

Tarihi ahşap yapılarda ahşabın doğal yaşlanması: Kaynakların incelenmesi

Natural aging of wood in historic wooden buildings: Literature review

Demet Sürücü¹

Mualla Balaban Uçar¹

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman
Fakültesi, İstanbul

Sorumlu yazar (Corresponding author)

Demet Sürücü

demet.surucu@bau.edu.tr

Geliş tarihi (Received)

07.06.2025

Kabul Tarihi (Accepted)

19.08.2025

Sorumlu editör (Corresponding editor)

Hasan Özdemir

hozdemir@duzce.edu.tr

Atıf (To cite this article): Sürücü, D., & Balaban Uçar, M. (2025). Tarihi ahşap yapılarda ahşabın doğal yaşlanması: Kaynakların incelenmesi. Ormanlık Araştırma Dergisi, 12(2), 161-169.

DOI: <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1729573>

Öz

Ahşap, yenilenebilir tek yapı malzemesi olması nedeniyle yüzyıllar boyu kullanılmış, ağırlığına oranla taşıma gücünün yüksek olması, kolay işlenebilmesi, dayanıklılığı, doğal renkleri, dokusu gibi birçok özelliği ile ön plana çıkmıştır. Çalışmada amaç ahşabın doğal yaşlanmasına ait literatürdeki verileri inceleyerek yaşlanma sürecini tanımlamak ve yaşlanmanın ahşabın kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini ortaya koymaktır. Günümüzde doğal yaşlanmış ahşaba ait verilerin oldukça sınırlı olması ve genelde hızlandırılmış yaşlanmış örneklerle bu eksikliğin giderilmeye çalışılması bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Sürdürülebilir bir yapı malzemesi olan ahşabın yerinde korunması, geri dönüşümü ve/veya yeniden kullanımı da gezegenimizi korumak için çalışan araştırmacıların son yıllarda yoğunlaştığı konulardır. Bilimsel verilere dayanarak ahşabın doğal yaşlanmasının gözden geçirilmesi, ahşabın kullanım ömrünü uzatmaya yardımcı olacak ve yeni araştırmaları teşvik edecektir.

Anahtar kelimeler: Doğal yaşlanmış ahşap, kimyasal değişim, ahşap koruma, fiziksel değişim

Abstract

Wood has been used for centuries as the only renewable construction material, standing out with its high strength relative to its weight, workability, durability, and natural aesthetic qualities such as color and texture. The objective of this study is to examine the process of natural aging in wood by reviewing existing literature and to identify how this aging process influences the material's chemical, physical, and mechanical properties. Nowadays, the scarcity of data on naturally aged wood and the common attempt to overcome this limitation by using accelerated aging samples highlight the importance of this study. In recent years, researchers working to protect our planet have increasingly focused on the preservation, recycling, and reuse of wood, which is recognized as a sustainable building material. Reviewing the natural aging of wood based on scientific data will help extend its service life and encourage new research.

Keywords: Naturally aged timber, chemical degradation, wood protection, physical changes



Creative Commons Atıf -
Türetilmez 4.0 Uluslararası
Lisansı ile lisanslanmıştır.

1. Giriş

Ahşap, yenilenebilir tek yapı malzemesi olması nedeniyle yüzyıllar boyunca kullanılmış, ağırlığına oranla taşıma gücünün yüksek olması, kolay işlenebilmesi, dayanıklılığı, doğal renkleri, dokusu gibi bir çok özelliği ile ön plana çıkmıştır. Ahşap, barınma alanlarının tasarlanmasında kullanılan ilk malzemelerdendir. Anadolu'da bozulmadan ayakta duran en eski ahşap yapı: M.Ö 740'a tarihlenen ve Ankara- Polatlı'daki Gordion Kazıları sırasında gün ışığına çıkan Kral Midas'ın babası için yaptırdığı dikdörtgen planlı; 5,15x6,20 m ebatlı mezar odasıdır. Mezar odasının toprakla temas eden noktalarında ardıç (*Juniperus*) cinsi bir ahşabın, hemen üstünde sedir (*Cedrus*) ve yan duvarlarda ise çam (*Pinus*) kerestesinin kullanıldığı belirlenmiştir (Biggs ve ark., 2016). Mezar odasının yapımında tercih edilen ahşap cinsleri ve bunların kullanım yerleri; inşa edildiği yıllarda Anadolu'da muhteşem bir ahşap bilgisinin olduğunun kanıtıdır (Sürücü, 2024).

Dünyada keşfedilen en eski ahşap yapı ise UNESCO Dünya Miras Alanı olmaya aday bir bölge olan Zambia'nın Kalambo Şelalesi yakınlarında, 2019 yılındaki kazılarında bulunan çentikli bir dal, kesilmiş iki büyük kütük, bir kazma çubuğu ve bir kamadan oluşan ve 476 bin yıl öncesine tarihlenen kalıntılardır. Ahşabın Homo Sapiens'ten önce de yapılarında kullanılan en eski malzeme olduğunun keşfi, aynı zamanda ahşabın kolay işlenebilir olduğunun da en önemli kanıtıdır (Barham ve Duller, 2023).

Doğal malzeme olan ahşap; mantarlar, bakteriler ve böcekler tarafından biyolojik olarak degradasyona uğrar, ayrışır ve yaşlanır. Ortamdaki nem ve UV (mor ötesi) ışınlar ahşabın yaşlanmasını hızlandırır. Ahşap biyolojik bozulmalardan, iklim koşullarının sert etkilerinden korunduğu koşullar altında yüzyıllarca hizmet vermeye devam edebilir. Tarihi ahşap yapılarıdaki yavaş bozunma *yaşlanma* olarak adlandırılmaktadır. Ahşabın yaşlanmasının araştırılması sadece tarihi ahşap yapıların korunması ve restorasyonu için değil, aynı zamanda temel ahşap araştırmaları için de önem taşımaktadır (Matsuo ve ark., 2011).

Bu çalışmada amaç; ahşabın doğal yaşlanmasına ait literatürleri inceleyerek yaşlanma sürecini tanımlamak ve yaşlanmanın ahşabın kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Günümüzde doğal yaşlanmış ahşaba ait verilerin çok sınırlı olması ve genelde hızlandırılarak yaşlanmış örneklerle bu eksikliğin giderilmeye çalışılması bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır. Bilimsel verilerle ahşabın doğal yaşlanmasının gözden geçirilmesi, kullanım

ömrünü uzatmaya yardımcı olacak ve yeni araştırmaları teşvik edecektir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Ahşabın yaşlanması

Yaşlanma, bir malzemenin uzun süreli depolanması veya kullanımı süresince fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinde meydana gelen geri dönüşü olmayan değişimler olarak tanımlanır.

Yaşlanma; her yerde bulunan oksijenin ve suyun katılımı altında ağaçta yavaş ilerleyen iyi tanımlanmamış bir bozulmaya işaret eder. Ahşabın yaşlanması ve ahşap bileşenlerindeki değişim ağacın kesilmesi ile başlar (Fengel, 1991). Ahşabın yaşlanması iki temel başlıkta incelenebilir.

2.1.1. Doğal yaşlanma

Ahşabın oksijen, nem, sıcaklık, yağmur ve ultraviyole (UV) ışınım gibi çevresel etmenlere uzun süreli maruz kalması sonucu meydana gelen, yavaş ilerleyen ve ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerinde geri dönüşümü mümkün olmayan değişimler olarak tanımlanabilir. Bu bağlamda, malzeme bozulmaları yalnızca iklim ve çevresel etmenlerden değil, aynı zamanda odunu tahrip eden biyolojik organizmalardan; böcek, mantar, bakteri ve deniz canlılarından da kaynaklanabilmektedir (Unger ve ark., 2001). Ahşabın doğal yaşlanma sürecinde, oksijenli (*aerobik*) ve oksijensiz (*anaerobik*) ortam koşullarının birbirinden ayırt edilmesi büyük önem taşımaktadır (Fengel, 1991). Ahşabın kimyasal bileşenleri ve mikro yapısındaki değişimler, fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişime neden olmaktadır. Doğal yaşlanmış ahşap ile yeni ahşabın özelliklerini karşılaştıran birçok araştırma yapılmıştır (Kohara, 1955; Fengel, 1991; Giachi ve ark., 2003; Esteban ve ark., 2006; Popescu ve ark., 2007). Doğal yaşlanma da kendi içinde iki ana sınıfta ele alınır.

a) Oksijenli koşullarda doğal yaşlanma

Dış mekânda açık havada kullanımda gerçekleşen yaşlanmadır. Bu durumda ahşap, güneş ışığı, nem, ısı değişimleri, rüzgâr, mantar ve böcek gibi biyolojik etkenler ve hava ile temas halindedir. Bu etkenler sebebi ile ahşapta görünen değişimler şu şekilde sıralanabilir:

- Lignin bozunması, özellikle UV ışınımına maruz kalan yüzeylerde gerçekleşir. Bu durum, sararma ve gri renk oluşumu gibi görünür yüzey değişimlerine neden olur.
- Ahşabın nem dengesi bozulabilir, bu ise

çatlaklara, deformasyonlara ve lif ayrılmalarına yol açar. Ahşap yüzeyinde oksidasyon ve hidro-liz gibi kimyasal reaksiyonlar gerçekleşir.

- Mekanik özelliklerde azalma görülebilir; özel-likle eğilme ve çekme dayanımında düşüş göz-lenmiştir.
- Ahşap, iç mekânda kuru havada saklandığında en kararlı halini korur. Uygun koşullar (düşük sıcaklık ve UV ışınımı, sıvı su ile temasın ol-maması) sayesinde, böcek ya da mantar saldırısı olmadıkça, yapısında meydana gelen yaşlanma etkileri minimal görünür; bu durum, yaşı 4400 yıla kadar ulaşan arkeolojik ahşap için bile ge-çerlidir (Nilsson ve Daniel, 1990).
- Dış mekânda bulunan ahşap ise doğrudan gü-neş ışığına maruz kalır ve UV ışınımı nedeniyle kimyasal bozunmaya uğrar. Norrström (1969)'e göre, lignin toplam UV emilim katsayısının %80-%95'ine, karbonhidratlar %5-%20'sine ve ekstraktif maddeler ise yaklaşık %2'sine katkıda bulunur. Bu nedenle, lignin hücre çeperinin UV ışığına en hassas bileşenidir. Ayrıca, ligninin UV ışığını selüloza aktardığı ve bunun sonucunda se-lülozun bozunduğu da gösterilmiştir (Yoshimo-to, 1972).
- Fotodegradasyonun (ışıkla bozunma) yanı sıra, dış ortamlarda bulunan ahşabın maruz kaldığı yüzeysel ısı bozunma da göz önünde bulundurulmalıdır. Ahşap yüzeyinin maruz kaldığı gü-neş ışığının etkisiyle, yüzey sıcaklığı, rengine bağlı olarak 60-90°C'ye kadar yükselebilmekte-dir (Tolvaj ve Molnár, 2008).
- Rüzgâr ve yağmur gibi çevresel etmenler, foto-degrade olmuş bileşenlerin yüzeyden kolaylıkla uzaklaştırılmasına neden olan erozyonu hızlan-dırmaktadır (Unger ve ark., 2001; Németh, 1998).
- Ahşap, açık hava koşullarına maruz kaldığında, sıcaklık ve nemdeki periyodik değişimler ahşap yüzeyinde mekanik gerilimlere sebep olur (Bor-gin ve ark., 1975b).
- Bu çoklu çevresel etkiler, zamanla ahşabın yüzey tabakalarının bozunmasına yol açmakta ve so-nucunda karakteristik olarak çizgili ve gri renk tonlarına sahip bir yüzey oluşmaktadır (Unger ve ark., 2001).

b) Oksijensiz veya düşük oksijenli koşullarda doğal yaşlanma

Su altında, toprak altında veya kapalı ve karanlık ortamlarda depolama halinde gerçekleşen yaşlan-madır. Ahşabın toprak veya su altında olması duru-

munda oksijensiz koşullar ortaya çıkar. Bu odunda amorf selülozun hızlı bir şekilde uzaklaşması ve kristal selülozun amorf selüloza dönüşümü daha yavaş gerçekleşir (Chowdhury ve ark., 1967). Çok yavaş bir fosilleşme sürecinde, hücre çeperi bile-şenlerinde yüksek oranda karbonlaşma ve mineral-leşme, silifikasyon görülür (Fengel, 1991).

2.1.2. Yapay yaşlandırma (hızlandırılmış yaşlanma)

Doğal yaşlanmış ahşabın özellik değişimlerini araştırmak için çoğunlukla dış ortamın etkileri-ni ya da iç ortamda fotodegradasyon süreçlerini simüle etmek amacıyla çeşitli yapay yaşlandırma yöntemleri geliştirilmiştir (Chang ve Chang, 2001; Follich ve ark., 2010). Dolayısıyla yapay yaşlan-dırmanın sonuçları, doğal yaşlanma etkilerinin yalnızca bir kısmını yansıtabilir ve bu sonuçlar her zaman ve doğrudan gerçek yaşamın koşullarına genellenemez. Fakat araştırmalar ve ahşap koruma çalışmaları için önemli bir ön analiz aracı olarak büyük değer taşır.

3. Bulgular

3.1. Ahşabın doğal yaşlanmasının fiziksel etkileri

Ahşap mimari mirasının korunması, onarımı ve restorasyonunda ve ahşap yapılarıdaki periyodik bakımlarda görsel incelemenin doğru yapılması; korumanın sürekliliği ve bakım maliyetlerinin artmaması adına çok önemlidir. 2017 yılında Hin-distan- Yeni Delhi'de gerçekleşen; 19. ICOMOS (Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi; icomos.org) Genel Kurulu'nda kabul edilen Ahşap Mimari Mirasın Korunması İçin İlkeler'inde; "Ahşap kül-tür mirasını güvenceye almak, kültürel önemini korumak ve büyük müdahalelere olan gereksini-mini geciktirmek için, sürekli bakım ve izleme ile ilgili tutarlı bir strateji oluşturulmalıdır. İzle-me herhangi bir uygulama sırasında ve sonrasında kullanılan yöntemlerin etkisini, kullanılan ahşabın ve diğer malzemelerin uzun erimdeki davranışını denetlemek için yapılmalıdır" ifadeleri yer almak-tadır (Wik, 2018).

Görsel değerlendirmenin ölçütü olarak renk ön plana çıkar. Renk değişimleri (sararma, kararma, grileşme), yüzeydeki çatlaklar, lif ayrılmaları, küf, mantar veya böcek izleri, nem kaynaklı deforma-syonlar gibi belirtiler değerlendirilir. Ekstraktiflerin ahşabın renginin ortaya çıkmasında önemli bir rol oynadığı genel olarak kabul edilmektedir (Koll-mann ve Coté, 1968).

Doğal yani işlem görmemiş ahşabın güneş

radyasyonu, yani ultraviyole (UV), görünür ve kızılötesi (IR) ışık, nem (çiy, yağmur, kar, vb.), sıcaklık ve oksijen gibi hava koşullarının neden olduğu çevresel bozulmaya karşı hassas olduğu iyi bilinmektedir (Feist ve Hon, 1984). Renk değişimi, ağaç malzemenin fotokimyasal reaksiyonları başlatan elektromanyetik radyasyonun bütün dalga boylarını absorbe etmesinden kaynaklanır (Feist ve Hon, 1984). Genel olarak güneş ışığı, işlenmemiş ahşabı koyulaştırır. Daha sonra sarıya veya kahverengiye dönerken, bazı koyu renkli ağaçların rengi daha açık olma eğilimindedir (Hon ve ark., 1985).

Yaşlanma veya hava koşulları nedeniyle ahşapta meydana gelen değişiklikler birçok çalışmada incelenmiştir (Borgin ve ark., 1975, Fengel, 1991; Hon ve ark., 1985, Müller ve ark., 2003; Pandey ve Pitman, 2003, Popescu ve ark., 2005). Yapraklı ve ibrelili 11 türün odunları dış koşullarda 1 yıl bekletilmiş ve yüzey düzgünlüğü ile renginde meydana gelen değişimler ölçülmüş ve en az renklenme meşe (*Quercus*) odununda görülürken en fazla ladin (*Picea*) odununda belirlenmiştir (Oberhofnerová ve ark., 2017). Karadeniz Bölgesi'ndeki Giresun ilinde doğal yaşlanmış 88-120 yıl arasındaki 5 adet kestane (*Castanea sativa*) örneğindeki renk değerleri, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve renk değişimi ile pürüzlülüğün arttığı tespit edilmiştir (Topaloğlu ve Ustaömer, 2020).

Odunun renginde gözlenen varyasyonlar; ağacın türü (Nishino ve ark., 1998), genetik özellikleri (Bradbury ve ark., 2011) ve ağacın büyüdüğü çevresel koşullar (Derkyi ve ark., 2009) gibi faktörlerle belirlenmektedir. Ancak, ahşabın doğal renginin atmosferik koşullara maruz kalması sonucu kolayca bozulabilmesi, bu malzemenin önemli sınırlılıklarından biridir (Tolvaj ve Mitsui, 2005). Atmosferik koşullar arasında, güneş ışığından kaynaklı UV radyasyonu (295-400 µm), ahşap yüzeylerdeki fiziksel ve kimyasal değişikliklerin en önemli sebebidir (George ve ark., 2005).

Ahşabın, lignin ve odun ekstraktiflerinin foto-bozunması nedeniyle renk değiştirdiği kabul edilmektedir (Feist, 1990). Renk değişimi sürecinin ilk kısmı lignindeki α -karbonil, bifenil ve halka konjuge çift bağ yapılarının bozunmasından kaynaklı karbonil ve karboksil grupları gibi kromoforik grupların oluşması ve ekstraktiflerin içeriden odun yüzeyine doğru hareket etmesinden kaynaklanmaktadır (Hon ve Feist, 1992).

Renk değişiminin şiddeti yaşlanmanın başlangıcında yüksektir ve zamanla azalır (Kohara, 1955; Oltean ve ark., 2008; Miklečić ve ark., 2011, 2012). Örneğin yaşlanmış ladin (*Picea*), göknar (*Abies*), meşe (*Quercus*) ve hinoki (*Chamaecyparis obsuta*)

ağaçlarındaki parlaklıkta azalma ve doygunlukta artış gözlenmiştir; bu değişiklikler, düşük sıcaklıktaki ısıtma işlemle benzer sonuçları vermiştir (Bekhta ve Niemz, 2003; Brischke ve ark. 2007; Matsuo ve ark., 2011; Sonderegger ve ark., 2015a, 2015b).

Tarihi binalardan alınmış doğal yaşlanmış örnekler ile günümüz ısıtılmış odun örneklerinde renk değişimi Matsuo ve arkadaşları (2011) tarafından incelenmiştir; doğal yaşlanmadaki renk değişiminin ılımlı ve yavaş bir oksidasyon süreci olduğu belirlenmiştir.

Norveç ladini (*Picea abies*) ve yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) odunları, işlem görmemiş ve 4 farklı kaplama sistemi kullanılmış olarak 3 yıl dış koşullarda bırakılmış ve doğal yapıda meydana gelen değişimleri incelenmiştir; doğal yaşlanmada yalancı akasya odunundaki renk değerinin ladine kıyasla daha sabit olduğu tespit edilmiştir (Panek ve Reinprecht, 2014).

Dış koşullarda 6 yıl bekletilen tutkallanmış bambu (*Bambusa*) örneklerinde ise FTIR, X ışını fotoelektron spektroskopisi ve SEM gibi analizler yapılmış ve bu koşulların ligninde önemli değişime neden olduğu ve bunun sonucu renk değişiminin olduğu belirlenmiştir (Zhang ve ark., 2022).

3.2. Doğal yaşlanmanın ahşabın kimyasal bileşenlerine etkisi

Odun kimyasal yapı olarak üç temel bileşenden meydana gelmektedir. Selüloz odunda en fazla oranda bulunan bileşendir ve β -D-Glukoz birimlerinin birbirleri ile β (1-4) glikozidik bağlanması ile meydana gelen bir polisakkarittir. Odunda bulunan bir diğer önemli bileşen lignindir. Aromatik karakterdeki fenil propan birimlerinden meydana gelmiş olan üç boyutlu ve amorf yapı bir polimerdir. Polyozlar odunda bulunan üçüncü önemli polimer yapı olup polisakkarit bileşimindedir. Ahşabın doğal yaşlanmasında, odunun temel bileşenlerinin farklı kimyasal yapıda olması yaşlanmayla birlikte bozunmalara karşı farklı davranışlar göstermesine neden olur (Hedges, 1989; Fengel, 1991). Doğal olarak yaşlanmış, biyolojik olarak bozunmaya uğramamış göknar odunundaki ekstraktif madde miktarında belirgin bir artış, hemiselüloz miktarında ise düşüş (maksimum %24) görülürken, lignin ve holoselüloz miktarı ise neredeyse değişmemiştir (değişim %4) (Kačík ve ark., 2013).

Kohora ve Okamoto (1955), hinoki (*Chamaecyparis obsuta*) ve keyaki (*Zelkova serrata*) türlerinin 300-1300 yaşlar ve 240-650 yaşlar arasındaki ahşap örneklerindeki bileşenlerini analiz etmişlerdir. Tarihi yapılarda selülozik materyal miktarında

azalma görülürken çözünür madde miktarında artış olmuştur. Sert ağaç olan keyaki'de, hinoki'den fark edilir büyüklükte bir artış meydana gelmiştir. Selüloz kristalitesinde yeni ve yaşlanmış ahşap örneklerinde fark olduğu belirlenmiştir. Hinoki odununda ilk 100 yıl içinde kristalitede bir düşüş oluren, keyaki'de sürekli bir düşüş gözlemlenmiştir.

Avrupa sert (yapraklı) ağaçlarından, 150-180 yaşlarındaki ıhlamur (*Tilia*) ağacında hemiselülozlar bozunmuş (ksilan hidrolizi) ve levoglukoza içeriginde artış saptanmıştır. Bu artış, selüloz makromolekülünün daha düzenli kısmında artış olduğunu gösterir (Popescu ve ark., 2007). Meşe ağacında ise yaşlanmayla birlikte selüloz kristalin indeksinde artış belirlenmiştir (Gawron ve ark., 2012). Erhardt ve ark. (1996); 300-400 yaşlarında, yapısal amaçla kullanılan sarıçam (*Pinus sylvestris*) örneklerini incelemiş ve selülozun parçalanma ürünleri olan çözünür sakkaritleri analiz etmişlerdir. Reçine miktarı ve kimyasal bileşimi, suda çözünür ekstraktif maddeler gaz kromatografi ile incelenmiştir. Selülozun bozunmadığı görülürken, hemiselülozun bir miktar bozunması (ksilan hidrolizi) ile selülozun kristalin oranında azalma gözlemlenmiştir. Ahşabın renginin zamanla değişmesi kimyasal bileşimdeki değişim ile açıklanmıştır (Hon ve ark., 1984).

Holz (1981), biri 60 yıl boyunca saklanmış, diğeri ise bu sürede yapısal eleman olarak kullanılmış olan yaşlanmış iki ladin ahşap örneğinde selüloz, lignin, pentozan ve kül miktarını incelenmiş ve yaşlanmış ahşap ile referans ahşap örneklerinde fark edilir bir değişiklik bulunmamıştır. Mısır'daki piramitlerde bulunan 4.100-4.400 yıllık ardıç (*Juniperus phoenicea*), taş çamı (*Pinus pinea*) ve akasya (*Acacia nilotica*) örneklerinin kimyasal bileşenlerinde de belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu yaşlı örneklerde kül içeriği ve holoselüloz oranı artmış, lignin oranı ise azalmıştır. Ayrıca, yüksek karbonil grup içeriği lignin oksidasyonunun meydana geldiğini ve lignin makromoleküllerinin daha küçük (çözünür) birimlere parçalandığını göstermektedir. Kristalin selülozun miktarındaki azalma da doğrulanmıştır (Van Zyl ve ark., 1973; Borgin ve ark., 1975a, 1975b).

Doğal yaşlanmış 200, 400 ve 500 yıllık ladin ahşap örnekleri, yapay olarak yaşlandırılmış günümüz örnekleri ile kimyasal açıdan kıyaslanmış; FTIR-ATR ve UVRR analizleri ile doğal yaşlanmanın çoğunlukla lignin ve hemiselülozu etkilediği tespit edilmiştir (Ganne-Chedeville ve ark., 2011). Doğal yaşlanmış 108 ve 390 yıllık göknar (*Abies*) odunlarındaki kimyasal değişimler incelenmiştir. 150, 180 ve 270 yıllık doğal yaşlanmış ıhlamur örneklerinde yapılan kimyasal analizler sonu-

cu karbonhidrat yapıların azaldığı ve özellikle hemiselülozlardaki ksilanlarda bulunan asetil gruplarının yavaş hidrolizi nedeniyle azaldığı belirlenmiştir (Popescu ve ark., 2007). Gawron ve ark. (2012) ise yaşlanma ile meşede selüloz kristalitesinin arttığını belirtmişlerdir.

Yonenobu and Tsuchikawa (2003), 1250 yıllık hinoki yapı elemanlarını NIR aleti ile incelemişlerdir. Selülozun kristal bölgedeki OH bantlarında bir değişim görülmezken, amorf bölgelere ait bantlardaki azalma bu bölgelerdeki değişimi göstermektedir. Benzer şekilde Tsuchikawa ve ark. (2005) ise FTIR ile selüloz ve hemiselülozlardaki değişimi incelemişlerdir. Selülozun kristal bölgelerinde küçük farklılıklar görülürken, amorf bölgelerinde ve hemiselülozarda ise azalma tespit edilmiştir.

Yaşlanma sırasında ekstraktif maddeler buharlaşma yoluyla hareket eder, su hareketi ile taşınır ve yüzeye doğru difüzyonla hareket edip kısmen oksitlenirler (Lavoie ve Stevanovic, 2006). 300-400 yaşındaki selülozun kristal yapısı, taze, yaşlanmamış ahşaptan hiçbir farkı yoktur. Fakat, ligninin yoğunlaşma derecesi ve polikonjuge sistemlerin sayısı oksidasyonun bir sonucu olarak artar ve asitte çözünebilen lignin miktarı ise azalır (Borgin ve ark., 1975). XRD ölçümleri, yaşlanmış göknar ve ladin (b) odunlarının hem kristallik indeksinin hem de kristalin tepe yoğunluklarının daha düşük olduğunu ortaya koymuştur. Ancak, yaşlanmış ladin (a) örneğinde, selüloz ve hemiselülozdaki amorf bölgelerin ayrışması ve hava koşullarına maruz kalma sonucunda amorf selülozun kristalleşmesi nedeniyle kristallik indeksi ve kristalin tepe yoğunluğu daha yüksek bulunmuştur (Ghavidel ve ark., 2020).

3.3. Doğal yaşlanmanın ahşabın mekanik özelliklerine etkisi

Ahşabın mekanik davranışı üzerine yapılan çalışmalar yalnızca birkaç seçili özelliğe odaklanmaktadır. Basınç dayanımı, özellikle yaşlı ahşap yapıların durum değerlendirmelerinde nispeten sık incelenmiştir. Ladin, göknar ve İskoç çamı gibi yumuşak ağaç türlerinden yapılan yapıların basınç dayanımı üzerine yapılan ölçümler, 400 yıla kadar herhangi bir dayanım kaybını göstermemektedir (Ehlbeck ve Görlacher, 1988; 1993; Rug ve Seemann, 1989; Deppe ve Rühl, 1993). 140 yaşındaki doğu beyaz çamı (*Pinus strobus*), 260-480 yaşındaki İskoç çamı (sarıçam) ve 300 yıllık ladin (*Picea*) çatı elemanlarında yapılan araştırmalar ise basınç dayanımında artışın olduğunu göstermiştir (Attar-Hassan, 1976; Schulz ve ark., 1984; Witomski ve ark., 2014).

Hinoki ağacının dayanımı yaklaşık 100 yıl sonra azalmaya başlamaktadır (Kohara ve Okamoto, 1955). Sert ağaçlardan, 1.800 yıllık tik (*Tectona grandis*) örneğinde artış gözlemlenmiş, 650 yıllık keyaki ağacında ise güncel örneklerle göre dayanım azalmıştır (Kohara ve Okamoto, 1955). Yaşlı ahşabın sertliği basınç dayanımıyla benzer eğilimleri göstermektedir (Kohara ve Okamoto, 1955; Attar-Hassan, 1976).

Liflere dik yöndeki eğilme dayanımı ve Young modülünün belirlenmesi de yaşlı ahşabın araştırılmasında sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. İnşaatta kullanılan yumuşak ağaçlar üzerinde yapılan çalışmalar, 400 yıla kadar olan yaşlarda yaşlı ve yeni ahşap arasında eğilme dayanımı açısından herhangi bir fark göstermemiştir (Rug ve Seemann, 1989; Horie, 2002). Yaşlı ahşabın dayanımında ise artışın olduğu belirtilmiştir (Schulz ve ark., 1984). Tarihi yapılardan alınan yoğunluk düzeltmeli hinoki örneklerinde, değerler 1.600 yıla kadar yeni ahşap ile benzer bulunmuştur (Yokoyama ve ark., 2009); düzeltme yapılmamış veriler ise yaklaşık 100 yıl sonra dayanımda düşüşü göstermektedir (Kohara ve Okamoto, 1955).

Doğu beyaz çamında da dayanımda azalma saptanmıştır (Attar-Hassan, 1976). Yaşlı ladin ve doğu beyaz çamı örneklerinde statik eğilme, Young modülünde düşüş gözlenmiştir (Attar-Hassan, 1976; Lang, 2004); fakat ultrason testleriyle yapılan ölçümlerde dinamik Young modülünde artış saptanmıştır (Attar-Hassan, 1976; Kránitz ve ark., 2014). İskoç çamı (*Pinus sylvestris*)'nda Young modülü için bazı araştırmalarda değişiklik bulunmamışken, bazılarında ise düşüş rapor edilmiştir (Erhardt ve ark., 1996). Jeso ladin (*Picea jezoensis*) ve Sakhalin göknarı (*Abies sachalinensis*) için Young modülünde bozulma gözlenmemiştir (Horie, 2002). Japon kırmızı çamı (*Pinus densiflora*) ve hinoki içinse Young modülünde artış (Kawai ve ark., 2008; Noguchi ve ark., 2012), değişim yok (Yokoyama ve ark., 2009), azalma (Saito ve ark., 2008) ya da ilk 100 yılda artış ve ardından azalma (Kohara ve Okamoto, 1955) rapor edilmiştir. 650 yıllık keyaki ağacında eğilme dayanımı ve Young modülünde azalma gözlenmiştir (Kohara ve Okamoto, 1955). Radyal yönde yapılan mikro çekme testleriyle, 200-500 yıllık ladin örneklerinin kopma dayanımında yaklaşık %25'lik azalma görülmüş, fakat Young modülünde fark bulunmamıştır (Froidavaux ve ark., 2012). Aynı şekilde 1.580 yıla kadar yaşa sahip hinoki ahşabının radyal yönde eğilme dayanımı ve kopma uzaması yeni örneklerle göre anlamlı derecede düşük bulunmuştur (Yokoyama ve ark., 2009). Çekme dayanımıyla ilgili çalışmalar ise çelişkilidir. 300 yıllık ladin ağacında dayanım

artışı rapor edilirken (Schulz ve ark., 1984), 140 yıllık doğu beyaz çamı yeni örneklerle kıyaslandığında ise düşüş gözlenmiştir (Attar-Hassan, 1976).

Ahşap, yaşlandıkça daha kırılğan hâle gelebilir (Attar-Hassan, 1976; Kawai ve ark., 2008). Birçok araştırmacı, yaşlı ahşabın eğilme testinde absorbe edilen enerjide düşüşün olduğunu bildirmiştir (Kohara ve Okamoto, 1955; Schulz ve ark., 1984; Yokoyama ve ark., 2009). Bu çalışmalarda incelenen örnekler çoğunlukla 300-1.600 yıl arasında hizmet vermiş yumuşak (ibreli) ağaçlardan oluşur; tek istisna sert keyaki ağacıdır. 30-80 yıllık hizmet süresine sahip iki Japon yumuşak ağaç türünün eğilme dayanımında ise fark gözlenmemiştir (Horie, 2002).

4. Tartışma ve Sonuç

Ahşabın mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri konusunda birçok araştırma yapılmış olmasına rağmen, doğal olarak yaşlanmış ahşap örneklerinin ayrıntılı kimyasal ve mikro özelliklerinde meydana gelen değişimlerin incelendiği araştırma sayısı sınırlıdır. Çalışmaların en önemli çıkmazı doğal ortamda bozunmadan yaşlanmış ahşap örneğini bulmaktır. Bu nedenle literatürde genellikle ahşabın yapay yaşlandırma sonuçları kullanılmaktadır. Bu veriler ise gerçek değerlerle ancak yaklaşık olarak kıyaslanabilmektedir.

Ahşabın selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi temel bileşenlerindeki bozulmalar ve değişimler, lif yapısını, yüzeyde renklenmeyi, ahşabın direnç özelliklerini, dayanıklılığını ve estetik özelliklerini değiştirmektedir. Birçok araştırmanın sonucu elastikiyet, dayanım ve kırılma davranışını içeren mekanik testlerde yaşlı ve günümüz ahşap örnekleri arasında önemli farklar bulunmamıştır. Mekanik özelliklerde değişimin yükün uzun süreli yüklenmesinde birçok faktörden etkilenmesi unutulmamalıdır. Bu faktörler arasında en kritik olanları; gerilmenin büyüklüğü ve tipi, yükleme süresi ve hızı, nem içeriği ile sıcaklık ve malzeme özellikleridir (Bodig ve Jayne 1993). Sırasıyla 85 ve 600 yıllık kullanım süresinden sonra yapısal ahşap elemanlarının mekanik performansında herhangi bir değişiklik olmadığını bildirmiştir. (Fridley ve ark., 1996), (Deppe ve Ruhl 1993), Öte yandan, sadece 30 yıllık hizmet süresine sahip ahşap sütunların yapısal bileşenlerinde mikroyapısal hasar, darbe eğilme dayanımında ve Young modülünde azalma gözlemlenmiştir (Kollmann ve Schmidt 1962) Bu alanda yapılan çalışmalarda mekanik özelliklerdeki değişim ile yaşlanma arasında genelleme yapabilmek mümkün değildir.

Yaşlanma, ahşabın türüne bağlı olarak rengine

değişimlere neden olur; kırmızılık ve sarılığın artması, parlaklık azalması gibi tespitler ise ortak noktadır.

Odunda bulunan hemiselülozlar, zincir uzunlukları daha kısa olduğu için, daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Ligninde ise eter, karbon- karbon bağları hidrolize dirençlidir; fakat oksitlenmeye karşı hassastır. Sonuç olarak; odunun temel bileşenlerinden hemiselülozların (polyozların) genelde yaşlanma sırasında bozunmaya uğrayarak miktarının azaldığı anlaşılmaktadır. Doğal yaşlanma sırasında polyoz içeriğinde azalma, hemiselülozlarda bulunan O-asetil gruplarının parçalanmasından kaynaklı asetik asitin hemiselülozların yavaş hidrolizine neden olması ile açıklanır. Öte yandan selüloz yaşlanmada oldukça dirençli görülürken sadece amorf bölgelerinde değişim ve azalma olduğu anlaşılmaktadır. Selülozun kristalitesinde bir değişim olmamakta ve hatta göreceli olarak artmaktadır. Bu artışın amorf bölgelerdeki azalmadan kaynaklandığı söylenebilir.

Lignin, yaşlanma sırasında oksidasyonun etkisiyle yapısal olarak bozunmaya ve değişime uğramakta; fakat miktarı hemen hemen aynı kalmaktadır. Yaşlanmış ahşapta karbonhidrat/lignin oranı azalmakta, yapraklı ağaçların parçalanması iğne yapraklılara (ibrelilere) kıyasla fazla olmaktadır. Araştırmalarda kimyasal yapıda meydana gelen değişikliklere rağmen, örneklerin mikro yapısında ise sistematik bir değişiklik görülmemiştir.

Çalışmalar; tarihi ahşap yapıların yerinde korunmasına yönelik daha etkili önlemlerin geliştirilebileceği ve bu önlemlerin mimari mirası korumada çalışan farklı disiplinlerle paylaşarak, yeni koruma ve restorasyon metodolojilerin oluşturulabileceğini göstermektedir. Etkili yöntemlerin başında yapıların izleme sisteminin yerleştirilmesi (nem ve sıcaklık farkı izlemeleri) bu sistemlerin verilerinin periyodik depolanması ve analiz edilmesi gelmektedir. Konu ayrıca sürdürülebilir çevre yönetimi ve kültürel mirasın sürdürülebilirliği açısından da büyük önem taşımaktadır.

Teşekkür ve Yazar Katkıları

Makale ilk yazarın İ.Ü. Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde 'İstanbul'un Tarihi Ahşap Yapılarında Doğal Yaşlanmanın Kimyasal Etkileri' adlı Doktora tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

Attar-Hassan, G., 1976. The effect of ageing on the mechanical properties of Eastern white pine. *Bulletin of the Association for Preservation Technology*, 8(3): 64-73. Doi.org/10.1007/s10086-005-0795-7

Barham, L., Duller, G., Candy, I., Scott, C., Cartwright, C. R., Peterson, J. R., Kabukcu, C., Chapot, M.S., Melia, F., Rots, V., George., 2023. Evidence for the earliest structural use of wood at least 476,000 years ago. *Nature*, 622(7981): 1-5. Doi.org/10.1038/s41586-023-06557-9

Bekhta, P., Niemz, P., 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung/Celulose-Hemicelluloses-Lignin-Wood Extractives* 57(5): 539-546

Biggs, D., Liebhart, R., Gönen, S., 2016. Conserving the Tomb Chamber Complex in the Midas Mound at Gordion in Turkey. *Şu eserde: Structural Analysis of Historical Constructions: Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls. Proceedings of the 10th Intl. Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC. Leuven, Belgium, 13-15 September*

Borgin, K., Faix, O., Schweers, W., 1975a. Effect of aging on lignins of wood. *Wood Science and Technology*, 9(3): 207-211

Borgin, K., Parameswaran, N., Liese, W., 1975b. Effect of aging on ultrastructure of wood. *Wood Science and Technology*, 9(2): 87-98

Bradbury, G., Potts, B. M., Beadle, C. L., Dutkowski, G., Hamilton, M., 2011. Genetic and environmental variation in heartwood colour of Australian blackwood (*Acacia melanoxylon* R.Br.). *Holzforschung*, 65(3): 349-359

Brischke, C., Welzbacher, C. R., Brandt, K., Rapp, A. O., 2007. Quality control of thermally modified timber: Interrelationship between heat treatment intensities and CIE L*a*b* color data on homogenized wood samples. *Holzforschung* 61(1): 19-22

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(2): 361-365

Chowdhury, K. A., Preston, R. D., White, R. K., 1967. Structural changes in some ancient Indian timbers. *Proceedings of the Royal Society B*, 168(1011): 148-157.

Derkyi, N. S. A., Bailleres, H., Chaix, G., Thevenon, M. F., Oteng-Amoako, A. A., Adu-Bredu, S., 2009. Colour variation in teak (*Tectona grandis*) wood from plantations across the ecological zones of Ghana. *Ghana Journal of Forestry*, 25(1): 40-50. Doi:10.4314/gjf.v25i1.60698

Deppe, H. J., Rühl, H., 1993. Evaluation of historical construction timber. 1. density and compression strength. *Holz als Roh- und Werkstoff* 51(6): 379-383

Erhardt, W. D., Mecklenburg, M. F., Tumosa, C. S., Olstad, T. M., 1996. New vs Old Wood: Differences and Similarities in Physical, Mechanical, and Chemical Properties. Intl. Council of Museums-Committee for Conservation 11th Triennial Meeting. J. Bridgeland. London, James&James: 903-910

Esteban, L. G., Fernández, F. G., Casasús, A. G., De

- Palacios, De P., P., Gril, J., 2006. Comparison of the hygroscopic behaviour of 205-year-old and recently cut juvenile wood from *Pinus sylvestris* L. *Annals of Forest Science* 63(3): 309-317. Doi.org/10.1051/forest:2006010
- Feist, W. C., Hon, D. N. S., 1984. Chemistry of weathering and protection. Şu eserde: Rowell, R.M. (Ed.). The Chemistry of Solid Wood. American Chemical Society. *Advances in Chemistry* 207: 401-451. Doi: 10.1021/ba1984-0207.ch011
- Feist, W. C., 1990. Outdoor wood weathering. Şu eserde: Rowell, R. M., Barbour, R. J. (Eds.). Archaeological Wood: Properties, Chemistry, and Preservation *Advances in Chemistry Series* 225: 263-298. Doi.org/10.1021/ba-1990-0225.ch011
- Fengel, D., 1991. Aging and fossilization of wood and its components. *Wood Science and Technology*, 25(3): 153-177. Doi.org/10.1007/bf00223468
- Fridley, K. J., Mitchell, J. B., Hunt, M. O., Senft, J. F., 1996. Effect of 85 years of service on mechanical properties of timber roof members. Part 1: Experimental observations *Forest Products Journal* 46(5): 72-78.
- Follrich, J., Teischinger, A., Müller, U., 2010. Artificial ageing of softwood joints and its effect on internal bond strength with special consideration of flat-to-end grain joints. *European Journal of Wood and Wood Products* 69(4): 597-604
- Froidevaux, J., Volkmer, T., Ganne-Chédeville, C., Gril, J., Navi, P., 2012. Viscoelastic behavior of aged and non-aged spruce wood in the radial direction. *Wood Material Science & Engineering* 7(1): 1-12
- Ganne-Chédeville, C., Jääskeläinen, A.S., Froidevaux, J., Hughes, M., Navi, P., 2011. Natural and artificial ageing of spruce wood as observed by FTIR-ATR and UVR spectroscopy. *Holzforschung* 66(2): 163-170
- Gawron, J., Szczesna, M., Zielenkiewicz, T., Golofit, T., 2012. Cellulose crystallinity index examination in oak wood originated from antique woodwork. *Drewno* 55(188): 109-114
- George, B., Suttie, E., Merlin, A., Deglise, X., 2005. Photodegradation and photo stabilisation of wood- The state of the art. *Polymer Degradation and Stability* 88(2): 268-274
- Giachi, G., Bettazzi, F., Chimichi, S., Staccioli, G., 2003. Chemical characterisation of degraded wood in ships discovered in a recent excavation of the Etruscan and Roman harbour of Pisa. *Journal of Cultural Heritage*, 4(2): 75-83. doi.org/10.1016/S1292074(03)00018-9
- Ghavidel, A., Hofmann, T., Bak, M., Sandu, I., Vasilache, V., 2020. Comparative archaeometric characterization of recent and historical oak (*Quercus* spp.) wood. *Wood Science and Technology*, 54(1): 1121-1137. Doi.org/10.1007/s00226-020-01202-4
- Holz, D., 1981. Zum Alterungsverhalten des Werkstoffes Holz- einige Ansichten, Untersuchungen, Ergebnisse. *Holztechnologie* 22(2): 80-85
- Hon, D. N. S., Chang, S. T., Feist, W. C., 1985. Protection of wood surfaces against photooxidation. *Journal of Applied Polymer Science* 30(4): 1429-1448
- Hedges, J. I., 1989. The chemistry of archaeological wood. Şu eserde: Rowell, R., Barbour, R.J. (Eds.). *Chemistry, and Preservation*, 225: 111-140
- Horie, H., 2002. Strength deterioration of recycled lumber collected from demolished wooden buildings in Hokkaido. *Mokuzai Gakkaishi* 48(4): 280-287
- Kačík, F., Šmíra, P., Kačíková, D., Reinprecht, L., Nasswettrova, A., 2013. Chemical changes in fir wood from old buildings due to aging. *Cellulose Chemistry and Technology*, 48 (1-2): 79-88
- Kawai, S., Sugiyama, J., Yokoama, M., Matuso, M., Sonderegger, W., Alter, P., Niemz, P., 2008a. Investigations on selected properties of tonal wood of spruce from Grisons. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(5): 345-354 2008. Research on the aging of wood in Rish. Şu eserde: Wood Science for Preservation of Cultural Heritage: Mechanical and Biological Factors. Proceedings of the Intl. Conference in Braga 5-7 Nov, Portugal. s52-56
- Kohara, J., 1955. Studies on the permanence of wood (X): Colorimetry on the old timbers by the trichromatic colorimeter. *Journal of the Japanese Forestry Society* 37(2): 63-66
- Kohara, J., Okamoto, H., 1955. Studies of Japanese old timbers. *Scientific Reports Saikyo University*, 7(1a): 9-2 Kollmann, F.F., Coté, W.A., 1968. Principles of Wood Science and Technology. Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Kollmann, F., Schmidt, E., 1962. Gefügezerrüttung und Festigkeitseinbuße von dauerbeanspruchtem Nadelholz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 20(9): 333-338.
- Lang, A., 2004. Charakterisierung de Altholzaufkommens in Deutschland., Universität Hamburg. Doctoral thesis
- Lavoie, J.M., Stevanovic, T., 2006. Yield and composition of lipophylic extracts of yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) as a function of wood age and aging under industrial conditions. *Holzforschung* 60(2): 184-189
- Matsuo, M., Yokoyama, M., Umemura, K., Sugiyama, J., Kawai, S., Gril, J., Kubodera, S., Mitsutani, T., Ozaki, H., Sakamoto, M., Imamura, M., 2011. Aging of wood: Analysis of color changes during natural aging and heat treatment. *Holzforschung*, 65(3): 361-368. Doi.org/10.1515/hf.2011.040
- Müller, G., Schöpper, C., Vos, H., Kharazipour, A., Polle, A., 2009. FTIR-ATR spectroscopic analyses of changes in wood properties during particle- and fibreboard production of hard- and softwood trees. *BioResources*, 4(1): 49-71. bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_04/BioRes_010049_Muller_SVKP_FTIR_ATR_Anal_ParticlebdFiberbd_HW_SW_366.pdf

- Nilsson, T., Daniel, G., 1990. Structure and the Aging Process of Dry Archaeological Wood. *Advances in Chemistry*, 225: 67-86
- Nishino, Y., Janin, G., Chanson, B., 1998. Colorimetry of wood specimens from French Guiana. *J. Wood Science* 44: 3-8. Doi.org/10.1007/BF00521867
- Noguchi, T., Obataya, E., Ando, K., 2011. Effects of ageing on the vibrational properties of akamatsu (*Pinus densiflora*) wood. *Wood Culture and Science*. Kyoto
- Norrstrom, H., 1969. Light absorbing properties of pulp and pulp components. 1. Method. *Svensk Papperstidning-Nordisk Cellulosa*, 72(2): 25-31
- Oltean, L., Teischinger, A., Hausmann, C., 2008. Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(1): 51-56
- Oberhofnerová, E., Pánek, M., García-Cimarras, A., 2017. The effect of natural weathering on untreated wood surface. *Maderas, Ciencia y tecnología*, 19(2): 173-184. Doi.org/10.4067/s0718-221x2017005000015
- Pánek, M., Reinprecht, L., 2014. Colour stability and surface defects of naturally aged wood treated with *Research*, 59(3): 421-429
- Pandey, K. K., Pitman, A. J., 2003. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International biodeterioration and Biodegradation* 52 (3): 151-160. Doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00052-0 (Erşim tarihi: 31 Ağustos 2024)
- Popescu, C. M., Doble, G., Rossinskaja, G., Dizhbite, T., Vasile, C., 2007. Degradation of lime wood painting supports: Evaluation of changes in the structure of aged lime wood by different physico-chemical methods. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79(1-2): 7177
- Rug, W., Seemann, A., 1989. Ermittlung von Festigkeitswerten an alten Holzkonstruktionen. *Holztechnologie*, 30(2): 69-73
- Saito, Y., Shida, S., Ohta, M., Yamamoto, H., Tai, T., Ohmura, W., Makihara, H., Noshiro, S., Goto, O., 2008. Deterioration character of aged timbers insect damage and material aging of rafters in a historic building of Fushoji-temple. *Mokuzai Gakkaishi* 54(5): 255-262
- Schulz, H., von Aufsess, H., Verron, T., 1984. Eigenschaften eines Fichtenbalkens aus altem Dachstuhl. *Holz als Roh- und Werkstoff* 42(3): 109
- Sonderegger, W., Alter, P., Niemz, P., 2008a. Investigations on selected properties of tonal wood of spruce from Grisons. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(5): 345-354
- Sonderegger, W., Mandallaz, D., Niemz, P., 2008b. An investigation of the influence of selected actors on the properties of spruce wood. *Wood Science and Technology* 42(4): 281-298
- Sürücü, D., 2024. Ahşap Yapılara Bir Bakış: Gelecek Ahşapta. *İTÜ Vakfı Dergisi*, 94: 86-91
- Tsuchikawa, S., Yonenobu, H., Siesler, H. W., 2005. Near-infrared spectroscopic observation of the ageing process in archaeological wood using a deuterium exchange method. *Analyst* 130(3): 379-384
- Tolvaj, L., Mitsui, K., 2005. Light source dependence of the photodegradation of wood. *Journal of Wood Science*, 51: 468-473. Doi.org/10.1007/s10086-004-0693-4
- Tolvaj, L., Molnár, S., 2008. Photodegradation and thermal degradation of outdoor wood. *Şu eserde: J. Gril (Ed.), Wood Science for Preservation of Cultural Heritage: Mechanical and Biological Factors*. Braga, Portugal. 67-72
- Topaloğlu, E., Ustaömer, D., 2020. Kestane ahşap elemanlarının yüzey özellikleri üzerine doğal yaşlanmanın etkisi. *Anadolu Çevre ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 5(4): 563-569
- Unger, A., Schniewind, A.P., Unger, W., 2001. Conservation of wood artifacts. *Springer Verlag*. Berlin- Heidelberg
- Van Zyl, J. D., Van Wyk, W. J., Heunis, C. M., 1973. The effect of ageing on the mechanical and chemical properties of wood. IUFRO-5 Meeting: Wood in the Service of Man. Pretoria. 2: 1069-1080
- Wik, T., 2018. İsveç'ten örneklerle ahşap mimari mirasının korunması için ilkeler. Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 6. Bildiriler Kitabı, İBB KUDEB Yayını, 28-50. İstanbul
- Witowski, P., Krajewski, A., Kozakiewicz, P., 2014. Selected mechanical properties of Scots pine wood from antique churches of Central Poland. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(2): 293-296. Doi.org/10.1007/s00107-014-0783-y
- Yoshimoto, T., 1972. Photochemical analysis of wood and related substances. *Journal of Japan Wood Research Society*, 18(1): 45-49
- Yokoyama, M., Gril, J., Matsuo, M., Yano, H., Sugiyama, J., Clair, B., Kubodera, S., Mitsutani, T., Sakamoto, M., Ozaki, H., Imamura, M., Kawai, S., 2009. Mechanical characteristics of aged hinoki wood from Japanese historical buildings. *Comptes Rendus Physique*, 10(7): 601-611. Doi.org/10.1016/j.crhy.2009.08.009
- Yonenobu, H., Tsuchikawa, S., 2003. Near infrared spectroscopic comparison of antique and modern wood. *Applied Spectroscopy* 57(11): 1451-1453