





Termo-vakum işlem görmüş sarıçamın boyutsal kararlılığının incelenmesi

Hızır Volkan Görgün^{1*} , Öner Ünsal¹ 

ÖZ: Masif ahşabın özelliklerinin iyileştirilmesi için, termo-işlem uygulaması geliştirilmiştir. Bununla birlikte başta mekanik olmak üzere bazı özelliklerin daha da iyileştirilmesi için, özellikle farklı proses şartlarının denendiği çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, vakum ortamında gerçekleştirilen termo-işlemin (termo-vakum veya Thermovuoto®), boyutsal kararlılığa etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, 180 °C'de 1 saat termo-vakum uygulanan sarıçam (*Pinus sylvestris*) örneklerinde, yoğunluk, denge rutubet miktarı (DRM) değişimi ve anti daralma/genişleme etkisi (ASE) ölçülmüştür. Sonuçlar TSE CEN/TS 15679'daki referans çizelgeler ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre; teğet/radyal çalışma oranında %20 azalış tespit edilirken, 0.414 g/cm³ yoğunluk ile 'iç mekân', DRM (örneğin 20°C sıcaklık, %65 bağıl nem için %5,76) ve ASE (%79.56) verileri açısından 'dış mekân' sınıfında çıkarırken, genişlikteki maksimum değişim oranına (MDO) göre 'sınıf dışı' çıkmıştır. Bununla birlikte genişlikte daralma %30 azaldığı için MDO'ya göre de 'iç mekân' sınıfında değerlendirilebilir. Çünkü değerlendirmelerde bazı farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin standarttaki referans değerlerin geleneksel termo-işlem için belirlenmiş olup, literatürdeki diğer çalışmalarda da daralma değerlerinin işlem görmemiş malzeme standartlarına göre değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca DRM ve MDO'nun farklı sınıfta çıkmasında termo-vakum işleminin, geleneksel termo-işleme göre ahşabın farklı kimyasal özelliklerini değiştirmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Çam, Daralma, Isıl İşlem, Modifikasyon, Stabilité.

Dimension stability of thermo-vacuum treated scots pine wood

ABSTRACT: Thermo-treatment application has been developed to improve the properties of solid wood. However, studies are ongoing to further improve some properties, especially mechanical, testing different process conditions. In this study, the effects of thermo-treatment (thermo-vacuum or Thermovuoto®) carried out in vacuum environment on dimensional stability were investigated. In this context, density, equilibrium moisture content (EMC) changes and anti-shrinkage/swelling efficiency (ASE) were measured in Scots pine (*Pinus sylvestris*) samples treated to thermo-vacuum at 180 °C for 1 hour. The results were compared with the reference tables in TSE CEN/TS 15679 and the literature. According to the results; while a 20% decrease was detected in the tangential/radial working ratio, with a density of 0.414 g/cm³, it was in the 'outdoor' class, according to EMC (e.g. 5.76% for 20°C temperature, 65% relative humidity) and ASE (79.56%) data it was in the 'indoor' class, but it was 'out of class' the maximum change rate in width (MCRW). However, since the shrinkage in width has decreased by 30%, it can be evaluated in the 'indoor' class according to MCRW. Because there are some differences in evaluations. For example, the reference values in the standard were determined for traditional thermo-treatment, and in other studies in the literature, shrinkage values were evaluated according to untreated material standards. In addition, it was thought that the thermo-vacuum process changes the chemical properties of the wood differently compared to traditional thermo-treatment and is effective in the different classes of EMC and MCRW.

Keywords: Modification, Pine, Shrinkage, Stability, Thermo Treatment.

Makale tarihçesi: Geliş:23.07.2024, Kabul:12.11.2024, Yayınlanma:30.12.2024, *e-posta: volkan.gorgun@iuc.edu.tr.

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye.

Atıf: Görgün, H.V., ve Ünsal, Ö., (2024), Termo-vakum işlem görmüş sarıçamın boyutsal kararlılığının incelenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7 (2), 163-171, DOI: [10.33725/mamad.1520817](https://doi.org/10.33725/mamad.1520817)

1 Giriş

Masif ahşap insanlığın yararlandığı en eski malzemelerden biridir ve sahip olduğu birçok olumlu özelliği nedeniyle günümüzde de kullanılmaya devam etmektedir. Bununla birlikte diğer mühendislik ürünü ağaç malzemelerin (kontrplak, yonga-lif levha vb.) geliştirilmesi ve rutubet alışverişine bağlı boyut değişimi (çalışma), çürüyebilme, yanabilme gibi bazı dezavantajları nedeniyle kullanımı azalmış olsa da, doğallığı nedeniyle hala tercih edilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar belirtilen bu dezavantajların en aza indirgenmesi konusunda çalışmalar yürütmektedir. Emprenye ile boyutsal kararlılık (Öztürk ve Atar, 2023) ve biyolojik dayanıklılık (Mantanis ve ark., 2014) gibi özellikler iyileştirilse de, kimyasal madde kullanımı son kullanıcıyı doğallıktan uzaklaştırma algısını oluşturmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen ve sadece yüksek sıcaklıklardaki ısı (ve inert gaz kullanımı) ile gerçekleştirilen termal modifikasyon amaçlı ısıl işlem (termo-işlem) ön plana çıkmaya başlamıştır. Ayrıca termo-işlem, insan ve çevreye karşı zararlı kimyasallar ilave edilmeden elde edilmeden uygulandığından, emprenyeye iyi bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Köse ve Temiz, 2013). Masif ahşapta doğal renk koyuluğu, işlenme gibi özelliklerinin iyileşmesiyle birlikte, özellikle fiziksel (Aytin ve Korkut, 2016) ve dayanıklılık (Yılıgör ve Kartal, 2010) özelliklerini de iyileştirmektedir. İşlemin getirdiği ilave maliyete karşın fiziksel ve estetik özelliklerdeki bu iyileşme nedeniyle dış mekân dekorasyonunda ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte işlemin masif ahşapta denge nemi düşürmesine karşın, mekanik özelliklerini azaltması (Esteves, 2009) nedeniyle, yüke maruz kalacağı alanlarda daha az tercih edildiği söylenebilir.

Son yıllarda modifikasyon amaçlı termo-işlemin vakum (kuru-kapalı) ortamında uygulandığı termo-vakum (Thermovuoto®) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde %12 rutubetteki ahşabın sıcaklığı vakum altında yavaşça 200 ila 240 °C'ye (türe göre süre ve sıcaklık değişebilir) çıkartılmaktadır (Masoumi ve Bond, 2024). Termo-vakum işleminde sistemin açık veya kapalı olmasına göre hücrelerin kimyasal bileşimine etkileri aynı olmadığından, fiziksel özelliklerdeki değişim farklı olmaktadır (Juizo ve ark., 2018). Açık sistemlerde fırında yer alan kerestelerdeki rutubet miktarı %0'a indirilmekte ve %2 civarına çıkması için buhar verilmekteyken, kapalı sistemlerde sürekli olarak basınç (veya vakum) sağlanırken, aynı zamanda devamlı buhar da verilmektedir (Ghiassi ve Lourenço, 2018). Hill (2006)'e göre, kapalı sistemlerde vakum sisteminin devamlı çalışması, hücre duvarındaki polisakaritlerin bozunmasında hızlandırıcı etki yapan tüm uçucu bileşiklerin, sürekli olarak fırından uzaklaştırılmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda ahşabın özelliklerinin, açık sisteme göre daha istenen düzeyde olacağı söylenebilir. Bu kapsamda yapılan bir çalışmada (Bal, 2018) farklı sıcaklıklarda (180, 200 ve 220 °C) 2.5 saat süren termo-işlem yönteminin vakum, nitrojen ve hava atmosferlerinde karaçam odunundaki değişim farklarını incelemiştir. Her sıcaklık kademesinde de yoğunlukla ilgili istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmazken, kütle kaybında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle hava atmosferinde yapılan termo-işleminde kütle kaybı en fazlayken, vakum ve nitrojen ortamında yapılan işlemler arasında anlamlı bir farklılık çıkmadığı tespit edilmiştir. Bal ve Kılavuz (2021) tarafından kavak (*Populus spp.*) örneklerinde yapılan çalışmada, 210 °C sıcaklık ve 3 saat boyunca farklı vakum miktarlarında uygulanan termo-vakum işlemi sonucunda, denge rutubet miktarlarında ve genişleme miktarlarında azalış tespit edilmiştir. Bununla birlikte fiziksel özelliklerdeki bu azalışın, vakum miktarının artmasıyla azaldığı da belirtilmiştir. Bir başka çalışmada (Jebrane ve ark., 2018), 212 °C sıcaklık ve 3 saat geleneksel ve vakumlu termo-işlem gören sarıçam ve ladin örneklerinin özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki yöntemde de kütle kayıplarının ve denge nemi azalışlarının benzer olduğu, hemiselüloz monomerlerinin

her iki yöntemde de gözlemlenmesine karşın yine aynı şekilde kimyasal kompozisyonları ve dayanıklılıklarının da benzer olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, vakum esaslı termo (termo-vakum) işlem uygulamasının, sarıçam odunun boyutsal kararlılığına etkisinin incelenmesidir. Bunun için işlem görmüş sarıçamın çalışma, denge nemi ve yoğunluk gibi bazı fiziksel özellikleri, standartlardaki referans değerler ve literatür sonuçları ışığında değerlendirilmiştir. Böylece endüstride ham ve geleneksel termo-işlemleri olarak sıkça kullanılan sarıçam örneklerinde, termo-vakum yönteminin boyutsal kararlılık özelinde etki farklılığı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Sarıçam (*Pinus sylvestris*) örnekleri ticari olarak temin edilmiştir. Örnekler kereste ebatlarındayken, endüstriyel amaçlı kullanılan bir fırında termo-vakum işlem uygulanmıştır. Bu işlem sırasında ısı teması yoluyla sağlanmış olup, örnekler 180 °C sıcaklıkta 1 saat boyunca -760mmHg vakum uygulanmıştır. Ardından işlem yeterliliği CEN/TS 15679 (2007) standardındaki bazı kriterlere göre test edilmiştir.

2.2 Metot

İşlem görmüş (T) ve görmemiş (U) örneklerin boyutsal kararlılığı ise CEN/TS 15679 (2007) ve EN 1910 (2016) standartlarına göre testler yapılarak karşılaştırılmıştır. Bunun için iki örnek grubu; küçük ve kusur içermeyen 2x2x3 cm ebatlarında (K grubu) ve kusur (bal peteği, öz, budak, çatlak vb.) içerebilen 10x85x250mm ebatlarında (EN 1910 (2016) standardı gereği) (B grubu) hazırlanmıştır. Ebatlanan tüm örnekler standartlarda istenen farklı koşullarda tutulmuş, ağırlık ve hacimleri her koşulda ölçülerek kaydedilmiştir. Örneklerin denge rutubet miktarları (DRM), EN 13183-1 standardı referans alınarak kurutma metoduna göre ölçülmüştür.

$$DRM = 100 \frac{m_s \cdot m_d}{m_d} \quad (1)$$

Örnekler, uygulanan farklı koşullarda ulaştığı denge durumundaki ağırlıkları (m_s , g) ve 103 °C 'de tam kuru hale geldikten sonraki ağırlıkları (m_d , gr) kullanılarak aşağıdaki formüle göre DRM'leri (%) hesaplanmıştır. K grubu örneklerin DRM'leri, standartta (CEN/TS 15679, 2007) yer alan değerlerle, B grubu örneklerin %30 ile %85 bağıl nemler arasında genişlikteki değişimleri ise Çizelge 1'de yer alan EN 1910 (2016) standardındaki referans değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. %30 ve %85 bağıl nem (20°C) arası genişlikteki maksimum değişim oranları (EN 1910, 2016)

	Maksimum Değişim Oranı
Çam – Termo-işlem görmüş – İç mekân	0.9% - 1.1%
Çam – Termo-işlem görmüş – Dış mekân	0.8% - 1.0%

$$d_{cr} = 100 \frac{\left(\frac{18}{h}\right)^{D_h \cdot D_d}}{D_i} \quad (2)$$

$$ASE = dcr_U / dcr_T \quad (3)$$

B grubu örneklerin aynı zamanda bu koşullardaki ölçüleri kaydedilerek, kümülatif bağıl boyutsal değişimi (d_{cr} , %) ve anti daralma/genişleme etkisi (ASE – bu çalışmada daralma)

değerleri de EN 1910 (2016) standardına göre hesaplanmıştır. ASE değerleri modifikasyon amaçlı termo-işlemede öne çıkan boyutsal kararlılık etkisinin tespiti için önemli bir gösterge olup, sırasıyla işlem görmemiş ve görmüş örneklerin kümülatif bağıl boyutsal değişimi (d_{crU} ve d_{crT} , %) değerleri kullanılarak, aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır. d_{cr} hesaplamasında %30 bağıl nemdeki ölçü (D_d , mm), %65 bağıl nemdeki ölçü (D_i , mm) ve %85 bağıl nemdeki ölçü (D_h , mm) kullanılmış olup, nemli koşul için 20 °C’de %85 bağıl nem uygulandığı için (standarttaki H2 koşulu), h değeri 18 alınmıştır.

$$D_d = m_d / V_d \quad (4)$$

$$DDR = [(D_{dU} / D_{dT}) \times 100] / D_{dU} \quad (5)$$

Termo-işlem yeterliliği standardındaki (CEN/TS 15679, 2007) referans değerleriyle (Çizelge 2) karşılaştırmak için, K grubu örneklerde yoğunluk azalışı değerleri de tespit edilmiştir. Bunun için tam kuru yoğunluk değerleri (D_d , g/cm³), tam kuru hacim (V_d , cm³) ve tam kuru ağırlıklar (m_d , g) kullanılarak aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır. Aynı zamanda yoğunluktaki azalış oranı (DDR, %), işlem görmüş (D_{dT} , g/cm³) ve görmemiş (D_{dU} , g/cm³) örneklerin tam kuru yoğunlukları oranlanarak bulunmuştur.

Çizelge 2. İşlem öncesi ve sonrası ortalama yoğunluk azalışı referans değerleri (CEN/TS 15679, 2007)

	Ortalama yoğunluk azalışı
Çam – Termo-işlem görmüş – İç mekân	-5% - 7%
Çam – Termo-işlem görmüş – Dış mekân	-8% - 10%

$$\beta_T = (R\ddot{O}_T - K\ddot{O}_T) \times 100 / R\ddot{O}_T \quad (6)$$

$$\beta_R = (R\ddot{O}_R - K\ddot{O}_R) \times 100 / R\ddot{O}_R \quad (7)$$

Son olarak, teğet – radyal çalışma farkından kaynaklı olarak, mevcut enine kesitteki formunu (kare, dikdörtgen vb.) koruma durumuyla ilgili bir oran olan, teğet yöndeki daralmanın (β_T), radyal daralmaya (β_R) oranı hesaplanarak, termo-işlemin etkisi de incelenmiştir. Hesaplamalarda, hem teğet hem de radyal yöndeki %95 rutubetteki ölçüler ($R\ddot{O}_T$, mm ve $R\ddot{O}_R$, mm), tam kuru ölçüler ($K\ddot{O}_T$, mm ve $K\ddot{O}_R$, mm) ile oranlanmıştır.

3 Bulgular ve Tartışma

Yapılan tam kuru yoğunluk ölçümleri sonucunda kontrol örneklerinin yoğunluğu 0.443 g/cm³, işlem görmüş örneklerin yoğunluğu ise 0.414 g/cm³ çıkmıştır. Ortalamalar arasındaki fark az görünmesine karşın, değişim oranı -%6.75’tir ve bu oran CEN/TS 15679 (2007) standardına göre iç mekân için termo-işlem görmüş çam sınıfında yer almaktadır.

Büyük örneklerde yapılan genişlikteki maksimum değişim oranları, kontrol örneklerinde %1.82, işlem görmüş örneklerde ise %1.21 olarak tespit edilmiştir. Ortalamalar bakımından önemli bir azalış olmasına karşın, işlem görmüş örneklerdeki %1.21 oranı, CEN/TS 15679 (2007) standardının iç mekân kullanımı için referans alınan %0.9 - %1.1 aralığından yüksek çıkmıştır. Bu durumda genişlik stabilitesi açısından, yeterli ısı işlem koşullarının sağlanmadığı söylenebilir. Bununla birlikte standartlarda örneklerin genişlik yönünde teğet veya radyal olmasıyla ilgili bir ayırım bulunmamaktadır. Oranın üst sınır değere yakın olması (%1,21 > %1,10) ve kontrol örneğine göre %33 gibi önemli bir azalış olması da dikkate alındığında, iç mekân kullanımı için olumlu değerlendirme yapılabilir.

İşlem görmüş ve görmemiş örneklerin farklı denge nemlerine bırakıldıktan sonra ulaştıkları DRM'ler Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. (CEN/TS 15679, 2007) standardındaki Kuzey Çamı (Scots pine) için ve bu çalışmadaki örneklerin farklı bağıl nemlerdeki (20 °C) denge rutubet miktarları

Bağıl Nem →	%30	%65	%95
Çam – İşlem görmemiş	%7 - 9%	%12 - %14	%22 - %24
Bu çalışma – İşlem görmemiş	%6.52	%11.73	%23.98
Çam – Termo-işlem görmüş – İç mekân	%5 - %6	%7 - %8	%14 - %16
Çam – Termo-işlem görmüş – Dış mekân	%4 - %5	%6 - %7	%12 - %13
Bu çalışma – Termo-işlem görmüş	%2.87	%5.76	%9.66

Çizelgede görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan kontrol örneklerinin referans değerlerle benzer çıkması, ölçümlerin doğruluğunu göstermektedir. İşlem görmüş örneklerin değerlerine bakıldığında ise; her üç bağıl nem kademesinde de dış mekân için DRM'lerden de düşük olduğu görülmektedir. %65 bağıl nemdeki DRM'ler karşılaştırıldığında; hem kontrol (%11.73 < %12.00) hem de işlem görmüş örneklerde (%5.76 < %6.00) standarda göre düşük çıktığı tespit edilmiştir. Literatürle karşılaştırıldığında; 180 °C – 1.5 saat işlem gören ve yine yumuşak ağaç grubunda olan göknarda %11.0, melezde (lareks) %8.3, ladinde %11.3 (Ferrari ve ark., 2013), bir başka çalışmada ise (Giudice ve ark., 2023) 200 °C – 3 saat işlem gören melezde %7.9 gibi daha yüksek DRM'ler tespit edilmiştir.

Anti daralma/genişleme etkisi (ASE), işlem görmüş malzemenin spesifik daralma veya genişleme oranının bağıl azalışı olarak tanımlanabilir. Termo-işlem yeterliliği ile ilgili standartta (CEN/TS 15679, 2007) tanımı ve nasıl ölçüleceği belirtilmesine karşın, diğerlerinde olduğu gibi karşılaştırma için referans değer belirtilmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada 1.5 olarak elde edilen ASE değeri literatürle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte literatürdeki hesaplamalar hacimsel daralma oranı üzerinden yapıldığı için, Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. ASE Değerlerinin Literatürle Karşılaştırılması*

Çalışma	Ağaç Türü	Yöntem	ASE (%)	Oranı
Bu çalışma	Sarıçam	TV, 180 °C - 1saat	79.56	
Yan ve Morrell (2014)	Douglas göknarı özodunu	TT, 180 °C -2saat	~%19	
Masoumi ve Bond, (2024)	Lale, Kırmızı Meşe, Dişbudak, Akçaağaç, Hickory, Vişne	TV, Ortalama 205 °C	(Sırasıyla) 41.6, 40.9, 65.6 23.5, 34.2, 51.2	
Surini ve ark. (2012)	Sahil Çamı	TV, 230 °C – 4 sat	25 - 60	

*H: Hacimsel, S: Standart, TT: Mevcut yöntemle termo-işlem, TV: Termo-vakum işlemi

ASE oranlarının yüksek çıkması, kuru-açık termo-vakum yönteminden kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü bu sistemde devamlı olarak işlem sırasında hücre duvarı kalıntıları uzaklaştırılmakta ve lümen içi veya hücre duvarlarında birikmemektedir. Bunun sonucunda

Masoumi ve Bond'un (2024) belirttiği gibi, hücre duvarı kalınlığında azalma neticesinde oluşan yoğunluk azalışına paralel olarak, daralma oranlarında da azalış meydana geldiği söylenebilir. İşlem görmüş ve görmemiş örneklerin teğet ve radyal daralma oranları Çizelge 5'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5. İşlem görme durumuna göre ortaya çıkan teğet/radyal daralma oranları

İşlem	Teğet / Radyal Daralma Oranı
İşlem Görmemiş (U)	1.69
İşlem Görmüş (T)	1.40
Azalma oranı (%)	%20

Çizelgede görüldüğü üzere uygulanan işlem, teğet ve radyal daralma oranını azaltmaktadır. Teğet ve radyal arasındaki çalışma oranı (T/R), malzemenin stabilitesini gösteren teorik bir değerdir. Genel olarak 2 oranındadır ve 1 ila 3 arasında ağaç türüne göre değişmektedir. Genel olarak, daralmadaki T/R oranı arasındaki fark ne kadar büyük olursa, burulma riski de o kadar büyük olur ve 2'den az olması ahşabın daha stabil olduğunun bir göstergesidir (Basri ve ark., 2015). Bununla birlikte reaksiyon odunu ve modifikasyon yöntemleri gibi etmenlerle bu oran değişebilir. Örneğin normal bir ağaç için genellikle 1.6 – 2.1 arasında değişen bu oran, dev sekoyanın (*Sequoia gigantea* (Lindl.) Decne.) basınç odununda 1 olarak tespit edilmiştir (Cockrell, 1974). Okaliptüs türlerinde termo-işlemlerle ilgili yapılan bir çalışmada (Almeida ve ark., 2009), işlemin T/R oranını azalttığı tespit edilmiştir.

Birden fazla kontrol deneyi yapılması nedeniyle, yapılan işlemin standarda göre (CEN/TS 15679, 2007) hangi sınıfta değerlendirilebileceğinin tespit edilebilmesi açısından, elde edilen sınıf sonuçları topluca Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Standarda göre (CEN/TS 15679, 2007) işlemin genel yeterlilik çizelgesi

Kontrol Deneyi	Örneklerin Sınıfı
Yoğunluk azalışı	Çam – Termo-işlem görmüş – İç mekân
Denge Rutubet miktarı	Çam – Termo-işlem görmüş – Dış mekân
Genişlikteki maksimum değişim oranı	Sınıf Dışı

Elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmada uygulanan termo-vakum işleminin iç mekân kullanımına uygun olduğu söylenebilir. Genişlikteki maksimum değişim oranı değerleri açısından 'Sınıf Dışı' olarak tespit edilse de, daha önce de bahsedildiği gibi, standartta ölçüm yapılan örneklerin teğet veya radyal olmasının belirtilmemesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü kontrol örneklerine göre %33 gibi önemli bir düşüş olması da söz konusudur. Burada esas dikkat edilmesi gereken husus, DRM'nin dış mekân yani en iyi kategoride yer almasına karşın, çalışmaya bağlı değişimin referans değerleri açısından 'Sınıf Dışı' olarak çıkmasıdır. Sonuçlardaki bu farklılığa iki faktörün etkili olduğu düşünülmektedir. Örneğin değerlendirme için referans alınan standartta, geleneksel termo-işlemlerle ilgili parametrelerin kullanılması söz konusudur. Ayrıca termo-vakum işleminin ahşaba etki mekanizmasındaki farklılığı da söz konusudur. DRM'nin dış mekân sınıfında çıkması, ortamdan nem alma kapasitesini etkileyecek bileşiklerin azaldığının bir göstergesi olabilir.

Buna karşın çalışmanın ‘Sınıf Dışı’ çıkmasına, malzemede çalışmaya etki eden ana kimyasal bileşiklerden, çok daha fazla nem bağlamasını sağlayan yapıların açığa çıktığı ve/veya engelleyen yapıların ayrılması nedeniyle kolaylaştığı şeklinde yorumlanabilir. Ancak daha somut ve ayrıntılı bir değerlendirme ve çıkarım yapılması için, kimyasal incelemelerin yapılması gereklidir.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, mevcut termo-işlem yönteminde boyutsal stabilite için tercih edilen 180 °C’de, ancak vakum ortamında uygulanan termo-vakum işleminin, sarıçamın boyutsal kararlılığına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçların kendi içerisinde, referans alınan CEN/TS 15679 (2007) standarda ve literatürdeki sonuçlara göre farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığa neden olan faktörlerin şu şekilde olduğu düşünülmektedir:

- Literatürdeki bazı çalışmalarda termo-işlemlenmiş malzeme değerlendirilmesine karşın, metodoloji ve değerlendirme için bahsedilen termo-işlem standardı yerine, genel amaçlı daralma-genişleme tayini standartları (TS 4083, 1983; TS ISO 13063-13, 2024 gibi) kullanılmıştır. Standartlar arasında farklılıklar olduğundan, sonuçların da literatürden farklı çıktığı söylenebilir.
- Termo-işlem uygulamaları için kontrol mekanizması oluşturan standartta (CEN/TS 15679, 2007) değerlendirme için referans değerler bulunmaktadır. Ancak bu değerler hava, buhar veya nitrojen atmosferlerinde veya ısıtılmış yağ banyosunda uygulanan geleneksel termo-işlem yöntemine göre belirlenmiştir. Bu çalışmada uygulanan termo-vakum işleminde ise vakum ortamı oluşturulması, temasla ısı transferinin gerçekleşmesi gibi proses olarak bazı farklılıklar barındırmaktadır. Bu nedenle referans değerleriyle uyumsuzluk olduğu düşünülmektedir.
- Diğer faktörlere oranla, özellikle proses şartlarının ve bunların kimyasal içerikteki değişime etkilerinin farklı olmasının daha etkili olduğu düşünülmektedir.. Bu çalışmada özellikle DRM ve genişlikteki maksimum değişim oranının farklı çıkması bunun önemli bir göstergesidir. Prosesin, geleneksel termo-işleme göre ahşabın kimyasal yapısını farklı bir şekilde etkilemesinden kaynaklandığı söylenebilir. Daha somut ve ayrıntılı değerlendirmeler için kimyasal analiz yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, İstanbul Üniversitesi-Cerrahapaşa, Orman Fakültesi, Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı çalışanlarına iklimik kabin kullanımındaki yardımları için, aynı Fakülteden Dr. Fatma Diğdem Tuncer’e tür tespitindeki yardımı için teşekkür etmektedir.

Yazar Katkıları

Hızır Volkan Görgün: Kavramsallaştırma, Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme. **Öner Ünsal:** Kavramsallaştırma, Metodolojinin belirlenmesi, Makale inceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Almeida G., Bri- J.O., & Perre P., (2009). Changes in wood-water relationship due - heat treatment assessed on micro-samples of three Eucalyptus species, *Holzforschung*, 63 (1), 80-88. DOI: [10.1515/HF.2009.026](https://doi.org/10.1515/HF.2009.026)
- Aytin, A., & Korkut, S., (2016). Effect of thermal treatment on the swelling and surface roughness of common alder and wych elm wood, *Journal of Forestry Research*, 27, 225-229. DOI: [10.1007/s11676-015-0136-7](https://doi.org/10.1007/s11676-015-0136-7)
- Bal, B. C., (2018). A comparative study of some of the mechanical properties of pine wood heat treated in vacuum, nitrogen, and air atmospheres, *BioResources*, 13(3), 5504-5511. DOI: [10.15376/biores.13.3.5504-5511](https://doi.org/10.15376/biores.13.3.5504-5511)
- Bal, B. C., & Kılavuz, M., (2021). Kavak odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine vakum atmosferinde uygulanan ısı işleminin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 30-39, DOI: [10.33725/mamad.926939](https://doi.org/10.33725/mamad.926939)
- Basri, E., Yuniarti, K., Wahyudi, I., Saefudin, & Damayanti, R., (2015). Effects of girdling on wood properties and drying characteristics of *Acacia mangium*, *Journal of Tropical Forest Science*, 498-505. <http://www.jstor.org/stable/43596226>
- Cockrell, R.A., (1974). A comparison of latewood pits, fibril orientation, and shrinkage of normal and compression wood of giant sequoia, *Wood Science and Technology*, 8 (3): 197-206. DOI: [10.1007/bf00352023](https://doi.org/10.1007/bf00352023)
- EN 1910 (2016). Wood and parquet flooring and wood panelling and cladding – determination of dimensional stability, European standard, CEN.
- EN 13183-1 (2002). Moisture content of a piece of sawn timber - Determination by oven dry method, European standard, CEN.
- Esteves, B., (2009). Wood modification by heat treatment: A review, *BioResources*, 370-404. DOI: [10.15376/biores.4.1.esteves](https://doi.org/10.15376/biores.4.1.esteves)
- Ferrari, S., Cuccui, I., & Allegretti, O., (2013). Thermo-vacuum Modification of some European softwood and hardwood species treated at different conditions, *BioResources*, 8(1): 1100-1109. DOI: [10.15376/biores.8.1.1100-1109](https://doi.org/10.15376/biores.8.1.1100-1109)
- Ghiassi, B., & Lourencço, P. B., (2018). Long-term performance and durability of Masonry structures: degradation mechanisms, health monitoring and service life design, *Woodhead Publishing*. DOI: [10.1016/c2016-0-03710-5](https://doi.org/10.1016/c2016-0-03710-5)
- Giudice, V.L., Antov, P., Koynov, D., Kristak, L., Lee, S.H., Lubis, M.A.R., Mecca, M., Moretti, N., Tiwari, R. & Todaro, L., (2023). Effect of thermo-vacuum modification on selected chemical, physical, and mechanical properties of Siberian larch (*Larix sibirica* L.) wood, *Wood Material Science & Engineering*, 18(6), 1991-2000. DOI: [10.1080/17480272.2023.2212253](https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2212253)
- Hill, C., (2006). Wood modification-chemical, thermal and other processes, Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons, Ltd.
- Jebrane, M., Pockrandt, M., Cuccui, I., Allegretti, O., Uetimane Jr, E., & Terziev, N., (2018). Comparative study of two softwood species industrially modified by Thermowood® and thermo-vacuum process, *BioResources*, 13(1), 715-728. DOI: [10.15376/biores.13.1.715-728](https://doi.org/10.15376/biores.13.1.715-728)

- Juizo, C.G.F., Zen, L.R., Klitzke, W., França, M.C., Cremonez, V.G., & Klitzke, R.J., (2018). Propriedades tecnológicas da madeira de eucalip- submetida ao tratamen- térmico, *Nativa*, 6(5), 537-542. DOI: [10.31413/nativa.v6i5.5666](https://doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5666)
- Köse, G., & Temiz, A., (2013). Ahşap malzemenin korunması (emprenye) ile ilgili sıkça sorulan sorular, *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, 94-97.
- Mantanis, G., Terzi, E., Kartal, S.N. & Papadopoulos, A.N., (2014). Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc-and copper-based nanocompounds, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 90, 140-144. DOI: [10.1016/j.ibiod.2014.02.010](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.02.010)
- Masoumi, A., & Bond, B. H., (2024). Dimensional stability and equilibrium moisture content of thermally modified hardwoods, *BioResources*, 19(1): 1218-1228. [10.15376/biores.19.1.1218-1228](https://doi.org/10.15376/biores.19.1.1218-1228)
- Öztürk, B., & Atar, M., (2023). Ahşap lavabo ve küvetlerde boyutsal kararlılık tasarımına emprenye işleminin etkisi, *Politeknik Dergisi*, 26(1), 477-485, DOI: [10.2339/politeknik.1256422](https://doi.org/10.2339/politeknik.1256422)
- Surini, T., Charrier, F., Malvestio, J., Charrier, B., Moubarik, A., Castéra, P., & Grelier, S., (2012). Physical properties and termite durability of maritime pine *Pinus pinaster* Ait., heat-treated under vacuum pressure, *Wood Science and Technology*, 46(1), 487-501. DOI: [10.1007/s00226-011-0421-3](https://doi.org/10.1007/s00226-011-0421-3)
- TS 4083, (1983). Odunda radyal ve teğet doğrultuda çekmenin tayini (İptal), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS ISO 13061-13, (2024). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri - Bölüm 13: Radyal ve teğet yönde daralmanın belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE CEN/TS 15679 (2011). Isıl işleme değiştirilmiş kereste (tmt) - Tarifler ve karakteristik özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Yan, L., & Morrell, J. J., (2014). Effects of thermal modification on physical and mechanical properties of Douglas-fir heartwood, *BioResources*, 9(4), 7152-7161. DOI: [10.15376/biores.9.4.7152-7161](https://doi.org/10.15376/biores.9.4.7152-7161)
- Yılğör, N. & Kartal, S. N., (2010). Heat modification of wood: chemical properties and resistance - mold and decay fungi, *Forest Products Journal*, 60(4), 357-361, DOI: [10.13073/0015-7473-60.4.357](https://doi.org/10.13073/0015-7473-60.4.357)