



Isıl İşleme Tabi Tutulmuş Ahşap Malzemelerin Boyutsal Stabilitesi

Dimensional Stability of Heat-Treated Wood Materials

Vahit Eşener¹ , Eylem Dizman Tomak^{2*} 

¹ Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü (LEE), Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

² Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa Teknik Üniversitesi, 16310 Bursa, Türkiye

MAKALE BİLGİLERİ

Gönderim Tarihi: 6/04/2025
Kabul Tarihi: 5/05/2025

Atıf:

Eşener, V., & Dizman Tomak, E. (2025). Isıl İşleme Tabi Tutulmuş Ahşap Malzemelerin Boyutsal Stabilitesi. *Ağaç ve Orman*. 6(1), 69-75.

*Sorumlu yazar: Eylem Dizman Tomak
E-mail: eylem.dizman@btu.edu.tr

Anahtar Kelimeler / Keywords:

Ahşap / Wood
Boyutsal stabilizasyon / Dimensional stabilization
Isıl işlem / Heat treatment
Odun modifikasyonu / Wood modification
Su alma oranı / Water uptake

© Telif hakkı 2005 Bursa Teknik Üniversitesi'ne aittir. Çevrimiçi olarak ulaşılabilir: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/agacorman>



Ağaç ve Orman'da yayınlanan eserler Creative Commons Atıf - Ticari Olmayan 4.0 Uluslararası Lisansı kapsamında lisanslanmıştır.

ÖZET

Ahşabın boyutsal kararlılığı ve nem içeriği, onun nihai kullanımını etkileyen önemli fiziksel özelliklerdendir. Bu çalışmada, meşe (*Quercus* spp.), sarı kavak (*Dalbergia decipularis*), ayous (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum), iroko (*Milicia excelsa*), dişbudak (*Fraxinus* spp.) ve çam (*Pinus sylvestris*) türlerine ait keresteler endüstriyel bir ısıtma tesisinde 212°C'de termal modifikasyona tabi tutulmuştur. Termal modifiyeli ve termal modifiyesiz (kontrol) kerestelerden 20x20x30 mm boyutlarında örnekler kesilmiştir. Her grup için 10 adet örnek kullanılmıştır. Tam kuru ağırlık ve boyutları belirlenen örnekler, daha sonra suyun içerisinde 5 gün boyunca bekletilmiş ve süre sonunda tekrar tam kuru ağırlık ve boyutları alınmıştır. Bu döngü 2 kez tekrarlanmıştır. Deneyde örneklerin su alma oranı (%), su itici etkinliği (%), hacimsel genişleme katsayısı (%) ve boyutsal stabilitesi (%) hesaplanmıştır. Sonuç olarak, termal modifiyeli örneklerde kontrollerine kıyasla en az su alma oranı meşe ve ayous odununda görülmüştür. Su itici etkinlik açısından, çam ve sarı kavak örneklerde ısıtmanın etkisi diğer odun türlerine kıyasla daha düşük tespit edilmiştir. Hacimsel genişleme katsayısı ise, ısıtılmış dişbudak, çam, sarı kavak ve nispeten meşede, kontrollerine kıyasla önemli ölçüde düşük bulunmuştur. Test edilen 6 tür arasında en düşük boyutsal stabilite iroko odununda tespit edilmiştir.

ABSTRACT

The moisture content and dimensional stability of wood are crucial physical properties that influence its end-use performance. In this study, oak (*Quercus* spp.), tulip (*Dalbergia decipularis*), ayous (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum), iroko (*Milicia excelsa*), ash (*Fraxinus* spp.) and pine (*Pinus sylvestris*) timbers were subjected to thermal modification at 212°C in an industrial heat treatment factory. Samples with dimensions of 20x20x30 mm were cut from both thermally modified and unmodified (control) timbers. Ten samples were used for each sample group. After measuring the oven-dry weight and dimensions of the specimens initially determined, then they were immersed in water for 5 days, and the oven-dry weight and dimensions were measured again at the end of this period. This cycle was repeated 2 times. In the experiment, the water uptake rate (%), water-repellent efficiency (%), volumetric swelling coefficient (%), and dimensional stability (%) of the specimens were calculated. As a result, the lowest water uptake rate among the thermally modified samples compared to their controls was observed in oak and ayous wood. In terms of water-repellent efficiency, the effect of heat treatment was found to be lower in pine and tulip samples compared to other wood species. The volumetric swelling coefficient was found to be significantly lower in heat-treated ash, pine, tulip, and oak compared to their controls. Among the 6 species tested, the lowest dimensional stability was found in iroko wood.

1. Giriş

Odunun ısıya tabi tutularak korunması çok eski zamandan beri kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde herhangi bir koruyucu kimyasal kullanılmadığından çevre dostu bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Isıl işlem 160-220°C arasındaki sıcaklıkta ve farklı gaz ortamlarında gerçekleştirilir ve bu aşamada hemiselüloz ve lignin degradasyonu gerçekleşir (Kocaefe vd., 2015). Termal modifikasyon odunun boyutsal stabilitesini ve biyolojik dayanıklılığını artırarak odunun higroskopisitesini ve ıslanabilirliğini azaltılmaktadır (Hill, 2006; Kocaefe vd., 2008; Esteves & Pereira, 2009). İşlemin başarısı, odun türünden, ortamda kullanılan gaz, sıcaklığa, süreye vb. birçok değişkene bağlıdır. Ahşabın ısıl işlemini konu alan çalışmalar neticesinde, Finlandiya’da Thermowood®, Hollanda’da PLATO®, Almanya’da Menz Holz OHT® gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Danimarka’da WTT ve IWT (Molrup) gibi basınçlı kapalı koşullarda odunun ısıl işlemi, İtalya’da Termovuoto ve Almanya’da Timura gibi vakum altında odunun ısıl işlemi gibi yeni teknolojiler geliştirilmiş ve pazara sunulmuştur. Son yıllarda çeşitli Avrupa ülkelerinde ve Kuzey Amerika’da ısıl işlem tesisleri kurulmuş ve bu tesisler ısıl işlem görmüş ahşabın Oleobois, Retiwood, BMT ve Bois Perdue gibi farklı ticari isimler altında üretimine ve ticarileştirilmesine öncülük etmiştir (Gérardin, 2016).

Ülkemizde kullanılan ısıl işlem yöntemi Thermowood®’dur. Bu yöntem, üç ana aşamadan oluşur. İlk aşamada, odun ısı ve buhar kullanılarak yüksek bir sıcaklıkta kurutulur. Fırın sıcaklığı hızla 100 °C’ye çıkarılır, ardından daha yavaş bir sıcaklık artışıyla 130 °C’ye çıkar ve odun nem içeriğinin sıfıra yakın bir seviyeye düşmesi sağlanır. Bundan sonra, fırın sıcaklığı 2 veya 3 saat boyunca 185 ila 215 °C arasındaki sıcaklıklara çıkarılır. Son aşama, odun nem içeriğini %4 ila %7 arasına getirmek için soğutma ve nemlendirme ile ilgilidir. Bu, çatlak oluşumunu önler ve termohidroliz reaksiyonlarını başlatır (Gérardin, 2016; Thermowood El Kitabı, 2021). Thermowood®, Thermo-S ve Thermo-D olmak üzere 2 ana başlıkta incelenir. Thermo-S’de, ısıl işlemin uygulama sıcaklığı 185°C’dir. Thermo-S sağlamlık/kararlılık anlamına gelmektedir. Thermo-S sınıfı ahşap malzeme, zarar sınıfı (Hazard Class) 3 sınıfına kadar dirençlidir. Thermo-S sınıfında ahşap malzemenin kullanım alanları yumuşak ahşaplar için yapı malzemeleri, kuru mekan zemin, cephe döşemeleri, kuru mekan sabit eşyalar, mobilya, bahçe mobilyası, sauna oturma yerleri ve kapı ve pencere doğramaları iken sert ahşaplar için döşemeler, sabit

eşyalar, mobilya, yer kaplamaları, sauna ve bahçe mobilyalarıdır. Thermo-D işlemi ise ısıl işlem uygulanan ahşap malzemenin 212°C’de işlem göresinden oluşmaktadır. Thermo-D dayanıklılığı belirlemektedir. Bu sınıftaki ahşap malzemeler biyolojik dayanıklılık sağlamaktadır. Thermo-D sınıfındaki ahşapların kullanım alanları yumuşak ahşaplar için dış cephe kaplaması, dış mekân zemin, duvar kaplama, pencere panjurları, park ve bahçe mobilyaları, sauna ve banyo elamanları, yer kaplamaları, iskele/güverte ve bahçe elemanları iken sert ahşaplar için döşemeler, sabit eşyalar, mobilya, yer kaplamaları, sauna ve bahçe mobilyalarıdır. Isıl işlem görmüş ahşap malzeme için daha koyu renk tercih ediliyorsa, Thermo-D kullanılmalıdır (Thermowood El Kitabı, 2021).

Isıl işlemli odunun su alma ve boyutsal stabilitesini bir diğer deyişle daralmayı önleyici etkinliğini (ASE) konu alan birçok çalışma yapılmıştır. Meşe ve kayın (Aydemir vd., 2019), ayous ve iroko (İcel & Beram, 2017; Tomak & Ermeşyan, 2025), sapele, iroko ve limba (Korkut, 2012), kavak (Orhan & Bal, 2022), yalancı akasya, kızılğaç, ardıc ve kiraz (Kesik vd., 2014) çalışılan bazı ağaç türü odunlarından. Çalışmaların sonuçları ısıl işlem uygulamasındaki sıcaklık süre, gaz gibi parametreler ile ağaç türlerine ve boyutsal stabilite belirleme yöntemlerine göre değişiklikler göstermektedir. Termal modifikasyonda artan boyut stabilizasyonunun sebepleri literatürde şöyle belirtilmiştir. (1) hücre çeperi içinde hacim arttırıcı maddelerin varlığı, (2) OH- gruplarının uzaklaştırılması, (3) hücre çeper polimerleri içinde çapraz bağlanmanın artması ve (4) polimer ağıının hareketliliğindeki değişikliklerdir (Hill vd., 2021).

Bu çalışmada, ülkemizde endüstriyel olarak ısıl işleme tabi tutulan 6 farklı odun türü (çam, dişbudak, iroko, ayous, sarı kavak ve meşe) örneklerinin boyutsal stabilitesinin belirlenmesi ve bu odun türlerinin birbirilerine kıyasla performansının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, endüstriyel bir tesiste ısıl işleme tabi tutulan kerestelerden odun örnekleri kesilmiş ve ardından 2 döngülü ıslatma-kurutma aşamalarından oluşan boyutsal stabilite belirleme testine tabi tutulmuş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada altı farklı ağaç türünden elde edilen keresteler kullanılmıştır. Bu türler, meşe (*Quercus* spp.), sarı kavak (*Dalbergia decipularis*), ayous (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum), iroko (*Milicia excelsa*), dişbudak (*Fraxinus* spp.) ve çamdır (*Pinus sylvestris*). Keresteler, ülkemizde endüstriyel olarak faaliyet gösteren bir ısıtma işlem fabrikasından (Novawood, Gerede, Bolu) temin edilmiştir. Her ağaç türüne ait ısıtma işlem görmemiş fakat endüstriyel fırınlarında kurutulmuş keresteler (kontrol grubu) ile Thermo-D (212°C ısıtma işlem görmüş kereste) örnekleri kullanılmıştır. Örneklerin hazırlanma aşamasında kalınlıkları 20 mm olarak ayarlanmıştır. Ardından 20 mm genişliklerine kesilen odun örnekleri 30 mm uzunluğuna getirilmiştir. Her grup için 10 adet örnek kullanılmıştır. Hazırlanan örnekler arasında iç çatlak oluşumu gözlenen malzemeler ayrılmıştır. 20x20x30 mm (R, T, L) boyutlarında hazırlanan örneklerin ölçüm zamanlarında aynı yerden ölçümünün alınması için teğet yönleri işaretlenmiştir. Düzensiz lif yönü, budak, çatlak vb. kusurlu örnekler deneye tabi tutulmamıştır.

2.2. Yöntem

Deneyde, örneklerin su alma oranı (%), su itici etkinliği (%), hacimsel genişleme katsayısı (%) ve boyutsal stabilitesi (%) hesaplanmıştır. Deney, Tomak ve Ermeýdan (2025) tarafından rapor edilen suda bekletme ve kurutma döngülerinden oluşan teste göre yürütülmüştür. Ölçümler aşamasında, kumpas ve hassas terazi kullanılmıştır. Etüvde 103°C'de 1 gün bekletilen örneklerin başlangıçtaki tam kuru ağırlık ve boyutları alınmış ardından 5 gün boyunca su içerisinde bekletilmiştir. Süre sonunda örnekler sudan çıkarılmış, ağırlık ve boyutları alındıktan sonra tekrar etüvde tam kuru hale getirilmiş, tam kuru

ağırlık ve boyutları ölçülmüştür. Bu döngü toplam iki kez tekrarlanmıştır. Grafiklerde gösterilen bir numara (SAO1, SİE1, HG1, ASE1), birinci döngü sonunda elde edilen verileri, iki numara (SAO2, SİE2, HG2, ASE2), ikinci döngü sonrasında elde edilen verileri göstermektedir. Örneklerin su alma oranı (SAO, %), su itici etkinliği (SİE, %), hacimsel genişleme katsayısı (HG, %) ve boyutsal stabilitesi (ASE, %) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SAO (\%) = \left[\frac{W_2 - W_1}{W_1} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$SİE (\%) = \left[\frac{SAO_{um} - SAO_m}{SAO_{um}} \right] \times 100 \quad (2)$$

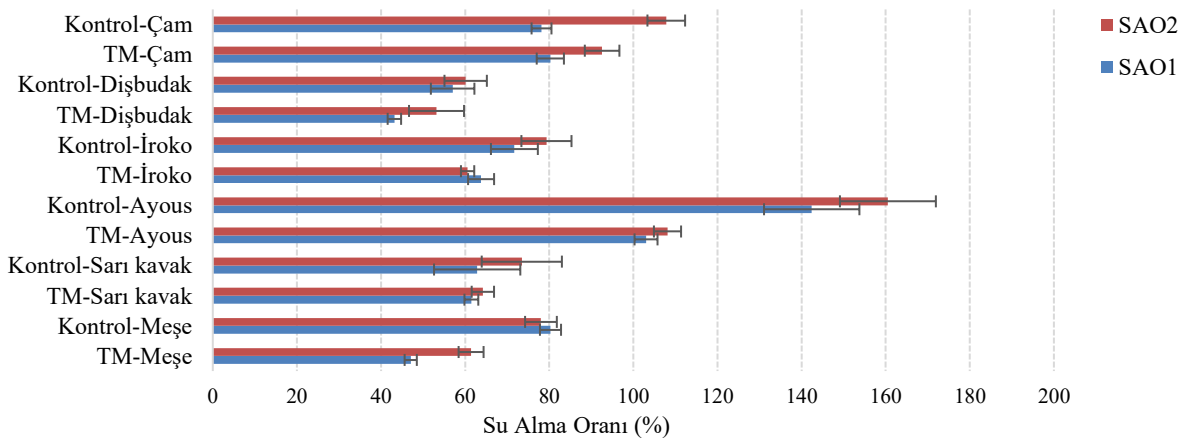
$$HG (\%) = \left[\frac{V_2 - V_1}{V_1} \right] \times 100 \quad (3)$$

$$ASE (\%) = \left[\frac{VS_{um} - VS_m}{VS_{um}} \right] \times 100 \quad (4)$$

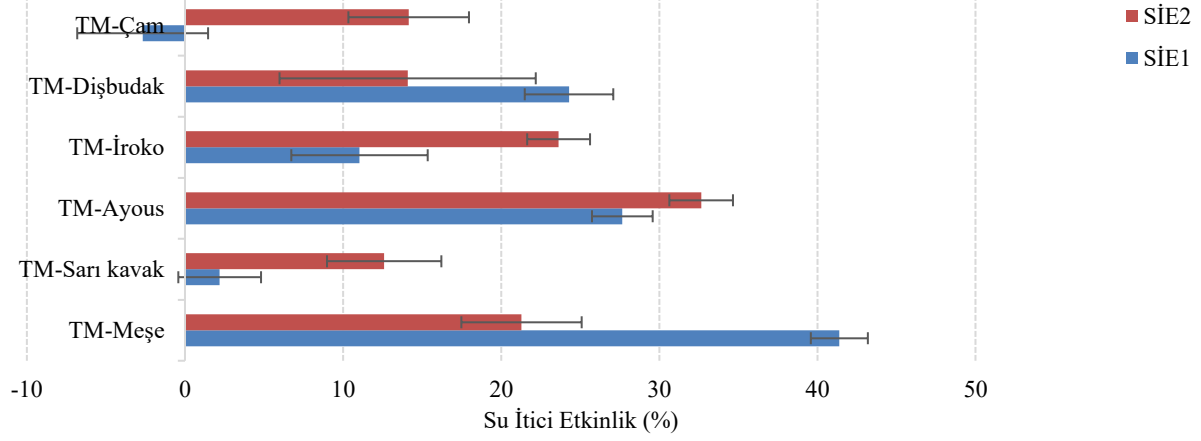
Burada, W_2 = her suya batırma döngüsünde ıslak ağırlık; W_1 = başlangıçtaki tam kuru ağırlık; SAO_{um} = kontrol örneklerinin su alma oranı; SAO_m = modifiye örneklerin su alma oranı; V_2 = her suya batırma sonrasında örneklerin şişmiş haldeki hacmi; V_1 = başlangıçtaki tam kuru hacim; VS_{um} = kontrol örneklerinin hacimsel genişleme katsayısı; VS_m = modifiye örneklerin hacimsel genişleme katsayısıdır.

3. Bulgular

Yapılan ölçümlerin ardından örneklerin birbirlerine kıyasla su alma oranı ve su itici etkinlik değerleri (%) Şekil 1 ve 2'de, hacimsel şişme katsayısı ile boyutsal stabilite değerleri Şekil 3 ve 4'de gösterilmiştir. Deney esnasında bazı örneklerin enine kesitlerinde ısıtma-kurutma döngüsüne bağlı olarak çatlaklar görülmüştür. Meşe odun örneklerindeki bir çatlak görüntüsü Şekil 5'de verilmiştir.

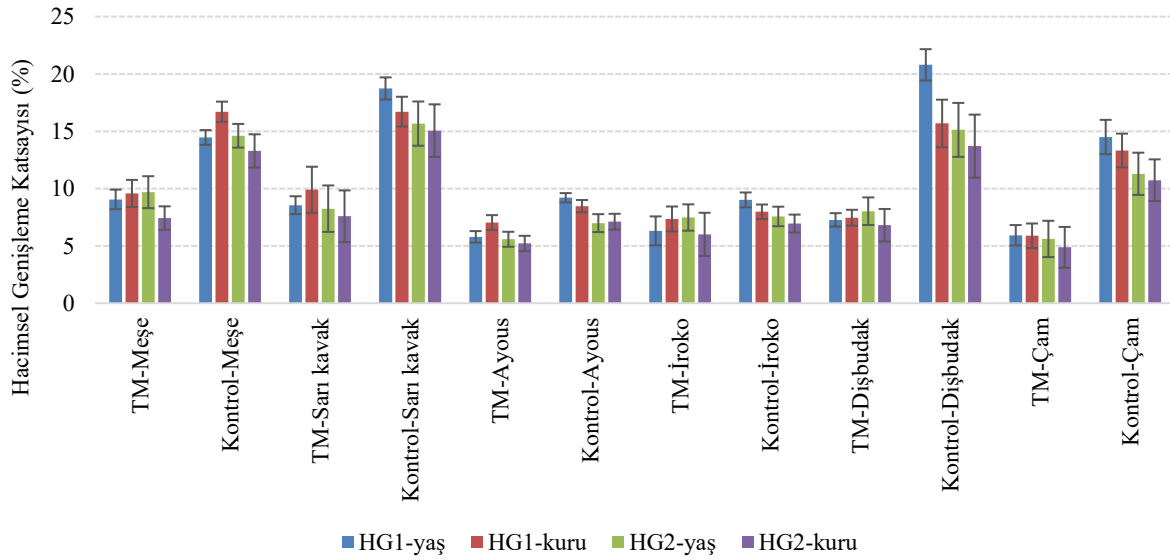


Şekil 1: Örneklerin su alma oranı değerleri (%).
Figure 1: Values of water absorption of the specimens (%).



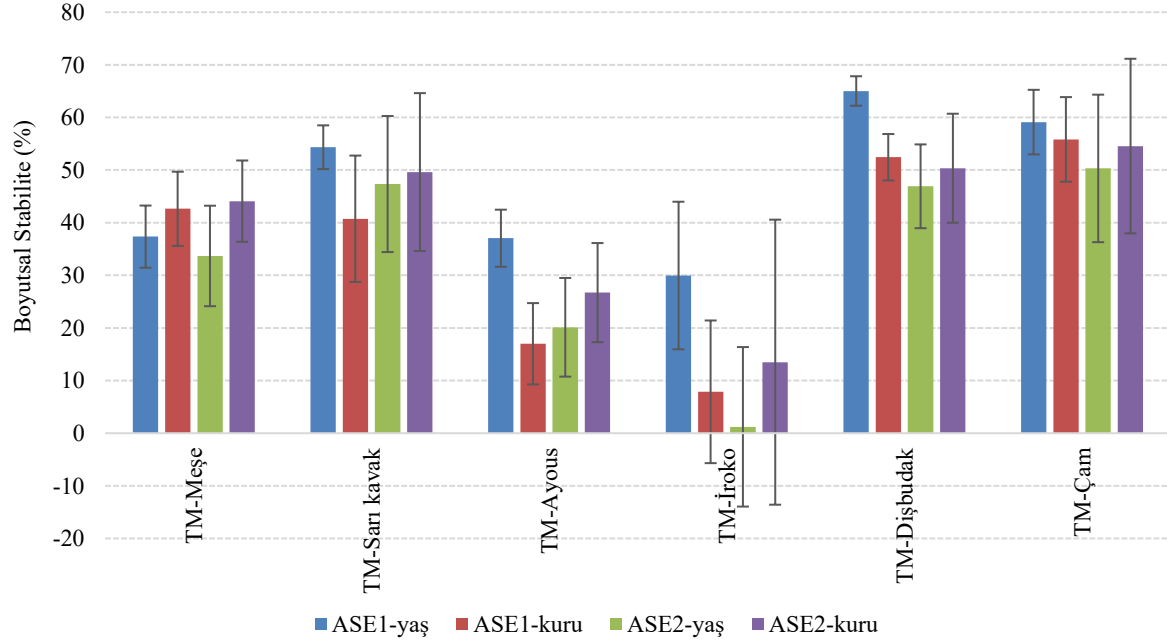
Şekil 2: Örneklerin su itici etkinlik değerleri (%).

Figure 2: Values of water repellent efficiency of the specimens (%).



Şekil 3: Örneklerin hacimsel genişleme katsayısı değerleri (%).

Figure 3: Values of volumetric swelling coefficient of the specimens (%).



Şekil 4: Örneklerin boyutsal stabilite değerleri (%).

Figure 4: Values of dimensional stability of specimens (%).



Şekil 5: Meşe örneği üzerinde meydana gelen çatlaklar.

Figure 5: Cracks developed on the oak specimen.

4. Tartışma ve Sonuç

Şekil 1’de verilen su alma oranı değerlerinden görüleceği üzere, su içerisinde bekletme süresi arttıkça su alma oranı değerleri artış göstermiştir. Örnekler içinde en fazla su alma oranı ısıtma işlemi tabi tutulmamış (kontrol) ayous odununda, ardından, kontrol çam odununda görülmüştür. Bu örnekler diğer türlere kıyasla nispeten daha düşük yoğunluğa sahip olduğundan suyun gireceği daha fazla boşluk alanı olabilir. Ayous odununun iroko odunundan daha fazla su alması Tomak ve Ermeydan (2025) tarafından da rapor edilmiştir. Yüksek yoğunluklu ağaç türleri, düşük yoğunluklu ağaç türlerine göre orantılı olarak daha fazla hücre çeperine ve daha az boşluğa sahiptir (Dias vd., 2019). Isıtma işlemi tüm gruplar, kontrol örneklerinden daha az su alma oranına sahiptir. Isıtma işlemi örneklerin, kontrol örneklerine kıyasla su alma oranındaki % azalma oranı olarak da ifade edilebilen su itici etkinlik değerleri 2 döngünün ortalama değeri açısından en yüksek meşede ardından ayous örneklerde tespit edilmiş, bunları dişbudak ve iroko takip etmiştir. En düşük ortalama su itici etkinlik, çam ve sarı kavak örneklerde bulunmuştur. Isıtma işlemi çam, iroko, ayous ve sarı kavak örneklerde 2. döngüdeki su itici etkinlik, 1. döngü sonundaki su itici etkinliktan daha yüksek bulunurken, ısıtma işlemi meşe ve dişbudak örneklerde bunun tam tersi bir sonuç elde edilmiştir (Şekil 2). Meşe ve dişbudak halkalı traheli odun türlerinden olup büyük özışınlarına sahiptirler (Erdin & Bozkurt, 2013). Özellikle bu türlerde erken aşamalarda enine kesitlerde çatlak oluşumu görülmüştür (Şekil 5). Islatma ve kurutma aşamaları örneklerde strese sebebiyet vererek çatlak oluşumuna yol açmaktadır (Tomak & Ermeydan, 2025). Deneyde 2. döngünün kurutma aşamasında ısıtma işlemi ve kontrol meşe örneklerinde, kontrol dişbudak, kontrol sarı kavak ve kontrol iroko

örneklerde çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlakların odunun su itici etkinliğini etkilemesi muhtemel bir sebeptir. Deneyler başlangıçta 4 döngü olarak planlanmıştır ancak 3. döngünün kurutma aşamasından sonra ısıtma işlemi ve kontrol iroko, meşe ve dişbudak örnekleri ile kontrol ayous, sarı kavak ve kontrol çam örneklerde çatlaklar meydana gelmiş veya daha önce oluşan çatlakların sayısı ve derinliği artmıştır. Süre uzadıkça da daha fazla örnekte bu olumsuzluklar görülmüştür. Örneklerde döngünün uzaması nedeniyle veri alınamadığından 2 döngünün sonucuna kadar elde edilen verilere yer verilmiştir.

Örneklerin ortalama hacimsel genişleme değerleri incelendiğinde, en fazla şişme kontrol sarı kavak ve kontrol dişbudak örneklerinde gözlemlenirken bunu kontrol meşe ve kontrol çam örneklerinde takip ettiğini söylemek mümkündür. Kontrol ayous ve kontrol iroko benzer değerleri vererek, test edilen tüm kontrol örnekler arasında en düşük hacimsel genişleme değeri göstermiştir. Isıtma işlemi örnekler açısından ise; en düşük hacimsel genişleme ısıtma işlemi ayous ve çamda, bunu sırasıyla ısıtma işlemi iroko, ısıtma işlemi dişbudak, ısıtma işlemi sarı kavak ve ısıtma işlemi meşe takip etmiştir. Isıtma işlemi örneklerde tüm gruplar, kontrol örneklerinden daha az hacimsel genişleme göstermiştir. Isıtma işlemi örneklerin, kontrol örneklerine kıyasla hacimsel genişleme oranındaki % azalma oranı olarak da ifade edilebilen boyutsal stabilite değerleri 2 döngünün ortalama değeri açısından en yüksek çam ve dişbudakta, bunu sırasıyla sarı kavak, meşe, ayous ve irokonun takip ettiği bulunmuştur. Isıtma işlemi ayous ve irokonun diğer odun türlerine kıyasla daha düşük boyutsal stabilizasyon değerleri vermesi, doğal haldeki ayous ve irokonun (kontrol) diğer türlere kıyasla daha az çalışması olabilir. 2. döngü ile birinci döngünün verileri kıyaslandığında, en iyi stabilite ısıtma işlemi meşe, çam ve nispeten sarı kavak örneklerinde görülürken, en büyük değişkenlik ve zamanla

boyutsal stabilitenin keskin olarak azalması ısıtma işlemli iroko örneklerinde tespit edilmiştir. Örneklerdeki çatlak oluşumunun boyutsal stabilizeyi olumsuz yönde etkilediği daha önce Tomak ve Ermeýdan (2025) tarafından rapor edilmiştir. Benzer olarak yüksek yoğunluk değerine sahip odunların düşük yoğunluklu türlere kıyasla daha fazla şişip daraldığı belirtilmiştir (Dias vd., 2019). Isıtma işlemli iroko örneklerde tespit edilen bulgular daha önceki çalışma (Tomak & Ermeýdan, 2025) ile de uyumludur. Boyutsal stabilitenin irokoda zamanla çok keskin olacak şekilde azalması, özellikle 2. döngüde ısıtma işlem nedeniyle bozulan ekstraktiflerin ve bileşenlerin yıkanmasına ve çatlaklara atfedilmiştir (Tomak & Ermeýdan, 2025). Biwole vd. (2022) irokodaki ekstraktiflerin oduna su itici etkinlik kazandırdığını belirtmiştir. Isıtma işlem nedeniyle irokodaki ekstraktif madde miktarındaki değişim ve ekstraktiflerin ve uçucu bileşenlerin odun yüzeyine doğru çıkması Gaff vd. (2023) tarafından da rapor edilmiştir. Altgen vd. (2018)'e göre, ilk ve sonraki ısıtma döngüleri arasındaki şişme davranışındaki farklılık, ilk su ısıtma sırasında odundan bazı bileşiklerin yıkanmasından kaynaklanmakta ve bu, sonraki ısıtma döngülerindeki kararlılığı etkilemektedir. Bu yıkanma olayı, ahşap hücre çeperinin termal bozulan ürünlerinden kaynaklanıyor olabilir (Altgen vd., 2018).

Sonuçlar, ısıtma işleminin çam, dişbudak, sarı kavak ve meşe odun türlerinde boyutsal stabilizeyi önemli ölçüde iyileştirdiğini ve bu tür odunlara kullanım açısından önemli avantajlar kazandırdığını ortaya koymuştur. Deney ve ölçümler süresince, sert odun türlerinde örneklerinin daha kolay çatladığı ve deney aşamalarında daha hızlı bozunduğu gözlemlenmiştir. Yumuşak odun tür örneklerinde ise çatlakların daha geç meydana geldiği belirlenmiştir. Isıtma işlem görmüş çam grubuna ait örneklerin hiçbirinde deney süresince çatlama oluşmamıştır. Öte yandan, meşe örneklerinde çatlakların daha derin olduğu; liflerin birbirinden ayrıldığı ve örneklerin basit bir kuvvetle ortadan ikiye bölünebildiği gözlemlenmiştir (Şekil 5).

Makale Bilgileri

Finansal Açıklama: Yazar(lar) bu çalışmanın araştırılması, yazarlığı veya yayınlanması için herhangi bir finansal destek almamıştır.

Teşekkür: Yazarlar, örnek temini ve analizlerdeki katkılarından dolayı Novawood Firması'na (Gerede Bolu) teşekkür ederler.

Yazarların Katkıları: Konsept: E.D.T.; Tasarım: E.D.T.; Danışmanlık: E.D.T., V.E.; Kaynaklar:

E.D.T., V.E.; Veri Toplama: V.E.; Analiz: E.D.T., V.E.; Literatür Taraması: E.D.T.; Makale Yazımı: E.D.T.; Eleştirel İnceleme: E.D.T., V.E.

Çıkar Çatışması/Ortak Çıkar: Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması veya ortak çıkar beyan edilmemiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

Kaynaklar

Altgen, M., Willems, W., Hosseinpourpia, R., & Rautkari, L. (2018). Hydroxyl accessibility and dimensional changes of Scots pine sapwood affected by alterations in the cell wall ultrastructure during heat-treatment. *Polym. Degrad. Stab.*, (152), 244–252.

Aydemir, D., Bürüç, G., & Bakır, K. (2019). Doğu kayını ve saplı meşe odunlarının bazı özellikleri üzerine ısıtma işlemin etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(3), 713–721.

Biwole, J. J. E., Biwole, A. B., Zobo Mfomo, J., Segovia, C., Pizzi, A., Chen, X., & Meausoone, P. J. (2022). Causes of differential behavior of extractives on the natural cold water durability of the welded joints of three tropical woods. *J. Adhes. Sci. Technol.*, 36(12), 1314–1331.

Dias, F. M., de Almeida, T. H., De Araújo, V. A., Panzera, T. H., Christoforo, A. L., & Lahr, F. A. R. (2019). Influence of the apparent density on the shrinkage of 43 tropical wood species. *Acta Sci. Technol.*, (41), e30947.

Erdin, N., & Bozkurt, Y. (2013). Odun anatomisi. *İÜ Orman Fakültesi Yayınları*.

Esteves, B., & Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4, 370–404.

Gaff, M., Kubovsky, I., Sikora, A., Kacikova, D., Li, H., Kubovsky, M., & Kacik, F. (2023). Impact of thermal modification on color and chemical changes of African padauk, merbau, mahogany, and iroko wood species. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 62(1), 20220277.

Gérardin, P. (2016). New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood— a review. *Annals of Forest Science*, 73, 559–570.

Hill, C., Altgen, M., & Rautkari, L. (2021). Thermal modification of wood: a review—chemical changes and hygroscopicity. *J Mater. Sci.*, 56, 6581–6614.

Hill, C.A.S. (2006). *Wood modification: Chemical, thermal and other processes*. Wiley.

Icel, B., & Beram, A. (2017). Effects of industrial heat treatment on some physical and mechanical properties of iroko wood. *Drvna Industrija*, 68(3), 229–2369.

Kesik, H. I., Korkut, S., Hiziroglu, S., & Sevik, H. (2014). An evaluation of properties of four heat treated wood species. *Industrial Crops and Products*, 60, 60–65.

Kocaefe, D., Poncsak, S., Dor, G. V., & Younsi, R. (2008). Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. *Holz Als Roh-und Werkstoff*, 66(5), 355–361.

Kocaefe, D., Huang, X., & Kocaefe, Y. (2015). Dimensional stabilization of wood. *Curr. Forestry Rep.*, (1), 151–161.

Korkut, S. (2012). Performance of three thermally treated tropical wood species commonly used in Turkey. *Ind. Crops. Prod.*, 36(1), 355–362.

Orhan, H., & Bal, B. C. (2022). Azot gazı atmosferinde ısıtıl işlem uygulanmış kavak odununun fiziksel özellikleri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 405–413.

Thermowood, El Kitabı, (2021, Nisan 7). ThermoWood handbook. <https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.pdf>

Tomak, E. D., & Ermeýdan, M. A. (2025). Measuring dimensional stability of thermally modified ayous and iroko wood: comparison of the three test methods. *Cellulose*, 32, 2581–2597.