka empenye edilmesi, modifikasyon uygulanması veya bir koruyucu madde ile üst yüzey işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Ahşap malzemeyi yaşlandıran çalışmalar incelendiğinde, doğal yaşlandırma ile yapay yaşlandırma arasında modelleme çalışmalarının az olduğu ve modelleme odaklı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Yurt dışında bunun için yapılan çalışmalar kısıtlı da olsa mevcuttur ancak ülkemiz iklim koşullarında ahşabın doğal dış ortam koşullarına karşı dayanıklılığın yapay yaşlandırma testleri ile belirlenmesine yönelik bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Yine literatür incelendiğinde yapay yaşlandırma ile doğal yaşlandırma arasında bir modelleme kurulabilmesi için, doğal yaşlandırma süresinin uzun olması gerekliliği gözle çarpmıştır.

Açıklama

Bu çalışmada derlenen bilgilerin bir kısmı Şebnem S. Arpacı’nın Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde 2020 yılında tamamladığı ‘Çeşitli Odun Türlerinin Dış Ortam Koşullarında Ultraviyole Işınlara Karşı Dayanımlarının Belirlenmesi’ başlıklı yüksek lisans tezinde sunulmuştur.

Kaynaklar

1. **Anderson, E. L., Pawlak, Z., Owen, N. L., Feist, W. C. (1991a).** Infrared studies of wood weathering. Part I: Softwoods, Applied spectroscopy, 45(4), 641-647.
2. **Anderson, E.L., Pawlak, Z., Owen, N.L., Feist W.C. (1991b).** Infrared Studies of Wood Weathering. Part II: Hardwoods, Applied Spectroscopy, 45 (4), 648-652.
3. **Arndt, U., Willeitner, H. (1969).** On Resistance Behaviour of Wood In Natural Weathering. Holz als Roh- und Werkstoff, 27(5), 179.
4. **Arpacı, Ş. S., (2020).** Çeşitli Odun Türlerinin Dış Ortam Koşullarında Ultraviyole Işınlara Karşı Dayanımlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Bursa.
5. **ASTM G154. (2006).** Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, American Society for Testing and Materials.
6. **ASTM G7/G7M – 13. (2013).** Standard Practice for Atmospheric Environmental Exposure Testing of Nonmetallic Materials.
7. **Ayata, U., Sahin, S., Esteves, B., Gurleyen, L. (2018).** Effect of Thermal Aging On Colour and Glossiness of UV System Varnish-Applied Laminated Parquet Layers, Bioresources,13(1),861-868.
8. **Baar, J., Gryc, V. (2012).** The Analysis of Tropical Wood Discoloration Caused By Simulated Sunlight, European Journal of Wood and Wood Products, 70(1-3), 263-269.
9. **Banana, A. Y. (1984).** Weathering Characteristics of The Wood of Four Australian Grown Timber Species, Ph.D. Thesis, Australian National University, Canberra, Australia.
10. **Brischke, C. (2007).** Untersuchung Abbaubestimmender Faktoren Zur Vorhersage Der Gebauchsdauer Feuchtebeanspruchter Holzbauteile. Hamburg. Universität.

11. **Brischke, C., Gellerich, A., Militz, H., Starck, M. (2017).** Performance of Coated and Uncoated Horizontal Lap- Joint Members During 20 Years of Outdoor Exposure, *Wood Research*, 62 (6), 883-894.
12. **Brischke, C., Veltrup, M.Y. (2015).** Moisture content and decay of differently sized wooden components during 5 years of outdoor exposure, *European Journal of Wood and Wood Products* , 73, 719–728.
13. **Bozkurt, A., Göker, Y., Erdin N. (1993).** Emprenye Tekniği. İstanbul, İstanbul Üniversitesi.
14. **Bozkurt, A. Y., Ünlügil, H., Erdin, N. (1995).** Odun Patolojisi. İstanbul, İstanbul Üniversitesi.
15. **Buchner, J., Irle, M., Belloncle, C., Michaud, F., Macchioni, N. (2019).** Fungal and bacterial colonies growing on weathered wood surfaces. *Wood Material Science & Engineering*, 14(1), 33-41.
16. **Can, A., Sivrikaya, H. (2019).** Surface characterization of wood treated with boron compounds combined with water repellents. *Color Research & Application*, 44(3), 462-472.
17. **Can, A., (2018).** Su İtici Maddeler İle Kombine Edilmiş Bazı Emprenye Maddelerinin Performansının İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Doktora Tezi, Bartın, Türkiye.
18. **Cui, W., Kamdem, D. P. (2004).** Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy (Drift) and Color Changes of Artificial Weathered Wood, *Wood and Fiber Science*, 36(3), 291–301.
19. **Çakıcıer, N., Korkut, D.S. (2009).** Ahsap Yüzelemlere Uygulanan Kaplama Katmanlarında Yaslandırma Testleri, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi* , 5 (1) , 75-90.
20. **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.
21. **Delucis, R. D. A., De Cademartori, P. H. G., Missio, A. L., Gatto, D. A. (2016).** Decay Resistance of Four Fast-Growing Eucalypts Wood Exposed to Three Types of Fields, *Maderas. Ciencia Y Tecnología*, 18(1), 33 – 42.
22. **Delucis, R. D.A., Diaz, R. H., Amico, S. C., Labıdı, J., Gatto, D. A. (2017).** Comparative Study of Weathering Behavior of Four Fast-Growing Eucalyptus Species, *Cellulose Chemistry and Technology*, 51 (9-10), 889-898.
23. **Derbyshire, H., Miller, E. R. (1981).** The photodegradation of wood during solar irradiation. *Holz Roh Werkstoff Journal*, 39(8), 341-350.
24. **EN 927-3. (2006).** Paints and varnishes, Coating materials and coating systems for exterior wood, Natural weathering test.
25. **EN 927-6. (2006).** Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Exposure of wood coatings to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water.
26. **Erdin, N. (2009).** Ahsap Konservasyonu. İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No;51, İstanbul.
27. **Evans, P., Chowdhury, J.M., Mathews, B., Schmalzl, K., Ayer, S., Kiguchi, M., Kataoka, Y. (2005).** Weathering and Surface Protection of Wood, *Handbook of Environmental Degradation of Materials*, 277-297.
28. **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.
29. **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.
30. Feist, W. C. (1990). Outdoor wood weathering and protection. Kansas City. 263-298.
31. **Feist, W. C., Hon, D. N. S. (1983).** Chemistry of weathering and protection. *The chemistry of solid wood*, 175-183.
32. **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
33. **Feist, W. C. (1982).** Weathering of wood in structural uses. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
34. **Feist, W. C. (1983).** Weathering and protection of wood. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
35. **Fengel, D., Wegener, G. (1984).** Wood: chemistry, ultrastructure. *Reactions*, 613, 1960-1982.
36. **Garcia, R. A., De Oliveira Lopes, J., Do Nascimento, A. M., De Figueiredo Latorraca, J. W. (2014).** Color Stability of Weathered Heat-Treated Teak Wood, *Ciencia Y Tecnología*, 16(4), 453 – 462.
37. **Graystone, J. (2004).** Performance of exterior wood coatings (state of the art trough COST E18), *Proceedings of the 4th Woodcoatings Congress*.
38. **Grull G., Spitaler, I., Truskaller M. (2011).** Moisture Protection and Performance During 5 Years Exposure of 19 Wood Coating Systems On A Cladding in Vienna, *International Research Group On Wood Protection*, Irg/Wp 11-40561.
39. **Grull, G., Tscherne, F., Spitaler, I., Forsthuber, B. (2014).** Comparison of wood coating durability in natural weathering and artificial weathering using fluorescent UV-lamps and water, *European Journal of Wood and Wood Products*, 72, 367–376.

40. **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.
41. **Hon, D. N.-S. (1991).** Photochemistry of Wood. *Wood and Cellulosic Chemistry*. Chap. 11, pp 525–555. New York: Marcel Dekker.
42. **Hon, D. N. S., Shiraishi, N. W. (2001).** Cellulosic chemistry. New York: Marcel Deckker.
43. **Hon, D. N. S., Minemura, N. (2001).** Color and Discoloration. *Wood and Cellulosic Chemistry*. DNS, 525.
44. **Huang, X., Kocaefe, D., Kocaefe, Y., Boluk, Y., Pichette, A. (2012).** A spectrophotometric and chemical study on color modification of heat-treated wood during artificial weathering, *Applied Surface Science*, 258, 5360–5369.
45. **Izekor, D. N., Fuwape, J. A. (2011).** Performance of Teak (*Tectona grandis* LF) wood on exposure to outdoor weather conditions. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 15(1).
46. **Jämsä, S., Ahola, P., Viitaniemi, P. (2000).** Long term natural weathering of coated ThermoWood, *Pigment & Resin Technology*, 29(2), 68-74.
47. **Kartal, S.N. (1992).** Odun Degradasyonunda Güneş Işığı ve Su Etkileri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 42,169-176.
48. **Kataoka, Y., Kiguchi, M. (2001).** Depth profiling of photo-induced degradation in wood by FT-IR microspectroscopy. *Journal of Wood Science*, 47(4), 325-327.
49. **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.
50. **Kim, Y. S., Lee, K. H., Kim, J. S. (2016).** Weathering characteristics of bamboo (*Phyllostachys puberescens*) exposed to outdoors for one year. *Journal of wood science*, 62(4), 332-338.
51. **Laks, P. E., Gutting, K. W., DeGroot, R. C., Lebow, S. T., Lebow, P. K., Foster, D. O., Brooks, K. M. (1997).** Field Performance of Wood Preservative Systems in Secondary Timber Species. International Reserch Group On Wood Preservation Section III: IRG/WP 97-30152, 0-12.
52. **Liu, R., Pang X., Yang, Z. (2017).** Measurement of three wood materials against weathering during long natural sunlight exposure, *Measurement*, 102, 179–185.
53. **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.
54. **Martin, J. W. (2001).** Advances İn Predicting The Service Life of Coatings, *Proceedings of The Cost E18 Seminar Life Time Prediction*.
55. **Mattos, B. D., De Cademartori, P. H. G., Lourençon, T. V., Gatto, D. A. (2014).** Colour Changes of Brazilian Eucalypts Wood By Natural Weathering, *International Wood Products Journal*, 5(1), 33-38.
56. **Mesquita, R. R. S., Gonçalves, J. C., De Paula, M. H. (2017).** Comportamento Da Madeira De *Tectona Grandis* Frente Ao Intemperismo, *Revista Floresta Issn Eletrônico*, 1982-4688.
57. **Metsä-Kortelainen, S., Viitanen, H. (2017).** Durability of thermally modified sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce in the modified double layer test. *Wood Material Science & Engineering*, 12(3), 129-139.
58. **Nuopponen, M., Wikberg, H., Vuorinen, T., Maunu, S. L., Jamsa, S., Viitaniemi, P. (2004).** Heat-Treated Softwood Exposed to Weathering, *Journal of Applied Polymer Science*, 91, 2128–2134.
59. **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.
60. **Nzokou, P., Kamdem, P. D., Temiz, A. (2011).** Effect of accelerated weathering on discoloration and roughness of finished ash wood surfaces in comparison with red oak and hard maple, *Progress in Organic Coatings*, 71, 350–354.
61. **Oberhofnerová, E., Pánek, M. (2016).** Surface wetting of selected wood species by water during initial stages of weathering. *Wood research*, 61(4), 545-552.
62. **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.
63. **Pandey, K. K. (2005).** A note on the influence of extractives on the photodiscoloration and photodegradation of wood, *Polymer Degradation and Stability*, 87, 375–379.
64. **Pandey, K. K., Vuorinen, T. (2008).** Comparative study of photodegradation of wood by a UV laser and a xenon light source, *Polymer Degradation and Stability*, 93(12), 2138-2146.
65. **Panek, M., Reinprecht, L. (2016).** Effect of vegetable oils on the colour stability of four tropical woods during natural and artificial weathering, *Journal of Wood Science*, 62, 74–84.
66. **Pastore, T. C. M., Santos, K. O., Rubim, J. C. (2004).** A Spectrophotometric Study On The Effect Of Ultraviolet Irradiation of Four Tropical Hardwoods, *Bioresource Technology*, 93, 37–42.
67. **Persze, L., Tolvaj, L. (2012).** Photodegradation of wood at elevated temperature: Colour change. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 108, 44-47.
68. **Podgorski, L., Arnold, M., Hora, G. (2003).** A Reliable Artificial Weathering Test For Wood Coatings, *Coatings World*, 39–48.

69. **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.
70. **Rüther, P., Jelle, B. P. (2013).** Color changes of wood and wood-based materials due to natural and artificial weathering. *Wood Material Science & Engineering*, 8(1), 13-25.
71. **Salas, C., Moya, R., Fonseca, L. V. (2016).** Optical Performance of Finished and Unfinished Tropical Timbers Exposed To Ultraviolet Light In The Field In Costa Rica, *Wood Material Science & Engineering*, 11:2, 62-78.
72. **Sharratt, V., Hill, C. A. S., Kint, D. P. R. (2009).** A Study of Early Colour Change Due To Simulated Accelerated Sunlight Exposure in Scots Pine (*Pinus Sylvestris*), *Polymer Degradation and Stability*, 94, 1589–1594.
73. **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.
74. **Sivrikaya, H., Can, A. (2016).** Effect of weathering on wood treated with tall oil combined with some additives, *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(4), 723-732.
75. **Sivrikaya, H., Hafizoglu, H., Yasav, A., Aydemir, D. (2011).** Natural Weathering of Oak (*Quercus Petrae*) and Chestnut (*Castanea Sativa*) Coated With Various Finishes, *Color Research and Application*, 36 (1).
76. **Smit, N.H. (2010).** Weathering Behaviour of Colorado (*Eucalyptus Camaldulensis* and *Eucalyptus Tereticornis*) and Balau (*Shorea Spp.*), *Forest and Wood Science*, 10019.1 4202.
77. **Sudiyani, Y., Imamura, Y., Yamauchi, S. D. D. (2003).** Infrared spectroscopic investigations of weathering effects on the surface of tropical wood, *Journal of Wood Science*, 49, 86–92.
78. **Sudol, E., Sulik, P. (2012a).** Aging Resistance of Coats Applied On Window Joinery Made of Selected Exotic Wood Species. Part 1. Aging Under Natural Conditions, *Sggw Forestry and Wood Technology*, 80, 81-86.
79. **Sudol, E., Sulik, P. (2012b).** Aging Resistance of Coats Applied On Window Joinery Made of Selected Exotic Wood Species. Part 2. Artificial Aging In A UV Test Apparatus, *SGGW Forestry and Wood Technology*, 80, 87-92.
80. **Temiz, A. (2005).** Benzetilmiş Dış Hava Koşullarının Emprenyeli Ağaç Malzemeye Etkileri, Doktora Tezi. KTU, Fen Bilimleri Enstitüsü.
81. **Temiz, A., Terziev, N., Eikenes, M., Hafren, J. (2007).** Effect of accelerated weathering on surface chemistry of modified wood, *Applied Surface Science*, 253, 5355-5362.
82. **Temiz, A., Yildiz, U.C., Aydin, I., Eikenes, M., Alfredsen, G., Colakoglu, G. (2005).** Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test, *Applied Surface Science*, 250, 35-42.
83. **Terzi, E., (2008).** Amonyum bileşikleri ile empenye edilen ağaç malzemenin yanma özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
84. **Thelandersson, S., Isaksson, T., Suttie, E., Frühwald, E., Toratti, T., Grüll, G. (2011).** Quantitative design guideline for wood outdoors above ground applications. *International Research Group on Wood Protection*, IRG/WP 11-20465.
85. **Timar, M. C., Varodi, A. M., Guraç, L. (2016).** Comparative Study of Photodegradation of Six Wood Species After Short-Time UV, *Exposure wood Science and Technology*, 50, 135–163.
86. **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.
87. **Tolvaj, L., Mitsui, K. (2005).** Light Source Dependence of The Photodegradation of Wood, *Journal of Wood Science*, 51, 468–473.
88. **Tolvaj, L., Persze, L., Albert, L. (2011).** Thermal Degradation of Wood During Photodegradation, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 105, 90–93.
89. **Tomak, E. D., Topaloglu, E., Ay, N., Yildiz, U. C. (2012).** Effect of accelerated aging on some physical and mechanical properties of bamboo. *Wood science and technology*, 46(5), 905-918.
90. **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.
91. **TS 8106–2 ISO 4892–2, (1998).** Plastikler–Laboratuvar Işın Kaynaklarına Maruz Bırakma Metotları– Bölüm 2: Ksenon Ark Lambası, Türk Standartları Enstitüsü, Necatibey Caddesi, No 112, Bakanlıklar/ Ankara.
92. **Valverde, J. C., Moya, R. (2014).** Correlation and Modeling Between Color Variation and Quality of The Surface Between Accelerated and Natural Tropical Weathering In *Acacia Mangium*, *Cedrela Odorata* and *Tectona Grandis* Wood With Two Coating, *Color Research And Application*, 39, 5.
93. **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.
94. **Wang, S. Y. (1990).** Reduction of Mechanical Properties of Seventeen Taiwan Native-Wood Species

- Subjected To A Seven-Year Exposure In An Outdoor Environment, Journal of The Japan Wood Research Society, 36, 69-77.
95. **Williams, R. S., Feist, W. C. (2004).** Durability of Yellow-Poplar and Sweetgum and Service Life of Finishes After Long-Term Exposure, Forest Products Journal, 54, 7/8.
 96. **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.
 97. **Williams, R. S., Knaebe, M. T., Evans, J. W., Feist, W. C. (2001c).** Erosion rates of wood during natural weathering. Part III. Effect of exposure angle on erosion rate, Wood and fiber science, 33(1), 50-57.
 98. **Williams, R. S., Knaebe, M. T., Sotos, P. G., Feist, W. C. (2001a).** Erosion Rates of Wood During Natural Weathering. Part I. Effects of Grain Angle and Surface Texture, Wood and Fiber Science, 53705, 2398.
 99. **Williams, R. S., Miller, R., Gangstad, J. (2001b).** Characteristics of Ten Tropical Hardwoods From Certified Forests In Bolivia Part I Weathering Characteristics and Dimensional Change, Wood and Fiber Science, 3314, 8-626.
 100. **Williams, R.S. (2005).** Weathering of wood, Handbook of wood chemistry and wood composites. R. Florida. 139-185.
 101. **Windt, I. D., Bulcke, J. V., Wuijens, I., Coppens, H., Acker, J. V. (2014).** Outdoor Weathering Performance Parameters of Exterior Wood Coating Systems On Tropical Hardwood Substrates, European Journal Of Wood and Wood Products, 72, 261-272.
 102. **Yamauchi, S., Sudiyani, Y., Shuichi, Y. I. (2004).** Depth Profiling of Weathered Tropical Wood Using Fourier Transform Infrared Photoacoustic Spectroscopy, Journal of Wood Science, 50, 433-438.
 103. **Yeniocak, M., Goktas, O., Colak, M., Ozen, E., Ugurlu, M. (2015).** Natural Coloration of Wood Material By Red Beetroot (Beta Vulgaris) and Determination Color Stability Under Uv Exposure, Maderas. Ciencia Y Tecnología, 17, 711-722.
 104. **Yıldız, Ü.C. (2000).** Odun Zararlıları Ders Notları (Basılmamış). Trabzon: KTÜ, Orman Fakültesi.
 105. **Yıldız, S., Yıldız, U. C., Tomak, E. D. (2011).** The effects of natural weathering on the properties of heat-treated alder wood. BioResources, 6(3), 2504-2521.
 106. **Yıldız, S., Tomak, E. D., Yıldız, U. C., Ustaomer, D. (2013).** Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood. Polymer degradation and stability, 98(8), 1419-1427.
 107. **Zabel, R.A., Morrell, J.J. (1992).** Wood Microbiology: Decay and Its Prevention, UK: Academic Press., 254-25
 108. **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.
 109. **Zhang, J., Kamdem, P.D., Temiz A. (2009).** Weathering of Copper-Amine Treated Wood, Applied Surface Science, 256, 842-846.
 110. **Zivković, V., Arnold, M., Radmanović, K., Richter, K., Turkulin, H. (2014).** Spectral sensitivity in the photodegradation of fir wood (*Abies alba* Mill.) surfaces: colour changes in natural weathering. Wood science and technology, 48(2), 239-252.