

BAZI AĞAÇ TÜRLERİNE UYGULANAN JANKA SERTLİK DİRENCİNDE ISIL İŞLEMİN (THERMOWOOD) ETKİSİ

Öğr. Gör. Tuğba GÜRLEYEN^{1*}, Prof. Dr. Cengiz GÜLER², Prof. Dr. Öner ÜNSAL³

¹ Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, 81010, Düzce, TÜRKİYE

² Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce TÜRKİYE

³ İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34473, İstanbul, TÜRKİYE
tugbagurleyen@duzce.edu.tr

Özet Bu çalışmada, ısı işlem görmüş ve görmemiş Amerikan dişbudak (*Fraxinus americana* L.), Avrupa kızılacağı (*Alnus incana* L.), ak kavak (*Populus alba* L.) ve ak söğüt (*Salix alba* L.) odunlarına ait janka sertlik özellikleri belirlenmiştir. Bu ağaç türleri ThermoWood metoduna göre 190°C'de 1.5 saat, 212°C'de 2 saat süreler ile ısı işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra ısı işlem görmüş ve görmemiş (kontrol) test örnekleri üzerinde radyal, teğet ve enine kesit yönde sertlik (janka) değerleri belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre; ısı işlem uygulaması ile sertlik değerlerinin ağaç türlerine göre değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: ThermoWood, Janka sertlik testi, Mekanik özellikler

EFFECT OF HEAT TREATMENT (THERMOWOOD) ON JANKA HARDNESS RESISTANCE APPLIED TO SOME WOOD TYPES

Abstract: In this study, hardness properties of untreated and heat treated American ash (*Fraxinus americana*) and European alder (*Alnus incana* L.), black poplar (*Populus alba* L.) and white willow (*Salix alba* L.) were determined. These wood types were subjected to heat treatment at 190°C for 1.5 hours and 212°C for 2 hours according to ThermoWood method. Then radial, tangential and transverse hardness (janka) values were determined on the heat treated and untreated (control) test specimens. According to their search results; It was determined that the hardness values were changed according to wood types by heat treatment application.

Key Words: ThermoWood, Janka hardness test, Mechanical properties

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ahşap malzeme diğer mühendislik malzemelerine göre birçok üstün özelliklere sahiptir. Bunlar, yenilenebilir bir hammadde olması, maliyetinin düşük olması, kolay işlenebilmesi ve

Bu makale, 4. Uluslararası Mobilya ve Dekorasyon Kongresi'nde sunulmuş ve İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi'nde yayınlanmak üzere seçilmiştir.

şekillendirilmesi, ses ve ısı yalıtımının iyi olması, enerji absorblama yeteneğinin yüksek olması, direnç/yoğunluk oranının diğer malzemelere göre yüksek olması ve estetik bir görünüme sahip olması şeklinde sıralanabilir [1]. Bu özelliklerinden dolayı, masif ahşap malzeme ya da ahşap esaslı kompozit malzemeler, mobilya üretiminde, dekorasyon işlerinde, ahşap yapılarda, park ve bahçelerde ve benzeri birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak, anizotropik bir malzeme oluşu (teğet, radyal ve enine kesitte farklı özellikler göstermesi), biyolojik olarak dayanımının sınırlı olması ve su alıp-vermesi sonucu boyutlarında meydana gelen değişimlerden dolayı suya temas eden yerlerde veya nem oranının yüksek olduğu alanlarda uzun süre kullanılması ancak bazı işlemlerden sonra mümkün olmaktadır. Masif ahşap malzemenin, çürümeye karşı dayanımını artırmak için çeşitli kimyasallarla muamele edilmesi, iyi bir şekilde kurutulması ve üst yüzeyinin boyanması veya verniklenmesi gerekir. Boyutsal kararlılık sağlamak için çeşitli kimyasallarla muamele edilmesi, hücre çeperinin asetillendirilmesi ve ısıl işlem uygulayarak odunun modifikasyonu gibi değişik yöntemler uygulanmaktadır [2]. Ancak, odunun bazı özelliklerini modifiye etmek için kimyasal maddeler kullanarak yapılan emprenye işlemlerinin, günümüzde çevre kirliliğine sebep olmaları nedeniyle kullanımları azalmaktadır. Bu yöntemlerin yerine, çevreye dost, kimyasal madde kullanılmayan yöntemler uygulanmaktadır. Masif ahşap malzemenin yüksek sıcaklıkla muamele edilerek bazı özelliklerinin iyileştirilmesi, bir ısıl işlem uygulaması olarak kabul edilmiştir [3].

Günümüze, birçok farklı ısıl işlem yöntemlerinin uygulandığı bilinmektedir. Bu yöntemlerdeki farklılıkların en başında, uygulanan sıcaklık, bu sıcaklığa maruz bırakılan süre, uygulama tekniği gibi önemli faktörler gelmektedir. Sonuçta, ısıl işleme maruz bırakılmış ahşap malzemelerin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde pek çok faktöre bağlı olarak değişiklikler söz konusu olduğu söylenebilir. Bu konuyla ilgili yapılan araştırmalarda pek çok önemli sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Gündüz ve ark., artan sıcaklık ve sürede ısı muamelesi ile janka sertliğinin azaldığını gözlemlemiştir [4]. Won ve diğ. 175°C ve 200°C sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tuttukları çeşitli ağaç türlerinde, 175°C sıcaklıkta ısıl işlem uyguladıkları *Betula costata* (% 16.55 artış) hariç tüm sıcaklıklarda Brinell sertliğinin %2 - %33 arası oranlarda bir azalma olduğunu bildirmişlerdir [5]. Balkis Fatomer ve diğ. ısıl işlem ve uygulama süresinin (120°C ve 190°C ile 2 ve 8 saat) kauçuk, ardıç ve kırmızı meşe odunlarında sertlik değeri üzerine yaptıkları araştırmada her üç ağaç türünde de ısıl işlem sıcaklık ve süresi arttıkça sertlik değerinin % 10.8'den % 33.3'e kadar azaldığını belirtilmiştir [6]. Efe ve Bal çalışmalarında, 180°C, 200°C ve 220°C sıcaklıklarda yaklaşık 3 saat süre ile ısıl işlem muamelesi gören kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odununda enine, radyal ve teğet kesit yönlerindeki janka sertlik testleri sonucunda, kontrol örneklerine kıyasla ısıl işlem görmüş örneklerde sertlik değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir. En düşük sertlik değerlerin teğet kesit yönde, en yüksek ise enine kesit yönde olduğunu tespit etmişlerdir [7]. Şahin, dişbudak odunu örneklerinde, en yüksek janka sertlik değerinin enine kesit yönde görüldüğünü, bunu sırası ile teğet ve radyal kesit yönlerinin takip ettiğini bildirmiştir. Artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine paralel olarak, kontrol örneklerine kıyasla enine, teğet ve radyal sertlik değerlerindeki azalmaların giderek devam ettiği bildirilmiştir [8]. Korkut ve Hızıroğlu tarafından yapılan çalışmada 130°C ve 160°C sıcaklıklarda 3 ve 7 saat süreler ile ısıl işlem görmüş doğu kırmızı sediri (*Juniperus virginiana* L.) odunu için, ısıl işlem süresi ve sıcaklığının artması ile janka sertlik değerlerinde azalmaların olduğu bildirmiştir [9].

Yukarıdaki araştırmalarda olduğu gibi ısıl işlem muamelesine maruz kalan bazı ahşap malzemelerin sertlik değerlerinde azalmalar görülürken, aşağıdaki literatürlerde olduğu gibi bazı ahşap malzemelerde de artış olduğu gözlenmiştir. Araújo ve ark. tarafından yapılan çalışmada, vakum ve nitrojen ortamında 180, 200 ve 220°C'de ısıl işlem görmüş *Aspidosperma populifolium*, *Dipteryx odorata* and *Mimosas cabrella* odunlarında yapılan janka sertlik testi sonuçları için; ısıl işlemlerin, *Aspidosperma populifolium* ve *Mimosas cabrella* odunlarında janka sertliği üzerinde anlamlı bir etki göstermediği, ancak *Dipteryx odorata* odunun ısıtma

yöntemine veya sıcaklığa bakılmaksızın, ısıtma işlemi ile sertliğini önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir [10]. Tuong ve Li tarafından, FTA (Fin Thermowood Association) sıcaklıkla sertliğin arttığını, daha yüksek sıcaklıkların ahşabın sertliğini daha da fazla etkileyebileceğini bildirmişlerdir [11]. Kamperidou ve ark., çalışmalarında, 200°C'de 4, 6 ve 8 saat süreler ile ısıtma işlemi görmüş sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununda yapılan teğet ve radyal kesit yöndeki janka sertlik testi sonuçlarında kontrol örneklerine göre ısıtma işlemi görmüş örneklerin daha yüksek sonuçlar verdiğini bulmuşlardır [12]. Boonstra, sarıçam kontrol örneklerine göre 180°C sıcaklıkta ısıtma işlemi görmüş deney örneklerinin brinell sertlik değerinde enine kesitte %48, radyal yüzeyde ise %5 oranında artış olduğunu belirtmiştir [13].

Yukarıda verilen literatürde olduğu gibi sertlik değerlerinde artış ve azalmaların yaşandığı bir çok çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çalışmaların yanı sıra, düşük sıcaklıklarda sertlik değerinin arttığını, ancak sıcaklık ve sürelerin artış gösterdiği durumlarda ise sertlik değerinde azalmaların yaşandığını gösteren farklı çalışmaların da olduğu görülmektedir. Akyıldız ve diğ., ısıtma işlemi sıcaklığının ve süresinin karaçam odununun sertlik değerlerine olan etkisinde 180°C'de enine, radyal ve teğet kesitteki sertlik değerlerinde kısmi bir artış görülür iken, artan muamele şartları sonucu sertlik değerlerinde azalmaların meydana geldiğini bildirmişlerdir [14]. Kocaefe ve diğ. ısıtma işlemi görmüş çamda meydana gelen sertlik değerinde enine, teğet ve radyal kesit yüzeylerde %10-14 arası oranlarında artış olduğunu, titrek kavakta enine kesitte %17 civarında bir artış olduğunu, radyal kesitte %24, teğet kesitte ise %13 oranında bir azalma olduğunu, çamda düşük sıcaklıklarda sertlik değerinde bir artış gözlemlendiğini, 200°C sıcaklık sonrası ise sertliğin azaldığını belirtmişlerdir [15]. Aydemir ile Kaymakçı ve Akyıldız tarafından yapılan farklı çalışmalarda, iki farklı ağaç türü yüksek sıcaklıkla muamele edilmiş ve elde edilen bulgulara göre ağaç türünün sertlik direncinde oldukça etkili olduğu, iğne yapraklı ağaçların geniş yapraklı ağaçlara göre daha da fazla etkilendiği ifade edilmiştir [16-17].

Bu çalışmada ise, ThermoWood metoduna göre ısıtma işlemi görmüş ve görmemiş Amerikan dişbudak (*Fraxinus americana*), Avrupa kızılğacı (*Alnus incana*), ak kavak (*Populus alba*) ve ak söğüt (*Salix alba*) odunlarının janka sertlik testine göre nasıl etkilendikleri araştırılmıştır. Bu amaçla bu ağaç türleri, şu an sektörde en yaygın kullanılan 190°C'de 1.5 saat ve 212°C'de 2 saat sürelerde ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra, ısıtma işlemi görmüş ve görmemiş (kontrol) test örnekleri üzerinde radyal, teğet ve enine kesit yönde yapılan test sonuçlarında meydana gelen farklılıklar incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Malzeme (Material)

Bu çalışmada, ağaç malzeme olarak Amerikan dişbudak (*Fraxinus americana*), Avrupa kızılğacı (*Alnus incana*), ak kavak (*Populus alba*) ve ak söğüt (*Salix alba*) odunları tercih edilmiştir. Ağaç malzemelere ait özgül ağırlık değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ağaç malzemelere ait özgül ağırlık değerleri (Specific gravity values of wood materials) [18-19-20-21-22-23-24-25-26]

Ağaç Türü	Özgül ağırlık (%12 rutubet)
Amerikan dişbudak	0,60 g/cm ³
Ak kavak	0,36-0,44 g/cm ³
Avrupa kızılğacı	0,43 g/cm ³
Ak söğüt	0,34-0,40 g/cm ³

2.2. ThermoWood Metodu Yöntemiyle Isıl İşlem Uygulaması (Heat Treatment Application by ThermoWood Method)

Araştırmada kullanılan ahşap örnekler, Bolu-Gerede de bulunan Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.'de "ThermoWood" ısıtma işlemi yöntemine tabi tutulmuşlardır. Deney örnekleri, fabrikada bulunan bilgisayar kontrollü test fırınında, 190°C'de 1,5 saat ve 212°C'de 2 saat periyotlarında ThermoWood yönteminde belirtilen esaslara uygun olarak ısıtma işlemi tabi tutulmuştur.

Isıl işlem görmüş ahşap malzemelerden hazırlanan deney örnekleri, Düzce Üniversitesi Orman Fakültesinde, 20±2°C sıcaklık ve %65±5 bağıl neme sahip iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar yaklaşık 2 ay bekletildikten sonra teste tabi tutulmuştur [27].

2.3. Janka Sertlik Direnci (Janka Hardness Resistance)

Janka Sertlik değeri "odunun statik sertliğinin tayini" TS 2479 isimli standarda göre belirlenmiştir [28]. Her bir varyasyon için küp biçiminde 50x50x50 mm boyutlarında parçalar hazırlanmış olup, deneylerde toplam 360 ölçüm alınmıştır (4 farklı ağaç türü x 3 ısıtma işlemi x 3 kesim yönü x 10 ölçüm sayısı= 360 ölçüm). Testler radyal, teğet ve enine kesit yüzeylerde yapılmıştır. Makine yükleme ucunun 3-6 mm/dk hızla hareketi sonucu deney parçasının radyal, teğet ve en kesit yüzeylerinin merkez eksenleri üzerinde yarım küre ucun yarıçapına (5,64 mm) eşit olan derinlikte bir oyuk açılmıştır. Dolayısı ile deney parçası üzerinde 2,82 mm derinlikte bir oyuk ulaşıldığı andaki yük %1 duyarlılıkta okunmuştur. Her bir deney numunesinin statik sertlik değeri (H_j), testlerin yapıldığı rutubet miktarında, alanı 1 cm²'ye eşit olan bir iz elde edebilmek için gerekli yük miktarı (N) aşağıdaki formülle (1) hesaplanmıştır.

$$H_j = K \times P_{max} \quad (N/mm^2) \quad (1)$$

Burada;

K: 1 olan yükleme ucunun 5,642 mm derinliğe girmesi halinde kullanılan katsayı
P_{max}: Yükleme ucunun deney örneğinin içerisinde belirli derinliğe girmesi sırasındaki yük (N)

Rutubet değerleri % 12'den farklı olduğundan, H_j'nin %12 rutubet miktarına ayarlanmasında aşağıdaki formül (2) kullanılmıştır.

$$H_{j12} = H_{jM} (1 + \alpha(M-12)) \quad (2)$$

Burada;

H_{j12}: Hava kurusu rutubetteki janka sertlik değeri (N/mm²)

H_{jM}: M rutubet seviyesindeki janka sertlik değeri (kN)

α: Düzeltme faktörü olup, enine kesit için 0.04, radyal ve teğet kesit için 0.025'dir.

M: Rutubet miktarıdır.

2.4. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

Bu araştırmada, istatistik analizler için SPSS 17 istatistik paket programından faydalanılmıştır. Çoklu varyans analizi "ANOVA" testleri sonucunda, ağaç türü ve ısıtma işlem faktörlerinin, ısıtma işlem görmüş ve görmemiş deney numunelerinin sahip olduğu

enine, raydal ve teğet kesit yöndeki yüzeylerde yapılan janka sertlik testlerine göre, faktör etkileri ile karşılıklı etkileşimleri araştırılmıştır. Karşılaştırmalarda güven düzeyi 0,05 (%95) olarak alınmıştır. Anlamlı farklılıkların tespit edilmesi için Duncan testi uygulanmıştır. Elde edilen SPSS verileri tablolar halinde verilmiştir.

2.5. Değişim Oranlarının Hesaplanması (Calculation of Change Rates)

Başlangıç değerleri ile son değerler arasındaki değişim oranları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D_o = \frac{K_{\circ} - S_{\circ}}{K_{\circ}} \times 100 (\% \text{ değişim}) \quad (3)$$

D_o : Değişim oranı (%)

K_{\circ} : Kontrol ölçümü değeri (değişimin hesaplanmasına esas teşkil eden ilk ölçüm)

S_{\circ} : Son ölçüm değeri

3. BULGULAR (RESULTS)

3.1. Janka Sertlik Değerine İlişkin Bulgular (Findings Related to Janka Hardness Value)

Janka sertlik değerlerine ilişkin istatistiki veriler ve Duncan testi sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’ye göre bütün kesit yönlerinde yapılan janka testlerine ait varyans analiz sonuçlarına göre, ağaç türü ve ısı işlem faktörleri ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimi anlamlı çıkmıştır ($\alpha=0,05$).

Tablo 2. Ağaç türü ve ısı işlemin enine, teğet ve radyal kesit yönde yapılan janka sertlik değeri ölçümlerine ilişkin varyans analizi sonuçları (Results of variance analysis of janka hardness value of measurements for wood type and heat treatment in cross, radial and tangent sections directions)

Kesit yönü	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	P $\alpha=0,05$
Enine	Ağaç Türü (A)	3	1250382,45	416794,15	2424,33	0,000*
	Isıl işlem (B)	2	31956,55	15978,28	92,94	0,000*
	Etkileşim (AB)	6	22844,06	3807,34	22,15	0,000*
	Hata	108	18567,48	171,92		
	Toplam	119	1323750,54			
Teğet	Ağaç Türü (A)	3	279540,45	93180,15	1394,71	0,000*
	Isıl işlem (B)	2	10609,64	5304,82	79,40	0,000*
	Etkileşim (AB)	6	8881,42	1480,24	22,16	0,000*
	Hata	108	7215,46	66,81		
	Toplam	119	306246,96			
Radyal	Ağaç Türü (A)	3	401838,48	133946,16	4254,29	0,000*
	Isıl işlem (B)	2	1607,52	803,76	25,53	0,000*
	Etkileşim (AB)	6	14237,05	2372,84	75,36	0,000*
	Hata	108	3400,38	31,48		
	Toplam	119	421083,43			

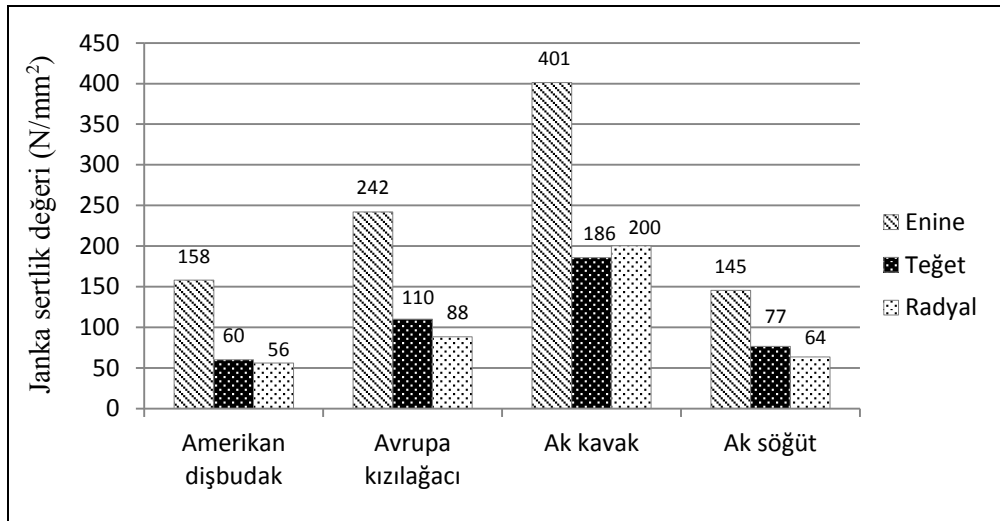
*: Anlamlı ($\alpha = 0,05$ 'e göre)

Ağaç türü ve ısıt işlem değişkenlerinde kesiş yönlerine göre yapılan janka sertlik testi aritmetik ortalama sonuçları Tablo 3’ de verilmiştir. Ağaç türü - kesiş yönü ilişkisine ait grafik Şekil 1’de, ısıt işlem - kesiş yönü ilişkisine ait grafik ise Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 3. Ağaç türü ve ısıt işlem değişkenlerinde kesiş yönlerine göre yapılan janka sertlik ölçümü Duncan test sonuçları (Duncan test results of janka hardness measurement according to cutting directions on wood species and heat treatment variables)

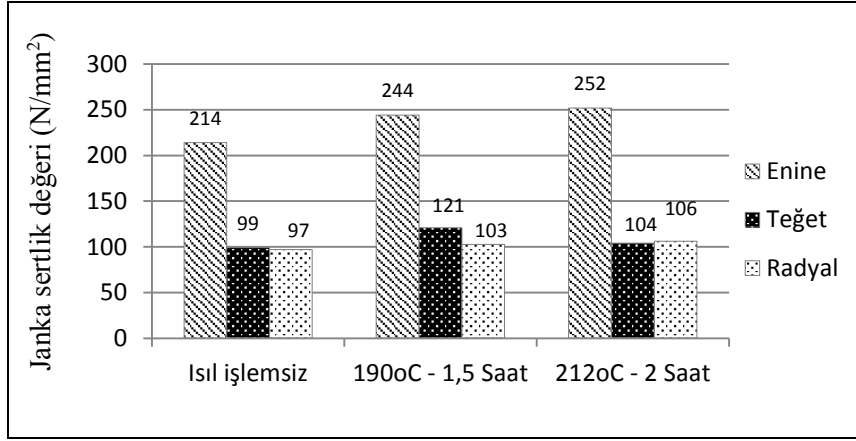
Faktör		Enine		Teğet		Radyal	
		X	HG	X	HG	X	HG
Ağaç Türü	Amerikan dişbudak	157,88	C	60,04	D	56,06	D
	Avrupa kızılğacı	241,93	B	109,97	B	88,41	B
	Ak kavak	401,26	A*	185,65	A*	200,10	A*
	Ak söğüt	145,26	D	76,63	C	63,58	C
Isıt İşlem	Isıt işlemsiz	213,94	C	99,10	C	97,24	C
	190°C - 1,5 Saat	244,06	B	121,06	A*	102,76	B
	212°C - 2 Saat	251,75	A*	104,06	B	106,11	A*

X: Aritmetik ortalama (N/mm²), HG: Homojenlik grubu, *: En yüksek janka sertlik değeri



Şekil 1. Ağaç türü - kesiş yönü ilişkisi (Wood type - cutting direction relationship)

Tablo 3’e göre, ağaç türü - kesiş yönü düzeyinde yapılan janka sertlik değeri en yüksek ak kavak odununda enine kesit yönde (401,26 N/mm²), en düşük ise Amerikan dişbudak odununda radyal kesit yönde (56,06 N/mm²) tespit edilmiştir.



Şekil 2. Isıl işlem - kesiş yönü ilişkisi (Heat treatment - cutting direction relationship)

Isıl işlem - kesiş yönü düzeyinde en yüksek sertlik değeri enine kesit yönde 212°C'de 2 saat ısıl işlem görmüş örneklerde (251,75 N/mm²), en düşük ise ısıl işlemsiz örneklerde radyal kesit yönde (97,24 N/mm²) elde edilmiştir.

Ağaç türü – ısıl işlem etkileşimi düzeyinde enine kesit yönde yapılan janka sertlik testi aritmetik ortalama sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Enine kesit yönde janka sertlik ölçümü Duncan test sonuçları (Duncan test results of janka hardness measurements in the transverse direction)

Ağaç türü	Isıl işlem	Ölçüm sayısı	X	Standart sapma	HG	Min.	Maks.
Amerikan dişbudak	Isıl işlemsiz	10	143,40	2,75	HI	140,10	150,10
	190°C - 1,5 saat	10	152,25	6,11	H	141,50	161,60
	212°C - 2 saat	10	177,99	30,30	F	149,90	226,90
Avrupa kızılğacı	Isıl işlemsiz	10	205,84	4,12	E	201,10	213,10
	190°C - 1,5 saat	10	274,60	15,10	C	246,30	285,60
	212°C - 2 saat	10	245,34	7,02	D	232,60	253,40
Ak kavak	Isıl işlemsiz	10	366,90	9,57	B	355,30	382,20
	190°C - 1,5 saat	10	419,08	13,33	A*	401,10	438,80
	212°C - 2 saat	10	417,79	16,72	A	391,50	439,60
Ak söğüt	Isıl işlemsiz	10	139,60	8,47	IJ	131,20	157,70
	190°C - 1,5 saat	10	130,30	9,25	J	114,70	144,50
	212°C - 2 saat	10	165,89	9,98	G	152,00	184,80

X: Aritmetik ortalama (N/mm²), HG: Homojenlik grubu, *: En yüksek janka sertlik değeri

Tablo 4'e göre, ağaç türü – ısıl işlem düzeyinde enine kesit yönde yapılan janka sertlik testinde, en yüksek değer akkavak odununda 190°C'de 1,5 saat ısıl işlem görmüş örneklerde (419,08 N/mm²), en düşük değer ise Amerikan dişbudak odununda ısıl işlemsiz örneklerde (143,40 N/mm²) tespit edilmiştir.

Ağaç türü – ısıl işlem etkileşimi düzeyinde teğet kesit yönde yapılan janka sertlik testi aritmetik ortalama sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Teğet kesit yönde yapılan janka sertlik ölçümü Duncan test sonuçları (Duncan test results of janka hardness measurements in the tangential direction)

Ağaç türü	Isıl işlem	Ölçüm sayısı	X	Standart sapma	HG	Min.	Maks.
Amerikan dişbudak	Isıl işlemsiz	10	55,57	3,52	H	51,00	60,80
	190°C - 1,5 saat	10	76,62	6,21	F	63,60	84,20
	212°C - 2 saat	10	47,94	2,83	I	44,20	54,10
Avrupa kızilağacı	Isıl işlemsiz	10	92,00	4,73	E	86,50	98,80
	190°C - 1,5 saat	10	119,77	6,67	D	107,80	125,80
	212°C - 2 saat	10	118,13	5,77	D	107,20	126,50
Ak kavak	Isıl işlemsiz	10	165,61	13,29	C	146,80	183,10
	190°C - 1,5 saat	10	205,24	16,58	A*	184,20	232,90
	212°C - 2 saat	10	186,11	10,04	B	172,30	199,20
Ak söğüt	Isıl işlemsiz	10	83,21	4,64	F	76,10	89,10
	190°C - 1,5 saat	10	82,60	3,28	F	76,20	87,40
	212°C - 2 saat	10	64,07	7,61	G	55,40	77,40

X: Aritmetik ortalama (N/mm²), HG: Homojenlik grubu, *: En yüksek janka sertlik değeri

Tablo 5'e göre, ağaç türü – ısıl işlem düzeyinde teğet kesit yönde yapılan janka sertlik testinde, en yüksek değer akkavak odununda 190°C'de 1,5 saat ısıl işlem görmüş örneklerde (205,24 N/mm²), en düşük değer ise Amerikan dişbudak odununda 212°C'de 2 saat ısıl işlem görmüş deney örneklerinde (47,94 N/mm²) tespit edilmiştir.

Ağaç türü – ısıl işlem etkileşimi düzeyinde radyal kesit yönde yapılan janka sertlik testi aritmetik ortalama sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

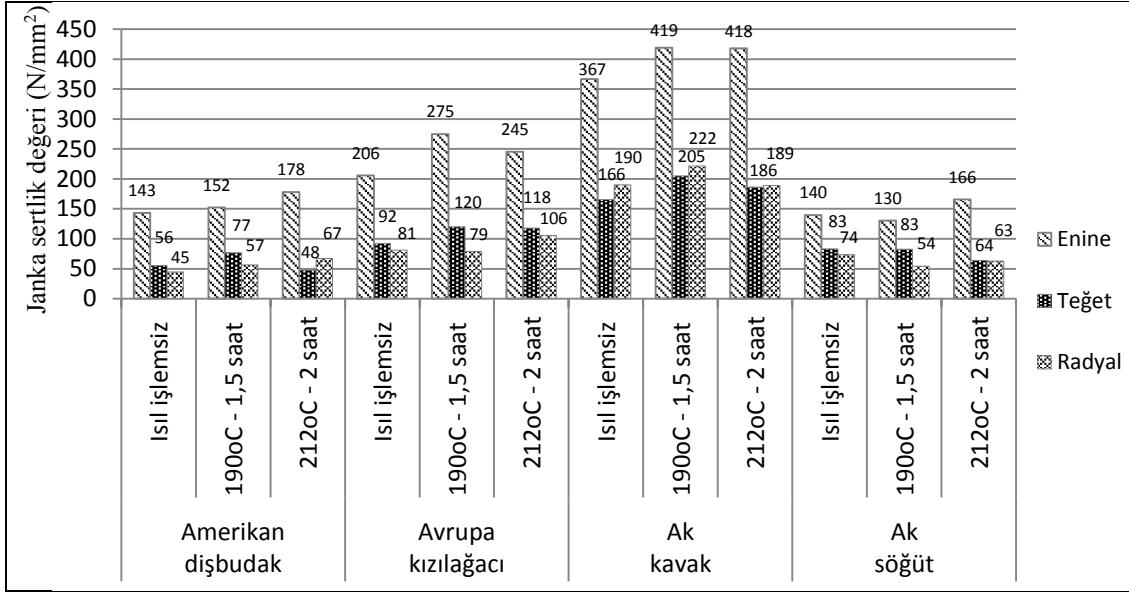
Tablo 6. Radyal kesit yönde yapılan janka sertlik ölçümü Duncan testi sonuçları (Duncan test results of janka hardness measurements in the radial direction)

Ağaç türü	Isıl işlem	Ölçüm sayısı	X	Standart sapma	HG	Min.	Maks.
Amerikan dişbudak	Isıl işlemsiz	10	44,52	2,95	H	39,10	48,30
	190°C - 1,5 saat	10	56,50	2,85	G	50,90	60,50
	212°C - 2 saat	10	67,15	2,97	F	63,10	71,20
Avrupa kızilağacı	Isıl işlemsiz	10	80,97	2,863	D	78,10	87,8
	190°C - 1,5 saat	10	78,63	1,44	D	76,40	80,70
	212°C - 2 saat	10	105,62	3,97	C	101,30	112,50
Ak kavak	Isıl işlemsiz	10	189,95	5,89	B	176,70	197,10
	190°C - 1,5 saat	10	221,62	9,80	A*	205,50	234,10
	212°C - 2 saat	10	188,72	10,31	B	172,90	200,40
Ak söğüt	Isıl işlemsiz	10	73,50	4,98	E	63,30	78,50
	190°C - 1,5 saat	10	54,28	5,32	G	48,50	64,30
	212°C - 2 saat	10	62,96	6,01	F	53,70	70,10

X: Aritmetik ortalama (N/mm²), HG: Homojenlik grubu, *: En yüksek janka sertlik değeri

Tablo 6'ya göre, ağaç türü – ısıl işlem düzeyinde radyal kesit yönde yapılan janka sertlik testinde, en yüksek değer akkavak odununda 190°C'de 1,5 saat ısıl işlem görmüş örneklerde (221,62 N/mm²), en düşük değer ise Amerikan dişbudak odununda ısıl işlemsiz örneklerde (44,52 N/mm²) tespit edilmiştir.

Ağaç türü – ısıl işlem etkileşimi düzeyinde enine, teğet ve radyal kesit yönlerde yapılan janka sertlik testi aritmetik ortalama sonuçları grafik olarak Şekil 3'de verilmiştir.



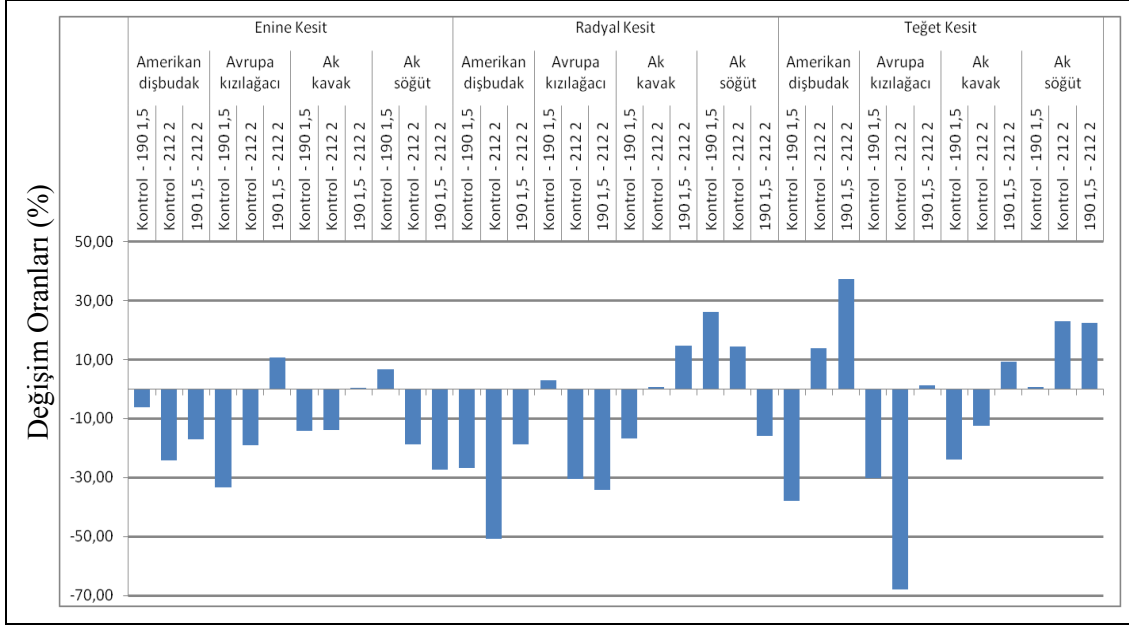
Şekil 3. Enine, teğet ve radyal kesit yönlerde ağaç türü – ısı işlem etkileşimi (Wood type - heat treatment interaction in the transverse, tangential and radial direction)

Etkileşimin kesiş yönlerindeki yüzey farklılıklarının daha kıyaslanabilir olabilmesi açısından varyasyonlar arası janka sertlik değerleri farkları ve değişim oranları (%) Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Janka sertlik değerlerine ilişkin etkileşim sonuçları (Interaction results on janka hardness values)

Ağaç Türü	Varyasyonlar	Enine Kesit		Teğet Kesit		Radyal Kesit	
		Fark (N/mm ²)	Değişim (%)	Fark (N/mm ²)	Değişim (%)	Fark (N/mm ²)	Değişim (%)
Amerikan dişbudak	(Isıl işlemsiz) – (190°C-1,5 s)	-8,85	-6,17	-21,05	-37,88	-11,98	-26,91
	(Isıl işlemsiz) – (212°C-2 s)	-34,59	-24,12	7,63	13,73	-22,63	-50,83
	(190°C-1,5 s) – (212°C-2 s)	-25,74	-16,91	28,68	37,43	-10,65	-18,85
Avrupa kızılğacı	(Isıl işlemsiz) – (190°C-1,5 s)	-68,76	-33,40	-27,77	-30,18	2,34	2,89
	(Isıl işlemsiz) – (212°C-2 s)	-39,5	-19,19	-26,13	-68,00	-24,65	-30,44
	(190°C-1,5 s) – (212°C-2 s)	29,26	10,66	1,64	1,37	-26,99	-34,33
Ak kavak	(Isıl işlemsiz) – (190°C-1,5 s)	-52,18	-14,22	-39,63	-23,93	-31,67	-16,67
	(Isıl işlemsiz) – 212°C-2 s)	-50,89	-13,87	-20,5	-12,38	1,23	0,65
	(190°C-1,5 s) – (212°C-2 s)	1,29	0,31	19,13	9,32	32,9	14,85
Ak söğüt	(Isıl işlemsiz) – (190°C-1,5 s)	9,3	6,66	0,61	0,73	19,22	26,15
	(Isıl işlemsiz) – (212°C-2 s)	-26,29	-18,83	19,14	23,00	10,54	14,34
	(190°C-1,5 s) – (212°C-2 s)	-35,59	-27,31	18,53	22,43	-8,68	-15,99

Isıl işlemdeki sıcaklık ve süreye bağlı olarak farklı ahşap malzemelerin kontrol örneklerine kıyasla hesaplanan değişim oranları Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Janka sertlik değerlerinde değişim oranları (Change rates in janka hardness values)

Isıl işlem sonrası varyasyonlar arası oranlarda farklı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Amerikan dişbudakta enine ve radyal kesit yüzeylerde varyasyonlar arasında oransal bir artış görülürken, teğet kesit yüzeyde ısıl işlemsiz örneklere kıyasla sadece 190°C-1,5 saat uygulamasında artış görülmüştür. Ancak sıcaklık ve süre arttığında bu oranda azalmalar meydana geldiği ortaya çıkmıştır. Avrupa kızılğacında, enine ve radyal kesit yüzeylerde yine oransal bir artış görülürken, 212°C-2 saat uygulamasına gelindiğinde düşüş gözlenmiştir. Radyal kesit yüzeyde ise, ısıl işlemsiz örneklere kıyasla 190°C-1,5 saat uygulamasında sertlik oranında bir azalma görülmüş ancak sıcaklık ve süre arttığında oransal bir artış olduğu tespit edilmiştir. Ak kavak odunu enine ve radyal kesit yüzeylerde tıpkı Avrupa kızılğacı odunu gibi davranış özelliği gösterirken, radyal kesit yüzeyde ısıl işlemsiz örneklere kıyasla sadece 190°C-1,5 saat uygulamasında oransal bir azalma görülmüş, sıcaklık ve süre arttığında yine oransal bir artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ak söğüt odununda, enine, teğet ve radyal kesit yüzeylerde ısıl işlemsiz örneklere kıyasla 190°C-1,5 saat uygulaması arasında oransal bir azalma görülürken, enine kesit yüzeyde daha sonra sıcaklık ve süre artışına paralel bir artışın olduğu, teğet kesit yüzeyde sürekli bir oransal azalmanın olduğu, radyal kesitte ise ısıl işlemsiz örneklere kıyasla 212°C-2 saat uygulaması arasındaki oranlarda azalmanın devam ettiği, 190°C-1,5 saat uygulaması ile 212°C-2 saat uygulaması arasındaki sertlik değeri oranında bir artış meydana geldiği ortaya çıkmıştır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Elde edilen bulgulara göre, ağaç türleri arasında en yüksek sertlik değerini akkavak odunu verirken, bunu sırasıyla Avrupa kızılğacı, ak söğüt ve Amerikan dişbudak odunları takip etmiştir. Ak kavakta enine kesit sertlik değerinin radyal ve teğet kesit değerlerine oranla yaklaşık iki kat daha sert çıkması, Amerikan dişbudak ağacının özgül ağırlığının en fazla olmasına rağmen en düşük sertlik değerine sahip olması dikkat çekicidir. Isıl işlem faktörleri arasında en yüksek sertlik değeri 190°C'de 1,5 saat uygulamasında görülürken, bunu sırasıyla 212°C'de 2 saat ve ısıl işlemsiz uygulamalar takip etmiştir.

Genel olarak, ısıl işlemsiz ahşap malzemeye kıyasla, ısıl işlem görmüş ahşap malzemenin sertlik değerinin maruz kalınan belli bir sıcaklık ve süreye kadar arttığı, ancak belli bir noktadan sonra

sertlik değerinin düşmeye başladığı görülmüştür. Literatürde de benzer durumlar görülmektedir. [4-11-8-10-7-12-9].

Test uygulama yüzeyi olarak ise, en yüksek sertlik değerini enine kesit verirken, bunu sırasıyla teğet ve radyal kesit yüzeyli test örnekleri takip etmiştir. Enine kesit değerinin yüksek oluşunun ahşap malzemelerin özgül ağırlıklarıyla paralellik gösterdiği söylenemez. Bu durum literatürle de paralellik göstermektedir [18-19-29-20-21-22-23-24-25-26].

Ağaç türü ve kesiş yönleri etkileşiminde yapılan janka sertlik testinde en yüksek sertlik değeri; ak kavak odununda enine kesit yönde, en düşük sertlik değeri; Amerikan dişbudak odununda radyal kesit yönde tespit edilmiştir. Isıl işlem ve kesiş yönleri etkileşiminde yapılan janka sertlik testinde ise en yüksek sertlik değeri; 212°C’de 2 saat ısıl işlem görmüş örneklerde enine kesit yönde, en düşük sertlik değeri ise ısıl işlemsiz radyal kesit yönde kesilmiş deney örneklerinde elde edilmiştir.

Ağaç türü – ısıl işlem düzeyinde; enine kesit yüzeyde yapılan janka sertlik testinde, en yüksek sertlik değeri akkavak odununda 190°C’de 1,5 saat ısıl işlem görmüş örneklerde, en düşük sertlik değeri ise Amerikan dişbudak odununda ısıl işlemsiz örneklerde görülmüştür. Teğet kesit yüzeyde, en yüksek sertlik değeri akkavak odununda 190°C’de 1,5 saat ısıl işlem görmüş örneklerde, en düşük sertlik değeri ise Amerikan dişbudak odununda 212°C’de 2 saat ısıl işlem görmüş deney örneklerinde tespit edilmiştir. Radyal kesit yönde yapılan janka sertlik testinde, en yüksek sertlik değeri akkavak odununda 190°C’de 1,5 saat ısıl işlem görmüş örneklerde, en düşük sertlik değeri ise Amerikan dişbudak odununda ısıl işlemsiz deney örneklerinde tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, her ağaç malzeme özgün bir yapıya sahip olduğundan, buna bağlı olarak sertlik değeri bakımından da birbirleri arasında farklılıklar olduğu görülmüştür. Ağaç malzemeleri, gerek türlerine göre iğne yapraklı, geniş yapraklı olarak [16], gerek özgül ağırlık bakımından sınıflandırıp, sertlik değeri olarak aynı ya da benzer performans göstermelerini beklemenin yanıltıcı olabileceği, yapılan bu çalışmadan ve diğer literatür çalışmalarından da anlaşılmaktadır [17]. Örneğin, Gündüz ve ark., artan sıcaklık ve sürede ısı muamelesi ile janka sertliğinin azaldığını, Şahin, dişbudak odunu örneklerinde, artan ısıl işlem sıcaklık ve süresine paralel olarak, kontrol örneklerine kıyasla sertlik değerlerinde sürekli bir azalma olduğunu [8], Efe ve Bal ısıl işlem muamelesi gören kızılçam odununda sertlik değerlerinin azaldığını [7], Korkut ve Hızıroğlu ısıl işlem uygulanan Doğu kırmızı sediri odununda sertlik değerlerinde azalmaların olduğunu [9], Tuong ve Li , FTA (Fin Thermowood Association) sıcaklıkla sertliğin arttığını ifade etmişlerdir [11].

Dolayısı ile ağaç malzemenin sertlik değerini etkileyen faktörler olarak, ağaç malzeme türü, malzemenin enine, radyal ya da teğet yönde kesilmiş olmaları, ısıl işlem uygulamasındaki sıcaklık, bu sıcaklığa maruz bırakılan süre, odun rutubeti, özgül ağırlık, yıllık halka genişliği, yaz odunu iştirak oranı, traheidlerin sayısı, genişlikleri ve çeper kalınlıklarının etkili olduğu söylenebilir. Ahşap malzemelerin maruz bırakıldığı düşük sıcaklık ve kısa sürelerde meydana gelen sertlik değerindeki artış sebebinin, lignin ve hemiselülozun bozunması ve aynı zamanda yeni moleküllere dönüşmeye başlamasından kaynaklandığı, yüksek sıcaklık ve uzun süreli uygulamalarda meydana gelen sertlik değerindeki azalışın sebebi olarak ise, selülozun değişmeye başlamasından, amorf bölgelerin degrade olmasından, formik ve asetik asit meydana gelmesinden, hücre duvarında meydana gelen madde kayıplarının olması gibi etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Bozkurt, Y., Erdin, N., (1997). Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın no: 445, S: 1, İstanbul.
- [2]. Bozkurt, Y., Göker, Y., Erdin, N., (1993). Emprenye Tekniği, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, No 425, İstanbul.
- [3]. Korkut, S., ve Kocaefe, D., (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi, Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, 5(2): 11-34.
- [4]. Gunduz, G., Aydemir, D., Karakas, G., (2009). The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wildpear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties. *Materials & Design* 30: 4391-4395.
- [5]. Won KR., Kim TH., Hwang K.K., Chng S.H., Hong NE. *et al.*, Effect of heat treatment on the bending strength and hardness of wood, *J. Korean Wood Sci. & Tech.*, 40(5), (2012) 303~310.
- [6]. Balkis Fatomer, A. Bakar, Salim Hiziroglu, Paridah Md Tahir (2013). Properties of some thermally modified wood species, *Materials and Design* 43 348–355
- [7]. Efe, F.T., Bal, B.C., (2016). Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem görmüş kızılçam (*Pinus brutia* ten.) odununun sertlik değerlerinde meydana gelen değişimler, AKÜ FEMÜBİD, 16, Özel Sayı (79-86).
- [8]. Şahin, H.İ., (2013). Isıl işlemin doğal ve plantasyon ormanlarında yetişen dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) odunlarının bazı teknolojik özelliklerine etkisi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Düzce.
- [9]. Korkut, S. and Hiziroglu, S., (2013). Selected properties of heat-treated eastern Red Cedar (*Juniperus virginiana* L.) wood, *BioResources* 8(3): 4756-4765.
- [10]. Araújo, S.O., Vital, B.R., Oliveira, B., Cássia, A., Carneiro, O., Lourenço, A., Pereira, H., (2016). Physical and mechanical properties of heat treated wood from *Aspidospermapopulifolium*, *Dipteryx odorata* and *Mimosas cabrella*, *Maderas Ciencia y tecnología* 18(1): 143 - 156.
- [11]. Tuong, V.M., and Li, J. (2011). Changes caused by thermal treatment in chemical composition and some physical properties of acacia hybrid sap wood, *Holzforchung* 65: 67-72.
- [12]. Kamperidou, V., Barboutis, I., Vasileiou, V., (2014). Influence of thermal treatment on mechanical strength of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood, *Wood Research*, 59(2): 373- 378.
- [13]. Boonstra MJ., A two-stage thermal modification of wood, Ph.D. dissertation in cosupervision, Ghent University and Université Henry Poincaré, Nancy-Fransa, (2008).
- [14]. Akyildiz, M. H., Ates, S., & Özdemir, H. (2009). “Technological and chemical properties of heat-treated Anatolian black pine wood”, *African Journal of Biotechnology*, 8(11):2565-2572
- [15]. Kocaefe D, Poncsak S, Boluk Y., Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *BioResources* 3 (2) (2008) 517-537.
- [16]. Aydemir D., Göknaar (Abies Bornmülleriana Mattf.) ve gürgen (Carpinus Betulus L.) odunlarının bazı fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, (2007).
- [17]. Kaymakci, A, Akyildiz, M.Hi, (2011). Dimensional Stability Of Heat Treated Scots Pine And Oriental Beech -Stabilitatea Dimensională A Lemnului De Pin Silvestru Şi Fag Oriental Tratat Termic, *Pro Ligno*, 7 (4), 32-38
- [18]. Anonim, http://www.americanhardwood.org/fileadmin/docs/publications/turkish/TURKISH_H_Species_LORES.pdf, (Erişim tarihi 15 Temmuz 2017a).

- [19]. Anonim, <http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/white-poplar/>, (Erişim tarihi 15 Temmuz 2017b).
- [20]. Björklund, T. & Ferm, A., (1982). Pienikokoisen koivun ja harmaalepan bio massa ja tekniset ominaisuudet. *Folia Forestalia* 500. 37 pp. (In Finnish).
- [21]. Farmer, R.H., (1981). *Handbook of Hardwoods*, Princes Risborough laboratory, London. 243 pp.
- [22]. Grönros, J., Merra, A and Mali, J., (1995). Kotimaisten puulajien ominaisuudet ja saatavuus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 59 pp. (In Finnish).
- [23]. Hakkila, P., (1970). Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). *Comm. Inst. For. Fenn.* 71(5): 1-33.
- [24]. Karki, T., (2000). Grey Alder (*Alder incana*) As a Raw Material For Mechanical Wood Processing in Finland, Academic Dissertation, Joensuun Tutkimusasema.
- [25]. Salmi, J., (1977). Suomalaisia ja ulkolaisia puulajeja. Osa II: Lentipuut A-N. Helsingin yliopisto, metsateknologian laitos. *Tiedonantoja* 35. Helsinki. 282 pp. (In Finnish).
- [26]. Wagenführ, G., (1996). *Holz-Atlas*, 4. Neuarbeitete Auflage. Fachbuchverlag Leipzig. 688 pp.
- [27]. TS 2471, Odunda, Fiziksel ve Mekaniksel Deneyleler İçin Rutubet Miktarı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- [28]. TS 2479, (1976). Odunda Statik Sertliğin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [29]. Anonim, <http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/white-willow/>, (Erişim tarihi 15 Temmuz 2017c).