

THERMOWOOD YÖNTEMİ İLE ISIL İŞLEMİN YABANI KIRAZ ODUNUNDA YOĞUNLUK, BOYUTSAL STABİTE VE BASINÇ DİRENCİ ÜZERİNE ETKİSİ*

Ayhan AYTİN¹, Süleyman KORKUT², Öner ÜNSAL³, Nusret AS³, Nevzat Çakıcıer²

¹Düzce Üniversitesi, DMYO, Malz. ve Malz. İşleme Tek.Bölümü, 81000, Düzce, TÜRKİYE

²Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, OEM Bölümü, 81000, Düzce, TÜRKİYE

³İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, OEM Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

ayhanaytin@duzce.edu.tr

Özet- Ağaç malzemenin ısıtılması, 1990 yıllardan itibaren ondan daha rasyonel yararlanmaya yönelik adımların bir parçası olarak önem kazanan bir modifikasyon yöntemidir. Isıtılması ile bazı kullanım yerleri için çevreye zararlı herhangi bir etki meydana getirilmeden yapısı değiştirilmiş ağaç malzeme elde edilmektedir. Çeşitli ağaç türleri üzerinde farklı yöntemler ile ısıtılması uygulanarak elde edilen sonuçlara göre belli bir disiplin oluşturulurken aynı zamanda kullanıcılar da uygun malzeme konusunda yönlendirilmektedir. Bu çalışmada, Yabani Kiraz (*Cerasus avium*(L.) Monench) odunu ThermoWood yöntemi ile 190°C ve 212°C sıcaklıklarda 1 ve 2 saat ısıtılması tabii tutulduktan sonra bazı fiziksel ve mekanik özellikler araştırılmıştır. Fiziksel özelliklerden elde edilen sonuçlar kontrol örneklerine göre ısıtılması ile birlikte tam kuru özgül ağırlık, hava kurusu özgül ağırlık, daralma ve genişleme miktarlarının azaldığı, mekanik özelliklerden liflere paralel basınç direncinde ise çok önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Yabani Kiraz, Isıtılması, Liflere Paralel Basınç Direnci, Boyutsal stabilite, Yoğunluk

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT WITH THERMOWOOD METHOD ON DENSITY, DIMENSIONAL STABILITY AND COMPRESSIVE STRENGTH

Abstract- The heat treatment of wooden material is a modification method that has gained importance as a part of steps which aims benefitting from the material in a more rational way since 1990s. For some places of use, modified wooden material is produced without causing any effect that is harmful to environment with heat treatment. While creating a certain discipline according to the results obtained by applying heat treatment to various tree types with different methods, users are guided about appropriate material. In this study, some physical and mechanic features were examined after the Wild Cherry (*Cerasus avium*(L.) Monench) was subjected to heat treatment for 1 and 2 hours at 190°C and 212°C with ThermoWood method. According to the results of the physical features of control samples, oven dry and air dry density, and the amount of shrinkage and swelling decreased and there was no significant change in compressive strength that was parallel to fibers as a mechanical feature.

Key Words- *Cerasus avium*, Heat treatment, Compression strength parallel to grain Dimensional stability, Density

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Isıl işlem, ağaç malzemede hücre çeperinin polimer bileşiklerinin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişmelerle sonuçlanan fiziksel bir işlemdir. Metodun temel fikri kimyasal reaksiyonların hızlandığı yaklaşık 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ağaç malzemenin ısı ile muamele edilmesine dayanmaktadır[1].

Isıl işlem metotları, eski metotlar ve yeni metotlar diye ikiye ayrılır. Eski metotlar; Staybwood (odunun sıkıştırılmayarak yalnız ısı ile boyutsal stabilitesinin sağlanması) ve Staypak(şiddetli bir ısıtma ile sıkıştırılarak stabilize edilen odun)'tır[2]. Yeni metotlar; ThermoWood (Finlandiya), PlatoWood-Lignius-Lambowood (Hollanda), Retification process (Retiwood)-New Option wood-Le Bois Perdure (Fransa), Hot Oil treatment (OHT)-Menz Holz (Almanya), Calignum (İsveç), Thermabolite (Rusya), Huber Holz (Avusturya), Wood treatment technology (WTT) (Danimarka), Westwood (Amerika, Kanada, Rusya) [3,4].

Avrupa'da son yıllarda geliştirilen ve Avrupa pazarında kabul gören ısı işlem yöntemleri bulunmakla birlikte bu yöntemler içerisinde ticari amaçlar için en fazla kullanılan "ThermoWood" yöntemidir. Finlandiya'da 1990'lı yılların başlarında kurulan bir fabrika ile başlayan ağaç malzemeye ısı işlem çalışmaları neticesinde VTT tarafından geliştirilen ThermoWood yöntemi ile çalışan fabrika sayısı kısa zamanda artmış ve sekize yükselmiştir[5].

ThermoWood yönteminde hem taze hem de hava kurusu rutubete sahip ağaç malzemelere ısı işlem uygulanabilmekte ve işlem 3 safhada gerçekleştirilmektedir;

Fırın sıcaklığının artırılması ve yüksek sıcaklıkta kuruma safhası: Fırın sıcaklığı ısı ve buhar kullanılarak hızlı bir şekilde önce 100°C'ye, ardından daha yavaş bir artışla yüksek sıcaklıkta kurutmayı gerçekleştirmek üzere 130°C'ye kadar çıkarılır. Yaklaşık olarak 14-30 saat arasında değişen bu safhada ağaç malzemenin rutubeti yaklaşık olarak sıfıra kadar düşürülür.

Isıl İşlem safhası: Yüksek sıcaklık safhasının bitiminde yaklaşık olarak 6-8 saatlik bir zamanda fırın içerisindeki sıcaklık hedeflenen ısı işlem sıcaklığı olan 185°C ve 215°C'ye kadar yükseltilir. Ulaşılan ısı işlem sıcaklığında uygulamanın yapılma amacına bağlı olarak 0,4 saat ile 4 saat süre ısı işleme devam edilir. Ağaç malzemenin yüksek ısıda zarar görmesini önlemek amacı ile fırın içerisine buhar gönderilir.

Soğutma ve kondisyonlama safhası: Su spreyi sistemi kullanılarak ağaç malzemenin sıcaklığı 50°C ile 60°C'ye kadar düşürülür. Bu işleme ağaç malzemenin rutubeti %4-6'ya ulaşınca kadar devam edilir. Soğutma ve kondisyonlama safhası ısı işlem yapılan ağaç malzemenin kalınlık ve genişliğine bağlı olarak yaklaşık olarak 24 saat ile 30 saat arasında değişmektedir.

Genel olarak ThermoWood'da toplam işlem süresi yaklaşık olarak 50 saat ile 80 saat arasında değişmektedir[6].

Isıl işlem uygulaması odunun moleküler yapısının modifiye edilmesine yol açtığından performansını arttırmaktadır. Isıl işlem mantar ve böceklere karşı biyolojik dayanıklılık, düşük denge rutubet içeriği, daralma ve genişlemedeki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite, artan termal izalasyon kabiliyeti, boya adhezyonu, dış hava şartlarına dayanıklılıkta artma, dekoratif renk çeşitliliği ve kullanım süresinde uzama gibi pozitif sonuçlara sebep olmaktadır[7,8]. Öte yandan ekseriyetle mekanik özelliklere ait direnç değerlerinde düşüşler görüldüğünden yapı elemanı olarak kullanımında emniyet tedbirlerinin dikkate alınması gerekmektedir.

Bu çalışmada ThermoWood yöntemi ile ısı işlem uygulanmış Yabani Kiraz(*Cerasus avium*(L.) Monench) odununda yoğunluk ve boyutsal stabilite gibi fiziksel özellikler ile mekanik özelliklerden liflere paralel basınç direnci çalışılmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Düzce Orman İşletme Müdürlüğü Odayeri İşletme Şefliği sahası 17 no'lu bölmesinden beş (5) adet Yabani Kiraz (*Cerasus avium* (L.) Monench ağacı temin edilmiştir. Odayeri İşletme Şefliği'nin Yabani Kiraz (*Cerasus avium* (L.) Monench ağaçlarının alındığı 17 no'lu bölme kayın ve gürgen ağaçlarının egemen olduğu 800 metre rakım, %50-60 eğim ve kuzey baki özelliklerine sahiptir.

2.2. Isıl işlem ve deney örneklerin hazırlanması (Preparation of test samples and heat treatment)

Ağaçların seçiminde TS 4176/1984'e[9] göre hareket edilmiş olup, alınan gövdeler keskin kesiş yöntemi ile 60 mm kalınlığında kalaslara biçilmiştir[TS 2470/1976-10]. Daha sonra kalaslar klasik kurutma yöntemi ile ortalama %12 sonuç rutubetine kadar kurutulmuş, ThermoWood yapılarına kadar $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%65\pm 5$ bağıl neme ayarlanabilen iklimlendirme odasında bekletilmiştir. ThermoWood işlemi Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.'nin Gerede/Bolu fabrikasında hava kurusu haldeki ağaç malzemelerle birlikte yapılmıştır. ThermoWood yöntemi ile ısıl işlem uygulamasında işletmenin üretim programına uygun olarak 190°C ve 212°C sıcaklıklarda 1 ve 2 saat süre ısıl işlem yapılarak dört(4), kontrol örnekleri(K) ile birlikte toplamda beş(5) farklı varyasyon oluşturulmuştur(Tablo 1).

Çalışma kapsamında kullanılacak olan test örnekleri TS CEN/TS 15679'e[11] göre hazırlandıktan sonra $\%20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl neme sahip iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar 2 ay bekletilmiş ve deneysel çalışmalara geçilmiştir.

Tablo 1. Test varyasyonları(Test variations)

Örnek özellikleri			Kısaltma
Kontrol			K
Isıl işlem grupları	190°C	1 saat	TW ₁
		2 saat	TW ₂
	212°C	1 saat	TW ₃
		2 saat	TW ₄

Tam kuru yoğunluk(δ_0) ve hava kurusu yoğunluk(δ_{12}) için, 20x20x30 mm boyutlarında her bir varyasyon için 32'er adetten 160 olmak üzere toplamda 320 deney örneği hazırlanmış, yoğunlukların belirlenmesi için TS 2472/1976[12] ve TS 2471/1976[13] esaslarına uyulmuştur. Daralma miktarları, teğet ve radyal yönde TS 4083/1984[14], hacimce TS 4085/1983'e[15]; genişleme miktarları ise teğet ve radyal yönde TS 4084/1984[16] ve hacimce TS 4086/1983[17] esaslarına uyularak belirlenmiştir. Her bir varyasyon için 25'er adet olmak üzere toplam 250 test örneği(125 daralma ve 125 genişleme) örneği hazırlanmıştır. Örneklerin boyutları $\pm 0,001$ mm hassas dijital kumpasla ölçülerek boyutları bulunmuştur.

Basınç direnci TS 2595/1977[18] esaslarına göre tespit edilmiştir. Deney örneklerinin enine kesiti 20x20 mm, boyu ise 30 mm olmak üzere her bir varyasyon için 32'er adet olmak üzere 160 adet deney örneği hazırlanmıştır. Deneyden önce deney örneklerinin enine kesit boyutları $\pm 0,01$ mm hassaslıkla ölçüm yapabilen kumpasla, ağırlıkları 0,01 gr hassas precisa adlı terazide ölçülmüş daha sonra kuvvet yönü lif yönüne paralel gelecek şekilde üniversal test makinesine yerleştirilmiştir. Üniversal test mekanizması, kırılmanın yüklemeye anından itibaren 1,5-2 dakika sonra meydana gelmesini sağlayacak şekilde 6 mm/dk hızla çalıştırılmıştır.

Başlangıç değerleri ile son değerler arasındaki değişim oranlarının hesaplanmasında aşağıdaki formülden yararlanılmıştır;

$$D_o = \frac{K_{\delta} - S_{\delta}}{K_{\delta}} \times 100 \text{ (\% değişim)}$$

D_o : Değişim oranı (%), K_{δ} : Kontrol ölçümü değeri, S_{δ} : Son ölçüm değeri

Yapılan çalışmada verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS paket programından faydalanılmıştır. Çalışmada faktörlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için varyans analizine, anlamlı bulunan faktörler üzerinde farklılığın boyutunu belirleyebilmek için de Duncan testine başvurulmuştur.

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Yoğunluk (Density)

Yabani Kiraz odununda δ_o ve δ_{12} değerlerine ilişkin istatistik değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Yoğunluğa ilişkin istatistikler.

	Test örneği (TÖ)	Ortalama(\bar{X}) (gr/cm ³)	Standart sapma (SS)	En düşük (ED)	En yüksek (EY)	R*
δ_o	K	0.568	0.071	0.48	0.74	-
	TW1	0.532	0.043	0.45	0.64	-
	TW2	0.529	0.063	0.42	0.65	-
	TW3	0.505	0.025	0.46	0.56	-
	TW4	0.484	0.023	0.44	0.53	-
δ_{12}	K	0.612	0.048	0.51	0.71	11.35
	TW1	0.560	0.052	0.48	0.70	7.72
	TW2	0.550	0.064	0.44	0.71	6.83
	TW3	0.540	0.035	0.48	0.64	5.34
	TW4	0.517	0.038	0.45	0.63	4.87

(* , Örneklerin hava kuru yoğunluk değeri % 12’ye ayarlanmıştır).

Yabani kiraz odununda, ısıtma işlemi görmüş test örnekleri ile K tam kuru yoğunluk değerleri arasında en yüksek yoğunluk K’nde 0,568 (gr/cm³), en düşük yoğunluk TW4’de 0,484 (gr/cm³) olarak belirlenmiştir. Isıtma işlemi görmüş test örnekleri K hava kuru yoğunluk değerleri arasında en yüksek yoğunluk K’nde 0,612 (gr/cm³), en düşük yoğunluk TW4’de 0,517 (gr/cm³) olarak belirlenmiştir. Isıtma işlemi sonrasında δ_o ve δ_{12} hava kuru yoğunluk değerleri arasında fark olup olmadığını görmek için BVA testi yapılmış ve sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Tam kuru yoğunluk değerlerine ilişkin BVA sonuçları.

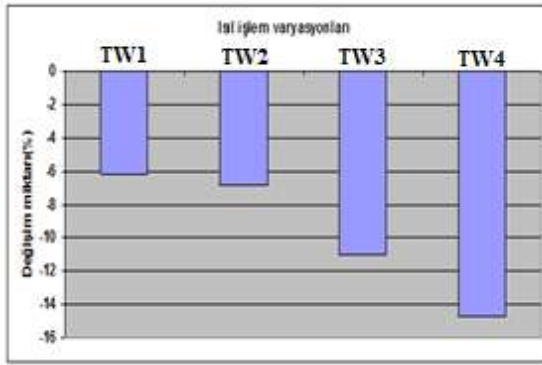
	Yabani Kiraz Odunu BVA	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	P değeri*
δ_o	Gruplar içi	0.126	4	0.032	12.933	0.000
	Gruplar arası	0.379	155	0.002		
	Toplam	0.505	159			
δ_{12}	Gruplar içi	0.160	4	0.040	16.557	0.000
	Gruplar arası	0.375	155	0.00		
	Toplam	0.535	159			

*) $P \leq 0.05$

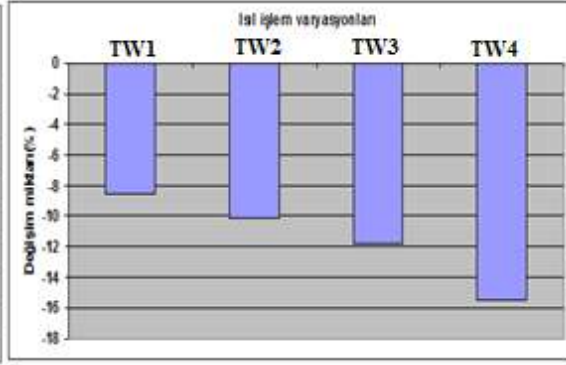
Yoğunluk değerlerine ilişkin olarak elde edilen BVA sonuçlarına göre farklı sıcaklık ve sürelerde ısı işlem görmüş test örneklerinin yoğunlukları ile K'nin yoğunlukları arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak ($P \leq 0,05$) düzeyinde anlamlı bulunduğu belirlenmiştir.

Isıl işlem, Yabani Kiraz odununda yoğunluğu azaltmıştır. Isıl işlem ile birlikte ısı işlem görmüş test örneklerinde K'ne göre en büyük değişim TW4'de sırası ile δ_0 ve δ_{12} olmak üzere %14,71 ve %15,52 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Bu sonuçlara göre ısı işlem sıcaklığının yükselmesi ve süresinin uzamasına bağlı olarak tam kuru ve hava kurusu yoğunluk değerlerinde azalma meydana geldiği, yoğunluktaki azalma miktarı üzerine hem ısı işlem sıcaklığının hem de süresinin etkili olduğu anlaşılmıştır.

Literatürde, ısı işlem uygulanmış çeşitli ağaç türlerinin yoğunluklarında azalma meydana geldiği yönünde çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Güller(2012-19), karaçam odununun yoğunluğu üzerine ısı işlemin etkisini araştırdığı çalışmada sıcaklık ve süre arttıkça yoğunluğun %2,57 ile %12,6 arasında azaldığını belirlemiştir. Todorovic ve diğ. (2012-20), üç farklı sıcaklıkta ısı işlem uyguladıkları kayın odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, sıcaklığın artırılmasının yoğunluğun azalmasında önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.1 Tam kuru yoğunluk değişimi(%).



Şekil 4.2 Hava kurusu yoğunluk değişimi(%).

Çaliova (2011-21), ısı işleme tabi tuttuğu ladin ve kızılğaç odunları ısı işlem görmüş test örneklerinde hava kurusu yoğunluğun kontrol örneklerine göre azaldığını, her iki ağaç türünde de en yüksek azalmanın ısı işlemde kullanılan en yüksek sıcaklık değeri olan 212°C sıcaklıkta gerçekleştiğini ifade etmiştir. Bu sıcaklıkta, İİGTÖ'nde K'ne göre kızılğaç odununda %5,59, ladin odununda %4,70 oranında azalma bulmuştur. Sefil (2010-22), Doğu kayını ve Uludağ göknarına ısı işlem uygulamış olduğu çalışmada ısı işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak hava kurusu yoğunluk değerlerindeki azalma oranlarında artış kaydettiğini bildirmiştir. Her iki ağaç türüne ait en fazla yoğunluk azalmasının 212°C'de, göknar odununda %6,17 ve kayın odununda %6,4 olarak gerçekleştiğini kaydetmiştir.

Isıl işlem sonrası ağaç malzeme yoğunluğunun azalması hakkında çeşitli görüşler bulunmaktadır. Boonstra (2008-23) ısı işlem sonrasında yoğunlukta meydana gelen azalmanın sebepleri olarak, hücre çeper bileşenlerinde meydana gelen kayıplar, ekstraktif maddelerin buharlaşması ve ısı işlem uygulaması sonrası odunun daha düşük denge rutubeti içeriğine sahip olmasını göstermektedir.

Isıl işlemin ağaç malzeme kimyasal yapısı üzerine etkisini konu alan pek çok çalışmada, ısı işlem sonrasında kütle kayıplarının önemli boyutlara ulaştığı görülmektedir. Tozluoğlu ve diğ. (2013-24), çalışmalarında 212°C sıcaklıkta 1,5 ve 2,5 saat süre ile ısı işlem uygulanmış Yabani Kiraz örneklerinde sırası ile %13,171 ve %20,530 ağırlık kaybı meydana geldiğini, hava kurusu yoğunluğunun ise kontrol örneklerine göre sırası ile %19,86 ve %20,49 azaldığını bildirmektedirler. Gonzalez Pena M.M. ve diğ. (2009-25), çalışmalarında ısı işlemin odunda ağırlık kaybına yol açtığını belirtmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre kayın odununda 190°C

sıcaklık ve 20 dakika ısı işlem sonucu %0,3 olan ağırlık kaybının 230°C sıcaklık ve 16 saat ısı işlemde %24,5'lere kadar, sarıçamda 190°C sıcaklık ve 20 dakika ısı işlem sonucu %0,6 olan ağırlık kaybının 230°C sıcaklık ve 16 saat ısı işlemde %14'lere kadar, ladinde 190°C sıcaklık ve 20 dakika ısı işlem sonucu %1,1 olan ağırlık kaybının 230°C sıcaklık ve 16 saat ısı işlemde %15,4'lere kadar yükseldiği ifade edilmiştir. Bu sonuç sıcaklık ve sürenin artırılması ile ağaç malzemede kütle kayıplarının da artacağını dolayısıyla yoğunlukta azalma meydana geleceğini ortaya koymaktadır.

Niemz ve diğ.(2010-26), ısı işlem görmüş denge rutubeti içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir. Li ve diğ.(2011-27)'de çalışmalarında ısı işlem ile birlikte nem içeriğinin düşmekte olduğunu belirtmişlerdir. Borrega(2011-28) çalışmasında benzer sonuca işaret etmekte, termal degradasyon sonucunda odunda kütle kaybı meydana geldiğini belirtmektedir.

3.2. Daralma (Shrinkage) ve Genişleme (Swelling)

Yabani Kiraz odununda ısı işlem görmüş test örnekleri ile K'nde belirlenen daralma miktarlarına ilişkin istatistikler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Daralma değerleri değişimine ilişkin istatistikler.

TÖ	Hacimce				Teğet yön				Radyal yön			
	\bar{X} (%)	SS	ED	EY	\bar{X} (%)	SS	ED	EY	\bar{X} (%)	SS	ED	EY
K	12.94	1.35	11.39	15.51	7.43	0.67	6.22	9.14	5.52	0.76	4.19	6.80
TW1	12.25	0.91	10.44	13.74	7.31	1.00	4.66	9.46	4.89	1.37	1.93	7.97
TW2	10.94	2.1	4.53	14.50	6.52	1.33	1.90	9.39	4.33	1.20	0.80	5.95
TW3	8.54	1.49	6.37	12.71	5.08	1.02	3.49	8.25	3.29	1.06	2.05	6.08
TW4	7.23	1.12	5.14	9.45	4.20	1.00	2.00	5.85	2.82	0.57	1.84	4.42

Tablo 4'e göre Yabani Kiraz(*Cerasus avium*(L.) Monench) odununda ısı işlem görmüş test örnekleri ile K'nin daralma değerleri arasında en yüksek daralma miktarları K'nde sırası ile hacimce, teğet ve radyal yönlerde olmak üzere %12,94, %7,43 ve %5,52, en düşük daralma miktarları TW4'de sırası ile hacimce, teğet ve radyal yönlerde olmak üzere %7,23, %4,20 ve %2,82 olarak belirlenmiştir.

Isı işlem sonrasında daralma miktarları arasında istatistiksel farklılıkları görmek için BVA testi yapılmış ve sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Daralma miktarı üzerine ısı işlemin etkisine ilişkin BVA sonuçları.

	Yabani Kiraz Odunu BVA	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	P değeri*
Hacimce	Gruplar arası	590.270	4	147.568	73.265	0.000
	Gruplar içi	241.700	120	2.014		
	Toplam	831.970	124			
Teğet yön	Gruplar arası	201.341	4	50.335	47.325	0.000
	Gruplar içi	127.633	120	1.064		
	Toplam	328.973	124			
Radyal yön	Gruplar arası	124.002	4	31.001	28.840	0.000
	Gruplar içi	128.990	120	1.075		
	Toplam	252.992	124			

*) $P \leq 0.05$

Daralma yüzdeleri BVA sonuçlarına göre farklılıkların istatistiksel olarak ($P \leq 0.05$) düzeyinde anlamlı farklılıkların bulunduğu belirlenmiştir.

Yabani Kiraz odununda ısı işlem görmüş test örnekleri ile K'nde belirlenen genişleme miktarlarına ilişkin istatistikler Çizelge 6'de verilmiştir.

Çizelge 6. Genişleme değerlerine ilişkin istatistikler.

TÖ	Hacimce				Teğet yön				Radyal yön			
	\bar{X} (%)	SS	ED	EY	\bar{X} (%)	SS	ED	EY	\bar{X} (%)	SS	ED	EY
K	13.92	1.10	11.73	16.09	8.00	1.12	4.54	9.47	4.91	1.31	2.98	7.44
TW1	12.28	2.28	8.05	17.85	7.30	1.59	3.39	9.72	3.62	0.64	2.63	5.06
TW2	10.27	1.56	6.80	12.93	5.61	1.13	3.56	7.63	3.60	1.23	1.76	6.04
TW3	7.04	1.33	4.75	10.03	4.11	1.31	0.34	6.74	2.05	1.22	1.07	7.23
TW4	6.36	2.01	1.44	11.59	3.90	1.67	0.75	9.02	1.62	0.56	0.01	2.59

Yabani Kiraz odunu ısı işlem görmüş test örnekleri ile K'nin genişleme değerleri arasında en yüksek genişleme miktarları K'nde sırası ile hacimce, teğet ve radyal yönlerde olmak üzere %13,92, %8,00 ve %4,91; en düşük genişleme miktarları TW4'de sırası ile hacimce, teğet ve radyal yönlerde olmak üzere %6,36, %3,90 ve %1,62 olarak belirlenmiştir.

Isıl işlem sonrasında genişleme miktarları arasında fark olup olmadığını görmek için BVA testi yapılmış ve sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

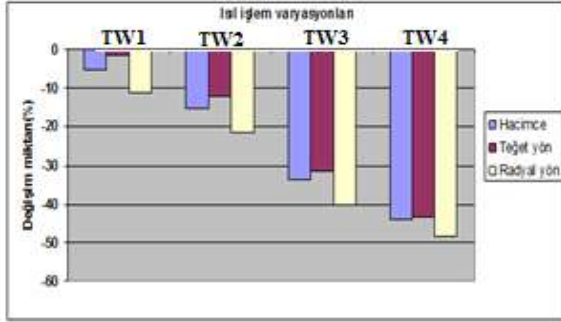
Tablo 7. Genişleme miktarı üzerine ısı işlemin etkisine ilişkin BVA sonuçları.

	Yabani Kiraz Odunu BVA	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	P değeri*
Hacimce	Gruplar arası	1066.844	4	266.711	90.555	0.000
	Gruplar içi	353.436	120	2.945		
	Toplam	1420.280	124			
Teğet yön	Gruplar arası	177.105	4	40.298	40.298	0.000
	Gruplar içi	131.847	120	1.099		
	Toplam	308.952	124			
Radyal yön	Gruplar arası	338.767	4	84.692	43.855	0.000
	Gruplar içi	231.739	120	1.931		
	Toplam	570.506	124			

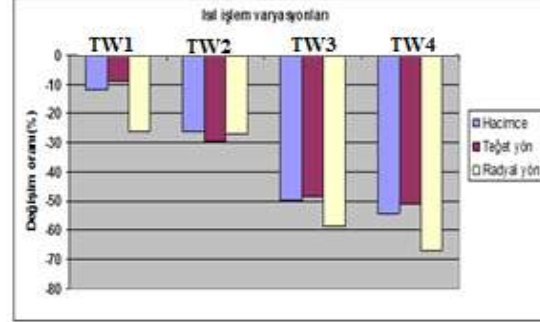
*) $P \leq 0.05$

Yabani Kiraz odununun genişleme yüzdelerine ilişkin olarak elde edilen BVA sonuçlarına göre genişleme yüzdeleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak ($P \leq 0.05$) düzeyinde anlamlı farklılıkların bulunduğu belirlenmiştir.

Isıl işlem sonrası ısı işlem görmüş test örneklerinde K'ne göre daralma ve genişleme miktarlarındaki değişimlere ısı işlem sıcaklığı ve süresinin etkisi Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir. Buna göre en fazla değişimin en yüksek sıcaklık ve uzun süre olan TW4'de gerçekleştiği, daralma miktarlarında kontrol örneklerine göre hacimce, teğet yön ve radyal yönde sırası ile olmak üzere %44, %43,48 ve 48,48, genişleme miktarlarında ile %54,31, %51,52 ve %67 oranında azalma olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre ısı işleminde sıcaklık arttıkça boyutsal stabilitenin gittikçe iyileştiği anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar ısı işlem ile boyutsal stabilitede iyileşme sağlanabildiğini göstermesi bakımından önemlidir.



Şekil 5.1 Daralma değişimi (%).



Şekil 5.2 Genişleme değişimi (%).

Bak ve Nemeth (2012-29) değişik sıcaklıklarda (160°C'den 200°C sıcaklığa kadar) ısıl işlemin kavak odununun boyutsal değişimine etkisini inceledikleri çalışmalarında, ısıl işlemin boyutsal stabiliteyi önemli miktarda iyileştirdiğini bulmuşlardır. Çalışma sonucunda en etkili sonucu 200°C sıcaklık derecesinde elde edildiğini, doğru bir uygulama süresi ile daha düşük sıcaklıklarda da aynı sonuçlara ulaşılabileceğini belirtmişlerdir. Çaliova (2011-21), kızılğaç ve doğu ladini odunlarında ısıl işlem sıcaklığının artmasına paralel olarak daralma yüzdelerindeki azalma oranlarında da artış olduğunu, en düşük azalma oranının 190°C sıcaklıkta kızılğaçta %19,80, ladinde %20,31, en yüksek azalma oranı ise 212°C'de kızılğaçta %53,47, ladinde ise %48,08 şeklinde gerçekleştiğini belirtmiştir. Poncsak ve diğ. (2011-30), ısıl işlem sıcaklığının yükseltilmesinin boyutsal stabilitenin artmasına katkıda bulunacağını vurgulamışlardır. Korkut ve Budakçı (2010-31) 180°C ve 10 saat ısıl işlem uyguladıkları Dişbudak Yapraklı Üvez (*Sorbus aucuparia* L.) ağacında genişlemenin radyal, teğet ve boyuna yönlerde sırası ile %25,68, %25,10 ve %26,08 azaldığını belirtmişlerdir. Altınok ve diğ.(2010-32), ısıl işlem uygulanmış karaçam (*Pinus nigra* var. *pallasiana*) ve dişbudak (*Fraxinus exelsior* L.) odunlarında hacimsel daralma ve genişlemenin azaldığını ifade etmişlerdir.

Li ve diğ. (2011-27), douglas (*Pseudotsuga menziesii*) odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine yüksek sıcaklık uygulamasının etkisini araştırmak üzere odun örneklerini 160,180, 200 ve 220° sıcaklıklarda 1, 2, 3 and 4 saat süre ile işleme tabi tuttukları çalışma sonuçlarına göre boyutsal stabilitenin arttığını, sıcaklık arttıkça ve süre uzadıkça daha düşük değerlerin elde edildiğini, hacimce genişlemedeki azalma miktarının arttığını, ısıl işlem görmemiş oduna göre denge rutubeti içeriğinin %42.63, su absorpsiyonunun %34,93 ve hacimce genişlemenin %67,47 azaldığını bulmuşlardır.

Isıl işlem uygulaması sonucu ağaç malzemenin kimyasal ve fiziksel yapısında bir çok kalıcı değişiklik meydana gelmekte olup, değişikliklerin temel nedeni olarak hemiselülozların termik bozunması gösterilmektedir. Hemiselülozların bozunmasının odunda suyu tutan hidroksil gruplarının azalmasına dolayısı ile normal kurutulmuş yumuşak oduna göre ısıl işlem uygulanmış odunda boyutsal stabilitenin iyileşmesine neden olduğu bildirilmektedir (Anonim 2003-5). Boonstra (2008-23), ısıl işlem sırasında hemiselüloz yapısında meydana gelen değişimler ve onun daha az higroskopik olan furfural polimerlerine hidroliz olması sonucu boyutsal stabilitenin arttığını ve denge rutubeti miktarının azaldığını bildirmektedir. Ayrıca sıcaklık arttıkça rutubet içeriğinin odun bileşenlerinin depolimerizasyonu işlemini kuvvetlice katalize etmekte olduğunu belirtmektedir. Johansson (2008-33), odunun su alışverişinde odun karbonhidratlarındaki serbest hidroksil gruplarının önemli rol oynadığını, özellikle hemiselülozlardaki yan zincirlerin varlığı ile hemiselüloz yapısının yüksek oranda amorf olduğunu, bu durumun odundaki suyun çoğunun hemiselüloza bağlanmasının temel nedenini teşkil ettiğine işaret etmektedir. Kocaefe ve diğ., (2008-34)'e göre, ligninin plastikleşmesi ve odunun lignoselülozik polimerik bileşiklerinin yeniden yapılanması ısıl işlem uygulanmış odunun artan hidrofobik karakteristiğini açıklayan diğer bir görüş olarak ortaya çıkmaktadır. Tjeerdsma ve diğ. (1998-35), ısıl işlem sonrasında denge rutubetinin azalması ile lignin çapraz bağlanmasının boyutsal stabiliteyi iyileştirdiğini, boyutsal stabilitedeki iyileşmeye lignin çapraz bağlanmasındaki artış ile birlikte molekülleri daha az elastik yapması, kristal selülozün nisbi

artışlı ve selüloz moleküllerinin daha az genişlemesi ile daha az su absorbe etmesinin sebep olduğunu belirtmişlerdir.

3.3 Liflere Paralel Basınç Direnci (Parallel compressive strength on fibers)

Isıl işlem sonrası Yabani kiraz odununda liflere paralel basınç direnci değerlerine ilişkin istatistikler Tablo 8’de verilmiştir.

Tabl 8. Liflere paralel basınç direnci istatistiksel veriler.

TÖ	\bar{X} (N/mm ²)	SS	ED	EY	R
K	44.99	5.248	34.81	52.94	11.31
TW1	45.78	5.353	27.31	57.66	7.55
TW2	51.24	8.560	24.00	66.70	7.06
TW3	47.60	5.716	33.54	59.51	5.30
TW4	45.40	8.090	16.37	54.63	4.87

Elde edilen sonuçlara göre liflere paralel basınç direnci en yüksek TW2’nde 51,24 (N/mm²), en düşük ise K’nde 44,995 (N/mm²) olarak belirlendi.

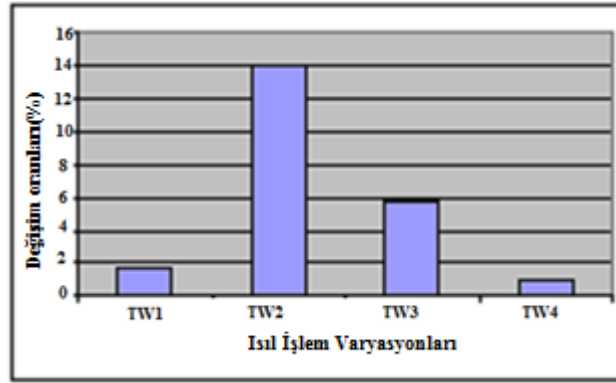
Yabani Kiraz odununda ısıl işlem görmüş test örneklerinde ile K liflere paralel basınç direnci direnci değerlerine ilişkin BVA sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Liflere paralel basınç direnci değeri BVA sonuçları.

Liflere paralel basınç direnci BVA	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	P değeri*
Gruplar içi	845.317	4	211.329	4.642	0.001
Gruplar arası	7056.320	155	45.525		
Toplam	7901.638	159			

Yabani Kiraz odununda liflere paralel basınç direnci değerine ilişkin olarak elde edilen BVA sonuçlarına göre farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işlem görmüş test örnekleri ile K liflere paralel basınç değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak ($P \leq 0.05$) düzeyinde anlamlı bulunduğu belirlenmiştir.

ThermoWood yöntemi ile 190°C ve 212°C sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmış Yabani Kiraz odununda liflere paralel basınç direnci, K’ne göre tüm ısıl işlem görmüş test örneklerinde artmıştır. 190°C sıcaklıkta artmaya başlayan liflere paralel basınç direnci, aynı sıcaklıkta 2 saat süre ısıl işlem uygulamasında en yüksek seviyesine (%14) çıkmış, ancak sıcaklığın yükselmesi ile düşmeye başlayan direnç değeri TW4 varyasyonunda neredeyse K’ndeki değerine yaklaşmıştır (Şekil 6). Bu sonuçlara göre, liflere paralel basınç direnci değişiminde, hem ısıl işlem sıcaklığının hem de süresinin etkili olduğu söylenebilir. Özçifçi ve diğ. (2009-36), Çaliova (2011-21) ve Sefil (2010-22) çalışmalarında ısıl işlem sıcaklığının artması ile birlikte liflere paralel basınç direncinin de arttığını bulmuşlardır. Çaliova (2011-21), çalışmasında ısıl işlem uygulanmış ağaç malzemedeki liflere paralel basınç direncinde artış kaydedildiğini, bağlı su miktarındaki artışın ve hücre çeperinin polimerik bileşikleri arasındaki hidrojen bağlarının zayıflamasının direnç özelliklerini azalttığını, çünkü direncin kovalent ayrıca hidrojen polimer bağlarıyla ilişkili olduğunu Fengel and Wegener(1989), Winandy and Rowell(1984)’ten nakletmektedir. Böylece ısıl işlem görmüş odun daha az higroskopik olduğunu ve maksimum bağlı su miktarı azaldığı için ısıl işlemin direnç özelliklerine pozitif katkıda bulunabileceğini belirtmektedir. Çaliova(2010-21) ayrıca çalışmasında ayrıca ısıl işlem görmüş odunun denge rutubet miktarını incelemiş ve ısıl işlem görmüş odunda denge rutubeti miktarının azaldığını belirlemiştir.



Şekil 6. Liflere paralel basınç direncinde değişim (%).

Ağaç malzemedeki ısıl işlem neticesinde liflere paralel basınç direncindeki değişimlerden ısıl işlem sırasında meydana gelen fiziksel ve kimyasal oluşumlar sorumlu tutulmaktadır. Isıl işlem sonrasında odunun daha az higroskopik olması, bağlı su miktarındaki azalma, amorf selülozun kristalleşmesi ile kristal selüloz miktarının artması ve lignin polimer ağının çapraz bağlanmasındaki artış liflere paralel basınç direncinin artışına sebep olur (Boonstra 2008-23).

Çeşitli ağaç türleri ile yapılan test sonuçlarına göre, yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem görmüş örneklerde ısıl işlem görmemiş oduna göre daha iyi liflere paralel basınç direnci değerleri elde edilmektedir. Üç saat süre ile 195°C sıcaklıkta muamele edilmiş kerestede liflere paralel basınç direncinin ısıl işlem uygulanmamış keresteye göre yaklaşık %30 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem uygulaması liflere paralel basınç direnci üzerinde negatif etki yapmadığı hatta yüksek sıcaklıklarda bile ısıl işlem görmemiş oduna göre daha iyi basınç direnci değerlerinin elde edildiği görülmektedir (Anonim 2003-5)

Yabani Kiraz odununun ısıl işleminden sonra liflere paralel basınç direncinin değişimi ile ilgili belirtilen sonuçların aksine literatürdeki bazı çalışmalarda ısıl işlem sonucu basınç direncinin %2 ile %32 oranında azaldığı belirtilmektedir. Yıldız ve diğ. (2006), dört farklı sıcaklık (130, 150, 180 ve 200°) ve üç farklı sürede (2, 6 ve 10 saat) atmosferik basınç altında ısıl işlem yaptıkları doğu ladininde liflere paralel basınç direncinin genellikle azaldığını bunun da hemiselülozların degradasyonundan meydana gelebileceğini ifade etmektedirler.

Unsal ve Ayrılmış(2005) termal olarak modifiye edilmiş okaliptüs odununda liflere paralel basınç direncinin ısıl işlem sıcaklığı ve uygulama süresi arttıkça düştüğünü belirtmişlerdir.

Yıldız(2002) çalışmasında, mekanik ve teknolojik özelliklerde genellikle artan sıcaklık ve süreye bağlı olarak bir düşüş kaydedildiğini ifade etmiştir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Isıl işlem görmüş Yabani Kiraz (*Cerasus avium*(L.) Monench) odununda tam kuru yoğunluk %14,71, hava kurusu yoğunluk %15,52'e kadar azalmıştır. Isıl işlem sıcaklığı artışı ve süresinin uzaması ile birlikte yoğunluk azalması da artmıştır. Kütle kayıpları hem odunun ağırlığının azalmasına hem de boşluklu yapının artmasına neden olduğu için, yoğunluktaki azalmanın temelde kütle kayıplarından kaynaklandığı söylenebilir. Öte yandan ısıl işlem ile birlikte oluşan daha düşük denge rutubeti içeriği, yoğunluktaki azalmanın diğer bir sebebi olarak belirtilebilir.

Isıl işlem sonrasında daralma ve genişleme azalmış, en yüksek değerlere TW4'de ulaşılmıştır. Hacimce daralmanda %44'e, hacimce genişleme miktarlarında ile %54,31'e kadar azalma meydana gelmiştir. Bu sonuçlar ısıl işlem görmüş Yabani Kiraz (*Cerasus avium*(L.) Monench) odununda ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artırılmasının boyutsal stabilitede daha iyi değerlerin elde edilmesine imkan sağlayacağını göstermektedir.

Isıl işlem Yabani Kiraz (*Cerasus avium*(L.) Monench) odununda liflere paralel basınç direnci değerini artmıştır. Liflere paralel basınç direncindeki en yüksek artış TW2’de K’ne göre %12,19 olarak tespit edilmiştir.

İlave bilgi: Bu çalışma “Yabani Kiraz (*Cerasus* (L.) Monench) Odununun Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Yüksek Sıcaklık Uygulamasının Etkisi” isimli doktora çalışmasından türetilmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Johansson D., Strengh and colour response of solid wood to heat treatment, *Licentiate Thesis*, Luleå Teknoloji Üniversitesi, Department of Skellefteå Campus, Sweden, (2005).
- [2]. Korkut S., Kocaefe D., Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5 (2) (2009) 11-34.
- [3]. Sundqvist B., Colour changes and acid formation in wood during heating. *Doctoral Thesis*, Lulea Teknoloji Üniversitesi, Skellefteå-Sweden, (2004).
- [4]-Tjeerdsma FB., Heat treatment of wood- thermal modification, *Coford Seminar on Wood Modification: Opportunites and Challenges*, Dublin- Ireland (2006).
- [5]. Anonim, <http://www.thermowood.fi> (Erişim Tarihi: 28 Haziran 2010).
- [6]. Aydin A., “Effect of High Temperature Treatment on Physical, Mechanic and Technologic Properties of Wild Cherry(*Cerasus avium* (L.) Monench)”, Doctoral Thesis, University of Duzce, (2013).
- [7]. Enjily V., Jones D., The potential for modified materials in the panel products industry, *Wood Resources and Panel Properties Conference*, Valencia-Spain, (2006) E44/E49.
- [8]. Wikberg H., Advanced solid state nmr spectroscopic techniques in the study of thermally modified wood, *Academic Dissertation*, Helsinki Üniversitesi, Helsinki- Finland, (2004).
- [9]. TS 4176, Odunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin tayini için homojen mescerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması, *Türk Standartları Enstitüsü.*, Ankara, (1984).
- [10]. TS 2470, Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- [11]. TS CEN/TS 15679, Isıl işleme şekil verilmiş kereste-terimler ve karakteristikler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).
- [12]. TS 2472, Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- [13]. TS 2471, Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- [14]. TS 4083, Odunda radyal ve teğet doğrultuda çekmenin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1983).
- [15]. TS 4085, Odunda hacimsel çekmenin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1983).
- [16]. TS 4084, Odunda radyal ve teğet doğrultuda şişmenin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1983).
- [16]. TS 4086, Odunda hacimsel şişmenin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1983).
- [18]. TS 2595, Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1977).
- [19]. Güller B., Effects of heat treatment on density, dimensional stability and color of Pinus nigra wood, *African Journal of Biotechnology*, 11(9) (2012) 2204-2209.
- [20]. Todorovic N., Popovic Z., Milić G., Popadic R., Estimation of heat-treated beechwood properties by color change, *BioResources*, 7(1) (2012) 799-815.
- [21]. Çalıova Z., Kızılağaç ve doğu ladini odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, (2011).
- [22]. Sefil Y., Thermowood yöntemiyle ısıl işlem uygulanmış göknar ve kayın odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Ünivertesi, (2010).
- [23]. Boonstra MJ., A two-stage thermal modification of wood, *Ph.D. dissertation in cosupervision*, Ghent University and Université Henry Poincaré, Nancy-Fransa, (2008).

- [24]. Tozluoğlu A., Korkut S., öpür ., Aytin A., Yabani Kiraz odununun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine ısıt işlemin (ThermoWood Methodu) etkisi, *II.Ulusal Mobilya Konresi*, Denizli-Türkiye, (2013).
- [25]. Gonzalez de Cademartori P.H., Schneid E., Gatto DA., Beltrame R., Stangerlin DM., Modification of static bending strength properties of eucalyptus grandis heat-treated wood, *Materials Research*, 15(6) (2012) 922-927.
- [26]. Niemi P., Hofmann T., Rétfalvi T., Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood, *Maderas Ciencia Y Tecnologia*, 12(2) (2010) 69-78.
- [27]. Li X., Cai Z., Mou Q., Wu Yi., Liu Y., Effects of heat treatment on some physical properties of douglas fir (pseudotsuga menziesii) wood, *Advanced Materials Research Vols. 197-198* (2011) 90-95.
- [28]. Borrega M., Mechanisms affecting the structure and properties of heat-treated and high-temperature dried Norway spruce (*Picea abies*) wood, *Dissertationes Forestales*, Faculty of Science and Forestry University of Eastern Finland, Finlandiya, (2011).
- [29]. Bak M., Nemeth R., Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil heat treated poplar (*Populus americana cv. Pannonia*) wood, *BioResources*, 7(4) (2012) 51248-5137.
- [30]. Poncsak S., Kocaefe D., Younsi R., Improvement of the heat treatment of Jack pine (*Pinus banksiana*) using ThermoWood technology, *Eur. J. Wood Prod.*, 69 (2011) 281-286.
- [31]. Korkut S., Budakçı M., The effects of high-temperature heat-treatment on physical properties and surface roughness of Rowan (*Sorbus aucuparia L.*) wood, *Wood Research*, 55(1) (2010) 67-78.
- [32]. Altınok M., Perçin O., Doruk Ş., Isıl İşlemin (Thermo-Process) ağaç malzemenin teknolojik özelliklerine etkisinin incelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23 (2010).
- [33]. Johansson D., Heat treatment of solid wood effects on absorption, strength and colour, *Doctoral Thesis*, Luleå Teknoloji Üniversitesi, Department of Skellefteå Campus, Sweden, (2008).
- [34]. Kocaefe D., Shi LJ., Yang D-Q., Bouazara M., Mechanical properties, dimensional stability, and mold resistance of heat-treated jack pine and apsen, *Forest Products Journal* 58(6) (2008) 88-93.
- [35]. Tjeerdsma B.F., Boonstra M., Pizzi A., Militz H., Characterisation of thermally wood: molecular reasons for wood performance improvement, *Holz Rh Werkst* 56 (1998) 149-153.
- [36]. Özçiftçi A., Altun S., Yapıcı F., Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özellikleri üzerine etkisi, *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, (2009).
- [37]. Yıldız S., Gezer E.D., Yıldız Ü.C., Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat, *Building and Environment*, 41 (2006) 1762-1766.
- [38]. Ünsal Öner., Ayrılmış Nadir., Variations in compression strength and surface roughness of heat-treated turkish river gum (*Eucalyptus camaldulensis Dehn.*) *Wood, Journal of Wood Science*, 51 (2005) 405-409.
- [39]. Yıldız Sibel., Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2002).