

Yapısal Bazı Ahşap Türü Malzemede Koruma Amaçlı Yüzeysel Yakmanın (Karbonlaştırmanın) Ahşap Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Cengiz KÖROĞLU^{1*}  Mustafa ALTUNOK² 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

²KTO Karatay Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Endüstriyel Tasarım Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Research article
Received: 30/12/2025
Revision: 11/03/2025
Accepted: 22/03/2025

Anahtar Kelimeler

Ahşap koruma teknikleri,
karbonlaştırma,
yüzeysel yakma,
higroskopik,
fiziksel özellikler.

Article Info

Araştırma makalesi
Başvuru: 30/12/2025
Düzeltilme: 11/03/2025
Kabul: 22/03/2025

Keywords

Wood preservation techniques
carbonization
surface burning
hygroscopy
physical properties

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Bu çalışmada, Yapısal Bazı Ahşap Türü Malzemede Koruma Amaçlı Yüzeysel Yakmanın (Karbonlaştırmanın) Ahşap Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi çalışılmıştır. / In this study, Experimental Investigation of the Effect of Surface Burning (Carbonization) on Wood Properties of Some Structural Wood Type Materials for Conservation Purposes was studied.



Şekil A: Karbonlaştırma işlemi ve keten yağı uygulama süreç grafiği / **Figure A:** Process graph of carbonization process and application of catena oil

Önemli noktalar (Highlights)

- Beş ahşap türünün tüm yüzeylerine karbonlaştırma daha sonra keten yağı uygulama işlemi sürecidir. / It is the process of carbonizing and then applying linseed oil to all surfaces of five wood species.
- Karbonlaştırma işlemi uygulanmış örnekler için fiziksel özellik değişimlerinin belirlenmesi. / Determination of physical property changes of carbonization treated samples.
- Ahşap malzemenin higroskopikliğinin karbonlaştırma işlemi ile azaltılması. / Reduction of hygroscopicity of wood material by carbonization process.

Amaç (Aim): Bu çalışmada, beş ahşap türüne uygulanan karbonlaştırma işleminin, ahşap higroskopisinin işlemsiz örnekler göre azalıp azalmayacağını, boyutlarının kararlı hale gelip gelmeyeceğini, karbonlaştırmadan sonra keten yağı uygulanmış örneklerin, sadece karbonlaştırma işlemi uygulanmış örnekler göre ahşap higroskopisine ve boyutsal değişimine ilave etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. / In this study, it was aimed to determine whether the carbonization process applied to five wood species will reduce the hygroscopicity of wood compared to untreated samples, whether the dimensions will stabilize, and the additional effect of flax oil treated samples after carbonization on wood hygroscopicity and dimensional change compared to samples treated with carbonization only.

Özgünlük (Originality): Karbonlaştırma ve daha sonra keten yağı uygulama işlemi ile ahşabın higroskopisinin azaltılması ve nem alış-verişine bağlı diğer fiziksel değişimlere sebep olan interaktif etkiler karşısında ahşabı koruma. / Reducing the hygroscopicity of wood by carbonization and subsequent application of linseed oil, and protecting wood against interactive effects that cause other physical changes due to moisture exchange.

Bulgular (Results): Bu çalışmada, karbonlaştırma işlemi; kontrol örneklerine göre denge rutubetini %12 den %8 e, su emme oranını %4 den %2 ye indirmiştir. Karbonlaştırma sonrası keten yağı uygulama işlemi ise; karbonlaştırılmış örnekler göre denge rutubetini %8 den %6 ya, su emme oranını %2 den %1,5 e düşürdüğü tespit edilmiştir. / In this study, carbonization reduced the equilibrium moisture content from 12% to 8% and the water absorption rate from 4% to 2% compared to the control samples. Flax oil application after carbonization decreased the equilibrium moisture content from 8% to 6% and water absorption rate from 2% to 1.5% compared to carbonized samples.

Sonuç (Conclusion): Hem karbonlaştırma ve hem de karbonlaştırma+keten yağı uygulaması ahşap higroskopisini azalttığı belirlenmiştir. Böylece, daha ekonomik, uzmanlık ve fazla ekipman gerektirmeyen ayrıca kimyasal koruyucuların çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında, ahşabın bu yöntem ile de korunabileceğinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. / Both carbonization and carbonization + linseed oil application were found to reduce wood hygroscopy. Thus, it was concluded that it is possible to protect wood with this method, which is more economical, does not require expertise and much equipment, and considering the environmental damage caused by chemical preservatives.



Yapısal Bazı Ahşap Türü Malzemede Koruma Amaçlı Yüzeysel Yakmanın (Karbonlaştırmanın) Ahşap Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Cengiz KÖROĞLU¹ Mustafa ALTUNOK²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

²KTO Karatay Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Endüstriyel Tasarım Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Research article
Received: 30/12/2025
Revision: 11/03/2025
Accepted: 22/03/2025

Anahtar Kelimeler

Ahşap koruma teknikleri,
karbonlaştırma,
yüzeysel yakma,
higroskopik,
fiziksel özellikler.

Öz

Bu çalışmada, sapsız meşe (*Quercus petrea* L), ladin (*Picea*) toros sediri (*Cedrus libani*), Sarıçam (*Pinus sylvestris*), karaçam (*Pinus nigra*), ağaç türlerinden elde edilen örnekler “yüzeysel karbonlaştırma” ve “yüzeysel karbonlaştırma+keten yağı” uygulama işlemi yapılmış ve bunlara, ilgili standartlara göre bazı fiziksel testler uygulanmıştır. Sonuçta beş ahşap türünde sadece karbonlaştırma işlemi ortalama olarak yoğunluğu %5,7 rutubet dengesini %32,75 su emme miktarını %32,93 ve boyutsal değişimi (çalışma) oranını %13,91 azalttığı tespit edilmiştir. Karbonlaştırma işleminin üzerine ilaveten, keten yağı uygulamasının ise karbonlaştırılmış örnekler göre koruyuculuk özelliğini daha da artırmış; yoğunluğu %9,83 oranında yükseltmiş, rutubet dengesini %49,65 su emme oranını %66,53 boyutsal değişimi (çalışma) oranını %35,78 daha da azaltarak kararlı hale geldiği belirlenmiştir. Bu çalışmadaki bulgular esas alındığında, karbonlaştırma tekniğinin endüstriyel alanda kullanılacak doğal ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerini higroskopik şartlar karşısında yeterince koruması nedeni ile etkili bir ahşap koruma tekniği olarak uygulanabileceği önerilebilir.

Experimental Investigation of the Effect of Superficial Burning (Carbonization) on Wood Properties for Preservation Purposes in Some Structural Wood Type Materials

Article Info

Araştırma makalesi
Başvuru: 30/12/2025
Düzeltilme: 11/03/2025
Kabul: 22/03/2025

Keywords

Wood preservation techniques,
carbonization,
surface burning,
hygroscopy,
physical properties.

Abstract

In this study, “surface carbonization” and “surface carbonization + linseed oil” were applied to samples obtained from sessile oak (*Quercus petrea* L), spruce (*Picea*), taurus cedar (*Cedrus libani*), yellow pine (*Pinus sylvestris*), larch (*Pinus nigra*) wood species and some physical tests were applied to them according to the relevant standards. As a result, it was found that carbonization alone reduced the density by 5.7%, moisture balance by 32.75%, water absorption by 32.93% and dimensional change (working) by 13.91% on average in five wood species. The application of flax oil in addition to carbonization further enhanced the protective properties compared to carbonized samples; it increased density by 9.83%, increased moisture balance by 49.65%, reduced water absorption by 66.53%, further reduced dimensional change (run) by 35.78% and stabilized it. Based on the findings of this study, it can be suggested that carbonization technique can be applied as an effective wood preservation technique since it sufficiently protects the physical and mechanical properties of natural wood to be used in the industrial field against hygroscopic conditions.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ahşap malzemenin insanlık tarihinin başlangıcından beri kadim bir yapı malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Sürdürülebilir,

doğal ve organik bir malzeme olan ahşabın bu kullanım sürecinde higroskopik bir özelliğe sahip olduğu çok erken dönemde anlaşılmış ve kullanıldığı yerlerde bir koruyucu tedbir alınması gerekliliği de bir o kadar erken belirlenmiştir. Ahşap

malzemenin higroskopiklik nedeni ile bulunduğu çevrenin iklim koşullarına uyum sağlamaya çalışması ile; havanın nemini alarak boyutlarında değişim meydana gelmesi (şişme), geometrik şeklinin deformasyona uğraması (çarpılma-oluklanma-eğilme vb), nem alma ve kuruma döngü sürecinde iç ve dış çatlakların meydana gelmesi gibi olguların ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu noktadan hareket ile ahşap malzemeden üretilen tüm sistemlerin ve objelerin imalattan sonra mutlaka bir koruyucu ile korunması gerekliliği hipotezi önem kazanmıştır.

Tarihin ilk çağlarından bu yana ahşap malzemede uygulanan koruyucu işlemler; eritilmiş mum ile kaplama, kızgın bitkisel yağ sürme, katman yapıcı örtücü boyalar ile boyama, katman yapıcı ama örtücü olmayan şeffaf cila-boya-vernükler gibi kimyasallar ile üst yüzey işlemi uygulama olduğu bilinmektedir. Yakın dönemde de emprenye ve ısı işlem uygulaması gibi teknikler öne çıkmaktadır. Tüm bu koruyucu uygulama tekniklerinde kullanılan malzeme ve cihazların önemli bir kısmının yüksek maliyetli, uzun uygulama zamanı gerekliliği, kimyasalların çevreye verdikleri zarar, ısıl işlemin pahalı ve karmaşık özel cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, bunların tümünden daha ucuz, uygulaması daha kısa süreli ve çevreye çok az zararlı madde atığı kattığı düşünülen yüzeysel yakma (karbonlaştırma) ahşap koruma tekniğini öne çıkartıp üzerinde deneysel ve bilimsel inceleme yapma kurgulanmıştır.

Son zamanlarda akademik çevreler tarafından ahşabı koruma amaçlı araştırmalarda daha çok ısı işlem uygulamalarının yapıldığı görülmektedir. Bunların arasında koruyucu amaçlı yüzeysel yakmaya (karbonlaştırmaya) yönelik bilimsel çalışma bulunmamaktadır. Ancak, geleneksel ahşap uygulama teknikleri ile ilgili literatür araştırmasında eski bir uzak doğu ve Japon tekniği olarak ortaya çıkmaktadır.

Bazı akademik çalışmalarda ise sadece “Standart Yangına Maruz Farklı Kesitlerdeki Ahşap Kolonların yangın Dayanımının Deneysel Ve Teorik-Nümerik Saptanması, Kompozit Ahşap Kuleler, 80 Katlı Ahşap Gökdelen Projesi, Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım, Gerçek Yangın Etkisi Altında Ahşap Kolonların Dizaynı” gibi çalışmaların yapıldığı görülmektedir. Akademik olarak yapılmış ahşap koruma ile doğrudan ilgili olmayan yukarıdaki münferit çalışmalar ve alandaki eksiklik dikkate alınarak, bu çalışmada ahşabın karbonlaştırma tekniği ile deneylere dayalı bilimsel olarak iklim koşulları karşısında korunup korunamayacağı, ahşabın higroskopik özelliğinin yeteri kadar azaltılıp azaltılamayacağının

belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan literatür çalışmaları sırasında ahşap ile yanmanın ilişkileri, yanma sürecinin bileşenleri, yapıda kullanılan ahşabın yanma sırasında kısa sürede çökmeden dayanabildiği gibi bilgilere ulaşılmıştır. Bu çalışmaların bir kısma aşağıda verilmiş olup, koruyucu maksatlı yüzeysel yakmaya (karbonlaştırmaya) rastlanılmadığı görülmektedir.

Özüm, 2008 çalışmasında, artı kesitli ahşap kolon kesitinde oluşan kömürleşmenin (karbonlaşmanın) homojen olmadığını yani kesitteki daralmanın tüm yüzeylerde eşit biçimde olmadığını bildirmiştir [1]. Haksever ve Savaş (2005b) araştırmalarında, yangına maruz kalan ahşap yapı elemanlarının deformasyonu ile ahşabın kömürleşmesini belirleyerek bir analitik model geliştirmek için araştırma yapmışlardır [2].

Kılıç, 2010 araştırmasında ahşabın yandığı zaman üst yüzeyinde odun kömürü kabuğu oluştuğunu, bu kabuğun ısı iletim katsayısının çok küçük olduğunu alt kısımdaki bölümlerin buharlaşmasını ve kömürleşmesini engellediğini, fakat yüksek ısılarda kömür kabuğunun da koruma görevini yapamayacağı ve kendisinin de yanacağı bildirilmiştir. Genellikle ahşap kirişlerin ve diğer ahşap yapı malzemelerinin dayanım süresinin 20-30 dakika olduğunu, yanma süresi 20 dakikayı geçince çökmelerin başlayacağını ahşabın diğer bir avantajının da, yandığı zaman sesli mesaj verdiği, iyi yetişmiş bir itfaiyecinin bu sesli mesajdan ahşabın ne zaman çökeceğini anlayabileceği bildirilmiştir[3].

Gün ve Anıktar, 2020 yaptıkları çalışmada; Türkiye’de geleneksel yöntemlerle inşa edilen ahşap yapıların herhangi bir olumsuz çevresel etkisinin olmadığı ifade edilmiştir [4].

Düzenli, 2017 araştırmasında ABD’de yapılaşmada kullanılan malzeme oranında ahşabın %90 seviyelerinde olduğunu bildirmektedir [5].

Flanagan, 2017 tarafından yapılan çalışmada, beton ve çelik yerine ahşap seçilmesi halinde karbon ayak izinin önemli ölçüde azalacağı, 1 m³ ahşabın yaklaşık 1 ton CO₂ içerdiği, beton ve çelik yerine ahşap kullanılarak CO₂ ayak izinin daha iyileştirilebileceği bildirilmiştir [6].

URL 1’de yer alan metinde, kapalı bir mekânda yangın çıktıktan kısa bir süre sonra sıcaklığın birkaç yüz dereceye ulaştığını, metalin çok iyi bir ısı iletkeni olduğunu yangın sırasında sıcaklığın 500-600 derecelere çıktığında, bütün mekanik dayanım özelliklerini kaybederek çökeceği bildirmiştir. Ancak ahşabın iyi bir ısı iletkeni olmadığını bu nedenle mekanik özelliklerini kaybetmediğini ve yangın esnasında metallere göre daha uzun süre çökmeden dayanabileceği ifade edilmektedir [7].

URL 2’de yer alan metinde ise “Yakisugi” olarak

bilinen “Shou Sugi Ban”, Japonya’da yıllardır kullanılan dekoratif bir odun yakma tekniği olduğunu ayrıca geleneksel ahşap koruma yöntemi olarak yakisugi, görünüşüyle estetik bir algı oluşturduğu, bu teknik dokusal bir yüzey oluşturmak için ahşabın kömürleştirilmesinin hedeflendiği bildirilmiştir [8].

Özkan, E., Arpacı, Ş. S., Dizman Tomak, E., Yıldırım, N. 2020. çalışmalarında; genel emprenye maddesi olarak değerlendirilebilecek atık yağ, odunun fiziksel özelliklerini iyileştirebildiği, çevre kirliliği açısından önemli bir sorun olarak görülen atık yağların emprenye endüstrisinde kullanılabilirliği bildirilmiştir [11]. Kasap Okut G. ve Altınok M., çalışmalarında; genel olarak modifikasyon işleminin Retensiyon olayından dolayı modifikasyon çözültisi katı maddesi tutunma miktarı kadar yoğunluğu artırdığı tespit edilmiştir [12].

Koski A (2008) çalışmasında, yağ ile emprenye edilmiş ahşapta su geçirgenliğinin ve su emme özelliğinin azaldığı bildirilmiştir [13].

2. MATERYAL ve YÖNTEMLER (MATERIALS AND METHODS)

2.1 Materyal (Material)

2.1.1 Ahşap (wood)

Bu çalışmada ağaç işleri endüstrisinde yaygın

olarak kullanılan ve yerli üretim olan birinci sınıf Sapsız meşe (*Quercus petrea L*), Ladin (*Picea*), Toros Sediri (*Cedrus libani*), Sarıçam (*Pinus sylvestris*), Karaçam (*Pinus nigra*) keresteleri rasgele yöntemle Ankara Keresteciler Sitesinden temin edilmiştir.

2.1.2 Keten Yağı (Linseed oil)

Keten tohumu yağı, keten bitkisinin olgunlaşmış tohumlarından elde edilir. Keten tohumu yağı veya keten yağı olarak da bilinir. Yüzlerce yıldır dış ve iç mekân ahşaplarını korumak için kullanılmıştır. Toksik olmayan ve çevre dostu özellikleri nedeniyle son zamanlarda tekrar popüler hale geldi. Uygulandıktan sonra ahşabın derinliklerine nüfuz eder ve doğal deseni güzel bir şekilde ortaya çıkarır. Ayrıca keten tohumu yağının temel özellikleri; çevre dostu bir üründür, Uygulandığı malzemenin yüzeyine derinlemesine nüfuz eder, aşınmaya ve suya dayanıklı olma eğilimi gösterir, yüzeye satenimsi bir bitiş sağlar, altın-kehribar rengindedir, ahşabın desenlerini şeffaf bir şekilde gösterir. Kolayca kullanılabilir ve bakımı yapılabilir. Uygulandıktan sonra birkaç gün içinde doğal olarak buharlaşan kendine özgü bir koku bırakır [9].



Fotoğraf 1. Deney örneklerinde kullanılan keten yağı (Flax oil used in the experimental samples)

2.2 Deney Örneklerinin Hazırlanması (Preparation of test samples)

Piyasadan rasgele yöntemle temin edilen taslak ölçülerdeki beş ayrı türdeki ahşap latalar $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%65\pm\%5$ koşullardaki iklimlendirme odasında ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar bekletilmiştir (kondisyonlanmıştır). Bu işlem

sonunda ahşap lataların denge rutubetinin ortalama $\%11,8$ olduğu belirlenmiştir. Daha sonra kondisyonlanmış latalardan standartların ön gördüğü ölçü ve sayıda test ve ölçüm örnekleri Tablo 1’de verildiği gibi hazırlanmıştır.



Fotoğraf 2. Deney örneklerinin hazırlanması ve iklimlendirilmesi(kondisyonlanması) (Preparation and conditioning of test samples)

Tablo 1. Karbonlaştırma ve karbonlaştırma+keten yağı uygulanacak ahşap kullanım şekli ve araştırma test/ölçüm deseni (Use of wood to be treated with carbonization and carbonization+linseed oil and research test/measurement design)

Ahşap örneklerin özellik, ölçü ve sayıları				Örneklere uygulanan işlem		
Ahşap türü	Test / ölçüm	Boyutlar (mm)	Toplam örnek	Kontrol	Yüzeysel yakma (Karbonlaştırma)	Yüzeysel yakma + keten yağı
Sedir Sarıçam Meşe Ladin Karaçam	Yoğunluk	20x20x30	30	10	10	10
	Rutubet	20x20x30	30	10	10	10
	Su emme	20x20x30	30	10	10	10
	Boyutsal kararlılık	20x20x30	30	10	10	10
	Ağırlık kaybı	20x20x30	30	10	10	10
	Toplam		150	50	50	50
Not: Yukarıda verilen örnek sayısı sadece bir ahşap türü için geçerli olup, 5 ahşap türü için aynı sayıda örnek hazırlanmıştır (150 x 5 = 750 adet).						

2.3 YÖNTEMLER (METHODS)

2.3.1 Yüzeysel yakma (Karbonlaştırma) Yöntemi (Superficial burning (Carbonization) Method)

Tablo 1’de verilen ölçü ve sayıdaki örnekler için iki aşamada karbonlaştırma işlemi uygulanmıştır.

Birinci aşama; Hazırlanan deney örnekleri, metal bir tezgâh üzerine birbirlerine bitişik nizamda dizilerek pürmüz yardımı ile 15-20 cm mesafeden yakılarak yüzeye paralel yatay hareketlerle 10 dak/m² hesabı ile eşit ve homojen şekilde yüzeyin tamamen karbonlaştırma işlemi uygulanmıştır

(Fotoğraf 3). Karbonlaştırma süreci içerisinde lazer sıcaklık ölçer ile yüzeysel yakma anındaki ahşap yüzeye yayılan alev sıcaklığı uzaktan 250-300°C aralığında olduğu ölçülmüştür. Bir yüzeydeki yüzeysel yakma (karbonlaştırma) işlemi tamamlandıktan sonra aynı işlem örnek yüzeylerinin tamamı için tekrarlanmıştır.



Fotoğraf 3. Deney örneklerinin karbonlaştırma ve keten yağı uygulama düzeneği (Carbonization and linseed oil application setup of test samples)

İkinci aşama; Karbonlaştırma işleminden sonra soğutulmuş örnek yüzeyleri tel fırça yardımı ile hafif basınç altında liflere paralel yönde fırçalama uygulanarak kömürleşmiş tabaka temizlenmiş ve üstüğü ile tozu alınmıştır. Bu işlem tüm deney örneklerinde uygulanmıştır. Karbonlaştırma işleminden sonra deney örnekleri kodlanmıştır.

2.3.2. Keten yağı uygulaması (linseed oil application) Karbonlaştırma ve temizleme işlemi tamamlanmış olan her bir ahşap türünde Tablo 1’de verilen sayıdaki örnekler için fırça yardımı ile önce liflere paralel sonra dik ve en son tekrar liflere paralel keten yağı her bir kat uygulamada metre kareye

200gr esasına göre tüm yüzeylere sürülmüş, örnekler 2 saat süre ile kurutulmuştur. Daha sonra 2. kat yağ sürme işlemleri, 1. Katta uygulanan yöntemlerin tekrarı yapılmıştır. Bu işlem tüm örnekler ve tüm yüzeyler için tekrarlanmıştır.

2.3.3. Deneysel Yöntemler (Experimental Methods)

Bu çalışmada irdelenen beş ahşap türünün Tablo 2’de verilen fiziksel özellikleri karşılarında yer alan standartlara göre belirlenmiştir.

Tablo 2. Beş ahşap türünün irdelenen özellikleri
(Examined properties of five wood species)

Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk Tayini	TS ISO 13061
Rutubet Tayini	TS ISO 13061-1
Su Emme Miktarı	TS EN 4084
Boyutsal Değişim	TS EN 4084
Ağırlık Kaybı	-
Retensiyon Miktarı	-

2.3.3.1 Yoğunluk Tayini (Density Determination)

Hava kurusu yoğunluk tayininde, TS ISO 13061 esaslarına göre 20x20x30 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır. Örneklerin hava kurusu yoğunlukları TS ISO 13061'e uyularak belirlenmiştir. Buna göre; deney örnekleri 20°C±2°C sıcaklık ve %65±%5 bağıl nem şartlarında bekletilerek değişmez ağırlığa ulaştıktan sonra, 0,01g duyarlıklı analitik terazide tartılmıştır. Boyutları ise; ±0,01mm duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra hava kurusu haldeki ağırlık (M₁₂) ve hacim (V₁₂) değerine göre hava kurusu yoğunluk (δ₁₂);

$\delta_{12} = M_{12} / V_{12} \text{ g/cm}^3$, eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada;

M₁₂ = Örnek ağırlığı (g)

V₁₂ = Örnek hacmi (cm³)

2.3.3.2 Rutubet Tayini (Moisture Determination)

Rutubet miktarının belirlenmesi sürecinde TS ISO 13061-1 standardında belirtilen esaslar dikkate alınarak, iklimlendirilmiş beş ahşap türünden 20x20x30 mm ölçülerinde beş ahşap türünde numuneler hazırlanmıştır. Kontrol ve yüzeyleri karbonlaştırılmış numuneler 0,01g hassasiyetle tartılarak ilk ağırlıkları belirlenmiştir (M_R). Tartıldıktan sonra etüve konularak sıcaklığı 103°C±2°C'ye çıkarılarak örnekler değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek tam kuru hale getirilmiştir. Etüvden çıkartılan örnekler içerisinde P₂O₅ olan desikatöre alınarak soğumaları sağlanmıştır. Bu durumda ±0,01g duyarlı analitik terazide tekrar tartılarak son ağırlık (M₀) belirlenmiş ve değerler aşağıdaki denklemde yerlerine konularak rutubet oranı hesaplanmıştır.

$r = \left[\frac{M_R - M_0}{M_0} \right] \times 100$, eşitliğine göre hesaplanmıştır. Burada;

r: Rutubet miktarı (%)

M_R: Rutubeti “r” olan (ilk) odunun ağırlığı (g)

M₀: Numunenin tam kuru (son) ağırlığı (g)

2.3.3.3 Su Emme Miktarı (Water Absorption Amount)

TS EN 4084 esasları doğrultusunda iklimlendirilmiş beş ahşap türünden deney örnekleri 20x20x30 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Her bir deney örneğinin ağırlıkları ±0,01 duyarlıklı analitik terazide tartılarak belirlenmiştir. Deney numuneleri 20°C±2°C sıcaklıkta su içerisine yüzeyden 25 mm içeride olacak biçimde batırılmıştır. 72 saat süre ile suda bekletilmiş ve daha sonra örneklerin üstü ile fazla suyu kurulanmıştır. Kurulama işleminden sonra örneklerin ±0,01 hassasiyetli analitik terazide tartılmıştır. Belirlenen veriler kullanılarak su emme oranı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$SE = \left[\frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \right] \text{ , eşitliğine göre}$$

hesaplanmıştır. Burada;

SE: Su emme oranı (%)

M₁: Suda bekletme öncesi ağırlık (g)

M₂: Suda bekletme sonrası ağırlık (g)

2.3.3.4 Boyutsal Değişim Belirleme (Dimensional Change Identification)

Boyutsal değişim belirleme TS EN 4084 standardında belirtilen esaslar dikkate alınarak, iklimlendirilmiş beş ahşap türünden 20x20x30 mm ölçülerinde örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu örnekler 0,01 hassasiyetli analitik terazide tartıldıktan sonra 0,01 hassasiyetli dijital kumpas ile boyutları ölçülmüştür. Daha sonra 103°C±2°C'ye sahip etüvde örneklerin ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Etüvden çıkartılan örnekler, içerisinde P₂O₅ olan desikatöre alınarak soğumaları sağlanmıştır. Bu durumda ±0,01g duyarlı analitik terazide tekrar tartılarak ağırlıkları ve 0,01 hassasiyetli kumpas ile boyutları belirlenmiştir. Tam kuru halde ölçümleri yapılan örnekler 20°C±2°C sıcaklıkta su içerisine yüzeyden 25 mm içeride olacak şekilde daldırılmış, değişmez ağırlığa gelinceye kadar su içerisinde bekletilmiştir. Örnekler tam doymuş hale geldikten sonra su kabından çıkartılmış, üstü ile fazla suyu kurulanmıştır. Kurulama işlemi sonunda deney örneklerinin boyutları 0,01 hassasiyetli dijital kumpas ile ağırlıkları 0,01 hassasiyetli analitik terazide tekrar belirlenmiştir. Yapılan ölçümler sonrasında elde edilen veriler aşağıdaki denklemde yerlerine konularak boyutsal değişim miktarı hesaplanmıştır.

$$\alpha = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max}} \times 100 \text{ , eşitliğine göre}$$

hesaplanmıştır. Burada;

α = Radyal ve Teğet yönde boyutsal artış yüzdesi (%)

L_{max} = Tam yaş hal ölçüsü (mm) Burada

L_{min} = Tam kuru hal ölçüsü (mm)

2.3.3.5 Ağırlık Kaybı Belirleme (Weight Loss Determination)

Yüzeyleri karbonlaştırılmış ve karbonlaştırılmadan sonra keten yağı uygulanmış 20x20x30 mm ölçülerinde beş ahşap türünde numunelerin ağırlıkları $\pm 0,01$ duyarlıklı analitik terazide tartılmıştır. Ağırlık kaybı belirlemede hiçbir işlem uygulanmayan örnekler A düzeyi, sadece karbonlaştırılmış örnekler B düzeyi ve karbonlaştırıldıktan sonra keten yağı uygulanan örnekler C düzeyi olarak kodlanmıştır. Bu kodlamaya uygun olarak ağırlıkları belirlenen örneklerin değişim miktarı aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$a = A1 - A2$, eşitliğine göre hesaplanmıştır. Burada;

a : Ağırlık farkı (değişim miktarı)

A1: İklimlendirilmiş karbonlaştırma işlemi öncesi numune ağırlığı

A2: Karbonlaştırma işlemi sonrası numune ağırlığı

2.3.3.6 Retensiyon Oranı Tayini (Retention Rate Determination)

20x20x30 mm boyutlarında hazırlanan deney örneklerinin yüzeyleri karbonlaştırılmış, daha sonra 20°C sıcaklık ve %65 nispi nem şartlarında iklimlendirilmiş örnekler fırça ile iki kat keten yağı sürüldükten sonraki ve önceki ağırlıklar 0,01 hassasiyetle tartılarak belirlenmiştir. Bu değerler aşağıdaki denklemde yerlerine konularak (keten yağı uygulanmış örneklerin ağırlığı sadece karbonlaştırılmış örneklerin ağırlığına oranlanarak) % miktar olarak belirlenmiştir.

$$R = \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1} \right] \times 100 \text{ , eşitliği göre hesaplanmıştır. Burada;}$$

T_1 = keten yağı uygulama öncesi örnek ağırlığı [g]

T_2 = keten yağı uygulama sonrası örnek ağırlığı [g]

2.3.4. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

Beş ahşap türünde, yüzeysel yakma (karbonlaştırma) ve keten yağı uygulama işleminin ahşap malzemelerde bazı fiziksel özellikler üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla $p \leq 0,05$ önem düzeyinde çoklu varyans analizi yapılmıştır. Ağaç türü, karbonlaştırma ve karbonlaştırma+keten yağı sürme işlem çeşidinin test edilmiş özellikler üzerindeki etkisi anlamlı bulunması halinde bunların homojenlik gruplarının belirlenmesi için Duncan testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Beş ahşap türünden örnekler karbonlaştırma işlemi uygulanması sonunda elde edilen bazı fiziksel özellik sonuçları aşağıda verilmiştir.

3.1. Yoğunluk değişimi (Change of specific gravity)

Bu çalışmada yoğunluk değişimi yüzeysel yakma nedeniyle azalarak gerçekleşmiştir. Beş ahşap türünden örneklerin, karbonlaştırma işleminden sonraki yoğunluk değerlerine ilişkin ortalamalar, ahşap türü, karbonlaştırma ve keten yağı uygulama işlemi ikili etkileşimine ait ortalamalar ve bu ortalamalara ait homojenlik grupları Tablo 3' de verilmiştir. Bu ahşap türleri, karbonlaştırma, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi ve bunların ikili etkileşimine ait yoğunluk varyans analizi Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 3. Ahşap türü ve işlem bakımından yoğunluk (g/cm^3) karşılaştırmaları ve homojenlik grupları (Density (g/cm^3) comparisons and homogeneity groups by wood type and treatment)

Ahşap Türü	Ort.	HG.	İşlem	Ort.	HG
Meşe	0.85	A	Karb.+Keten yağı	0.59	A
Sarıçam	0.53	B	Kontrol	0.58	A
Sedir	0.51	BC	Karbonlaştırma	0.55	B
Karaçam	0.49	C			
Ladin	0.48	C			
LSD = 0,03254 α = 0.050			LSD = 0,02520 α = 0.050		

Ahşap x İşlem	Ort.	HG	Ahşap x İşlem	Ort.	HG
Meşe Kontrol	0.87	A	Karaçam Karb.+Keten yağı	0.51	CDEF
Meşe Karbonlaştırma	0.84	A	Karaçam Kontrol	0.50	DEFG
Meşe Karb.+Keten yağı	0.83	A	Sedir Karb.+Keten yağı	0.49	EFG
Sedir Kontrol	0.58	B	Sedir Karbonlaştırma	0.47	EFG
Sarıçam Karb.+Keten yağı	0.56	BC	Karaçam Karbonlaştırma	0.47	EFG
Ladin Karb.+Keten yağı	0.55	BCD	Ladin Kontrol	0.45	FG
Sarıçam Kontrol	0.52	CDE	Ladin Karbonlaştırma	0.45	G
Sarıçam Karbonlaştırma	0.51	CDE	LSD = 0,05636 α = 0.050		

Tablo 4. Yoğunluğa ilişkin varyans analizi (Analysis of variance for density)

Kaynaklar	SD	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F-Değeri	p≤0,05
Ahşap Türü	4	1.435	0.359	197.6338	0.0000
İşlem	2	0.021	0.010	5.6680	0.0056
Ahşap x İşlem	8	0.056	0.007	3.8502	0.0010
Hata	60	0.109	0.002		
Toplam	74	1.620			

Tablo 3’de ahşap türü bakımından; en yüksek yoğunluk meşede, daha sonra sırasıyla sarıçam, sedir, karaçam, ladinde bulunmuştur. Yoğunluk bakımından meşenin yüksek olması diğer ağaç türlerine göre daha sık dokulu ve hücre çeperi maddesi fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir. İşlem bakımından; en yüksek karbonlaştırma+keten yağı uygulama, daha sonra sırasıyla kontrol ve karbonlaştırma işlemli örneklerde bulunmuştur. Karbonlaştırma işlemi deney örneklerinin yüzeyini yakması nedeniyle, yoğunluğu azalttığı, karbonlaştırılmış örneklerde keten yağı uygulanması ile de yoğunlukların tekrar bir miktar arttığı, bu artış meşe hariç diğer ahşap türlerinde kontrol örneklerinin de üzerine çıktığı görülmektedir. Meşede geçitlerdeki tülleme nedeni ile de keten yağının yeteri kadar bünyeye empenye olamamasından kaynaklanmış olabilir. Bu sonuç; meşede tül teşekkülü ve keten yağının emilimini engelleme bakımından ORS, Y.; KESKİN, H. Ağaç malzeme kitabında yapısal özellikler bahsinde belirtilmiştir [10]. Ayrıca, empenye maddelerinin yoğunluğu artırması bakımından önceki çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir [11, 12].

Aynı zamanda bu iki faktörün ikili etkileşiminde; en yüksek yoğunluk meşe-kontrol örneklerinde, daha sonra sırasıyla meşe karbonlaştırma ve meşe karbonlaştırma+keten yağı uygulanmış işlemli örneklerde bulunmuştur. Kontrol örneklerindeki

yoğunluklara göre her bir ahşap türünün yoğunluğu karbonlaştırma işlemi görmüş örneklerde azaldığı ve keten yağı uygulama işleminden sonra yoğunluğun tekrar bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni, karbonlaştırma işlemi sırasında ahşap dokunun yanarak madde kaybına uğramasından ve keten yağı uygulandıktan sonra yağın ahşap dokuya nüfuz etmesi sonucu ağırlığın tekrar artmasından kaynaklandığı söylenebilir. Tablo 4’deki varyans analizinde ise, ahşap türü, işlem çeşidi ve bunların ikili etkileşimlerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Yoğunluk değişimine en yüksek ahşap türü, daha sonra sırasıyla işlem ve ikili etkileşimin katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

3.2. Denge Rutubeti Değişimi (Equilibrium Moisture Change)

Rutubet değişimi kontrol örneklerine göre karbonlaştırma ve keten yağı uygulama işlemlerine bağlı olarak azalarak gerçekleşmiştir. Beş ahşap türünden örneklerin kontrol ve karbonlaştırma, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işleminden sonraki rutubet değerlerine ilişkin sonuçların ortalamaları, ahşap türü ve karbonlaştırma, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi ikili etkileşimine ait ortalamalar ve bu ortalamalara ait homojenlik grupları Tablo 5’ de verilmiştir.

Tablo.5. Ahşap türü ve işlem bakımından rutubet (%) karşılaştırmaları ve homojenlik grupları (Moisture (%) comparisons and homogeneity groups by wood type and treatment)

Ahşap Türü	Ort.	HG	İşlem	Ort.	HG
Meşe	9.09	A	Kontrol	12.06	A
Sarıçam	9.02	AB	Karbonlaştırma	8.11	B
Sedir	8.71	BC	Karb.+Keten yağı	6.07	C
Ladin	8.48	C			
Karaçam	8.43	C	LSD = 0,2508 α= 0.050		
LSD = 0,3237 α= 0.050					

Ahşap x İşlem	Ort.	HG	Ahşap x İşlem	Ort.	HG
Meşe Kontrol	12.17	A	Sedir Karbonlaştırma	7.93	BC
Karaçam Kontrol	12.14	A	Karaçam Karbonlaştırma	7.63	C
Sarıçam Kontrol	12.08	A	Meşe Karb.+keten yağı	6.67	D
Sedir Kontrol	12.01	A	Sarıçam Karb.+Keten yağı	6.58	D
Ladin Kontrol	11.92	A	Sedir Karb.+keten yağı	6.19	D
Meşe Karbonlaştırma	8.44	B	Karaçam Karb.+Keten yağı	5.52	E
Sarıçam Karbonlaştırma	8.40	B	Ladin Karb.+keten yağı	5.39	E
Ladin Karbonlaştırma	8.15	BC	LSD = 0,5608 α = 0.050		

Bu ahşap türleri, karbonlaştırma, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi ve bunların ikili etkileşimine ait rutubet miktarı varyans analizi Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Rutubete ilişkin varyans analizi (Analysis of variance related to moisture)

Kaynaklar	SD	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F-Değeri	p≤0,05
Ahşap Türü	4	5.446	1.361	6.8718	0.0001
İşlem	2	463.498	231.749	1169.7166	0.0000
Ahşap x İşlem	8	4.008	0.501	2.5286	0.0193
Hata	60	11.887	0.198		
Toplam	74	484.839			

Tablo 5'de ahşap türü bakımından; en yüksek denge rutubeti meşede ve daha sonra sırasıyla sarıçam, sedir, ladin ve karaçamda bulunmuştur. Meşede rutubetin yüksek olmasının nedeni; tüllenme nedeniyle iklimlendirme sürecinde diğer türlere hemen uyum sağlayamamasından kaynaklanmış olabilir. İşlem bakımından; en yüksek kontrol, daha sonra sırasıyla karbonlaştırma ve karbonlaştırma+keten yağı uygulama işleminde bulunmuştur. Kontrol örneklerindeki rutubete göre her bir ahşap türünün rutubeti karbonlaştırma işlemi görmüş örneklerde azaldığı ve karbonlaştırma + keten yağı işlemi uygulandığında rutubetin daha da azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni, karbonlaştırma işlemi sırasında ahşabın bünyesinde bulunan suyun buharlaşması ve karbonlaşma ile ahşabın higroskopik özelliğini zayıflamasından kaynaklandığı söylenebilir. Keten yağı uygulaması ile de örnek yüzeylerindeki yağsı tabakanın tekrar rutubet almayı engellediği görülmektedir. Bu

sonuç; ORS, Y.; KESKİN, H. Ağaç malzeme kitabında emprenye bahsinde belirtilmiştir [10]. Tablo 6'daki varyans analizinde ise, ahşap türü, işlem çeşidi ve bunların ikili etkileşimlerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Rutubet değişimine (azalmasına) en büyük işlem çeşidi, daha sonra sırasıyla ahşap türü ve ikili etkileşimin katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

3.3. Su emme miktarı değişimi (Change in water absorption amount)

Su emme miktarı değişimi; karbonlaşma işlemi ve keten yağı uygulamasına bağlı olarak azalarak gerçekleşmiştir. Beş ahşap türünden örneklerin kontrol ve karbonlaştırma, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işleminden sonraki su emme değerlerine ilişkin sonuçların ortalamaları, ahşap türü ve karbonlaştırma, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi ikili etkileşimine ait ortalamalar ve bu ortalamalara ait homojenlik grupları Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo.7. Ahşap türü ve işlem bakımından su emme miktarı karşılaştırmaları ve homojenlik grupları (Water absorption comparisons and homogeneity groups in terms of wood type and treatment)

Ahşap Türü	Ort.	HG	İşlem	Ort.	HG
Ladin	4.37	A	Kontrol	4.62	A
Sedir	2.99	B	Karbonlaştırma	3.15	B
Meşe	2.95	BC	Karb.+Keten yağı	1.52	C
Sarıçam	2.89	BC			
Karaçam	2.28	C	LSD = 0,5350 α= 0.050		
LSD = 0,6906 α= 0.050					

Ahşap x İşlem	Ort.	HG	Ahşap x İşlem	Ort.	HG
Ladin Kontrol	6.14	A	Meşe Karb.	2.51	DE
Ladin Karbonlaştırma	5.33	AB	Karaçam Karb.	2.29	DEF
Meşe Kontrol	4.76	B	Sarıçam Karb.+Keten yağı	1.68	EF
Sedir Kontrol	4.40	BC	Ladin Karb.+keten yağı	1.65	EF
Sarıçam Kontrol	4.40	BC	Meşe Karb.+keten yağı	1.60	EF
Karaçam Kontrol	3.39	CD	Sedir Karb.+keten yağı	1.51	EF
Sedir Karbonlaştırma	3.06	D	Karaçam Karb.+Keten yağı	1.16	F
Sarıçam Karbonlaştırma	2.58	DE	LSD = 1,196 α = 0.050		

Bu ahşap türleri, karbonlaştırma işlemi, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi ve bunların ikili etkileşimine ait su emme miktarları varyans analizi Tablo 8’ de verilmiştir.

Tablo 8. Su emme miktarlarına ilişkin varyans analizi (Analysis of variance for water absorption)

Kaynaklar	SD	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F-Değeri	$p \leq 0,05$
Ahşap Türü	4	35.530	8.883	9.8634	0.0000
İşlem	2	120.246	60.123	66.7619	0.0000
Ahşap x İşlem	8	16.192	2.024	2.2475	0.0359
Hata	60	54.034	0.901		
Toplam	74	226.002			

Tablo 7’de ahşap türü bakımından; en yüksek su emme oranı Ladinde ve daha sonra sırasıyla Sedir, Meşe, Sarıçam, Karaçam’da görülmüştür. Su emme oranının ladinde en yüksek çıkması yoğunluğun diğer ahşap türlerinden düşük olması ve iç boşluğunun diğerlerinden fazla olmasından kaynaklanmış olabilir. İşlem bakımından; en yüksek kontrol örneklerinde, daha sonra sırasıyla karbonlaştırma ve karbonlaştırma+keten yağı uygulama işleminde bulunmuştur. Aynı zamanda bu iki faktörün ikili etkileşiminde en yüksek su emme oranı Ladin-kontrol daha sonra Ladin karbonlaştırma örneklerinde bulunmuştur. Kontrol örneklerindeki su emme miktarına göre Ladin karbonlaştırma işlemli örnekler hariç diğer ahşap türlerinin su emme özelliği karbonlaştırma işlemi görmüş örneklerde azaldığı ve karbonlaştırma+keten yağı işlemi uygulanmış örneklerde su emme özelliğinin daha da azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni, karbonlaştırma işleminin ahşabın higroskopik özelliğini azaltmasından ve karbonlaştırma işleminden sonra keten yağı uygulamasında yüzeyde bir yağsı tabaka

oluşmasından ahşabın su molekülleri ile bağ kuramamasından kaynaklanmış olabilir. Bu sonuç; ORS, Y.; KESKİN, H. Ağaç malzeme kitabı rutubet bahsinde belirtilmiştir [10].

Tablo 8’deki varyans analizinde ise, ahşap türü, işlem çeşidi ve bunların ikili etkileşimlerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Su emme değişimine (azalmasına) en büyük oranda işlem çeşidinin, daha sonra sırasıyla ahşap türü ve ikili etkileşimin katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

3.4. Ağırlık değişimi (Weight change)

Ağırlık değişimi; karbonlaşma işlemi ve keten yağı uygulamasına bağlı olarak azalarak gerçekleşmiştir. Beş ahşap türünden örneklerin kontrol ve karbonlaştırma, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işleminden sonraki ağırlık değişimine ilişkin sonuçların ortalamaları, ahşap ve karbonlaştırma, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi ikili etkileşimine ait ortalamalar ve bu ortalamalara ait homojenlik grupları Tablo 9’ da verilmiştir.

Tablo.9. Ahşap türü ve işlem bakımından ağırlık değişimi (g) değerleri karşılaştırmaları ve homojenlik grupları (Comparisons of weight change (g) values and homogeneity groups in terms of wood species and treatment)

Ahşap Türü	Ort.	HG.	İşlem	Ort.	HG
Meşe	9.97	A	Kontrol	7.12	A
Sarıçam	5.80	B	Krb.+Keten yağı	6.67	B
Karaçam	5.74	B	Karbonlaştırma	5.88	C
Sedir	5.67	B			
Ladin	5.60	B	LSD = 0,3497 α= 0.050		
LSD = 0,4514 α= 0.050					

Ahşap türlerine, karbonlaştırma işlemine, karbonlaştırma + keten yağı uygulama işlemine ait ağırlık değişimi varyans analizi Tablo 10’ da verilmiştir.

Tablo 10. Ağırlık değişimi değerlerine ilişkin varyans analizi (Analysis of variance for weight change values)

Kaynaklar	SD	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F-Değeri	p≤0,05
Ahşap Türü	4	218.539	54.635	141.7383	0.0000
İşlem	2	19.497	9.749	25.2905	0.0000
Ahşap x İşlem	8	2.193	0.274	0.7113	
Hata	60	23.128	0.385		
Toplam	74	263.357			

Tablo 9’da ahşap türü bakımında; en yüksek ağırlık değişim miktarı meşede, daha sonra sırasıyla Sarıçam, karaçam, sedir ve ladinde bulunmuştur. Meşede yüksek çıkmasının nedeni yoğunluğun diğerlerinden fazla olması, diğer ahşap türlerinin yoğunluklarının birbirlerinden farklı olmasına rağmen ağırlık değişimi aynı grupta yer almıştır. İşlem bakımından; en yüksek kontrol örneklerinde, daha sonra sırasıyla karbonlaştırma+keten yağı uygulama ve karbonlaştırma işlemde bulunmuştur. Karbonlaştırma işlemi ahşapta yüzeysel yakma nedeniyle ağırlığı azaltmıştır, bunun yanında keten yağı uygulaması örneklerde tekrar ağırlık artışına neden olmuştur. Bu sonuç; Kasap Okut G. ve Altınok M., çalışmalarının aynı ahşap türlerinin toprak altındaki çürümeden kaynaklanan sonuçları ile örtüşmektedir [12].

Tablo 10’daki ağırlık değişimi varyans analizinde, ahşap türü ve işlem çeşidi faktörleri anlamlı, ama bunların ikili etkileşimlerinin anlamlı olmadığı görülmüştür. Ağırlık değişimine (kaybına) en büyük ahşap türü, daha sonra işlem çeşidinin katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

3.5. Boyutsal değişim (Dimensional change)

Boyutsal değişimi; karbonlaşma işlemi ve keten yağı uygulamasına bağlı olarak, azalarak gerçekleşmiştir. Beş ahşap türünden örneklerin kontrol, karbonlaştırma ve karbonlaştırma+keten yağı uygulama işleminden sonraki boyutsal değişimlerine ilişkin sonuçların ortalamaları ve bu ortalamalara ait homojenlik grupları Tablo 11’ de verilmiştir.

Tablo.11. Ahşap türü ve işlem bakımından boyutsal değişim (%) karşılaştırmaları ve homojenlik grupları (Dimensional change (%) comparisons and homogeneity groups by wood type and treatment)

Ahşap Türü	Ort.	HG.	İşlem	Ort.	HG
Ladin	6.98	A	Kontrol	7.18	A
Meşe	6.84	A	Karbonlaştırma	6.11	B
Sarıçam	6.77	A	Karb.+Keten yağı	4.65	C
Karaçam	6.25	B			
Sedir	4.06	C			
LSD = 0,6640 α= 0.050			LSD = 0,5144 α= 0.050		

Ahşap türlerinin, karbonlaştırma işleminin, karbonlaştırma+keten yağı uygulama işleminin boyutsal değişim oranları varyans analizi Tablo 11’ da verilmiştir.

Tablo 12. Boyutsal değişime (kararlılık) ilişkin varyans analizi (Analysis of variance for dimensional change (stability))

Kaynaklar	SD	Kareler toplamı	Ortalama kareler	F- Değeri	p≤0,05
Ahşap Türü	4	98.881	24.720	29.6842	0.0000
İşlem	2	80.621	40.311	48.4052	0.0000
Ahşap x İşlem	8	7.304	0.913	1.0963	0.3785
Hata	60	49.966	0.833		
Toplam	74	236.772			

Tablo 11’de ahşap türü bakımında; en yüksek boyut değişimi oranı ladin, daha sonra sırasıyla meşe, sarıçam, karaçam ve sedirde bulunmuştur. Boyutsal değişim oranının ladinde en yüksek çıkması yoğunluğun diğer ahşap türlerinden düşük olması ve iç boşluğunun diğerlerinden fazla olmasından kaynaklanmış olabilir. İşlem bakımından; en yüksek kontrol örneklerinde, daha sonra sırasıyla karbonlaştırma ve karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemde bulunmuştur. Bunun nedeni, karbonlaştırma işlemi ahşabın higroskopik özelliğini azaltmasından, karbonlaştırma işlem görmüş örneklerin doğal hallerindeki kadar rutubet absorbe edememesinden ve bunun da boyutların değişim oranını azaltmasından kaynaklandığı söylenebilir. Bu sonuç; Koski A. (2008) çalışmasının yağ ile emprenye edilmiş ahşapta su emme oranının azalmasından kaynaklanan boyutsal değişim sonucu ile örtüşmektedir [13].

Tablo 12’deki boyut değişim varyans analizinde, ahşap türü ve işlem çeşidi faktörleri anlamlı, ama bunların ikili etkileşimlerinin anlamlı olmadığı görülmüştür. Boyutsal değişime (kararlılığa) en büyük işlem çeşidinin, daha sonra ahşap türünün katkıda bulunduğu tespit edilmiştir.

3.6. Retensiyon miktarının belirlenmesi (Determination of the amount of retention)

Karbonlaşma işleminden sonra keten yağı uygulamasına bağlı olarak, örneklerin ağırlıkları Retensiyon miktarı oranında artarak gerçekleşmiştir. Ahşap türlerindeki Retensiyon oranlarına ilişkin değerler Tablo 13’ de verilmiştir.

Tablo 13. Ahşap türlerine göre Retensiyon miktarları (%) (Retention amounts according to wood species (%))

Ahşap türü	Retensiyon miktarı (%)
Meşe	2,39
Sarıçam	13,43
Karaçam	5,05
Sedir	9,61
Ladin	22,18

Deney örnek yüzeyleri yakıldıktan (karbonlaştırmadan) sonra keten yağı uygulaması yapılmış olup, her bir ahşap türünün yapısal özelliğine göre keten yağının absorbe etme veya keten yağının ahşap yüzeye nüfuz etme miktarı ağırlık bakımından “Retensiyon” oranı olarak belirlenmiştir. Bu durumda en yüksek Retensiyon oranı ladinde %22,18 olarak bulunmuş olup, ladinin hücre lümenlerinin geniş olmasından ve buna bağlı olarak daha çok keten yağı absorbe etmesinden kaynaklandığı söylenebilir. En düşük %2,39 oranında meşede belirlenmiştir. Bunun nedeni ise; meşenin lümen boşlukları dar hücre çeperleri kalın ve hücre geçitlerinde tülleme olması ile daha az keten yağı tutunduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Karbonlaştırma işlemi ve karbonlaştırma sonrası keten yağı uygulamasından sonraki örneklerin fiziksel özelliklerindeki değişimler incelendiğinde; tüm fiziksel özellik değerlerinin kendi kontrol örneklerinin değerlerine göre azalarak değiştiği görülmektedir (Tablo 14).

Tablo 14. Ahşap türlerinde karbonlaştırma ve karb.+keten yağı uygulama işlemine göre fiziksel özellik değişimleri (Physical property changes in wood species according to carbonization and carb.+linseed oil application process)

Fiziksel Özellikler	Ahşap	Kont-rol	Karbon-laştırma	Değişim - % (Karb./Kont.)	Karb.+Keten yağı	Değişim - % (Karb.+Ket./Kont.)
Yoğunluk	Meşe	0,87	0.84	-2.52	0.83	-3.90
	Sarıçam	0.52	0.51	-0.76	0.56	+7.69
	Karaçam	0.50	0.47	-5.57	0.51	+1.59
	Sedir	0.58	0.47	-17.86	0.49	-15.46
	Ladin	0.45	0.45	-1.74	0.55	+20.52
Rutubet	Meşe	12.16	8.44	-30.63	6.67	-45.11
	Sarıçam	12.08	8.40	-30.45	6.58	-45.50
	Karaçam	12.14	7.63	-37.08	5.52	-54.48
	Sedir	12.01	7.93	-33.98	6.19	-48.43
	Ladin	11.92	8.15	-31.63	5.39	-54.71
Su emme	Meşe	4.76	2.51	-47.29	1.60	-66.40
	Sarıçam	4.40	2.58	-41.28	1.68	-61.85
	Karaçam	3.39	2.29	-32.37	1.16	-65.68
	Sedir	4.40	3.06	-30.41	1.51	-65.59
	Ladin	6.14	5.33	-13.28	1.65	-73.15
Ağırlık kaybı	Meşe	10.68	9.02	-15.49	10.21	-4.38
	Sarıçam	6.33	4.96	-21.67	6.13	-3.13
	Karaçam	6.43	5.09	-20.75	5.69	-11.38
	Sedir	6.27	5.13	-18.19	5.62	-10.42
	Ladin	5.89	5.22	-11.33	5.69	-3.39
Boyutsal kararlılık	Meşe	8.36	6.87	-17.83	5.29	-36.74
	Sarıçam	7.73	7.16	-7.34	5.43	-29.69
	Karaçam	6.14	5.28	-13.99	4.34	-29.38
	Sedir	4.93	4.64	-5.96	2.61	-47.10
	Ladin	8.74	6.60	-24.41	5.59	-36.01

Yoğunluk değişimi bakımından, karbonlaştırma işlemi tüm ahşap türlerinde yoğunluğu %0,76 ile %17,86 arasında azalttığı tespit edilmiştir. Karbonlaştırma sürecinde en yüksek yoğunluk değişimi Sedirde çıkmasının nedeni aromatik kokuyu veren ekstraktif maddelerin buharlaşarak katı madde kaybından kaynaklandığı söylenebilir. Karbonlaştırma sonrası keten yağı uygulaması sürecinde Meşe ve Sedir hariç diğer ahşap türlerinde yoğunluk değişimi kontrol örneklerine göre bir miktar artarak gerçekleşmiştir. Karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi Sarıçam, Karaçam ve Ladinde %1,5-%20,52 oranları arasında yoğunluğu tekrar artırdığı tespit edilmiştir. Bu ahşap türleri yapısal olarak basit geçitli ve sıvı geçirgen olduklarından keten yağının etkisi, yoğunluğu olumlu etkilemiştir.

Rutubet değişimi bakımından, karbonlaştırma işlemi tüm ahşap türlerinde rutubet değişimini %30,45-%37,08 arasında azalttığı tespit edilmiştir. Karbonlaştırma sürecinde en yüksek rutubet değişimi Karaçamda en düşük ise Sarıçamda olduğu tespit edilmiştir. Karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi sürecinde bu rutubet değişiminin

(azalmanın) kontrol örneklerine göre daha da yüksek düzeyde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bunun nedeni; karbonlaştırma sonrası keten yağı özelliğinin ahşap içerisine nüfuz etmesi ve yüzeyde oluşturduğu satenimsi tabaka sayesinde ahşap ile rutubet çapraz bağı kurulmasına engel olmuştur. Bu durumda karbonlaştırma ve keten yağı uygulanmış örneklerde ahşabın mevcut hidroksil gruplarının azaldığı ve buna bağlı olarak daha az su absorbe ettiği söylenebilir.

Su emme oranı bakımından, karbonlaştırma işlemi tüm ahşap türlerinde rutubet değişimini %13,28-%47,29 arasında azalttığı tespit edilmiştir. Karbonlaştırma sürecinde en yüksek su emme oranı Meşede en düşük ise Ladinde olduğu tespit edilmiştir. Yoğunluğu düşük olan Ladinde birim hacim içerisindeki hücre çeperi miktarı daha az olduğu ve karbonlaştırma yüzeyin daha da derinliklerine ilerlediği için su emme oranı değişimi düşük çıkmış olabilir. Karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi sürecinde su emme oranı değişimi (azalması) kontrol örneklerine göre daha da yüksek oranda gerçekleştiği belirlenmiştir. Bunun nedeni; hem karbonlaştırmanın hem de buna ilaveten keten

yağının ahşap içerisine nüfuz etmesi ve yüzeyde oluşturduğu satenimsi tabaka sayesinde ahşap ile su arasında çapraz bağı kurulmasına engel olmuştur. Bu durumda karbonlaştırma ve keten yağı uygulanmış örneklerde ahşabın mevcut hidroksil gruplarının azaldığı ve buna bağlı olarak daha az su absorbe ettiği söylenebilir.

Ağırlık değişimi bakımından, karbonlaştırma işlemi tüm ahşap türlerinde ağırlık değişimini %11,33-%21,67 arasında azalttığı tespit edilmiştir. Karbonlaştırma sürecinde en yüksek ağırlık değişimi (azalması) Sarıçamda (%21,67) en düşük ise Ladinde olduğu tespit edilmiştir. Sarıçamda değişim oranının yüksek olmasının nedeni ekstraktif maddeler ve reçinenin 250-300°C karbonlaştırma sıcaklığı ile buharlaşmanın daha yüksek oranda ağırlık kaybına neden olduğu söylenebilir. Karbonlaştırma ve keten yağı uygulanmış örneklerde kontrol örneklerine göre ağırlık kaybı değişimi %3,13-%11,38 arasında olduğu tespit edilmiştir. Sadece karbonlaştırma uygulanmış örnekler için ağırlık kaybı oranının azaldığı görülmektedir. Sarıçamda sadece karbonlaştırma örneklerinde ağırlık değişimi en yüksek oranda olmasına rağmen, keten yağı uygulanmış örneklerde yağ moleküllerinin hücre çeperlerine daha fazla oranda tutunmasından (Retensiyon oranı %13-14) olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Boyutsal değişim bakımından, karbonlaştırma işlemi tüm ahşap türlerinde boyutsal değişim (kararlılığı) oranı %5,96 - %24,41 arasında azalttığı tespit edilmiştir. Karbonlaştırma sürecinde en yüksek boyutsal değişim oranı Ladin ve Meşede en düşük ise Sedir ve Sarıçamda olduğu tespit edilmiştir. Meşede boyutsal değişimin yüksek çıkma nedeni yayvan yapraklı ahşap türlerinde çalışma oranının yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Sedir ve Sarıçamda boyutsal değişimin düşük çıkmasının nedeni ise yoğunluğun düşük ve homojen ve reçineli bir yapıya sahip olmalarından kaynaklanmıştır. Karbonlaştırma+keten yağı uygulama işlemi sürecinde boyutsal değişim oranı %29,38-%47,10 gerçekleşmiştir. Bir başka ifade ile boyutsal değişim azalmış kararlılık artmıştır. Bunun nedeni; karbonlaştırmının kararlılığı artırmasının üzerine ilaveten keten yağı uygulamasının ahşap örneklerin yüzeylerinde oluşturduğu yağsı katmanın su ile ilişkiyi iyice azaltmasından dolayı boyutsal kararlılığı artırmıştır.

Sonuç olarak, beş ahşap türü örneklerine uygulanmış olan karbonlaştırma işlemi ahşap malzemenin

fiziksel özelliklerinden yoğunluğu, denge rutubetini, su emme miktarını, azaltmaktadır. Karbonlaştırma sürecinde kontrol örneklerine göre ağırlık kaybının meydana geldiği, ancak karbonlaştırmadan sonra uygulanan keten yağının ağırlığı tekrar artırdığı, boyutsal değişimi azalttığı ve ahşabın boyutlarını daha kararlı hale getirdiği tespit edilmiştir.

Beş ahşap türünde karbonlaştırma ortalama olarak yoğunluğu %5,7 rutubet dengesini %32,75 su emme oranını %32,93 boyutsal değişim (çalışma) oranını %13,91 azalttığı tespit edilmiştir. Karbonlaştırma işleminin üzerine ilaveten keten yağı uygulamasının koruyuculuk özelliğini daha da artırıp ortalama olarak yoğunluğu %9,83 rutubet dengesini %49,65 su emme %66,53 boyutsal değişim (çalışma) oranı %35,78 daha da azaltarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Buna göre yüzeyi karbonlaştırılmış ve keten yağı uygulanmış ahşabın iklim şartlarına maruz kalınan kullanımlarına daha da kararlı hale geldiği söylenebilir.

Bu durumda; ahşabı karbonlaştırma yöntemi diğer bilinen koruma yöntemleri kadar etkili olduğu belirlenmiştir. Karbonlaştırmadan sonra ilaveten keten yağı uygulamasının sadece karbonlaştırma uygulanmış örnekler için koruyuculuk özelliğini daha da artırdığı, ahşap mikroskopisini ve çalışma oranını ileri düzeyde azalttığı tespit edilmiştir. Kimyasal özellikli ahşap koruyucuların çevreye verdiği sürekli zarara göre karbonlaştırma kısa süreli bir işlem olup daha ekolojik özellikte bir koruyucu olduğu söylenebilir. Karbonlaştırma işlemi, kimyasal koruyuculara göre daha ekonomik ve daha az ekipman ile uzmanlık gerektirmeden yapılabilecek bir işlem olarak uygulanabileceği önerilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu araştırma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2024-9446 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. / This research was supported by Gazi University Scientific Research Projects Unit under project number FYL-2024-9446.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. The authors of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Cengiz KÖROĞLU: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

She conducted the experiments, analyzed the results, and completed the writing process of the article.

Mustafa ALTUNOK: Deneylerin yapımına, sonuçların analizine ve makalenin yazımına katkıda bulunmuştur

He contributed to the conduct of experiments, analysis of results, and writing of the article.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Özüm E, 2008, Standart Yangına Maruz Farklı Kesitlerdeki Ahşap Kolonların yangın Dayanımının Deneysel Ve Teorik- Nümerik Saptanması, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- [2] Haksever A, Savaş S (2005b). Gerçek Yangın Etkisi Altında Ahşap Kolonların Dizaynı. İMO Teknik Dergi, 2005:3713-3738.
- [3] Kılıç A. (2010) Yanan Binalarda Çökme Tehlikeleri Ateşi Tutan Eller - Ateş Kahramanları).
- [4] Gün B, Anıktar S, 2020, Çevre ve Şehircilik Uygulamalarında Betonarme-Ahşap Yapı Karşılaştırması, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,(3): 19-25.
- [5] Düzenli, 2017, Realizm - Ütopizm Kıskaçında Şehir Ve İstanbul: Ev Ve Şehir Vakfı, Deprem Çalışma Grubu Ve Yeni Şehirler Projesi Üzerine. İdeal Kent, 599.
- [6] Flanagan, 2017, Kompozit Ahşap Kuleler, 80 Katlı Ahşap Gökdelen Projesi. Ahşap Yapılarda Koruma ve Onarım Sempozyumu 5 (s. 179-192). İstanbul.
- [7] Ahşap Yapıların Yangın Riski, Mimarlık Akademisi Dergisi 2018,URL1: <https://www.mimarlikakademisi.com/post/ah%C5%9Fap-yap%C4%B1larda-yang%C4%B1n-riski> Son Erişim Tarihi: 13.03.2024.
- [8] Shou Sugi Ban (Yakisugi) Nedir?, URL 2: <https://movemimarlik.com.tr/tr/shou-sugi-ban-yakisugi-nedir-2142>. Son Erişim Tarihi: 13.03.2024.
- [9] <https://www.turito.com/blog/chemistry/linseed-Oil>
- [10] ORS, Y.; KESKIN, H. Agac malzeme bilgisi. Atlas yayın dagitim. Ankara, 2001, 183.
- [11] Özkan, E., Arpacı, S. S., Dizman Tomak, E., Yıldırım, N. (2020). Atık yağ ile emprenye işleminin ahşap malzemenin fiziksel özelliklerine etkisi. Ağaç Ve Orman, 1(1), 36-41.
- [12] Kasap Okut G. ve Altınok M., “Doğal ahşap taneni ile modifiye edilmiş bazı ağaç türlerinde çürümeye karşı direncin incelenmesi”, Politeknik Dergisi, 23(2): 343-350, (2020).
- [13] Koski A (2008) Applicability of Crude Tall Oil for Wood Protection. PhD Thesis, University of Oulu
- [14] TS ISO 13061-TS ISO 13061-: Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri –Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri-Bölüm1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi/Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens-Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests, Türk standartları Enstitüsü, 2.12.2021, ANKARA
- [15] TS EN 4084: Wood- Determination of Radial and Tangential Swelling, 20 1983, Türk Standartları. ANKARA