

Experimental Investigation of the Effects of Different Heat Treatment and Climatic Applications on the Physical and Mechanical Properties of Structural Wood

Mustafa ALTUNOK^{1,*}  Ramazan BÜLBÜL¹  Mehmet GÜNEŞ² 

¹ Gazi University, Faculty of Technology, WoodproductsIndustrial Engineering Department,06500, Yenimahalle/ANKARA

² Çankırı Karatekin University Vocational School Department of Design Interior Architecture, 18200, Merkez/ÇANKIRI

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 18.10.2022
Revision: 31.01.2023
Accepted: 03.03.2023

Highlights

- Heat treatment
- Climatic Conditions.
- Mechanical strength, Thermal conductivity

Keywords

Heat treatment
Structural wood
Thermal conductivity
Modulus of elasticity
Bending strength

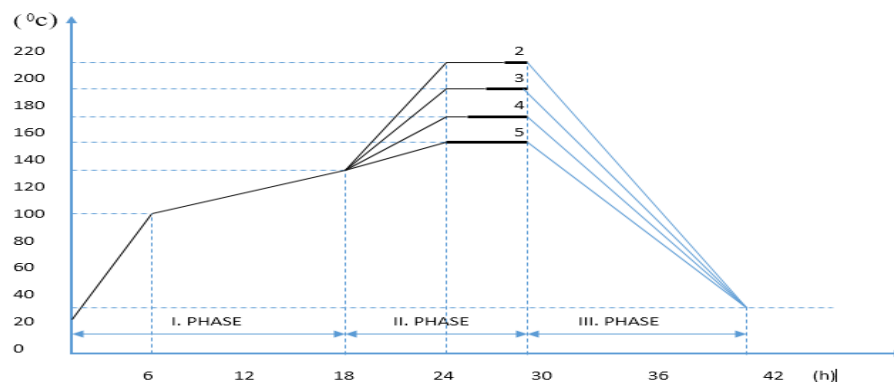


Figure A. Temperature and time change in heat treatment phases

Purpose: In this study, Scotch pine (*Pinus Sylvestris*), chestnut (*Castanea Sativa*), and sessile oak (*Quercus Petraea*) wood, which are widely used in production, were given to the samples for 5 hours at 150°C, 4 hours at 170°C, and 3 hours at 190°C. hours, heat treatment was applied at 210°C with a temperature and duration of 2 hours. After the heat treatment, climatic treatment was applied to the samples at 20±2°C temperature 65% ±5% relative humidity, 40±2°C temperature 35±5% relative humidity, 10±2°C temperature 50±5% relative humidity conditions. density, bending strength, modulus of elasticity, thermal conductivity coefficient, and heat permeability value changes were determined. At this stage, it was determined in which heat treatment condition the climatic condition (seasonal effect) caused the least mechanical and physical change. In the heat treatment with four different conditions in each wood species, some variable effects of decreasing the processing time on the mechanical and physical properties of the wood were investigated while the temperature degrees increased. Thus, it was tried to determine “which temperature, which time, and which climatic condition is optimum”.

Methods: In many literature studies, the effect of heat treatment applied at any or more temperatures on the physical and mechanical properties of wood material has been investigated. In this study, unlike the others; Optimization of heat treatment temperature-heat treatment time was made for each wood species and four heat treatment conditions (starting with low temperature and long time and ending with very high temperature and a short time: 5 hours at 150°C, 4 hours at 170°C, 3 hours at 190°C, 2 hours at 210°C).

Results and Conclusion: As a result, while the losses in physical and mechanical properties of wood due to structural deterioration are low in low temperature and long-term different heat treatment processes, these losses increase more in high temperature and short-term heat treatment conditions, therefore 170°C/4s and 190°C/3s heat treatment processes. It has been determined that the processing conditions are more suitable, the self-load of the wood and the thermal conductivity coefficient are decreased, the insulation and mechanical resistance values are increased, and the climate condition suitable for the use of wood (in terms of equilibrium humidity) is 40 °C 35%.



Experimental Investigation of the Effects of Different Heat Treatment and Climatic Applications on the Physical and Mechanical Properties of Structural Wood

Mustafa ALTUNOK^{1,*} Ramazan BÜLBÜL¹ Mehmet GÜNEŞ²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarım, 18200, Merkez/ÇANKIRI

Abstract

In this study, Scotch pine (*Pinus Sylvestris*), chestnut (*Castanea Sativa*) and sessile oak (*Quercus Petraea*) wood, which are widely used in the production of wood products, were tested at 150°C for 5 hours, at 170°C for 4 hours, at 190°C for 3 hours. Heat treatment was applied at 210°C with a temperature and duration of 2 hours. Variable effects of decreasing the processing time while increasing the temperature in heat treatment on wood properties were investigated. For this purpose, a total of 1440 samples were prepared from three wood species. After the heat treatment, climatic treatment was applied to the samples at 20±2°C temperature 65% ±5% relative humidity, 40±2°C temperature 35±5% relative humidity, 10±2°C temperature 50±5% relative humidity conditions. density, bending strength, modulus of elasticity, thermal conductivity coefficient and heat permeability value changes were determined. As a result, while the losses in the physical and mechanical properties of wood due to structural deterioration are low in low temperature and long-term heat treatment processes, these losses increase more in high temperature and short-term heat treatment conditions, therefore 170°C/4s and 190°C/3s heat treatment processes. It has been determined that the processing conditions are more suitable, the self-load of the wood and the thermal conductivity coefficient are reduced, the insulation and mechanical resistance values increase, and the climate condition suitable for wood use (in terms of equilibrium humidity) is 40°C%35.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 18.10.2022
Düzeltilme: 31.01.2023
Kabul: 03.03.2023

Keywords

Heat treatment
Structural wood
Thermal conductivity
Modulus of elasticity
Bending strength

Anahtar Kelimeler

Isıl işlem
Yapısal ahşap
Isıl iletkenlik
Elastikiyet modülü
Eğilme direnci

Farklı Isıl İşlem ve Klimatik Uygulamanın Yapısal Ahşabın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkilerinin Deneysel İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, ağaç ürünler üretiminde yaygın olarak kullanılan Sarıçam (*Pinus Sylvestris*), kestane (*Castanea Sativa*) ve sapsız meşe (*Quercus Petraea*) odunu örneklerle 150°C'de 5 saat, 170°C'de 4 saat, 190°C'de 3 saat, 210°C'de 2 saatlik sıcaklık ve sürelerle ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlemde sıcaklık artarken işlem sürenin azalmasının ahşap özelliklerindeki değişken etkileri araştırılmıştır. Bu maksatla üç ahşap türünden toplam 1440 adet örnek hazırlanmıştır. Isıl işlemden sonra örneklerle 20±2°C sıcaklık %65 ±5 nispi nem, 40±2°C sıcaklık %35±5 nispi nem, 10±2°C sıcaklık %50±5 nispi nem şartlarında klimatik işlem uygulanmış ve bu örneklerde ilgili standartlara göre; yoğunluk, eğilme direnci, elastiklik modülü, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik değeri değişimleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, düşük sıcaklık ve uzun süreli farklı ısıl işlem süreçlerinde ahşabın yapısal bozunuma bağlı fiziksel ve mekanik özelliklerinde kayıpları az iken, yüksek sıcaklık ve kısa süreli ısıl işlem şartlarında bu kayıpların daha fazla arttığı, bu nedenle 170°C/4s ve 190°C/3s ısıl işlem şartlarının daha uygun olduğu, ahşabın öz yükünün ve ısıl iletkenlik katsayısının azaldığı, yalıtkanlığının ve mekanik direnç değerlerinin artış kaydettiği, ahşap kullanımı için (denge rutubeti bakımından) uygun olan iklim şartının ise 40°C%35 olduğu tespit edilmiştir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isıl işlemin, neme, haşaratların atağına ve çürümeye karşı bir ahşap modifikasyon yöntemi olarak uzun zamandan beri kullanıldığı bilinmektedir. Ancak, yüksek sıcaklık ve uzun süreli ısı işlem uygulamaları mekanik özelliklerde önemli oranda kayıplara neden olmaktadır. Bu durum dikkate alınarak, farklı sıcaklık derecesi ve sürelerde ısı işlemin ahşap malzemenin özelliklerine etkileri literatüre bakıldığında araştırılmaya devam ettiği anlaşılmaktadır.

Isıl işlemin ahşabın mekanik özelliklerini etkilediği ve sert ağaç türlerinin yumuşak ağaç türlerinden daha hassas olduğu bildirilmiştir. Laboratuvar ve saha testlerinde ısı işlem görmüş ahşabın zemin ile temas gören yerlerde kullanılması önerilmiştir [1]. Isıl işlem sürecinde odunda direnç kayıpları meydana geldiği için üzerine yük gelecek yerlerde kullanılması tavsiye edilmemiştir [2]. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ve Karakavak (*Populus nigra* L.) odunlarından kesilen örnekler 130°C, 165°C ve 200°C'de 2, 6 ve 10 saat ısı işleme maruz bırakılmıştır. Isıl işlemlen odunlarda mekanik özelliklerdeki en az düşüş 130°C'de 2 saat işlem görmüş örneklerden elde edilmiştir [3]. Yüksek sıcaklıklarda ısı işlem gören örnekler için, eğilme direncindeki ortalama düşüş yaklaşık %44-50 iken elastikiyet modülünde sadece %4-9 azaldığı tespit edilmiştir [4].

Isıl işlem sıcaklığının artmasıyla eğilme direncinde %20 azalma, örneklerin MOE değerlerinde az miktarda artışlar kaydedilmiştir [5]. Boonstra ve arkadaşları yapıda ortaya çıkan gerilmeleri hesaba katarak, ısı işlem görmüş odunların inşaatta kullanılabileceğini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada iki aşamalı ısı işlem uygulanmıştır. Birinci aşamada; örneklere 165°C'de 30 dakika hidro termoliz işlemine tabi tutulduktan sonra 50-60°C'lik sıcaklıkta kurutulmuştur. İkinci aşamada; 180°C'de 6 saat boyunca kızgın buhar işleminde bekletilmiştir. Bu işlemler sonucunda eğilme direncinde %6'lık ve elastiklik modülünde %17'lik bir artış sağlanmıştır [5]. Eğilme direncindeki azalma odun türüne ve işlem şartlarına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Elastiklik modülü düşük sıcaklık ve kısa süreli ısı işlemlerde artmış, daha yüksek sıcaklık ve uzun bekletme sürelerince azaldığı görülmüştür [6].

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu 4, 6 ve 8 saat süre ile 150°C, 170°C ve 190°C'de ısı işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem sıcaklığı ve süresi arttıkça ağırlık kayıplarının da arttığı görülmüştür. En fazla ağırlık kaybı 8 saat ve 190°C'de, en az ise 4 saat ve 150°C işlem gören örneklerde tespit edilmiştir. Elastikiyet modülü en düşük 190°C'de en yüksek kontrol numunelerinde elde edilmiştir. Eğilme direnci en yüksek kontrol numunelerinde en düşük ise 190°C ve 8 saat süreyle ısı işlem gören örneklerden elde edilmiştir [7]. Altunok ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Karaçam ve dişbudak odunlarına ısı işlem uygulamanın; hava kuru ve tam kuru yoğunluk özelliklerini önemli oranda düşürmüştür. Bununla beraber çalışma, su geçirime, çarpılma veya burulmayı azalttığı bildirilmiştir [8]. Kürel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; Thermo-Prosesin meşe ve çam ahşap türünde teknolojik özelliklerin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir (9). Fataratie ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ısı işlem süresi ve sıcaklığının artması eğilme direncinde kayıplara neden olmuştur. Düşük sıcaklıkta uzun süreli ısı işlem, yüksek sıcaklıkta kısa süreli ısı işleme kıyasla daha az performans azalması ile sonuçlanmıştır [10].

Metsä-Kortelainen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 170°C, 190°C, 210°C ve 230°C sıcaklıkta ısı işlem görmüş, İskoç çamı ve Norveç ladinini arasında öz odun ve diri odunun su alma farklılıkları incelenmiştir. Isıl işlem, ladin ve çam öz odunlarının su almasını belirgin bir şekilde azaltmıştır. Isıl işlem sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, emilen nem miktarı o kadar düşük bulunmuştur [11]. Saçlı ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada farklı iklim şartı ve doğal tanen ile modifikasyonun kontrol örneklerine göre ısı iletkenliği (λ) katsayısını azalttığı ve daha fazla yalıtıklık sağladığı tespit edilmiştir [12]. Ordu ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada Karaçamın (*Pinus nigra*), eğilme basınç ve yapışma direnci üzerine ısı işlemin etkisini belirlemek için örneklere 150°C'de 4 saat ısı işlem uygulanmıştır. Deneyler sonucunda ısı işlem görmüş örneklerin sıcaklık artışından dolayı daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir [12].

Bu çalışmada, dört farklı şartta ısı işlem (düşük sıcaklık ve uzun süreden yüksek sıcaklık ve kısa süre süreye doğru değişen) uygulanmış ahşap türlerinde ve farklı iklim şartlarında yapısal ahşabın bazı mekanik ve termik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Araştırmada, farklı ısı işlem sıcaklık ve sürelerinin

birbirleri arasında kıyaslama yapılarak, iklimsel farklılık bakımından optimum ısı işlem şartının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOTLAR (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Ağaç Malzeme (Wood Material)

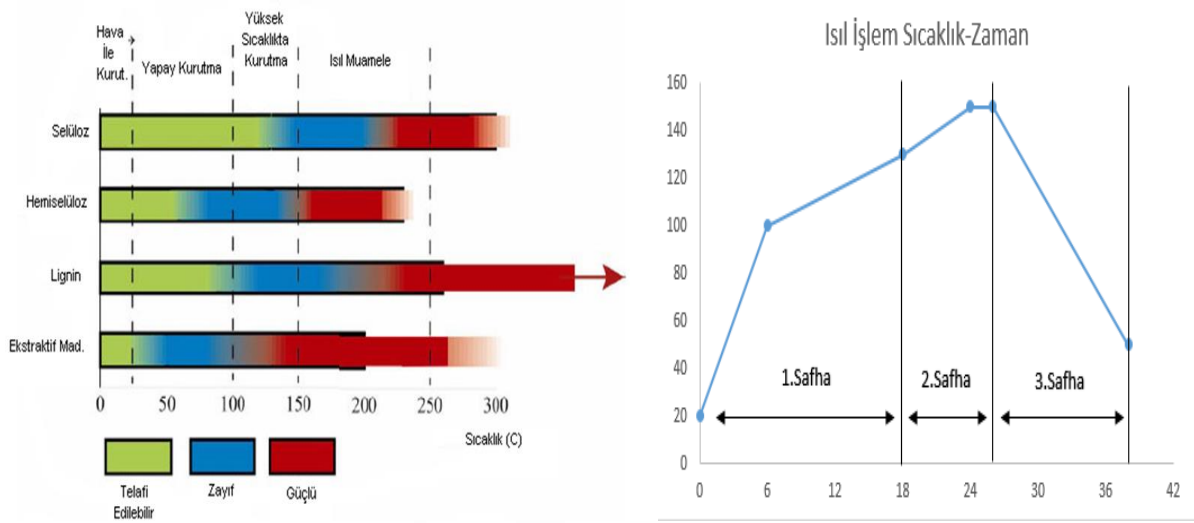
Araştırmada, I. sınıf Sarıçam (*Pinus Sylvestris*), kestane (*Castanea Sativa*) ve sapsız meşe (*Quercus Petraea*) odunu kullanılmıştır. Kusursuz, düzgün lifli her bir ahşap türünden yeterli miktarda kereste Ankara Keresteciler Sitesi'nden rasgele yöntemle temin edilmiştir.

2.2. Örneklerinin Hazırlanması, Isıl İşlem Şartı ve Test/Ölçümler (Preparation of Samples, Heat Treatment Condition and Test/Measurements)

Her üç ahşap türünden yeterli miktardaki taslak ahşap parçalara G.Ü. Teknoloji Fakültesi Ahşap Teknolojisi Laboratuvarında bulunan ısı işlem fırınında ısı işlem uygulanmıştır. Bu süreçte, ahşap örnek taslaklarına Tablo 1'de verilen sıcaklık ve sürelerde mümkün olduğu kadar oksijensiz bir ortamda buhar koruması altında ısı işlem uygulanmıştır. Bu işlemler üç aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).

Tablo 1. Isıl işlem aşamaları

Isıl işlem aşamaları	Sıcaklık (°C)	Süre (s)
1. Aşama: Ön kurutma	100°C kadar	6 saat
	130°C kadar (buhar destekli)	12 saat
	150 (170, 190, 210) °C	6 saat
2. Aşama: Isıl işlem	150 (170, 190, 210) °C sıcaklıkta bekletme, (gaz destekli)	5 (4, 3, 2) saat
3. Aşama: Soğutma ve iklimlendirme	30°C (buhar destekli)	10 saat sıcaklıkta bekletme (gaz destekli)



Şekil 1. Isıl işlem uygulama aşamaları grafiği odun bozunum süreçleri (*Heat Treatment Handbook*)

Gerekli örneklere yetecek büyüklükte üç tür ahşaptan kaba boyutlarda işlemsiz taslak parçalara dört farklı şartta ısı işlem uygulandıktan sonra, tüm ahşap parçalar 20°C sıcaklık ve %65 nispi nem şartlarındaki iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar (yaklaşık bir hafta) bekletilmiştir. İklimlendirilmiş taslak parçalardan Tablo 2’de yer alan test ve ölçümler için ilgili standartlarda belirtilen boyut ve sayıda örnek hazırlanmıştır. Örneklere *Universal Test Cihazında (Instron 5969)* eğilme ve eğilmede elastiklik modülü testleri, Linseis HFM300 cihazında ısı iletkenliği belirleme testi uygulanmıştır.

Tablo 2. Ahşap türü, ısı işlem ve iklim koşullarına göre mekanik ve fiziksel özellik deneme deseni

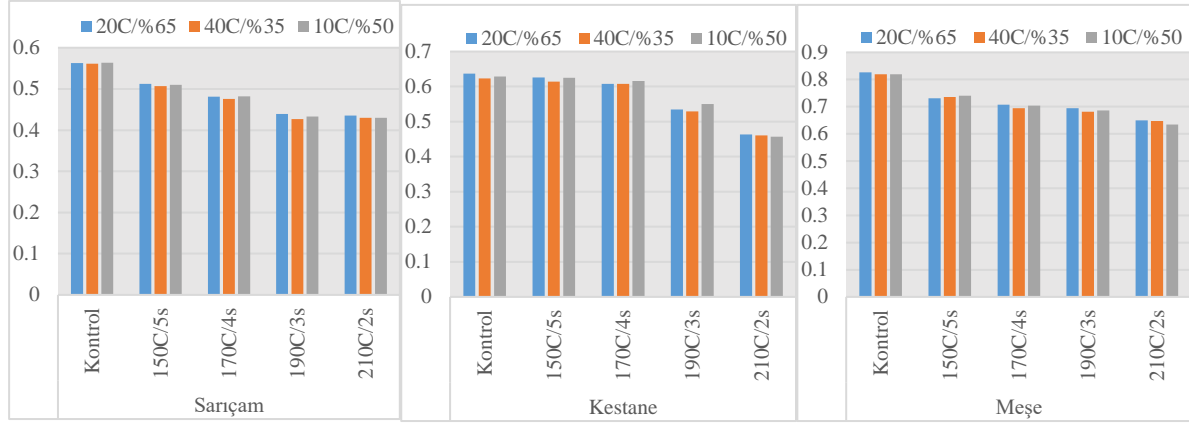
Ahşap türü	Isıl işlem	Klimatik şart	Deney/ölçüm	Boyut (mm)	Adet	Toplam	Standart No
Sarıçam Kestane Meşe	150/5 170/4 190/3 210/2	20°C/%65	Yoğunluk	20x20x20	10	120	TS 2472
			Eğilme direnci	20x20x340	10	120	TS 2472
			Elastiklik modülü	20x20x340	10	120	TS 2472
			U-Değeri	20x295x295	10	120	TS EN 12667
			λ-Katsayısı				
		40°C/%35	Yoğunluk	20x20x20	10	120	TS 2472
			Eğilme direnci	20x20x340	10	120	TS 2472
			Elastiklik modülü	20x20x340	10	120	TS 2472
			U-Değeri	20x295x295	10	120	TS EN 12667
			λ-Katsayısı				
		10°C/%50	Yoğunluk	20x20x20	10	120	TS 2472
			Eğilme direnci	20x20x340	10	120	TS 2472
			Elastiklik modülü	20x20x340	10	120	TS 2472
			U-Değeri	20x295x295	10	120	TS EN 12667
			λ-Katsayısı				

Bu aşamadan itibaren, her bir ahşap türü ve 150/5s şarta sahip ısı işlem görmüş test örnekleri 200C/%65 iklimlendirme cihazına konarak, klimatize edildikten sonra eğilme direnci ve eğilmede elastiklik modülünü belirlemek üzere 10’ar adet örneklere üniversal test cihazında kırılıncaya kadar yükleme yapıldı ve sonuçlar kaydedildi. Isı iletkenlik katsayısı (λ) ve ısı geçirgenlik (u) değerleri örnekler üzerinde herhangi bir tahribat meydana gelmeden belirlendi. Daha sonra, eğilme direnci ve eğilmede elastiklik modülü belirlemede kullanılmak üzere kalan diğer tüm örnekler, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik (yalıtkanlık) belirlemede kullanılmış örnekler 40°C/%35 ve 10°C/%50 iklim şartlarında (her iki bahar, yaz ve kış mevsimlerini temsilen ve bu mevsimsel ortamlardaki ahşap malzemedeki değişimleri tespit için) bekletilerek test ve ölçüm işlemleri yapılmıştır. Aynı işlemler 170°C/4s, 190°C /3s ve 210°C /2s şartlara sahip ısı işlemli örneklerde ve her üç iklim şartında tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Böylece, farklı ısı işlem düzeyine sahip her bir ahşap türünün ardışık olarak farklı iklim şartlarındaki mekanik davranışı ve termik davranışı belirlenmiştir.

3. DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

3.1. Yoğunluk (Density)

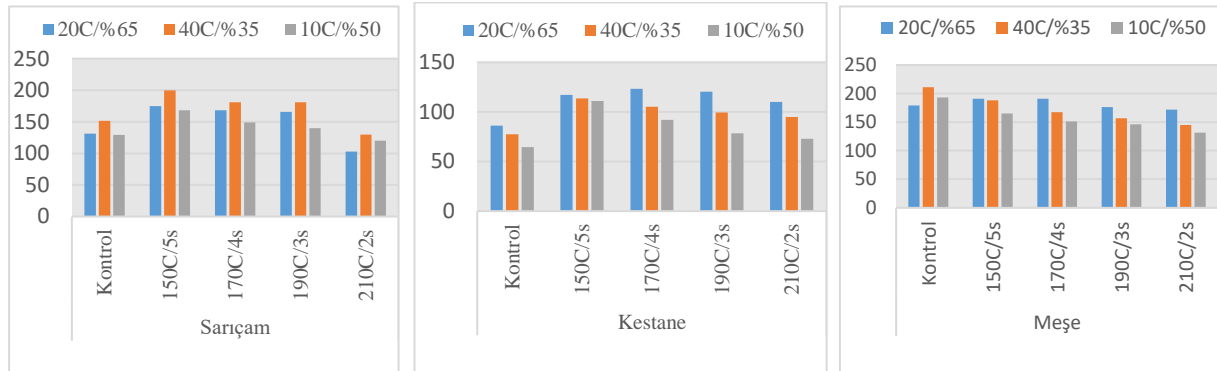
Dört farklı şartta ısı işlem uygulanmış ve üç farklı iklim şartında bekletilmiş her üç ahşap türü örneklerde yoğunluk değişim sonuçları Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre, her üç ahşap türünde en yüksek yoğunluk değerleri kontrol örneklerinden Sarıçamda 0,563 g/cm³, kestane 0,636 g/cm³ ve meşede 0,826 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Yoğunluk değişimi her üç ahşap türünde de daha çok 170C/4s ısı işlem şartından sonra arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Farklı ısıl işlem ve iklim koşullarında işlem uygulanan üç ağaç türünde yoğunluk (g/cm^3) değişimi

3.2. Eğilme Direnci (Bending Strength)

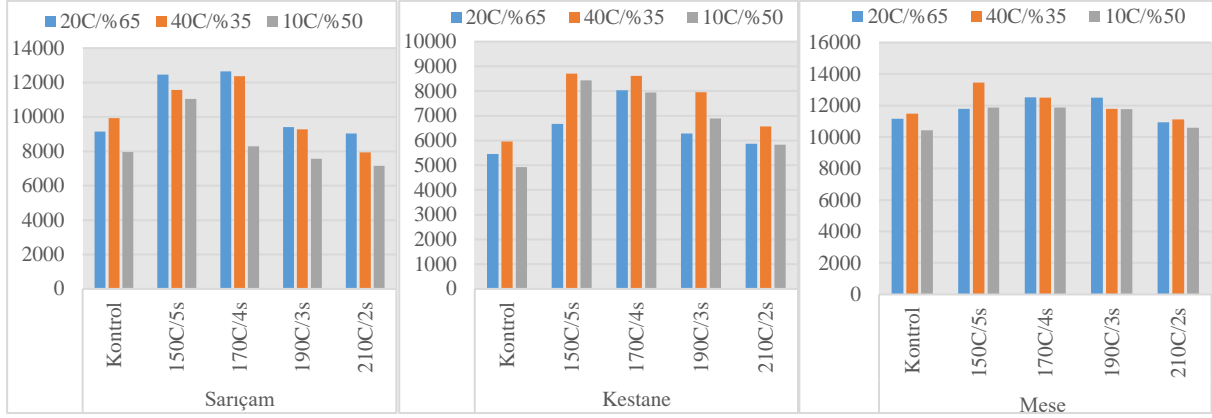
Dört farklı şartta ısıl işlem uygulanmış ve üç farklı iklim şartında bekletilmiş her üç ağaç türünde eğilme direnci değişim sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre, her üç ağaç türünde en yüksek eğilme direnci değerleri sırasıyla meşe kontrol örneklerinden 40C/%35 iklimik ortamda bekletilenlerde 211,29 MPa, Sarıçam 150C/5s ısıl işlem görmüş ve 40C/%35 iklimik ortamda bekletilmiş örneklerde 199,61 MPa ve kestane 170C/4s ısıl işlem görmüş ve 20C/%65 iklimik ortamda bekletilmiş örneklerde 123,23 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Farklı ısıl işlem ve iklim koşullarında işlem uygulanan üç ağaç türünde eğilme direnci (Mpa) değişimi

3.3. Elastiklik Modülü (Modulus of Elasticity)

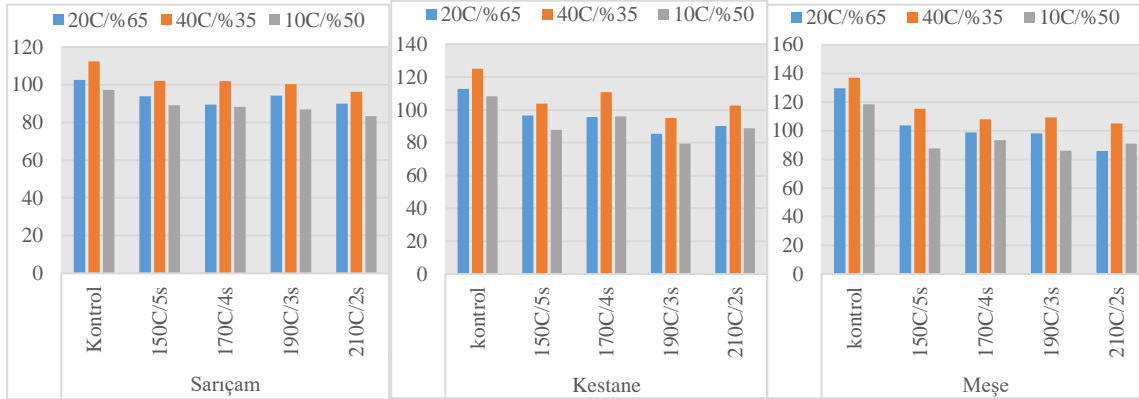
Dört farklı şartta ısıl işlem uygulanmış ve üç farklı iklim şartında bekletilmiş her üç ağaç türünde elastiklik modülü değişim sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. Buna göre, her üç ağaç türünde en yüksek eğilme direnci değerleri Sarıçamda 170C/4s ön-ısıl işlem görmüş ve 20C/%65 iklimik ortamda bekletilmiş örneklerde 12652,89 MPa, kestane 150C/5s ön-ısıl işlem görmüş ve 40C/%35 iklimik ortamda bekletilmiş örneklerde 8703,7 MPa ve 150C/5s ön-ısıl işlem görmüş ve 40C/%35 iklimik ortamda bekletilmiş örneklerde 13464,41 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Farklı ısı işlem ve iklim koşullarında işlem uygulanan üç ağaç türünde elastiklik

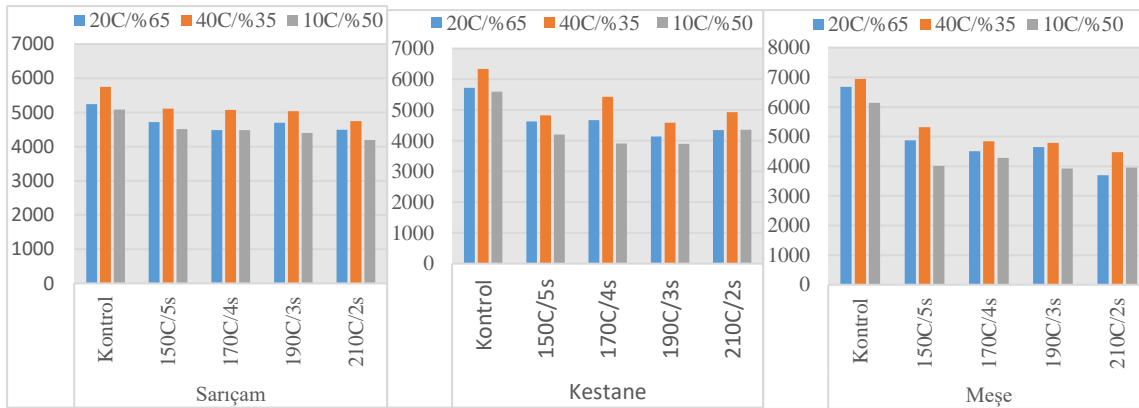
3.4. Isı İletkenlik Katsayısı- λ ve Isı Geçirgenlik (Yalıtıklık) Değeri-u (Thermal Conductivity Coefficient - λ and Thermal Conductivity (Insulator) Value-u)

Dört farklı şartta ısı işlem uygulanmış ve üç farklı iklim şartında bekletilmiş her üç ağaç türünde iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik değeri (yalıtıklık) değışim sonuçları Şekil 5 - Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Farklı ısı işlem ve iklim koşullarında işlem uygulanan üç ağaç türünde ısı iletkenlik katsayısı

(λ : W/m.K)



Şekil 6. Farklı ısı işlem ve iklim koşullarında işlem uygulanan üç ağaç türünde ısı geçirgenlik (U-değeri:

W/m²K) değışimi

Şekil 5'te verilen sonuçlara göre ısı iletkenlik katsayısı (λ) en yüksek, sırasıyla meşede 0,000137 W/m.K, kestanede 0,000125 W/m.K ve Sarıçamda 0,000112 W/m.K olarak kontrol örnekleri 40C/%35 iklim ortamında bekletilmiş örneklerde belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklık değerlerinin artmasına göre ve her bir ısıl işlem şartındaki 40C/%35 iklimik bekletme şartında en yüksek kalmak şartıyla, doğrusal olarak ısı iletkenlik katsayılarının azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, her bir ısıl işlem şartına sahip ve 40C/%35 iklimik ortamda bekletilmiş örnekler diğerlerine göre daha kuru olmaları ve ısıl işlem ile ahşap iyice bozunuma uğrayıp homojenliğin kaybolmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 6'daki ısı geçirgenlik (yalıtkanlık) değerleri (u) esas alındığında ısı iletkenlik katsayısının benzeri bir değişim görülmektedir. Yalıtkanlık değerindeki bu benzer değişim, ısı iletkenlik katsayısının sabit bir değer olan malzeme kalınlığına oranlanması ile hesaplanmasından kaynaklanmaktadır.

4. BULGULAR (FINDINGS)

Dört farklı şartta ısıl işlem uygulanmış ve üç farklı iklim şartında bekletilmiş her üç ahşap türünde genel olarak tüm değişkenler (yoğunluk, eğilme direnci, elastiklik modülü, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik - yalıtkanlık değerleri); düşük sıcaklık ve uzun süreli ısıl işlem sürecinde daha düşük düzeyde değişime uğradığı tespit edilmiştir. Buna kıyasla, yüksek sıcaklıkta kısa süreli ısıl işlem sürecinde daha yüksek düzeyde değişim meydana geldiği görülmüştür. Bunun nedeni, ısıl işlemde ahşabın hücre yapısındaki bozunumun ve buna bağlı olarak fiziksel - mekanik özelliklerdeki düşüşün daha çok sıcaklık derisinin artışıyla etkilendiği söylenebilir [9 nolu literatürle örtüşmektedir].

4.1. Yoğunluk Değişimi (Density Change)

Isıl işlem şartı değişimine bağlı olarak yoğunluk azalması; Sarıçamda ve meşede kontrol örneklerine göre ısıl işlemlilerde doğrusal olarak azalmıştır. Kestane kontrol örneklerine göre 150C/5s ve 170C/4s şartta sahip ısıl işlemlilerde yoğunluk değişimi düşük oranda gerçekleşmiş, 190C/3s ve 210C/2s şartta sahip ısıl işlemlilerde daha yüksek oranda azalmıştır. Bu sonuçlara göre, ısıl işlem etkisini 150°C-170°C'den sonra göstermekte ve bozunum başlamaktadır denilebilir. Sarıçam, kestane ve meşede kontrol örneklerine göre ısıl işlem sıcaklığı arttıkça bozunum gerçekleşmiş (Şekil 1; özellikle 150 dereceden sonra ekstraktif maddeler çözülüp buharlaşmış ve hem selülozlar bozunuma başlamıştır) ve yoğunluk doğrusal olarak azalmıştır. Yapılan çalışmalarda da azalmalar tespit edilmiştir [7 nolu literatürle örtüşmektedir].

İklim şartı değişimine bağlı olarak yoğunluk azalması; her üç ahşap türünde de 20°C/%65'den 40°C/%35 ortam şartına geçişte kurumadan dolayı yoğunluk azalırken (ortalama %10), 10°C/%50 ortam şartına geçişte, rutubet almaya bağlı olarak; az da olsa bir yoğunluk artışı meydana geldiği görülmektedir. Ancak bu yoğunluk artış durumu 210°C/2s ısıl işlemlilerde oluşmamıştır. Bunun nedeni, ısıl işlemin her üç ahşap türünü de iyice plastikleştirip, ağaç-nem tutunma özelliğinin azalmasından kaynaklandığı söylenebilir.

4.2 Eğilme Direnci Değişimi (Bending Strength Variation)

İklim şartı değişimine bağlı olarak eğilme direnci değişimi; Sarıçamda 20°C/%65'den 40°C/%35 ortam şartına geçişte kurumadan dolayı eğilme direnci artarken (ortalama %10-12 civarında), 10°C/%50 ortam şartına geçişte, rutubet almaya bağlı olarak; eğilme direnci azalması meydana geldiği görülmektedir. Ancak bu eğilme direnci azalma durumu 210°C/2s ön-ısıl işlemlilerde artış biçiminde gerçekleşmiştir (%10 civarında). Bunun nedeni, ısıl işlemin ahşabı iyice bozunuma uğrattığı plastikleştirdiği ve düşük sıcaklığın rijitliği artırmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Kestane ve meşe kontrol örneklerinde eğilme direnci en düşükten yükseğe doğru $20^{\circ}\text{C}/\%65$, $10^{\circ}\text{C}/\%50$ ve $40^{\circ}\text{C}/\%35$ sıralanmıştır. En yüksek eğilme direncinin $40^{\circ}\text{C}/\%35$ iklimik ortamda bekletilenlerde kurumadan dolayı meydana gelip literatür çalışmalarına paralellik göstermiştir [14]. İkinci sırada $10^{\circ}\text{C}/\%50$ iklimik ortamda bekletilenlerin olması düşük sıcaklıkta ahşabın rijitleşmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Kestane ve meşede ön-ısı işlem görmüş tüm örneklerde eğilme direnci değişimi ($150^{\circ}\text{C}/5\text{s}$, $170^{\circ}\text{C}/4\text{s}$, $190^{\circ}\text{C}/3\text{s}$, $210^{\circ}\text{C}/2\text{s}$ sırası ile) ve $20^{\circ}\text{C}/\%65$, $40^{\circ}\text{C}/\%35$, $10^{\circ}\text{C}/\%50$ iklimik ortam şartları sırasıyla %5 -%10 arasında azalma şeklinde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3). Sıcaklık derecesi arttıkça kestane ve meşe odunu hücrelerindeki bozunumun da tedricen arttığından kaynaklandığı [4 nolu literatürle örtüşmektedir] söylenebilir.

4.3. Elastiklik Modülü Değişimi (Modulus of Elasticity Replacement)

Elastiklik modülü $150^{\circ}\text{C}/5\text{s}$ ve $170^{\circ}\text{C}/4\text{s}$ ısı işlem konseptine sahip tüm ahşap örneklerde ve tüm iklimik ortam şartlarında kontrol örneklerine göre yüksek çıkmıştır. Sıcaklık arttıkça ısı işlemin etkisi ile bozunumdan kaynaklanan elastiklik modülü azalması meydana gelmiştir (Şekil 4) [6].

4.4. Isı İletkenlik Katsayısı -A ve Isı Geçirgenlik (Yalıtkanlık) Değeri-u Değişimi (Change in Thermal Conductivity Coefficient-A and Thermal Conductivity (Insulator) Value-u)

Şekil 5’de verilen sonuçlara göre ısı iletkenlik katsayısı (λ) en yüksek, sırasıyla meşede $0,000137 \text{ W/m.K}$, kestanede $0,000125,1 \text{ W/m.K}$ ve Sarıçamda $0,000112,4 \text{ W/m.K}$ olarak kontrol örnekleri $40^{\circ}\text{C}/\%35$ iklimik ortamda bekletilmiş örneklerde belirlenmiştir. Isıl işlem sıcaklık değerlerinin artışına göre ve her bir ısı işlem konseptindeki $40^{\circ}\text{C}/\%35$ iklimik bekletme şartında en yüksek kalmak şart ile, doğrusal olarak ısı iletkenlik katsayılarının azaldığı görülmektedir. Literatürde benzer sonuçlar elde edilmiştir [12]. Bunun nedeni, her bir ısı işlem şartına sahip ve $40^{\circ}\text{C}/\%35$ iklimik ortamda bekletilmiş örnekler diğerlerine göre daha kuru olmaları ve ısı işlem ile ahşap iyice bozunuma uğrayıp homojenliğin kaybolmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 6’daki ısı geçirgenlik (yalıtkanlık) değerleri (u) esas alındığında ısı iletkenlik katsayısının benzeri bir değişim görülmektedir. Yalıtkanlık değerindeki bu benzer değişim, ısı iletkenlik katsayısının sabit bir değer olan malzeme kalınlığına oranlanması ile hesaplanmasından kaynaklanmaktadır.

5. ÖNERİLER (SUGGESTIONS) :

Üç ahşap türünden (Sarıçam, meşe, kestane) örneklere dört farklı şartta ($150^{\circ}\text{C}/5\text{s}$, $170^{\circ}\text{C}/4\text{s}$, $190^{\circ}\text{C}/3\text{s}$, $210^{\circ}\text{C}/2\text{s}$) ısı işlem uygulandığı ve bu örneklerin üç farklı iklim şartında ($20^{\circ}\text{C}/\%65$, $40^{\circ}\text{C}/\%35$, $10^{\circ}\text{C}/\%50$) münavebeli olarak bekletilip test ve ölçümlerin uygulandığı bu çalışma sonuçlarına göre öne çıkan öneriler;

Yoğunluk, eğilme direnci ve elastiklik modülü değişimi her üç ahşap türünde de daha çok $170^{\circ}\text{C}/4\text{s}$ ve $190^{\circ}\text{C}/3\text{s}$ ısı işlem şartlarından sonra arttığı gözlemlenmiştir. Daha yüksek sıcaklığa sahip şartlarda her üç özellik iyice azalmaktadır. Bu nedenle, $170^{\circ}\text{C}/4\text{s}$ ya da $190^{\circ}\text{C}/3\text{s}$ ısı işlem şartları diğerlerine göre öncelikli olarak önerilebilir.

Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik değerinin $170^{\circ}\text{C}/4\text{s}$ ve $190^{\circ}\text{C}/3\text{s}$ ısı işlem şartlarından sonra çok fazla değişmediği tespit edilmiştir. Bu durumda, Isı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik değeri bakımından da bu iki şarttan birisi öncelikli olarak önerilebilir.

Her üç ahşap türünde de yoğunluk, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirgenlik (yalıtkanlık) bakımından en düşük değerlerin $40^{\circ}\text{C}/\%35$ iklim şartında elde edildiği görülmektedir. Bu iklim şartında bekletme ahşabı iyice kuruttuğu için öz yükünün hafiflediği ve birçok olumsuzluğa sebep olan rutubetin azaldığı, ahşabın rutubete dayalı ısı iletkenliğinin zayıfladığı bu iklim şartında oluşacak denge rutubetinin ahşap kullanımlarında her zaman sağlanması önerilebilir.

Eğilme direnci ve elastiklik modülü değerlerinin en yüksek değerlerin $40^{\circ}\text{C}/\%35$ iklim şartında elde edildiği görülmektedir. Bu iklim şartında bekletme ahşabı iyice kuruttuğu için birçok olumsuzluğa sebep

olan rutubetin azaldığı, ahşabın rutubete dayalı mekanik özellik zayıflamasının ortadan kalktığı ya da direnç değerlerinin iyice yükseldiği bu iklim şartının sağladığı avantajlardan dolayı ahşap kullanımlarında her zaman öncelikli olarak önerilebilir.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kamdem D., Pizzi A., Jermannaud A., Durability of heat-treated wood, Holz als Roh-und Werkstoff, 60 No.1 (2002) 1-6.
- [2] Aydemir D., Gündüz G., Ahşabın Fiziksel, Kimyasal, Mekaniksel ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Isıyla Muamelenin Etkisi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 11 No. 15 (2009) 61-70.
- [3] Doruk Ş., Perçin O., Isıl İşlemin Bazı Ağaç Malzemelerin Eğilme ve Basınç Direncine Etkileri, Politeknik Dergisi, 13 No. 2 (2010) 143-150.
- [4] Bekhta P., Niemz P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, Holzforschung, 57 No.5 (2003) 539-546.
- [5] Boonstra M.J., Van Acker J., Kegel E., Effect of a two-stage heat treatment process on the mechanical properties of full construction timber, Wood Material Science and Engineering, 2 No. 3-4 (2007) 138-146.
- [6] Esteves B., Marques A.V., Domingos I., Pereira H. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. Wood science and technology, 41 No. 3 (2007) 193.
- [7] Özçifçi A., Altun S., Yapıcı F., Isıl İşlem Uygulamasının Ağaç Malzemenin Teknolojik Özelliklerine Etkisi, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, (2009) 13-15.
- [8] Altunok M., Percin O., Doruk Ş., Effects of Heat Treatment on Technological Properties of Wood Material, Dumlupınar University Journal of Science, No. 23 (2010) 71-83.
- [9] Küreli İ., Altınok M., Percin O., Experimental Investigation of some technological Properties of Thermo Modified and Impregnated Wood Samples, Wood Research, No. 58 (2013) 369-380.
- [10] Fataraitė-Urbonienė E., Juodeikienė I., Albrektas D., Meškauskas S., Influence of Heat Treatment on the Static Bending Strength of Spruce Wood, Materials science, 25 No. 4 (2019) 455-459.
- [11] Metsä-Kortelainen S., Antikainen T., Viitaniemi P., The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170 C, 190 C, 210 C and 230 C, Holz als Roh-und Werkstoff, 64 No. 3 (2006) 192-197.
- [12] Sacli C., Altınok M., Dogan N.N., Determining the effects of modification with natural tannin and climatic conditions on thermal transmittance in some types of wood, Journal of the Indian Academy of Wood Science, 18 No .1 (2021) 45-51.
- [13] Ordu M., Altunok M., Atilgan A., Ozalp M., Peker H. The Effects of Heat treatment on Some Mechanical Properties of Laminated Black Pine *Pinus nigra*, International Journal of Physical Science, 8 No .19 (2013) 1029-1035.
- [14] Güneş M., Altunok M., Ön Isıl İşlem Uygulanmış Ahşap Kirişlerin Farklı İklim Şartlarındaki Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 10 No.2 (2022).