

## TERMO-VİBRO-MEKANİK (TVM) YOĞUNLAŞTIRMA İŞLEMİNİN BAZI AĞAÇ MALZEMELERİN YOĞUNLUK VE AŞINMA DİRENCİNE ETKİSİ

Süleyman ŞENOL<sup>1</sup>, Mehmet BUDAĞCI<sup>2</sup>, Mustafa KORKMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Güzel Sanatlar Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Bölümü, 43100, Kütahya, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81060, Düzce, TÜRKİYE  
[suleyman.senol@dpu.edu.tr](mailto:suleyman.senol@dpu.edu.tr)

**Özet-** Bu çalışmada, düşük yoğunluktaki bazı ağaç malzemelerin yeni bir ahşap modifikasyon yöntemi olan Termo-Vibro-Mekanik (TVM) işlemle yoğunlaştırıldıktan sonra yoğunluk ve aşınma değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, TÜBİTAK 115O138 nolu proje desteği ile tasarlanıp-üretilen “TVM yoğunlaştırma presi” kullanılmıştır. Araştırmada Uludağ Göknaarı (*Abies Bornmülleriana* Mattf.) ve Kara Kavak’tan (*Populus nigra* L.) radyal ve teğet kesit olarak elde edilen örneklerle, üç farklı sıcaklık ( $100\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $120\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $140\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), üç farklı vibrasyon basıncı (0, 60 MPa, 1, 00 MPa, 1,40 MPa) ve üç farklı vibrasyon süresinde (20 sn, 60 sn, 100 sn) TVM yoğunlaştırma işlemi yapılmıştır. TVM yoğunlaştırma işlemi sonrası örneklerle tam kuru yoğunluk (TS 2472) ve aşınma direnci (ASTM 4060-14) testleri uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre, TVM yoğunlaştırma işleminin düşük yoğunluklu ağaç malzemelerin yoğunluk ve aşınma direnci değerlerini artırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-**Mekanik odun modifikasyonu, Yoğunlaştırma, Yoğunluk, Aşınma direnci

## THE EFFECT OF THERMO-VIBRO-MECHANICAL (TVM) DENSIFICATION PROCESS ON DENSITY AND ABRASION RESISTANCE OF SOME WOOD MATERIALS

**Abstract-** It is aimed to determine the density and abrasion values after densification by Thermo-Vibro-Mechanical densification process (TVM), which is a new wood modification method of some wood material in low density. For this purpose, it has been used “TVM density press” designed and produced with the support of TUBITAK the number 115O138 project. In the research TVM density operation has been carried out in three different temperature ( $100\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $120\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $140\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), in three different vibration pressure (0,60 MPa, 1,00 MPa, 1,40 MPa) and in three different vibration duration (20 sec, 60 sec, 100 sec) with obtained samples as radial and tangential cross-section from Uludağ fir (*Abies Bornmülleriana* Mattf.) and Black poplar (*Populus nigra* L.). After TVM densification process, the exact dry density (TS 2472) and abrasion resistance (ASTM 4060-14) tests have been applied to the samples. According to the experiment results, it has been determined that TVM densification process increases density and abrasion resistance values of wood material in low density.

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

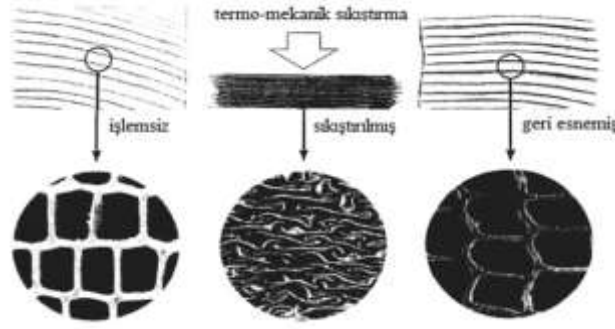
**Key Words-** Mechanical wood modification, Densification, Density, Abrasion resistance

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ağaç malzeme son yıllarda teknolojik gelişmelere bağlı olarak kullanım alanı oldukça artan endüstriyel bir malzeme haline gelmiştir. İnsan nüfusundaki artış ve yeni kullanım alanları, ağaç malzemeye olan gereksinimi arttırmakta dolayısı ile bu üstün özelliklere sahip malzemenin giderek azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, mevcut kaynakların daha etkili bir şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya koymakta, artık malzemelerin değerlendirilmesi ya da ticari olarak tercih edilmeyen bazı düşük direnç özelliklerine sahip ağaç türlerinin çeşitli modifikasyonlar ile endüstride kullanımını ve değişik malzemeler üretilmesini zorunlu kılmaktadır [1]. Tarih boyunca ve halen günümüzde de insanoğlu ahşabı çeşitli ihtiyaçlarında kullanmak ve daha dayanıklı kılmak için birçok işleme tabi tutmaktadır. Yapılan tüm çalışmalar sonucunda ortaya çıkan bu işlemlere genel anlamda "Ahşap Modifikasyonu Yöntemleri" denilmektedir [2, 3].

Ağaç malzeme genellikle yüksek direnç, sertlik ve dayanıklılık gerektiren yapısal uygulamalar için çok yumuşak ya da çok zayıf olarak kabul edilmektedir. Ancak yoğunluğu artırılmış bir ağaç malzeme, diğer yapısal malzemelere alternatif olabilmektedir [1, 4-7]. Ağaç malzemenin mekanik özelliklerin çoğu, yoğunluk ile ilişkilidir [1, 4, 5, 8, 9]. Ağaç malzemenin yoğunlaştırılması mekanik özelliklerini ve sertliğini artırdığından bu konuda uygun bir işlem geliştirmek için birçok deneme yapılmıştır [5, 10]. Yoğunlaştırma işlemiyle düşük yoğunluklu ağaç malzemeler, yüksek yoğunluklu hale getirilmekte ve ticari olarak yüksek değerli ürünler haline dönüştürülebilmektedir. Yüksek yoğunluklu ağaç malzeme türleri de yoğunlaştırma yoluyla daha dirençli hale dönüştürülebilmektedir [1, 4, 6]. Kimyasallar kullanılmadan ağaç malzemenin yoğunlaştırması uzun yıllardan beri bilinmektedir. Ancak, uygulanan mevcut işlemlerden sonra nihai ürünlerde oluşan plastikleşme ve boyutsal kararlılığın yetersiz olmasından dolayı endüstri tarafından dikkate alınmamış ve kabul edilmemiştir. Yıllar içinde dünya çapında yoğunlaştırılmış ahşap ürünlerin birçok çeşidi üretilmiştir. Ayrıca son 20 yılda çevresel farkındalıktaki artma nedeniyle çevreye zararlı emprenye maddelerinin kullanımında gittikçe artan kısıtlamalar olmuş, bu durum ağaç malzemeyi biyolojik bozunmaya karşı koruyan ve boyutsal stabilitesini arttıran çevreye dost yeni metotların gelişmesine yol açmıştır [3, 11].

Ağaç malzemenin yoğunlaştırılmasında; malzemenin türü, sıcaklık ve yumuşatma ya da plastikleştirme periyodu, yoğunlaştırma yöntemi ve pres basıncı en önemli değişkenlerdir ve yoğunlaştırma işleminden sonra ahşabın direnç özelliklerini etkilemektedir. Bu değişkenlerin farklı şekilde uygulanmaları %100'e ulaşan bir oranda yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerin mukavemet özelliklerini artırabilmektedir [12]. Ahşap malzemenin sıkıştırarak yoğunlaştırılmasında, malzemenin hücre çeperi çökertilerek ve boşluk hacmi azaltılarak yoğunlaştırma gerçekleştirilir [1, 13]. Normal atmosferik koşullar altında sıkıştırılmış ağaç malzemenin hücre çeperinde kırılmalar-çatlamlar meydana gelebilmektedir. Sıkıştırarak yoğunlaştırmada ahşabın doğal elastik yapısı önemli bir rol oynamaktadır. Yoğunlaştırmada ahşap sıcaklığı, kritik geçiş sıcaklığının üzerinde olması durumunda amorf polimerler büyük bir deformasyona uğramadan ve hücresel kırılmalar olmadan yoğunlaştırma gerçekleştirilebilmektedir. Sıkıştırma özellikleri yoğunlukla ağacın yoğunluğuna, rutubetine, hücre çeperi hacmi ve sıkıştırma yönüne bağlıdır. Sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ağaç malzemelerde karşılaşılan en büyük problem, rutubete veya su ile temasa maruz kalabilecek yerlerde kullanıldığında geri esneme (spring-back) (Şekil 1) özelliğinden dolayı başlangıç ölçülerine geri dönme eğiliminde olmasıdır [1, 9, 14-19] ve bu durum sıcaklık ve buhar etkisi ile ortadan kaldırılabilir [1, 4, 10, 19, 20].



**Şekil 1.** Sıkıştırılarak yoğunlaştırılmış ahşap malzemede oluşan geri esneme (spring-back occurring in the densified compressed wood)[19]

Termal modifikasyon uygulamalarında ağaç malzemenin modifikasyonunu belirleyen en önemli etken 150 °C'nin üzerindeki sıcaklıktır. Ağaç malzemenin rengi sıcaklık ve süre arttıkça koyu bir hale dönüşür. Ağaç malzemenin rengi özellikle dekorasyon elemanı olarak önemli bir özelliktir. Ağaç malzemede termal modifikasyona bağlı olarak ağırlık kayıpları yaşanmaktadır. Bu kaybın yaşanmasına öncelikli olarak bünyesinde bulunan fazla suyun buharlaşarak uzaklaşması neden olmaktadır. Termal modifikasyon işlemlerinde ağaç malzemenin mekanik özellikleri de zayıflamaktadır. Bu da ağaç malzemenin özellikle taşıyıcı sistemler olarak kullanılmasını kısıtlayabilmektedir [1, 11, 21-26].

Elde edilen bilgiler doğrultusunda bu çalışmada, yoğunlaştırma ve termal modifikasyon işlemlerinden oluşan olumsuzlukların, yeni ve çevreci bir modifikasyon yöntemi olan Termo-Vibro-Mekanik (TVM) yoğunlaştırma işlemi ile giderilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, özellikle düşük direnç özelliklerine sahip ağaç malzemelerin direnç özelliklerinin iyileştirilmesi için TÜBİTAK-115O138 numaralı proje desteği ile özel bir "TVM yoğunlaştırma presi" tasarlanıp üretilmiş, Uludağ Göknarı (*Abies Bornmülleriana* Mattf.) ve Kara Kavak'tan (*Populus nigra* L.) elde edilen örneklerin TVM yoğunlaştırma işlemi sonrası yoğunluk ve aşınma direnci değerlerinde meydana gelen değişiklikler belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

### 2.1. Ağaç Malzeme (Wood Material)

Örneklerin hazırlanmasında, ağaç türlerine göre nispeten düşük yoğunluktaki iğne yapraklı ağaçlardan Uludağ göknarı (*Abies Bornmülleriana* Mattf.), geniş yapraklı ağaçlardan ise Karakavak (*Populus Nigra* L.) tercih edilmiştir. Kütahya ilindeki Orman işletmesinden tomruk halinde temin edilen odunların büyüme kusuru ihtiva etmeyen, çürüksüz ve sağlam olmasına dikkat edilmiştir. Tomruklar, TS 2470'de belirtilen esaslara göre kuruma payları ile numune ölçüleri dikkate alınarak teğet ve radyal yönde biçilmiş, diri odun kısımlarından düzgün lifli, budaksız, çatlaksız renk ve yoğunluk farkı olmayan kaba ölçüdeki kerestelere dönüştürülmüştür [27]. Daha sonra bu keresteler teknik kurutmaya tabi tutularak hava kurusu rutubet (%12) değerlerine getirilmiştir. Hava kurusu rutubetteki örnekler, uygulanacak testlerin standartlarına göre taslak olarak ölçülendirilmiştir.

Taslak ölçülere getirilen örnek yüzeyleri, 100 kum zımpara ile kalibre zımpara makinesinde zımparalandıktan sonra TVM işlemlerinden önce oluşabilecek rutubet farklılıklarını gidermek amacıyla TS 2471'e göre 20±2 °C sıcaklık ve %65±3 bağıl nem koşullarında tekrar iklimlendirme dolabında kondisyonlamaya bırakılmıştır [28].

## 2.2. Termo-Vibro-Mekanik (TVM) Yoğunlaştırma İşlemi (Thermo-Vibro-Mechanic (TVM) Densification Process)

TVM yoğunlaştırma işlemi; 100 Hz frekans ve 3 mm amplitude’te (genlik) sabit doğrusal bir titreşimle, üç farklı sıcaklık ( $100\pm 3$  °C,  $120\pm 3$  °C,  $140\pm 3$  °C), üç farklı vibrasyon basıncı (0,60 MPa, 1,00 MPa, 1,40 MPa) ve üç farklı vibrasyon süresinde (20 sn, 60 sn, 100 sn) gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için TÜBİTAK-115O138 numaralı proje desteği ile özel olarak tasarlanıp üretilen “TVM yoğunlaştırma presisi” tablasına yerleştirilen örnekler, ilk olarak her iki yüzeyi pres tablasına temas edecek şekilde düşük basınç altında ( $2 \text{ kg/cm}^2$ ) tutulmuş, örneklerin iç sıcaklığı hedef sıcaklık değerlerine ulaşmaya kadar bu pozisyonda bir süre bekletilmiştir. TVM yoğunlaştırma işlemi süresinin sonunda örnekler, TVM yoğunlaştırma presinden alınarak geri esneme (spring-back) etkisini ortadan kaldırmak amacı ile ortalama  $5 \text{ kg/cm}^2$ ’lik basınç altında farklı bir preste (kaplama presisi)  $60$  °C kadar soğumaları sağlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. TVM yoğunlaştırma işlemi ve örneklerin basınç altında soğutulması (TVM densification process and cooling of the samples under pressure)

Daha sonra örnekler, denemeler öncesi TS 2471’e göre  $20\pm 2$  °C sıcaklık ve  $\%65\pm 3$  bağıl nem koşullarında iklimlendirme kabini içinde değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Örneklerin TVM yoğunlaştırma işlemi sonrası kondisyonlanması (Conditioning of samples after TVM densification process)

### 2.3. Tam kuru yoğunluğun belirlenmesi (Determination of full dry density)

Tam kuru durumdaki yoğunluk ölçümleri TS 2472 esaslarına uyularak yapılmıştır [29]. Hava kuru rutubetteki örnekler,  $103 \pm 2$  °C’ da değişmez ağırlığa ulaşınca kadar bekletildikten sonra kütleleri (M)  $\pm 0,01$  gr hassasiyetindeki analitik terazide tartılmış, boyutları ise  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde dijital kumpas ile ölçülerek hacimleri (V) belirlenmiştir (Şekil 4). Daha sonra tam kuru yoğunluklar Eş.1’e göre hesaplanmıştır.

$$\delta_0 = \frac{M_0}{V_0} \quad (1)$$

Burada;

$\delta_0$  = Tam kuru yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$M_0$  = Tam kuru kütle (g)

$V_0$  = Tam kuru hacim ( $\text{cm}^3$ ) dir.



Şekil 4. Örneklerin tam kuru hale getirilmesi ve ölçüm işlemi (Full Drying and Measurement of Samples)

### 2.4. Aşınma Direnci Testi (Abrasion Resistance Test)

Örneklerin aşınma direncinin belirlenmesinde; Taber 5135 test cihazı kullanılmış, ASTM D 4060-14’de belirtilen esaslar doğrultusunda “ağırlık kaybı” yöntemi tercih edilmiştir [30]. Hava kuru rutubetteki örneklerin aşındırılmasında; 60 devir/dk çevirim, 1000 g. ağırlık ve Taber S-42 aşındırıcı kullanılmıştır. Denemelerde 150 çevirim sayısı esas alınmış, aşınma sonrası örnek kütleleri (M)  $\pm 0,01$  gr hassasiyetindeki analitik terazi ile tartılmıştır (Şekil 5). Aşınma indeksi Eş. 2’ e göre hesaplanmıştır. Aşınma indeksi azaldıkça, malzemenin aşınma direnci artmaktadır.

$$W_t = \frac{(A - B) \times 1000}{C} \quad (2)$$

Burada;

- $W_t$  = Taber Aşınma İndeksi,  
 A = Aşınma öncesi ilk ağırlık,  
 B = Aşınma sonrası son ağırlık,  
 C = Çevrim sayısı'dır.



Şekil 5. Deney örneklerinin Aşınma Direnci testi (Abrasion resistance test of experiment samples)

## 2.5. İstatistiksel Değerlendirme (Statistical Evaluation)

İstatistiksel değerlendirmeler için SPSS istatistik paket programı kullanılmış, çoklu varyans analizi “ANOVA” testleri sonucunda faktör etkileri tespit edilmiştir. Faktör etkilerinin  $\alpha=0,05$  hata payı ile anlamlı olduğu durumlarda Duncan testi ile ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. LSD (En küçük önemli fark) kritik değerleri kullanılarak yapılan testlere göre bu farklılığın hangi faktörlerden kaynaklandığı belirlenmeye çalışılmıştır.

## 3. BULGULAR (FINDINGS)

### 3.1. Tam kuru Yoğunluk (Full dry density)

TVM yoğunlaştırma işleminin örneklerin tam kuru yoğunluk değerlerine etkisini belirlemek amacıyla elde edilen tam kuru yoğunluk değerlerinin aritmetik ortalamaları, ağaç türü, yoğunlaştırma ve kesit yönü faktörlerine göre farklı bulunmuştur. Bu farklılığın hangi faktörden kaynaklandığını belirlemek amacıyla Çoklu Varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Tam kuru yoğunluk değerlerine ait varyans analizi sonuçları (Variance analysis results of full dry density values)

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P ≤ 0,05
Ağaç türü (A)	1	0,026	0,026	50,887	0,0000*
Kesit Yönü(B)	1	0,054	0,054	105,689	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	27	0,254	0,009	18,410	0,0000*
Etkileşim (AB)	1	0,013	0,013	25,933	0,0000*
Etkileşim (AC)	27	0,022	0,001	1,572	0,0340*
Etkileşim (BC)	27	0,025	0,001	1,801	0,0070*
Etkileşim (ABC)	27	0,022	0,001	1,513	0,0260*
Hata	560	0,286	0,001		
<b>Toplam</b>	<b>671</b>	<b>0,703</b>			

\*: 0,05'e göre anlamlı

Çoklu varyans analizi sonucuna göre, tam kuru yoğunluk değerleri üzerinde tüm faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri anlamlı çıkmıştır ( $P \leq 0,05$ ). Daha sonra LSD kritik değeri kullanılarak ağaç türü, yoğunlaştırma ve kesit yönü faktörleri düzeyinde yapılan Duncan testi tekli karşılaştırma sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Ağaç türü, kesit yönü ve yoğunlaştırma faktörü Duncan testi karşılaştırma sonuçları (The Duncan test comparison results at wood type, section direction, and densification factor) ( $\text{g/cm}^3$ )

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Gök nar	0,437	A*
Kavak	0,424	B
LSD $\pm$ 0,001		
Kesit yönü	$\bar{x}$	HG
Radyal	0,440	A*
Teğet	0,422	B
LSD $\pm$ 0,001		
Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Kontrol	0,383	I
100 °C-0,6 MPa-20sn	0,390	I
100 °C-0,6 MPa-60sn	0,413	GH
100 °C-0,6 MPa-100sn	0,430	DEF
100 °C-1,0 MPa-20sn	0,413	FGH
100 °C-1,0 MPa-60sn	0,421	EFGH
100 °C-1,0 MPa-100sn	0,433	CDE
100 °C -1,4 MPa -20sn	0,430	DEF
100 °C -1,4 MPa -60sn	0,433	CDE
100 °C -1,4 MPa -100sn	0,448	BC
120 °C -0,6 MPa -20sn	0,411	H
120 °C -0,6 MPa -60sn	0,426	DEFGH
120 °C -0,6 MPa -100sn	0,428	DEFGH
120 °C -1,0 MPa -20sn	0,414	FGH
120 °C -1,0 MPa -60sn	0,432	CDE
120 °C -1,0 MPa -100sn	0,450	B
120 °C -1,4 MPa -20sn	0,441	BCD
120 °C -1,4 MPa -60sn	0,451	B
120 °C -1,4 MPa -100sn	0,463	A*
140 °C -0,6 MPa -20sn	0,422	EFGH
140 °C -0,6 MPa -60sn	0,428	DEFGH
140 °C -0,6 MPa -100sn	0,429	DEFG
140 °C -1,0 MPa -20sn	0,418	EFGH
140 °C -1,0 MPa -60sn	0,432	CDE
140 °C -1,0 MPa -100sn	0,450	B
140 °C -1,4 MPa -20sn	0,442	BCD
140 °C -1,4 MPa -60sn	0,457	AB
140 °C -1,4 MPa -100sn	0,469	A*
LSD $\pm$ 0,005		

$\bar{x}$ : Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, \*: En yüksek tam kuru yoğunluk değeri

Tablo sonucuna göre tam kuru yoğunluk değeri ağaç türü düzeyinde en yüksek; göknarda ( $0,437 \text{ g/cm}^3$ ), en düşük; kavakta ( $0,424 \text{ g/cm}^3$ ), kesit yönü düzeyinde en yüksek; radyal kesitte ( $0,440 \text{ g/cm}^3$ ), en düşük; teğet kesitte ( $0,422 \text{ g/cm}^3$ ), yoğunlaştırma düzeyinde en yüksek;  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  ile  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık, 1,4 MPa basınç ve 100 sn TVM yoğunlaştırma işlemine maruz bırakılmış örneklerde ( $0,463 \text{ g/cm}^3$  ve  $0,469 \text{ g/cm}^3$ ), en düşük ise yoğunlaştırma işlemi yapılmamış (kontrol) örneklerde ( $0,383 \text{ g/cm}^3$ ) elde edilmiştir.

Tekli karşılaştırmaların sonuçlarını topluca görmek amacıyla Ağaç türü-Kesit yönü-Yoğunlaştırma etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo3’ de verilmiştir.

**Tablo 3.** Ağaç türü-Kesit yönü-Yoğunlaştırma etkileşimi Duncan testi karşılaştırma sonuçları (The Duncan test comparison results at wood type-section direction-densification interaction) (g/cm<sup>3</sup>)

Yoğunlaştırma	Ağaç Türü							
	Göknar				Kavak			
	Radyal		Teğet		Radyal		Teğet	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	0.410	1D	0.395	1K	0.352	1Y	0.375	1V
100 °C-0.6 MPa-20sn	0.414	1A	0.387	1PR	0.378	1U	0.381	1T
100 °C-0.6 MPa-60sn	0.435	gh	0.399	II	0.429	lmn	0.387	1PR
100 °C-0.6 MPa-100sn	0.439	bcdefg	0.424	rstu	0.452	P	0.405	1E
100 °C-1.0 MPa-20sn	0.418	v	0.425	prst	0.425	prst	0.384	1S
100 °C-1.0 MPa-60sn	0.427	noprst	0.429	lmn	0.435	gh	0.393	1L
100 °C-1.0 MPa-100sn	0.456	MN	0.427	noprst	0.453	OP	0.397	1J
100 °C -1.4 MPa -20sn	0.453	OP	0.425	prst	0.442	Z	0.401	1HI
100 °C -1.4 MPa -60sn	0.458	KLM	0.441	abcdef	0.420	tu	0.412	1C
100 °C -1.4 MPa -100sn	0.469	F	0.458	KLM	0.451	RS	0.413	1B
120 °C -0.6 MPa -20sn	0.424	rstu	0.390	1NO	0.439	bcdefg	0.390	1NO
120 °C -0.6 MPa -60sn	0.427	noprst	0.433	ı	0.441	abcdef	0.401	1HI
120 °C -0.6 MPa -100sn	0.420	tu	0.446	T	0.431	k	0.415	z
120 °C -1.0 MPa -20sn	0.425	prst	0.427	noprst	0.417	v	0.388	1O
120 °C -1.0 MPa -60sn	0.428	mnp	0.439	bcdefg	0.436	ef	0.427	noprst
120 °C -1.0 MPa -100sn	0.451	RS	0.448	S	0.478	B	0.424	rstu
120 °C -1.4 MPa -20sn	0.460	JK	0.443	Y	0.434	hi	0.428	mnp
120 °C -1.4 MPa -60sn	0.464	HI	0.455	NO	0.441	abcdef	0.444	VY
120 °C -1.4 MPa -100sn	0.471	E	0.461	IJ	0.475	C	0.445	UV
140 °C -0.6 MPa -20sn	0.428	mnp	0.419	u	0.439	bcdefg	0.403	1G
140 °C -0.6 MPa -60sn	0.439	bcdefg	0.434	hi	0.436	ef	0.404	1FG
140 °C -0.6 MPa -100sn	0.432	i	0.439	bcdefg	0.441	abcdef	0.404	1FG
140 °C -1.0 MPa -20sn	0.426	o	0.424	rstu	0.429	lmn	0.391	1M
140 °C -1.0 MPa -60sn	0.428	mnp	0.439	bcdefg	0.437	d	0.423	s
140 °C -1.0 MPa -100sn	0.455	NO	0.444	VY	0.458	KLM	0.441	abcdef
140 °C-1.4 MPa -20sn	0.461	IJ	0.441	abcdef	0.438	c	0.427	noprst
140 °C -1.4 MPa -60sn	0.465	G	0.456	MN	0.464	HI	0.445	UV
140 °C -1.4 MPa -100sn	0.473	D	0.457	L	0.487	A*	0.460	JK

LSD  $\pm$  0,009

$\bar{x}$ : Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, \*: En yüksek tam kuru yoğunluk değeri

Tablo 3'e göre tam kuru yoğunluk değeri en yüksek; 140 °C sıcaklık, 1,4 MPa basınç ve 100 sn TVM yoğunlaştırmaya maruz bırakılmış radyal kesitteki kavak örneklerinde (0,487 g/cm<sup>3</sup>), en düşük ise yine radyal kesit olarak hazırlanmış kavak kontrol örneklerinde (0,352 g/cm<sup>3</sup>) elde edilmiştir.

### 3.2. Aşınma Direnci (Abrasion resistance)

TVM yoğunlaştırma işleminin örneklerin aşınma direncine etkisini belirlemek amacıyla elde edilen aşınma indeksi değerlerinin aritmetik ortalamaları, ağaç türü, yoğunlaştırma ve kesit yönü faktörlerine göre farklı bulunmuştur. Bu farklılığın hangi faktörden kaynaklandığını belirlemek amacıyla Çoklu Varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve sonuçları Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 4.** Aşınma direnci değerlerine ait varyans analizi sonuçları (Variance analysis results of abrasion resistance values)

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P $\leq$ 0,05
Ağaç türü (A)	1	3,329	3,329	90,630	0,0000*
Kesit Yönü(B)	1	2,369	2,369	64,490	0,0000*
Yoğunlaştırma (C)	27	19,748	0,731	19,911	0,0000*
Etkileşim (AB)	1	0,322	0,322	8,754	0,0030*
Etkileşim (AC)	27	1,776	0,066	1,791	0,0090*
Etkileşim (BC)	27	1,880	0,070	1,895	0,0040*
Etkileşim (ABC)	27	1,624	0,060	1,637	0,0230*
Hata	560	20,572	0,037		
Toplam	671	51,620			

\*: 0,05'e göre anlamlı



Çoklu varyans analizi sonucuna göre, aşınma direnci değerleri üzerinde tüm faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri anlamlı çıkmıştır ( $P \leq 0,05$ ). Daha sonra LSD kritik değeri kullanılarak ağaç türü, yoğunlaştırma ve kesit yönü faktörleri düzeyinde yapılan Duncan testi tekli karşılaştırma sonuçları Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Ağaç türü, kesit yönü ve yoğunlaştırma faktörü Duncan testi karşılaştırma sonuçları (The Duncan test comparison results at wood type, section direction, and densification factor)

Ağaç türü	$\bar{x}$	HG
Göknar	1,752	A*
Kavak	1,893	B
LSD $\pm$ 0,010		
Kesit yönü	$\bar{x}$	HG
Radyal	1,763	A*
Teğet	1,882	B
LSD $\pm$ 0,010		
Yoğunlaştırma	$\bar{x}$	HG
Kontrol	2,350	N
100 °C-0,6 MPa-20sn	2,117	M
100 °C-0,6 MPa-60sn	1,983	KL
100 °C-0,6 MPa-100sn	1,800	EFGHI
100 °C-1,0 MPa-20sn	2,000	KL
100 °C-1,0 MPa-60sn	1,758	CDEFGH
100 °C-1,0 MPa-100sn	1,817	FGHI
100 °C -1,4 MPa -20sn	1,758	CDEFGH
100 °C -1,4 MPa -60sn	1,683	BCDE
100 °C -1,4 MPa -100sn	1,883	HIJK
120 °C -0,6 MPa -20sn	2,033	LM
120 °C -0,6 MPa -60sn	1,983	KL
120 °C -0,6 MPa -100sn	1,846	HIJ
120 °C -1,0 MPa -20sn	1,908	IJK
120 °C -1,0 MPa -60sn	1,792	EFGHI
120 °C -1,0 MPa -100sn	1,833	GHIJ
120 °C -1,4 MPa -20sn	1,787	EFGHI
120 °C -1,4 MPa -60sn	1,767	DEFGH
120 °C -1,4 MPa -100sn	1,654	BCD
140 °C -0,6 MPa -20sn	1,946	JKL
140 °C -0,6 MPa -60sn	1,800	EFGHI
140 °C -0,6 MPa -100sn	1,654	BCD
140 °C -1,0 MPa -20sn	1,696	BCDEF
140 °C -1,0 MPa -60sn	1,671	BCDE
140 °C -1,0 MPa -100sn	1,629	AB
140 °C -1,4 MPa -20sn	1,712	BCDEFG
140 °C -1,4 MPa -60sn	1,633	ABC
140 °C -1,4 MPa -100sn	1,525	A*
LSD $\pm$ 0,039		

$\bar{x}$ : Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, \*: En yüksek aşınma direnci değeri

Tablo sonucuna göre aşınma direnci değeri ağaç türü düzeyinde en yüksek; göknarda (1,752), en düşük; kavakta (1,893), kesit yönü düzeyinde en yüksek; radyal kesitte (1,763), en düşük; teğet kesitte (1,882), yoğunlaştırma düzeyinde en yüksek; 140 °C sıcaklık, 1,4 MPa basınç ve 100 sn TVM yoğunlaştırma işlemine maruz bırakılmış örneklerde (1,525), en düşük ise yoğunlaştırma işlemi yapılmamış (kontrol) örneklerde (2,350) elde edilmiştir.

Tekli karşılaştırmaların sonuçlarını topluca görmek amacıyla Ağaç türü-Kesit yönü-Yoğunlaştırma etkileşimi düzeyinde yapılan Duncan testi karşılaştırma sonuçları Tablo 6’ da verilmiştir.

**Tablo 6.** Ağaç türü-Kesit yönü-Yoğunlaştırma etkileşimi Duncan testi karşılaştırma sonuçları (The Duncan test comparison results at wood type-section direction-densification interaction)

Yoğunlaştırma	Ağaç Türü							
	Göknar				Kavak			
	Radval		Teğet		Radval		Teğet	
	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG	$\bar{x}$	HG
Kontrol	2.200	h	2.467	l	2.233	1	2.500	m
100 °C-0.6 MPa-20sn	2.033	def	2.033	def	2.100	feh	2.300	ik
100 °C-0.6 MPa-60sn	2.000	cdef	1.867	YZabc	1.967	bcde	2.100	fgh
100 °C-0.6 MPa-100sn	1.867	YZabc	1.500	EF	1.900	Zabcde	1.933	ab
100 °C-1.0 MPa-20sn	1.833	UVYZ	1.900	Zabcde	1.900	Zabcde	2.367	k
100 °C-1.0 MPa-60sn	1.667	KLMN	1.667	KLMN	1.900	Zabcde	1.800	STUV
100 °C-1.0 MPa-100sn	1.733	NOPR	1.533	FGHI	1.867	YZabc	2.133	ghı
100 °C -1.4 MPa -20sn	1.667	KLMN	1.800	STUV	1.733	NOPR	1.833	UVYZ
100 °C -1.4 MPa -60sn	1.567	GHI	1.767	PRSTU	1.667	KLMN	1.733	NOPR
100 °C -1.4 MPa -100sn	1.800	STUV	2.000	cdef	1.633	JKLM	2.100	fgh
120 °C -0.6 MPa -20sn	1.967	bcde	2.000	cdef	2.033	def	2.133	ghı
120 °C -0.6 MPa -60sn	1.867	YZabc	1.867	YZabc	1.900	Zabcde	2.300	ik
120 °C -0.6 MPa -100sn	1.900	Zabcde	1.817	TU	1.767	PRSTU	1.900	Zabcde
120 °C -1.0 MPa -20sn	1.867	YZabc	1.833	UVYZ	1.967	bcde	1.967	bcde
120 °C -1.0 MPa -60sn	1.600	HIJ	1.800	STUV	1.833	UVYZ	1.933	ab
120 °C -1.0 MPa -100sn	1.667	KLMN	1.767	PRSTU	1.767	PRSTU	2.133	ghı
120 °C -1.4 MPa -20sn	1.783	R	1.850	VY	1.717	MN	1.800	STUV
120 °C -1.4 MPa -60sn	1.700	LMN	1.767	PRSTU	1.767	PRSTU	1.833	UVYZ
120 °C -1.4 MPa -100sn	1.600	HIJ	1.667	KLMN	1.617	IJ	1.733	NOPR
140 °C -0.6 MPa -20sn	1.750	OP	2.067	ef	1.900	Zabcde	2.067	ef
140 °C -0.6 MPa -60sn	1.567	GHI	1.767	PRSTU	1.867	YZabc	2.000	cdef
140 °C -0.6 MPa -100sn	1.567	GHI	1.533	FGHI	1.617	IJ	1.900	Zabcde
140 °C -1.0 MPa -20sn	1.433	C	1.700	LMN	1.817	TU	1.833	UVYZ
140 °C -1.0 MPa -60sn	1.467	D	1.633	JKLM	1.733	NOPR	1.850	VY
140 °C -1.0 MPa -100sn	1.400	B	1.700	LMN	1.667	KLMN	1.750	OP
140 °C -1.4 MPa -20sn	1.633	JKLM	1.667	KLMN	1.717	MN	1.833	UVYZ
140 °C -1.4 MPa -60sn	1.533	FGHI	1.600	HIJ	1.633	JKLM	1.767	PRSTU
140 °C -1.4 MPa -100sn	1.333	A*	1.533	FGHI	1.500	EF	1.733	NOPR

LSD  $\pm$  0,078

$\bar{x}$ : Aritmetik ortalama, HG: Homojenlik gurubu, \*: En yüksek tam kuru yoğunluk değeri

Tablo 6'ya göre aşınma direnci değeri en yüksek; 140 °C sıcaklık, 1,4 MPa basınç ve 100 sn TVM yoğunlaştırma işlemine maruz bırakılmış radyal kesitteki göknar örneklerde (1,333), en düşük ise teğet kesit olarak hazırlanmış kavak kontrol örneklerde (2,500) elde edilmiştir.

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu araştırmada, yeni ve çevreci bir modifikasyon yöntemi olan Termo-Vibro-Mekanik (TVM) yoğunlaştırma işlemi için TÜBİTAK-1150138 numaralı proje desteği ile özel bir "TVM yoğunlaştırma presi" tasarlanıp üretilmiş, Uludağ Göknarı (*Abies Bornmülleriana Mattf.*) ve Kara Kavak'tan (*Populus nigra L.*) elde edilen örneklerin TVM yoğunlaştırma işlemi sonrası yoğunluk ve aşınma direnci değerlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Çalışma da, göknar örneklerinde kavak örneklerine göre daha yüksek tam kuru yoğunluk değerleri elde edilmiştir. TVM yoğunlaştırma işlemi ile kontrol örneklerine göre göknarda %16, kavakta % 30'a kadar yoğunluk artışı sağlanmıştır. Kavak örneklerinde daha yüksek yoğunluk artışı elde edilmesi, bu malzemenin düşük yoğunluklu, kaba tekstürlü ve dağınık büyük traheli bir yapıya sahip olmasından dolayı daha fazla sıkıştırılarak yoğunlaştırılmasından kaynaklanmış olabilir. Literatürde ağaç malzemenin sıkıştırılabilme özelliklerinin; yoğunluk, yaz odunu oranı, hücre çeperi hacmi gibi ağaç malzemenin anatomik özellikleri ile sıkıştırma yönüne bağlı olduğu belirtilmiştir [4]. Ayrıca ağaç malzemenin sıkıştırılması ile elde edilen yoğunluk artışının, ağaç türünün özelliklerine, geri esneme etkisine ve uygulanan yoğunlaştırma yöntemi ile sıkıştırmanın seviyesine bağlı olduğu ifade edilmiştir [7, 9]. Farklı çalışmalarda ise ağaç malzemelerin daha fazla sıkıştırılması ile yoğunluk artışlarının daha belirgin hale geldiği bildirilmiştir [31-33]. Çalışma literatürle uyumludur.

Kesit yönü incelendiğinde radyal kesitte teğet kesite göre daha yüksek tam kuru yoğunluk değerleri elde edilmiştir. TVM yoğunlaştırma işlemi ile kontrol örneklerine göre radyal kesitte %26, teğet kesitte %19'a kadar yoğunluk artışı sağlanmıştır. Literatürde ağaç malzemenin anizotropik yapısı nedeniyle radyal ve teğet yönlerdeki sıkılaşmaya farklı tepki verdiği, yaz odunu oranının radyal kesitte fazla olması, dolayısı ile yoğunlaştırma esnasında boşluk oranının (porozite) azalması gibi faktörlerin yoğunluk değerlerini etkilediği ifade edilmiştir [6, 34].

Araştırmada TVM yoğunlaştırma işlemi parametrelerine bağlı olarak, tam kuru yoğunluk değerlerinde kontrol örneklerine göre %16 - %31 arasındaki oranlarda artış tespit edilmiştir. En yüksek tam kuru yoğunluk değerleri, yüksek sıcaklık (120 °C ile 140 °C), yüksek basınç (1,4 MPa) ve uzun süre (100 sn) TVM yoğunlaştırma işlemine maruz bırakılmış örneklerde elde edilmiştir. Bu parametrelere ağaç malzeme ve kesit yönü faktörleri de eklendiğinde, radyal kesitteki kavak odunu daha başarılı sonuçlar vermiştir. Literatürde, sıkıştırma oranı artışı ile yoğunluğun artış gösterdiği belirtilmiş, ağaç malzemenin yoğunlaştırılması ile elde edilen yoğunluk artışının, ağaç türünün özelliklerine, uygulanan yoğunlaştırma yöntemi ile sıkıştırmanın seviyesine bağlı olduğu vurgulanmıştır [6, 7, 9, 35, 36]. Çalışma literatürle uyumlu çıkmıştır.

Aşınma direnci değerleri incelendiğinde göknar örneklerinde kavak örneklerine göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. TVM yoğunlaştırma işlemleri sonrasında kontrol örneklerine göre göknarda % 38,5, kavakta % 31,5'ye kadar aşınma direnci artışı sağlanmıştır. Bu durum göknarın iğne yapraklı bir yapıya sahip olması, belirgin bir şekilde yaz odunu ile ilkbahar odunu ayrımı göstermesinden kaynaklanmış olabilir. Literatürde yaz odunu muhteiyatının odunun sertlik, aşınma ve direnç özelliklerini etkilediği vurgulanmaktadır [4, 19, 37].

Çalışmada, radyal kesit örneklerinde teğet kesit örneklerine göre daha yüksek değerlerde aşınma direnci elde edilmiştir. TVM Yoğunlaştırma işlemleri ile kontrol örneklerine göre radyal kesitte % 36, teğet kesitte % 34 'a kadar aşınma direnci artışı sağlanmıştır. Sonuçlar tam kuru yoğunluk değerleri ile kıyaslandığında farklılık gözlenmemiş, yoğunluk artışı ile aşınma direncinde de artış sağlanmıştır.

Araştırmada TVM yoğunlaştırma işlemi parametrelerine bağlı olarak, aşınma direnci değerlerinde kontrol örneklerine göre %31 - % 39,5 arasındaki oranlarda artış tespit edilmiştir. En yüksek aşınma direnci değeri, yüksek sıcaklık (140 °C), yüksek basınç (1,4 MPa) ve uzun süre (100 sn) TVM yoğunlaştırma işlemine maruz bırakılmış örneklerde elde edilmiştir. Bu parametrelere ağaç malzeme ve kesit yönü de eklendiğinde, radyal kesitteki göknar odunu daha başarılı sonuçlar vermiştir. Elde edilen sonuçlara göre TVM yoğunlaştırma işlemi yapılmış radyal kesitteki göknarda yaz odunu miktarına bağlı olarak yoğunluk ve sertlik artışına, dolayısı ile aşınma direncinin de artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Literatürde, sıkıştırma işlemlerinden sonra yoğunlukta meydana gelen artışların, ağaç malzemenin boşluk hacminin azalması ve birim hacme düşen hücre çeperi miktarının artması ile açıklanabileceği bildirilmiştir [7]. Ayrıca yoğunluk artışının mekanik özelliklerin artışı ile doğru orantılı olduğu, yoğunlaştırma işlemleri sonrasında ağaç malzemenin sertliğinin de arttığı belirtilmiştir [1, 6, 12, 37-39].

Sonuç olarak, TVM yoğunlaştırma işlemi ile düşük direnç özelliklerine sahip Uludağ göknarı ve karakavak odunlarının yoğunluk ve aşınma direnci özellikleri iyileştirilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında TVM yoğunlaştırma yöntemi diğer ahşap modifikasyon yöntemlerine alternatif, yeni ve çevreci bir yöntem olacağı tespit edilmiştir. Özellikle lamine parke endüstrisinde uygulanabilirliğinin araştırılması, diğer fiziksel, kimyasal, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, elde edilen veriler doğrultusunda alternatif malzeme (renklendirilmiş, emprenyeli vb.) ve yoğunlaştırma parametrelerinin denenmesi önerilebilir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma, "TÜBİTAK-3001 Başlangıç Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı" kapsamında desteklenmiştir (Proje Numarası: 115O138).

## 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Pelit, H., (2014).*Yoğunlaştırma ve ısıtma işleminin doğu kayını ve sarıçamın bazı teknolojik özellikleriyle üstyüzey işlemlerine etkisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara-Türkiye,
2. Akkılıç, H., A. Kaymakçı and Ö. Ünsal, (2014). *Isıl işlem uygulanmış ahşap malzemenin dış cephe kaplaması olarak değerlendirilme potansiyeli*, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 3-4.
3. Şenol, S. and M. Budakçı, (2016). *Mechanical Wood Modification Methods*, Mugla Journal of Science and Technology, **2**(2), 53-59.
4. Kutnar, A. and M. Šernek, (2007). *Densification of wood*. Zbornik gozdarstva in lesarstva, (82), 53-62.
5. Blomberg, J. and B. Persson, (2004). *Plastic deformation in small clear pieces of Scots pine (Pinus sylvestris) during densification with the CaLignum process*. Journal of Wood Science., **50**(4), 307-314.
6. Blomberg, J., B. Persson, and A. Blomberg, (2005). *Effects of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties with density*. Wood Science and Technology, **39**(5), 339-350.
7. Pelit, H., A. Sönmez and M. Budakçı, (2015). *Effects of thermomechanical densification and heat treatment on density and Brinell hardness of Scots pine (Pinus sylvestris L.) and Eastern beech (Fagus orientalis L.)*. BioResources, **10**(2), 3097-3111.
8. Kamke, F.A., (2006). *Densified radiata pine for structural composites*. Maderas. Ciencia y tecnología, **8**(2),83-92.
9. Rautkari, L., (2012). *Surface modification of solid wood using different techniques*. PhD Thesis, Department of Forest Products Technology, Aalto University, Finland.
10. Li, T., Cai, J., Avramidis, S., Cheng, D., Wålinder, MEP., Zhou, D. (2017). *Effect of conditioning history on the characterization of hardness of thermo-mechanical densified and heat treated poplar wood*. Holzforschung, **71**(6): p. 515-520.
11. Korkut, S. and D. Kocaefe, (2009). *Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi*. Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi, **5**(2),11-34.
12. Ulker, O., O. Imirzi, and E. Burdurlu, (2012). *The effect of densification temperature on some physical and mechanical properties of Scots pine (Pinus sylvestris L.)*. BioResources., **7**(4),5581-5592.
13. Kutnar, A., F.A. Kamke, and M. Sernek, (2009). *Density profile and morphology of viscoelastic thermal compressed wood*. Wood Science and Technology, **43**(1-2),57.
14. Seborg, R.M., M.A. Millett, and A.J. Stamm, (1956). *Heat-stabilized compressed wood (Staypak)*. Madison, Wis. US Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
15. Kultikova, E.V., (1999).*Structure and properties relationships of densified wood*. , Virginia Polytechnic Institute and State University.
16. Morsing, N., *Densification of Wood*. (2000). *The influence of hygrothermal treatment on compression of beech perpendicular to grain*, Department of Structural Engineering and Materials Technical University of Denmark. Series R., (79).
17. Blomberg, J., B. Persson, and U. Bexell, (2006). *Effects of semi-isostatic densification on anatomy and cell-shape recovery on soaking*. Holzforschung, **60**(3), 322-331.
18. Kollmann, F.F., E.W. Kuenzi, and A.J. Stamm, (2012). *Principles of Wood Science and Technology, II Wood Based Materials*, Springer Science & Business Media.
19. Gong, M., C. Lamason, (2007). *Improvement of surface properties of low density wood: Mechanical modification with heat treatment*. University of New Brunswick, Canada.
20. Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F., Hughes, M., (2010). *Properties and set-recovery of surface densified Norway spruce and European beech*. Wood Science and Technology, **44**(4), 679-691.
21. Yıldız, S., (2002). *Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri*. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

22. Bekhta, P., P. Niemi, (2003). *Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood*. *Holzforschung*, **57**(5), 539-546.
23. Esteves, B., Marques, A.V., Domingos, I., Pereira, H. (2007). *Influence of steam heating on the properties of pine (Pinus pinaster) and eucalypt (Eucalyptus globulus) wood*. *Wood Science and Technology*, **41**(3),193.
24. Boonstra, M., (2008). *A two-stage thermal modification of wood*, , PhD Thesis, Ghent University.
25. AYDEMİR, D., G. GÜNDÜZ, (2009).*Ahşabın Fiziksel, Kimyasal, Mekaniksel ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Isıyla Muamelenin Etkisi*. Bartın Orman Fakültesi Dergisi., **11**(15).
26. Kol, H.S., (2010).*Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing*, *Journal of Environmental Biology*, 31(6) 1007-1011
27. TS 2470, (1976).*Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Numune Alma Metotları ve Genel Özellikler*., T.S.E. Ankara,
28. TS 2471, (1976).*Odunda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyler İçin Rutubet Miktarı Tayini*, T.S.E., Ankara,
29. TS 2472, (1976). *Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini* T.S.E., Ankara,
30. ASTM D4060-14, (2014).*Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
31. Blomberg, J., (2006). *Mechanical and physical properties of semi-isostatically densified wood*, PhD Thesis, Luleå tekniska universitet.
32. Rautkari, L.,Laine, K.,Laflin, N., Hughes, M., (2011). *Surface modification of Scots pine: the effect of process parameters on the through thickness density profile*. *Journal of materials science*, **46**(14), 4780-4786.
33. Laine, K., (2014).*Improving the properties of wood by surface densification*,PhD Thesis, Department of Forest Products Technology, Aalto University, Finland.
34. Marttila, J., Möttönen, V., Bütün, Y., Heräjärvi, H. (2016). *Bending properties of tangentially and radially sawn European aspen and silver birch wood after industrial scale thermo-mechanical modification*. 2<sup>nd</sup> Conference on Engineered Wood Products based on Poplar/willow Wood, León, Spain
35. Unsal, O., Z. Candan, (2008). *Moisture content, vertical density profile and Janka hardness of thermally compressed pine wood panels as a function of press pressure and temperature*. *Drying Technology*, **26**(9): p. 1165-1169.
36. Arruda, L.M., Del Menezzi, C.H., (2013). *Effect of thermomechanical treatment on physical properties of wood veneers*. *International Wood Products Journal*, **4**(4),217-224.
37. Rautkari, L., Laine, K., Kutnar, A., Medved, S., Hughes, M. (2013). *Hardness and density profile of surface densified and thermally modified Scots pine in relation to degree of densification*. *Journal of materials science*, **48**(6), 2370-2375.
38. Dubey, M.K., (2010). *Improvements in stability, durability and mechanical properties of radiata pine wood after heat-treatment in a vegetable oil*, PhD Thesis, University of Canterbury, New Zealand.
39. Örs, Y. and H. Keskin, (2001). *Ağaç Malzeme Bilgisi*. Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.