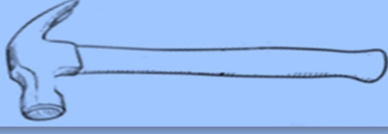
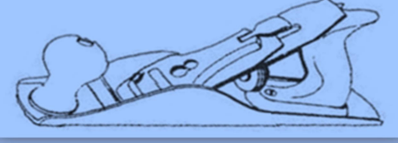


MOBİLYA ve AHŞAP MALZEME ARAŞTIRMALARI DERGİSİ



-MAMAD-



2023 - 6(1), 1 - 133



FURNITURE and WOODEN MATERIAL RESEARCH JOURNAL





BAŞ EDİTÖR ve İMTİYAZ SAHİBİ – EDITOR-IN-CHIEF and CONCESSIONAIRE

Prof. Dr. Bekir Cihad BAL, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

EDİTÖR KURULU - EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Murat ÖZALP, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

Doç. Dr. Erkan AVCI, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

Doç. Dr. Nasır NARLIOĞLU, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir, Türkiye

DANIŞMA KURULU - ADVISORY BOARD

Prof. Dr. Abdülkadir MALKOÇOĞLU, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Turkey

Prof. Dr. Ahmet KURTOĞLU, Doğu University, İstanbul, Turkey

Prof. Dr. Bruno ESTEVES, Polytechnic Institute of Viseu, Portugal

Prof. Dr. Cevdet SÖĞÜTLÜ, Gazi Üniversitesi, Ankara, Turkey

Prof. Dr. Jerzy SMARDZEWSKI, Poznań University of Life Sciences, Poznań, Poland

Prof. Dr. Marko PETRIC, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia

Prof. Dr. Pavlo BEKHTA, Ukrainian National Forestry University, Ukraine

Prof. Dr. Pedro Henrique Gonzalez de CADEMARTORI, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brazil

Prof. Dr. Petar ANTOV, University of Forestry, Bulgaria

Prof. Dr. Sait Dündar SOFUOĞLU, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye

Prof. Dr. Tuncer DİLİK, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa İstanbul, Turkey

Prof. Dr. Vassil JIVKOV, University of Forestry, Sofia, Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Abdurrahman KARAMAN, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Alperen KAYMAKÇI, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye

Assist. Prof. Dr. Agnieszka JANKOWSKA, Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Warsaw, Poland

Assoc. Prof. Dr. Emilia-Adela SALCA, Transilvania University of Brasov, Romania

Assoc. Prof. Dr. Milan GAFF, Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic

Assoc. Prof. Dr. Önder TOR, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Seyyed Khalil HOSSEINIHASHEMI, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Assist. Prof. Dr. Füsün CURAOĞLU, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Turkey

Assist. Prof. Dr. Tomasz KRYSZTOFIK, Poznań University of Life Sciences, Poland

Senior Lecturer Dr. Lee Seng HUA, Universiti Teknologi MARA (UITM), Malaysia

Ph.D. Juanito P. JIMENEZ, Jr., Forest Products Research and Development Institute (FPRDI), Philippines

Dil Editörü – Language Editor

Zeynep NARLIOĞLU, İngiliz Edebiyatı ve Beşeri Bilimler, Türkiye






İÇİNDEKİLER - CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ - RESEARCH ARTICLES

Design and development of appropriate desk and chair for secondary schools in Ondo State, Nigeria using anthropometric variables	1-13
<i>Antropometrik değişkenler kullanılarak Nijerya'nın Ondo eyaletindeki ortaokullar için uygun sıra ve sandalye tasarımı ve geliştirilmesi</i>	
<i>Jacob Mayowa Owoyemi, Dauda Aliyu, Adetunji Akinuoye</i>	
Silindirik yoğunlaştırmada sıvama makarası kullanımı; masif ağaçta (Karaçam) yoğunlaştırılma sonrası sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değişimi	14-25
<i>Use of spinning roller in cylindrical densification; change in hardness, brightness, and surface roughness in solid wood (Larch) after densification</i>	
<i>Zafer Kaya, Sait Dünder Sofuoğlu</i>	
Investigation of adhesive bonding strength of wood added PLA materials	26-38
<i>Odun katkılı PLA malzemelerinin yapışma dayanımlarının incelenmesi</i>	
<i>Duygu Karabağ, Muhammet Ali Tekkanat , Nergizhan Anaç , Oğuz Koçar</i>	
Palo Santo odununda bazı yüzey özellikleri ve shore D sertlik değeri üzerine 200°C'de ısı işlemin etkisi	39-46
<i>The effect of heat treatment at 200°C on some surface properties and shore D hardness value of Palo Santo wood</i>	
<i>Ümit Ayata</i>	
Determination of the relationship between static and dynamic modulus of elasticity in beech wood	47-54
<i>Kayın odununda statik ile dinamik elastikiyet modülü arasındaki ilişkinin belirlenmesi</i>	
<i>Emre Birinci</i>	
Kastamonu'da bulunan tarihi ahşap yapıların çatı sistemlerinin incelenmesi	55-69
<i>Roof Systems in Historical Wooden Buildings in Kastamonu</i>	
<i>İsmail Derda Güler, Önder Tor</i>	
Comparative study of some properties of wood plastic composite materials produced with polyethylene, wood flour, and glass flour	70-79
<i>Polietilen, odun unu ve cam unu ile üretilen odun plastik kompozit malzemelerin bazı özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma</i>	
<i>Bekir Cihad Bal</i>	
Sipariş tipi üretim yapan orta ölçekli mobilya işletmelerinde makine seçimi	80-89
<i>Machine choosing for custom manufacturing in medium scale furniture businesses</i>	
<i>Mehmet Özgür Kuşcuoğlu, Tuncer Dilik</i>	
Effect of fungal infection on physico-mechanical resistance of WPC made from thermally treated wood/PP	90-103
<i>Mantar enfeksiyonunun ısı işlem görmüş odun/PP kompozitlerin fiziko-mekanik direncine etkisi</i>	
<i>Seyyed Khalil Hosseinihashemi , Farhad Arwinfar</i>	
Isıl işlem uygulanmış karbon fiber ile güçlendirilmiş lamine kaplama kerestenin (LVL) hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncinin belirlenmesi	104-114
<i>Determination of air-dried density and compression strength parallel to the grains of heat-treated laminated veneer lumber (LVL) reinforced with carbon fiber</i>	
<i>Osman Perçin</i>	
The effects of artificial weathering on the pendulum hardness of chestnut wood applied with polyurethane varnish after heat treatment	115-122
<i>Isıl işlem sonrası poliüretan vernik uygulanmış kestane odununda salımsal sertlik üzerine yapay yaşlandırmanın etkileri</i>	
<i>Göksel Ulay, Ümit Ayata</i>	
Farklı geometrik oluklu çekirdeğe sahip ahşap esaslı kompozit panellerin vida tutma dirençlerinin belirlenmesi	123-133
<i>Determination of screw holding resistance of wood-based composite panels with different geometric corrugated core</i>	
<i>Musa Kaya , Hasan Özgür İmirzi</i>	



Design and development of appropriate desk and chair for secondary schools in Ondo State, Nigeria using anthropometric variables

Jacob Mayowa Owoyemi^{1*}, Dauda Aliyu¹, Adetunji Akinuoye¹

Abstract

Furniture provision is a major component of teaching and learning facilities in schools which is usually done without considering the body measurements of users leading to discomfort for the users. A survey of anthropometric measurements of secondary school students in Ondo State of Nigeria was carried out alongside the size of existing chairs and desks in order to determine the level of mismatch. Obtained data were analyzed and the population of students was grouped into 5th, 25th, 50th, 75th, and 95th percentiles. In Ondo State, Bio-characteristics of the students showed that the average age of students from JSS 1-SSS 3 increased from 10 years for JSS 1 to 16 for SSS3 which conformed with the entry and exit age requirement. Ergonomically compliant furniture was designed with adjustable features using 36.25 cm as the lower limit point and with the upper limit of 46.85 cm for seat height while lower limit was 54.46 cm for desk and upper limit having 67.60 cm. With these measurements, a typical desk and chair was produced by using round pipe and laminated board. Selection of non-adjustable furniture is both impracticable and unsuitable for a large of people; hence provision of adjustable compliant furniture was preferred to accommodate the entire population.

Key words: Anthropometric, Ergonomic, Furniture design, Adjustable desk, Chair

Antropometrik değişkenler kullanılarak Nijerya'nın Ondo eyaletindeki ortaokullar için uygun sıra ve sandalye tasarımı ve geliştirilmesi

Öz

Mobilya tedariki, okullarda genellikle kullanıcıların vücut ölçüleri dikkate alınmadan yapılan ve kullanıcıları rahatsız eden öğretim ve öğrenim tesislerinin önemli bir bileşenidir. Uyumsuzluk düzeyini belirlemek için Nijerya'nın Ondo eyaletindeki ortaokul öğrencilerinin antropometrik ölçümlerine ilişkin bir anket, mevcut sandalye ve sıraların boyutlarına göre gerçekleştirildi. Elde edilen veriler analiz edildi ve öğrenci popülasyonu 5., 25., 50., 75. ve 95. yüzdelik gruplara ayrıldı. Ondo eyaletindeki öğrencilerin biyo-özellikleri, JSS 1-SSS 3'teki öğrencilerin ortalama yaşının, giriş ve çıkış yaşı gerekliliğini karşılayan JSS 1 için 10 yıldan SSS3 için 16'ya çıktığını gösterdi. Ergonomik uyumlu mobilyaların alt sınır noktası 36,25 cm, oturma yüksekliği üst sınırı 46,85 cm, çalışma masası alt sınırı 54,46 cm ve üst sınırı 67,60 cm olacak şekilde ayarlanabilir özellikte tasarlanmıştır. Bu ölçüler ile yuvarlak boru ve lamine levha kullanılarak tipik bir masa ve sandalye üretilmiştir. Büyük bir insan grubu için ayarlanamayan mobilya seçimi hem uygulanamaz hem de uygun değildir; bu nedenle, tüm nüfusu barındırmak için ayarlanabilir uyumlu mobilyaların sağlanması tercih edildi.

Anahtar kelimeler: Antropometrik, Ergonomik, Mobilya Tasarımı, Ayarlanabilir çalışma masası, Sandalye

Article history: submitted:17.05.2023, accepted:13.06.2023, published:30.06.2023,*e-mail: jacobmayowa@yahoo.com

¹Department of Forestry and Wood Technology, Federal University of Technology, Akure, Ondo State, Nigeria.

To cite: Owoyemi J.M., Aliyu D.I., Akinuoye A.J., (2023), Design and development of appropriate desk and chair for secondary schools in Ondo state, Nigeria using anthropometric variables, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (1), 1-13, DOI: 10.33725/mamad.1297861

1 Introduction

Students spend much of their time in school and as they mature, they outgrow the furniture causing discomfort if its type is not adjustable (Salminen, 1984). Sitting position was found to be the most troublesome posture in connection with low back pain as students spend most of their period sitting during school hours using furniture that does not match them well which come with negative effect on their health and listening span. Good performance of students also depends on the furniture provided and other learning materials used in the school (URL 1, 2023).

Anthropometric data can be used to design ergonomically compliant furniture for secondary schools students. Salminen (1984) and Yeast (1997) in their studies had shown that high rate of back pain and ankle pain may occur among secondary school students and other ailments in future if poorly designed furniture is used for long period during their developmental age. Aagaard-Hansen et al., (2001) ascertained that the form of a chair is comprised of three factors: function, aesthetics and material. Bendix et al., (1985) also asserted that there are three ways to evaluate a chair: its relation to the body, emblematic or communicative function and its craft. Knight and Noyes (1999) stated that one of the factors which influence the design of furniture for school students is appropriateness for body size which in turn affects the design features for desk and chair.

Specific dimensions have to be taken such as popliteal height, knee height, buttock to popliteal length and elbow height which are essential in determining the dimension of school furniture that will fit the student's general posture while studying in the class. One of the conditions to support the productivity is to ensure that the work spaces and equipments that students use conform to the anthropometric and biomechanical characteristics of the user (Branton, 1969). Anthropometric dimensions vary among nations and ethnic groups and change over time as populations and their environmental conditions change (Bhat et al., 2021). Anthropometric data have been adopted in many communities for furniture of school students design but due to variations in body sizes across geographical zones, it is necessary to take anthropometric measurements of each population for use as a guide when designing furniture for schools. Evans et al, (1992) also stated that school children are at risk due to the wide range of body size, the long sitting posture and the possible adverse development at prolonged exposure to postural stresses.

Researchers have been making effort to find out the mismatch of school furniture with secondary school pupils. Several attempts were carried out on how the body sizes of secondary school pupils fit to furniture in some countries like Vietnamese (Woodson et al., 1992). However, little information is available on furniture design for pupils in secondary school of Nigeria.

This study is aimed to develop appropriate desk and chair for secondary schools in Ondo State in Nigeria with using anthropometric variables.

2 Materials and Method

2.1 Study area

This study was conducted in six selected secondary schools across Ondo State in Nigeria, with two schools from each of the three geo- political zones of North, Central and South. (Figure 1).

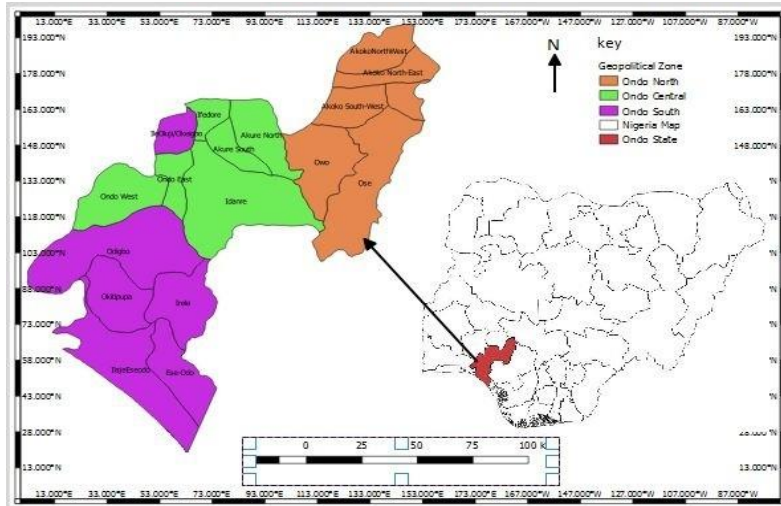


Figure 1: Map of Ondo State showing the study area

Purposive sampling technique was adopted for this study. Six secondary schools in the three geopolitical zones of Owo, Akure and Okitipupa areas in Ondo State Nigeria were selected, out of which two schools were picked from each Local Government Area (LGA), and measurements were taken using measuring tape, height meter rule, and anthropometric data sheet while Sitting-posture Measurement Device (SMD) (Figure 2) was used.



Figure 2. Sitting-posture Measurement Device (Developed by MWP Lab 2015)

2.2 Determination of student body sizes.

The body sizes of each student were taken by using standard anthropometric measurement techniques based on Parcels et al., (1999) as shown in Figure 3. Both the boys and girls were considered for the measurement from each class level and measurements were taken according to the method described by Thariq et al., (2010). Dimensions of students were taken while seated on a flat horizontal surface, their knees were bent 90°, and their feet without shoes rested on the horizontal surface. Also, the heights were taken by standing erect without shoes.

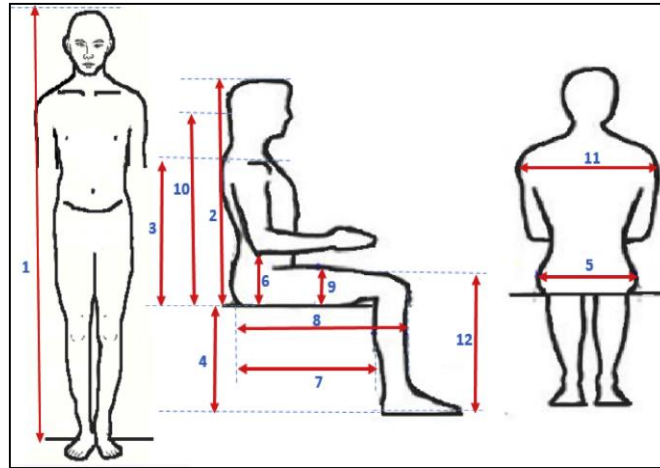


Figure 3. Anthropometric measurements required for classroom furniture design

According to Parcels et al., (1999): Anthropometric measurements required for classroom furniture design were as follows:

1. Standing Height (STH) : It is the vertical distance from the footrest to the vertex.
2. Sitting Height (SH): Vertical distance from the tip of the head to the surface of the sitting object (stool).
3. Sitting Shoulder Height (SSH): Shoulder height refers to the vertical distance from the subject's sitting surface to the top of the shoulder at acromion, shoulder is relaxed, with the upper arm hanging freely.
4. Popliteal Height (PH): Distance taken vertically with 90° knee flexion, from the popliteal space, which is the posterior surface of the knee or popliteal space.
5. Hip Breadth (HB): Maximum horizontal distance across the hips in the sitting position.
6. Sitting Elbow Height (SEH): Vertical distance from underside of the elbow
7. Buttock Hip Length (BHL)
8. Buttock-Knee Depth (BKD): Distance measured horizontally from the front of the kneecap to the back of uncompressed buttock.
9. Thigh Clearance (TC): Distance measured vertically from the stool surface to the highest point on the top of the right thigh.
10. Eye Height (EH): Eye height refers to the vertical distance from the inner canthus of the eye to the sitting surface.
11. Shoulder width (SW): Maximum horizontal distance across shoulders in the sitting position.
12. Sitting Knee Height (SKH): Vertical distance from the top of the knee quadriceps muscles to the footrest.

2.3 Existing tables and chairs characteristics of selected schools

Dimensions of existing chairs and desks were taken using measuring tables for SH, SW, DH, UDH and ERH. T-test was carried out to test for comparison with anthropometric measurements and dimensions of tables and chairs in the six selected schools as reflected in Figures 4 and 5. The following mismatch criteria were used for this study according to Motmans, (2006);

1. Seat Height = $0.88(PH+2) \leq SH \leq 0.95(PH+2)$ eqn (1)

- Panagiotopoulou et al., (2004)
2. Seat depth (SD) = $0.8BPL \leq SD \leq 0.99BPL$eqn (2)
Gouvali and Boudolos, (2006)
 3. Seat width (SW) = $HB < SW$eqn (3)
Troussier et al., (1994)
 4. Desk height (DH) = $SEH \leq DH \leq 0.8517 SEH + 0.1483SSH$eqn (4)
Parcells et al., (1999)
 5. Under-desk height (UDH) = $SKH + 2 < UDH$eqn (5)
Motmans, (2006)

2.4 Development of appropriate design of desk and chair

The student’s population was grouped into 5th, 25th, 50th, 75th and 95th percentiles according to BIFMA 2002 procedures, which was used to design appropriate furniture for the students population. The 5th percentile was used as the lowest limit, while the 95th percentile was taken for the upper limit for the adjustable mechanism to take care of the entire students’ population.

2.5 Experimental design and data analysis

Randomized Completely Block Design (RCBD) was used for the experimental design. Analysis of variance was carried out. The collected data were presented with Statistical Package for the Social Science (SPSS) and Excel Microsoft Software to obtain the descriptive statistics and analysis of variance (ANOVA). Duncan Multiple Range was used to test for the significant different at 0.05 level of significance.

3 Results and Discussion

3.1 Bio-characteristics of students in Ondo state secondary schools

In Table 1, the bio-characteristics of the students revealed in Ondo State that the average entry age for Junior Secondary School one (JSS 1) was 10 years and leave at 16 years after completing SSS 3. This also showed an increase in height across the class levels. The height of the human body is a major determinant of other body parts as ascertained by Panero (1979). All the students across the geopolitical zones of Ondo State carry similar features hence furniture supply could be generalized for secondary schools in Ondo State. However, values were higher for male than for female in weight and height this conformed to general human physiology (Murphy et al., 2007). This is an implication that not one size of furniture will suit the whole population hence regular review of school furniture sizes is needed to ascertain its suitability after a period of time.

Table 1. Summary of Bio-characteristics of students in the different GPZ’s and class levels

Geopolitical Zone (GPZ)	Gender	Ages	Weight (kg)	Height (cm)
Ondo Central	Male	10.30-15.80	37.30-61.20	145.70-164.70
	Female	9.70-15.70	38.80-60.20	147.80-163.00
Ondo North	Male	10.30-16.40	32.00-60.90	147.80-164.40
	Female	10.80-16.10	32.80-57.20	146.80-163.30
Ondo South	Male	10.60-16.20	33.20-64.30	147.10-166.00
	Female	10.80-16.10	34.10-61.60	147.30-164.70

The analysis of variance (Table 2) showed that there was no significant difference in age and gender across the geopolitical zones while there was significant difference among the class level at 5% probability level. The students' height and weight were significantly different for the students' age and gender across the geopolitical zones.

Table 2. ANOVA for the age, weight and height of students from the different GPZ

Parameter	Sources of Variation	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P	Sig.
Age	LGA	1.906	2	0.953	1.014	0.364	ns
	Class Level	1370.956	5	274.191	291.89	0	*
	Gender	0.711	1	0.711	0.757	0.385	ns
	Error	329.717	351	0.939			
	Total	1703.289	359				
Weight	LGA	2026.667	2	1013.333	49.6	0	*
	Class Level	27322.925	5	5464.585	267.47	0	*
	Gender	7.225	1	7.225	0.35	0.552	ns
	Error	7171.158	351	20.431			
	Total	36527.975	359				
Height	LGA	12.95	2	6.475	0.41	0.667	ns
	Class Level	10539.733	5	2107.947	132	0	*
	Gender	5.378	1	5.378	0.34	0.562	ns
	Error	5605.039	351	15.969			
	Total	16163.1	359				

*Values ≤ 0.05 are significant, ns: Not significant

3.2 Anthropometric measurements of Ondo State secondary school students

The summary of the anthropometric measurements of students taken across Ondo State shown in Figure 4 revealed that in Ondo North, Popliteal height ranges from 40.47 to 40.96, 40.23 to 44.85, 24.92 to 38.53, 65.17 to 70.76 and 55.34 to 58.92 cm 18.77 to 19.78 cm for PH, BL, BW, SHE+PH, SKH and ERH respectively, the value obtained in Ondo Central ranges from 40.14 to 42.68, 36.17 to 44.37, 33.01 to 37.22, 68.81 to 70.57, 49.35 to 60.24 and 16.72 to 19.47 cm for PH, BL, BW, SHE+PH, SKH, and ERH respectively. The value obtained for Ondo South ranges from 39.68 to 43.27, 39.55 to 45.09, 35.99 to 47.88, 66.76 to 60.37, 55.43 to 59.64 and 18.37 to 20.01 cm for PH, BL, BW, SHE+PH, SKH and ERH respectively.

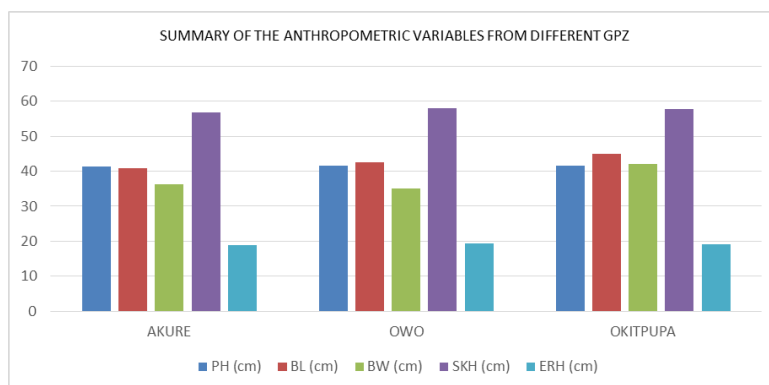


Figure 4. Summary of the Anthropometric Variables from Different GPZ

Anthropometric dimensions for secondary schools students in Ondo state showed variation in class levels which could be due to increase in body size, for Central and North, the result showed that there was no significant difference in the PH from JSS 1 to SSS 3 which implies that the students can use the same chair, while in the South, JSS 2 and SSS 2 can use the same chair; JSS 1, JSS 3, SSS 1 and SSS 3 can use the same chair because there was no significant difference in the PH. The variation in the geopolitical zones for SEH + PH showed that the same desk cannot be used in the schools. For the Central zone, students can use the same desk height are JSS 1 and JSS 2, JSS1 and JSS 3, JSS1 and SSS 1, SSS1 and SSS 2, JSS1, JSS2, SSS1 and SSS 3. For North, all the students from JSS 1 to SSS 3 can use the same desk height while in South, JSS1, SSS1 and SSS3 can use the same desk height, JSS2, JSS3 and SSS3 can use the same desk height. From Table 3, it was discovered that Ondo South has the lowest PH value while Ondo North has the highest PH value among the GPZ while for SHE + PH, North had the lowest and highest values. Previous studies explained that body sizes were different (Pheasant, 1996; Thariq et al., 2010 and Bridger, 1995).

The analysis of variance as presented in Table 3 showed that there was no significant difference in the popliteal height (PH), SEH+PH, SKH and Elbow rest height (ERH) among the geopolitical zones at 5% probability level. However, there was significant difference in the class level, except Buttock length (BL) that showed significant difference both in the GPZ and class level.

Table 3. ANOVA Table for the Anthropometric Variable from GPZs and Class Levels

Variable	Sources of Variation	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P	Sig.
PH	LGA	1.981	2	0.991	0.086	0.918	ns
	Class Level	137.094	5	27.419	2.382	0.04	*
	Error	1979.966	172	11.511			
	Total	2119.041	179				
BL	LGA	94.301	2	47.151	3.148	0.045	*
	Class Level	531.972	5	106.394	7.103	0	*
	Error	2576.239	172	14.978			
	Total	3202.512	179				
BW	LGA	1715.09	2	857.545	14.721	0	*
	Class Level	982.926	5	196.585	3.375	0.006	*
	Error	10019.251	172	58.251			
	Total	12717.267	179				
SEH+PH	LGA	10.34	2	5.17	0.314	0.731	ns
	Class Level	205.632	5	41.126	2.497	0.033	*
	Error	2832.947	172	16.471			
	Total	3048.919	179				
SKH	LGA	47.837	2	23.919	1.377	0.255	ns
	Class Level	285.086	5	57.017	3.283	0.007	*
	Error	2987.433	172	17.369			
	Total	3320.356	179				
ERH	LGA	3.496	2	1.748	0.73	0.483	ns
	Class Level	30.989	5	6.198	2.588	0.028	*
	Error	411.969	172	2.395			
	Total	446.454	179				

*Values ≤ 0.05 are significant, Where: PH Popliteal Height, BL: Buttock Length, BW: Buttock Width, SEH+PH: Sitting Elbow Height+ Popliteal Height, SKH: Sitting Knee Height, ERH: Elbow Rest Height

4.3 Existing desks and chairs assessment

Seat Height, Seat depth, Seat Width, Desk height, Under Desk Height and Elbow Rest Height were investigated while evaluating the existing school desk and chairs for secondary schools in Ondo State. Table 4 represents the summary of the mean value for each of the GPZs. The results from each of the secondary schools show that Ondo Central has the highest value for seat height, seat width and elbow height which are 45.50±0.52cm, 41.00±0.00cm, and 69.00±0.00 cm, respectively. Ondo South has the height mean value for seat depth with 44.25±0.78cm while Ondo North has the highest mean value for desk height and under desk height which are 70.25±0.26cm, and 62.00±0.00 cm, respectively.

Table 4. Summary of Existing Furniture from GPZs

Furniture Measurement	Ondo Central	Ondo North	Ondo South
Seat Height	45.5	44.75	44.25
Seat Depth	40.5	41.5	44.25
Seat Width	41	40.75	39
Desk Height	70	70.25	67.5
Under Desk Height	60.5	62	59
Elbow Height	69	67.5	67.75

Source: Field Work

It was discovered that both desk and chair used by the students from JSS 1 to SSS 3 was uniform but was not comfortable for students in lower classes because of their height. This means that school students have to sit on higher chairs and therefore, they are not able to support their feet on the floor. This situation may lead to increased tissue pressure on the posterior surface of the knee and consequently may cause serious discomfort or possible disorder (Agha, 2010). This is similar to the findings reported by Gouvali and Boudolos (2006) among Greek school children aged between 12 and 18 years who found that 90.3% of girls and 50% of boys used seats that were too high (Parcells et al., 1999).

Table 5. ANOVA Table for the Existing Furniture Variables from GPZs and Class Levels

Variable	Sources of Variation	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	P	Sig.
SH	LGA	9.5	2	4.75	8.061	0.002	*
	Class Level	0	5	0	0	1	ns
	Error	16.5	28	0.589			
	Total	26	35				
SD	LGA	90.5	2	45.25	99.373	0	*
	Class Level	0	5	0	0	1	ns
	Error	12.75	28	0.455			
	Total	103.25	35				
SW	LGA	28.5	2	14.25	31.294	0	*
	Class Level	0	5	0	0	1	ns
	Error	12.75	28	0.455			
	Total	41.25	35				
DH	LGA	55.5	2	27.75	49.333	0	*
	Class Level	0	5	0	0	1	ns
	Error	15.75	28	0.563			
	Total	71.25	35				
UDH	LGA	54	2	27	252	0	*
	Class Level	0	5	0	0	1	ns
	Error	3	28	0.107			
	Total	57	35				
ERH	LGA	15.5	2	7.75	22.256	0	*
	Class Level	0	5	0	0	1	ns
	Error	9.75	28	0.348			
	Total	25.25	35				

Where: SH: Seat Height, SD: Seat Depth, SW: Seat Width, DH: Desk Height, UDH: Underneath Desk Height, ERH: Elbow Rest Height. * Values < 0.05 are significant, ns: Not significant

The analysis of variance (Table 5) showed that for all variables (Seat Height, Seat Depth, Seat Width, Desk Height, Underneath Desk Height, and Elbow Rest Height), indicate that there was significant difference among the Geopolitical zones at 5% probability level while there was no significant difference among the Class levels.

3.3 Level of furniture mismatch

The independent t-test mean comparison of existing furniture and anthropometric measurements of the selected students from JSS 1 to SSS 3 in Ondo State shown in Table 6 revealed that the mean value for seat height of existing furniture had 44.83 cm while the PH was 41.54 cm with difference of 3.3 cm, the mean value for seat depth of existing furniture was 42.08 cm and BL of 41.82 cm. Mean value for seat width of existing furniture was 40.25 cm and BW of 37.81 cm with difference of 2.44cm. The mean value of desk height for existing furniture was 69.25 cm compared with PH + ERH of 60.64 cm with the difference of 8.61 cm. The mean value for underneath desk height of existing furniture was 60.50 cm and SKH of 57.54 cm having difference of 2.96 cm. Mean value for elbow rest height of existing furniture was 18.08 cm compared with the ERH of 19.09 cm. There was no significant difference between the existing furniture (EF) and anthropometric measurements (AM) for seat depth while all other variables showed a significant difference between ER and AM as presented in Table 6. The level of mismatch in the geopolitical zones was moderate for seat height, seat depth, seat width and underneath desk height while desk height showed a high level of mismatch. In other words, those students with a desk height mismatch are either required to lift their arms, which may cause more muscular load, discomfort and pain in the shoulder area Parcels et al., (1999) or have to bend their trunk forward, a posture which increases the spinal load. Most previous studies have shown that mismatch cases especially for younger school children were caused by higher desk height. The frequency of higher desks has been reported for Greek school children aged between 12 and 18 years (61.1% girls and 86.1% boys) (Gouvali and Boudolos, 2006), and for younger school children in Hong Kong (Chung and Wong, 2007), Chile (Castellucci et al., 2010), and in the United States (Parcels et al., 1999). It is interesting that the mismatch percentages varied between the class levels and between boys and girls which highlights the variability in student’s body dimensions. The level of school furniture mismatch is addressed by designing furniture using the anthropometric measurements which must be recent and appropriate (Aaras, et al., 1997).

Table 6. T-test mean comparison of existing furniture and anthropometric measurements

Parameter	Type	Value (cm)	Mean dif.	Std. e. df.	T	Df	Sig.
Seat height	E-F	44.83±0.86	3.29	0.29	11.19	205.49	0.000*
	A-M	41.54±3.44					
Seat depth	E-F	42.08±1.72	0.26	0.43	0.6	133.12	0.547 ^{ns}
	A-M	41.82±4.23					
Seath width	E-F	40.25±1.08	2.44	0.65	3.73	202.79	0.000*
	A-M	37.81±8.43					
Desk height	E-F	69.25±1.43	8.61	0.39	22.14	161.65	0.000*
	A-M	60.64±4.13					
Underneath desk height	E-F	60.50±1.28	2.95	0.39	7.67	186.67	0.000*
	A-M	57.54±4.30					
Elbow rest height	E-F	18.08±0.85	48.99	0.18	266.06	91.58	0.000*
	A-M	19.09±1.58					

Values are Mean±SD; Where: *Significant at (P < 0.001), ns: Not Significant, EF: Existing Furniture and AM: Anthropometric Measure

3.4 Design of ergonomically compliant furniture for secondary school using anthropometry variables

The entire population of secondary school students in Ondo State, Nigeria was classified into 5th, 25th, 50th, 75th and 95th percentile for all the variables needed to design furniture for the schools (Table 7). The seat height of 36.26cm (5th percentile) was the lowest limit while 46.85 cm was the upper limit point. The values of 39.41, 41.2 and 43.22cm were the middle adjustable points. The same parameters were adopted for DH, UDH, ERH and SSH. An ergonomically compliant chair and table were designed using inventor professional and anthropometric mean percentile values for JSS 1-3 and SSS1-3 which ranged from 36.26 to 46.85 cm and 60.64 to 67.60 cm for the chair and table respectively. These formed the range of adjustment for the design as shown above in figure 4 to 5 of the report. The lower limit of adjustment for chair and desk is 36.26 and 60.64cm respectively while the highest limit is 46.85 and 67.60 cm for chair and desk respectively. All the materials used were readily available while simple hydraulic bending machine was used to prepare the bending of the square pipe. Figures 5 and 7 showed the pictorial view of the designed secondary school furniture. The back seat for the chair and desk top / storage compartment were produced from laminated plywood.

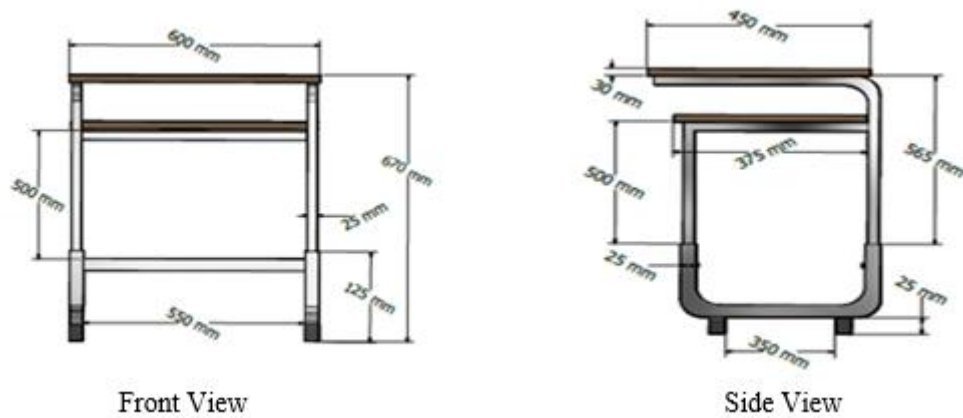


Figure 5. The front and side view of the developed desk.

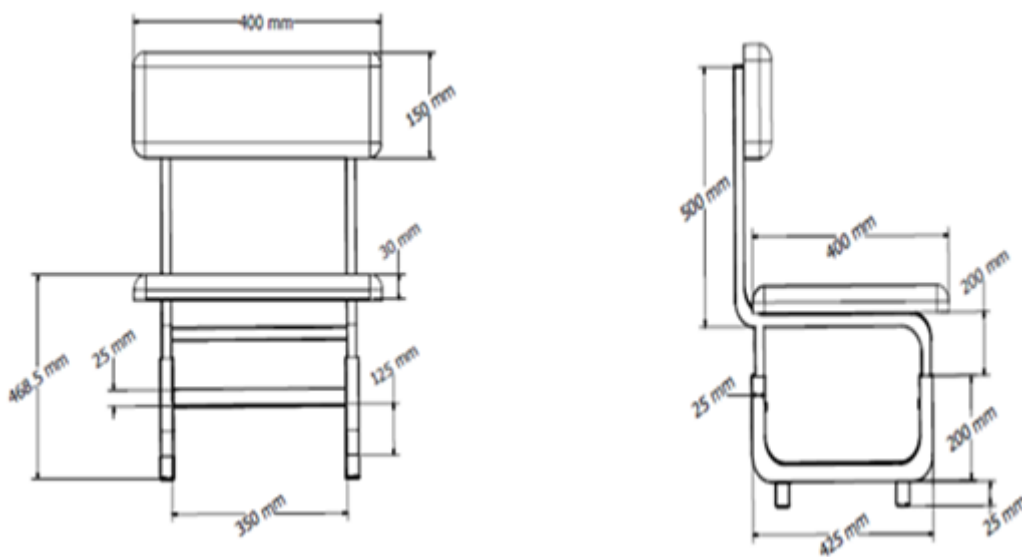


Figure 6. The front and the side view of the developed chair

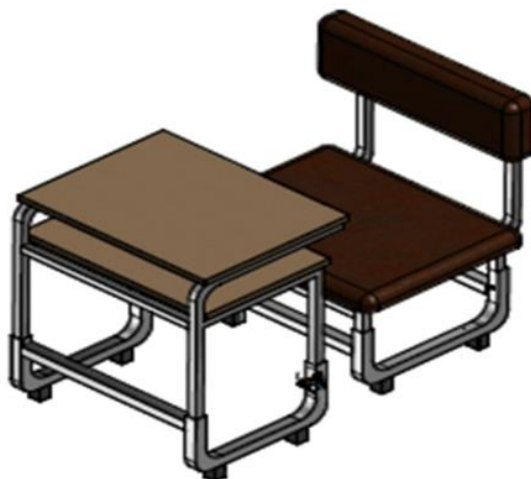


Figure 7. Pictorial view of adjustable school furniture using Professional Inventor Software.

The students’ population was grouped using the 5th, 25th, 50th, 75th and 95th percentiles. The 5th percentile with 36.26 cm for popliteal height was used as the lowest adjustable point while the 95th percentile with 46.85 cm which is the upper limit was used for the highest adjustable point for seat height. The 5th percentile for desk height was 54.16 cm used for the lowest point while the 95th was 67.60 cm which was used for the highest point. The 5th for the underneath desk height was 51.01 cm used for the lowest point while 95th was 62.50 cm used for the highest point.

Table 7. Design Parameters furniture in Ondo State

Variable	Lower limit	25 th	50 th	75 th	Upper limit
	5 th Percentile	Percentile	Percentile	Percentile	95 th Percentile
SH or SKH	36.26	39.41	41.2	43.22	46.85
DH or SHE+PH	54.16	58.25	60.2	62.93	67.6
UDH or SKH	51.01	55.53	58.11	60	62.5
ERH	16.39	18.39	19	20	21.25
SSH	20.22	24.22	26.22	28.05	32.15

Inventor Professional was used to carry out the design of adjustable furniture (Figures 7). Students carry their desks and chairs around in the course of activities like sport, end of the year parties etc. which may reduce the life span of the furniture and lead to mix up especially when rigid furniture is used for each of the class levels. In order to ensure that students can use any available furniture, an adjustable device was incorporated into the design to suit any class level as occasion demands (Pheasant, 1998; Chung, 2007).

4 Conclusion

Arising from the results of the study the following conclusions were reached;

- The level of mismatch between the secondary school students and their furniture interface was due to the rigid construction of furniture of the same size supplied to schools without considering variations among the users.

- Selection of appropriate furniture for a large group of people is both impracticable and difficult thereby anthropometric measurements which are necessary tools to determine the range of body size in the population are required to ensure furniture fitness.
- The provision of adjustable furniture would be preferable to accommodate the population ensuring the safety and physical well-being of the students.
- Therefore, it is essential that secondary schools should be supplied with properly designed furniture to meet the student's body size.

Author Contributions

Jacob Mayowa Owoyemi supervised the project from creating the idea, and monitoring anthropometric measurements up to the final write-up. **Dauda Aliyu** conduct the fieldwork, laboratory/workshop and preliminary write-up while **Adetunji Akinnuoye** carried out data analysis, drawing compilations/editorial work.

Funding statement

No financial support was received for the study.

Conflict of interest statement

The author declare no conflict of interest

References

- Aaras, A., Fostervold, K.I., Ro, O., Thoresen, M., Larsen, S. (1997), Postural load during VDU work: a comparison between various work postures, *Ergonomics*, 40(11), 1255-1268. DOI: 10.1080/001401397187496
- Aagaard-Hansen, J., Saval, P., Steinø, P., Storr-Paulsen, A. (1991), Back health of students. *Nordisk Medicin*, 106(3), 80-81.
- Agha S.R. (2010), School furniture match to students' anthropometry in Gaza strip. *Ergonomics*, 53, 344-354.
- Bendix, T., Winkel, J., Jessen, F. (1985). Comparison of office chairs with fixed forwards or backwards inclining, or tiltable seats. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 54, 378-385.
- Bhat, A. K., Jindal, R., Acharya, A. M. (2021), The influence of ethnic differences based on upper limb anthropometry on grip and pinch strength, *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 21, 101504, DOI:10.1016/j.jcot.2021.101504
- BIFMA, (2003), International, Ergonomics Guidelines for VDT (Video Display Terminal) Furniture Used in Office Workspaces, Document G1-2002.
- Branton P. (1969), Behavior, body dynamics and discomfort, *Ergonomics*, 12(2),316 -327
- Bridger, R. S. (1995), Introduction to ergonomics, New York: Mc Graw-Hill
- Castellucci, H. I., Gonclaves, M. A., Arezes, P. M. (2010), Ergonomics design of school furniture: Challenge for the Portuguese school. Proceedings of Applied Human Factors and Ergonomics Conference, Miami, Florida, USA.
- Chung, J. W., Wong, T. K. (2007), Anthropometric evaluation for primary school furniture design, *Ergonomics*, 50(3), 323-334.

- Evans, O., Collins, B., Stewart, A. (1992). Is school furniture responsible for student seating discomfort? In Proceedings of the 28th Annual Conference of the Ergonomics Society of Australia, Melbourne.
- Gouvali, M. K., Boudolos, M. K. (2006), Match between school furniture dimensions and children's anthropometry. *Applied Ergonomics*. 37, 765-773
- Knight G. Noyes J.(1999), Children's behaviour and design of school furniture, *Ergonomics*, 42(5), 747-760
- Motmans, R. R. E. E. (2006), Evaluation of three types of school furniture according to EN 1729. Proceedings of IEA World Congress on Ergonomics, Maastricht, The Netherlands.
- Murphy, S., Buckle, P., Stubbs, D. (2007). A cross-sectional study of self-reported back and neck pain among English schoolchildren and associated physical and psychological risk factors. *Applied Ergonomics*, 38(6), 797-804.
- Panagiotopoulou, G., Christoulas, K., Papanckolaou, A., Mandroukas, K. (2004). Classroom furniture dimensions and anthropometric measures in primary school. *Applied ergonomics*, 35(2), 121-128.
- Panero J, Zeinik M. (1979), Human dimension and interior space, New York: Watson-Guptill.
- Parcells, C., Stommel, M., Hubbard, R. P. (1999). Mismatch of classroom furniture and student body dimensions: Empirical findings and health implications. *Journal of adolescent health*, 24(4), 265-273.
- Pheasant S. (1998), Body space, Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition, Taylor & Francis. P. 3-83
- Pheasant S. T. (1996), Anthropometrics: An introduction for schools and colleges, London: British Standards Institution.
- MWP Lab (2015), Sitting-posture measurement device, Mechanical Wood Processing Lab., department of forestry and wood technology, The Federal University of Technology Akure.
- Thariq M. G. M., Munasinghe, H. P. Abeysekara, J. D. (2010), Designing chair with mounted desktop for university students: Ergonomics and Comfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40 (1), 8-18.
- Troussier, B., Davoine, P., De Gaudemaris, R., Fauconnier, J., Phelip, X. (1994). Back pain in school children. A study among 1178 pupils. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 26(3), 143-146.
- URL 1, (2023), Ergonomics for prolonged sitting, <https://www.uclahealth.org/medical-services/spine/patient-resources/ergonomics-prolonged-sitting>, Last Access 11.06.2023.
- Woodson, W. E., Tillman, B., Tillman, P. (1992). Human factors design handbook: information and guidelines for the design of systems, facilities, equipment, and products for human use, 2nd Edition. New York: McGraw-Hill, Inc. pp 239-243.



Silindirik yoğunlaştırmada sıvama makarası kullanımı; masif ağaçta (Karaçam) yoğunlaştırılma sonrası sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değişimi

Zafer Kaya¹ , Sait Dünder Sofuoğlu^{2*} 

Öz

Ağaç malzemeler birçok olumlu özelliğe sahip olmasından dolayı geçmişten günümüze her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özelliklerini iyileştirmek, kullanım alanlarının yaygınlaşmasını ve doğal olan bu malzemenin daha fazla tercih edilmesini sağlamaktadır. Ağaç malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalardan birisi de yoğunlaştırma işlemidir. Yoğunlaştırma işlemleri, ağaç malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin yoğunlaştırılması çeşitli metotlar kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada silindir şeklindeki tornalanmış karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağaç türünün yoğunlaştırılması bu amaç için tasarlanarak imalatı yapılmış olan sıvama makarası kullanılarak torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. 0.081, 0.121 ve 0.202 mm/devir ilerleme miktarlarında, 200 ve 400 devir/dakika devir sayılarında, 0.5 ve 1 mm yüzey yoğunlaştırma derinliklerinde yoğunlaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yoğunlaştırma yapılmamış ve çeşitli yoğunlaştırma koşullarında yüzeyleri yoğunlaştırılmış silindir şeklindeki masif ağaç malzemelerde sertlik, parlaklık ve pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm yoğunlaştırma koşullarında sertlik ve parlaklık değerlerinde artış, pürüzlülük değerlerinde (R_z) düşme meydana gelmiştir. En yüksek sertlik ve parlaklık değerleri 1 mm yoğunlaştırma derinliği, 200 devir/dakika devir sayısı ve 0.121 mm/devir ilerleme miktarında elde edilmiştir. En düşük R_z değeri 1 mm yoğunlaştırma derinliği, 400 devir/dakika devir sayısı ve 0.081 mm/devir ilerleme miktarında elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Parlaklık, pürüzlülük, sertlik, yoğunlaştırma, sıvama makarası

Use of spinning roller in cylindrical densification; change in hardness, brightness, and surface roughness in solid wood (Larch) after densification

Abstract

Wooden materials have been widely used in all areas from the past to the present, as they have many positive properties. Improving its properties enables the usage areas to become widespread and this natural material to be preferred more. One of the studies carried out in order to improve the properties of wood material is the densification process. Densification processes are used to improve the physical and mechanical properties of wood material. Densification of wood material can be carried out using various methods. In this study, the intensification of the cylindrical turned larch (*Pinus nigra* Arnold) tree species was carried out on a lathe using a spinning roller designed and manufactured for this purpose. Densification processes were carried out at 0.081, 0.121 and 0.202 mm/rev feed rates, at 200 and 400 rev/min, at 0.5 and 1 mm densification depths. Hardness, gloss and roughness measurements were carried out on solid wood materials in the form of cylinders, which were not densified and their surfaces were densified under various densification conditions. An increase in hardness and brightness values and a decrease in roughness values (R_a and R_z) occurred under all densification conditions. The highest hardness and gloss values were obtained at 1 mm densification depth, 200 rpm rotational speed and 0.121 mm/revolution feed rate. The lowest R_z value was obtained at 1 mm densification depth, 400 rpm rotational speed and 0.081 mm/revolution feed rate.

Keywords: Brightness, roughness, hardness, densification, spinning roller

Makale tarihçesi: Geliş:06.03.2023, Kabul:16.04.2023, Yayınlanma:30.06.2023. *e-posta: sdundar.sofuoğlu@dpu.edu.tr.

¹Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Bölümü, Kütahya/Türkiye

²Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fak., Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Simav, Kütahya/Türkiye.

Atıf: Kaya, Z., Sofuoğlu, S.D., (2023), Silindirik yoğunlaştırmada sıvama makarası kullanımı; masif ağaçta (Karaçam) yoğunlaştırılma sonrası sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değişimi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (1), 14-25, DOI: 10.33725/mamad.1260723

1 Giriş

Yapılan araştırmalar neticesinde ahşap malzemelerin olumsuz özelliklerini ortadan kaldırmak amacıyla Ahşap Modifikasyon Yöntemleri bulunmuştur. Örneğin kimyasallarla ve koruyucularla empenye işlemi, ısı işlem uygulamaları ve yoğunlaştırma işlemleri en çok kullanılanlardır (Şenol ve Budakçı, 2016; Şenol, 2018).

Ağaç malzeme özelliklerinin yeterli olmadığı durumlardan bazıları; dayanıklılık, sertlik ve direnç istenilen çalışma şartları olabilmektedir. Bu durumda yoğunluğu artırılmış ağaç diğer malzemeler için bir seçenek haline gelebilir (Homan ve ark., 2000; Blomberg ve Persson, 2004; Kutnar ve Šernek, 2007; Laine ve ark., 2013; Laine, 2014; Luan ve ark. 2022; Pelit ve ark., 2014). Yoğunluk ağaç malzemede mekanik özelliği etkileyen bir faktördür (Blomberg ve Persson, 2004; Jakob ve ark, 2022; Kamke, 2006; Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit ve ark., 2014; Rautkari, 2012; Luan ve ark., 2023). Yoğunlaştırma işlemi ile ağaç malzemede sertlik ve mekanik özelliklerde artma meydana geldiği için bu alanda pek çok denemeler ve araştırmalar bulunmaktadır (Blomberg ve Persson, 2004; Tosun ve Sofuoğlu, 2021; Sofuoğlu, 2022; Sofuoğlu ve ark., 2022; Budakçı ve ark., 2022). Düşük yoğunluklu ağaç malzemelerde çeşitli yoğunluk artırma yöntemleri kullanılarak yoğunluk artışı sağlanabilmektedir (Blomberg ve ark., 2005; Kutnar ve Šernek, 2007; Pelit ve ark., 2014).

Çevre bilincinin arttığı son yıllarda çevreye dost kimyasal içermeyen yoğunlaştırma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (Korkut ve Kocaefe, 2009; Şenol ve Budakçı, 2016). Bu yöntemlere örnek olarak, Termo-Mekanik olarak bilinen, açık bir sistemde sıcaklık ve basınç kullanılarak yoğunlaştırma ve Termo-Hidro-Mekanik olarak isimlendirilen kapalı bir sistemde sıcaklık, basınç ve buhar kullanılarak yoğunlaştırma gösterilebilir. Bunlara ek olarak Viskoelastik-Termal-Sıkıştırma ismiyle anılan buhar ile ön yumuşatma sonrası sıcaklık ve basınç ile yapılan yoğunlaştırma ve Termo-Vibro-Mekanik ismiyle anılan sıcaklık, basınç ve titreşim kullanılarak yapılan yoğunlaştırma gibi yöntemler de vardır (Şenol ve Budakçı, 2016; Şenol, 2018).

Tornalanmış, silindir şeklindeki masif ağaç malzemeler inşaat, mobilya, alet sapları vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle düşük yoğunluktaki ağaç malzemeler kullanıldığında yoğunlaştırma ile fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileştirmeler meydana gelebilecek çeşitli üst yüzey işlemleri uygulandığında pürüzlülük, parlaklık ve renk vb. özelliklerde kalitede yükselmeler meydana gelebilecektir. Literatür incelendiğinde ağaç malzemenin özelliklerini iyileştiren yoğunlaştırma işleminin, preslerde prizmatik parçalara uygulandığı ancak silindir şeklindeki masif ağaç malzemelerin yoğunlaştırılması ile ilgili çalışmalara rastlanılmamıştır.

Bu amaç doğrultusunda; yapılan çalışma ile ülkemizde doğal olarak yetişen ve ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde sıklıkla kullanılan karaçam ağaç türünün çeşitli koşullarda yüzey yoğunlaştırılması yapılmıştır. Yoğunlaştırıldıktan sonra kullanım yerleri için önemli olan yüksek sertlik ve parlaklık ve düşük pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi ile silindirik malzemelerde en uygun yoğunlaştırma koşullarının elde edilmesi amaçlanmıştır.

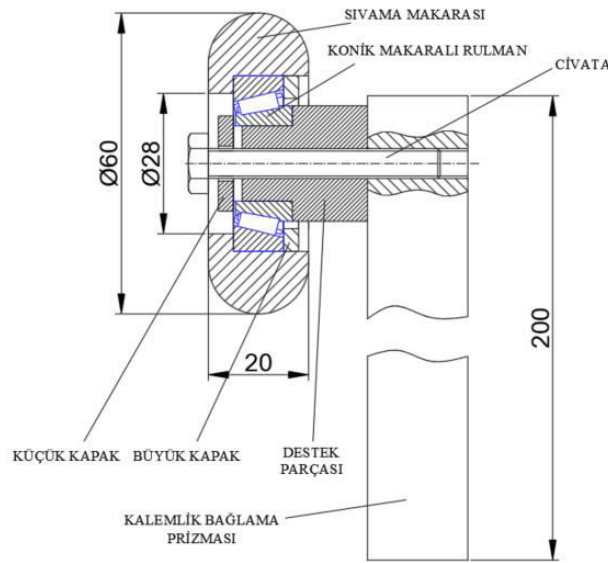
2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Çalışmada, Türkiye’de doğal olarak yetişen ve geniş kullanım alanı bulunan, iğne yapraklı ağaç türlerinden karaçam (*Pinus nigra* Arnold) deney materyali olarak kullanılmıştır. Numuneler tomruk halinde Kütahya’nın Emet ilçesinde yetişen (yaş= 40, tomruk çapı:70 cm) olan ağaç türünün diri odun kısmından elde edilmiştir. Tomruktan kereste haline getirildikten sonra doğal kurutmaya bırakılan numuneler, sonrasında iklimlendirme dolabında %12 rutubet

derecesine ulaşması için % 65 ± 5 bağıl nemde 20 ± 2 °C’de ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilmiştir.

Yoğunlaştırma çalışmaları için tasarlanarak imalatı yapılmış sıvama makarasının baskı işlevini yerine getiren ana makara elemanı DIN EN AISI 1.0402 C22 – 1020 standardında malzemeden üretilmiş ve ısıl işleme tabi tutularak sertleştirilmiştir. Makara, yoğunlaştırılacak ağaç malzemenin tornalama eksenine dik ve yoğunlaştırma eksenini yönündeki oluşacak kuvvetleri karşılayabilecek özelliklerde 302/30202-A kod numarasıyla standartlaştırılmış konik makaralı rulman kullanılarak yataklanmıştır. Üretilen diğer montaj parçaları ve torna tezgahının kalemlik tarafına bağlanan prizmatik parça ise yine DIN EN AISI 1.0402 C22 – 1020 standardında sertleştirilmemiş çelik malzemeler kullanılarak üretilmiştir. Üretilen parçalar birleştirilerek bir montaj seti halinde yoğunlaştırma işlemleri için kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Sıvama makarası montaj seti

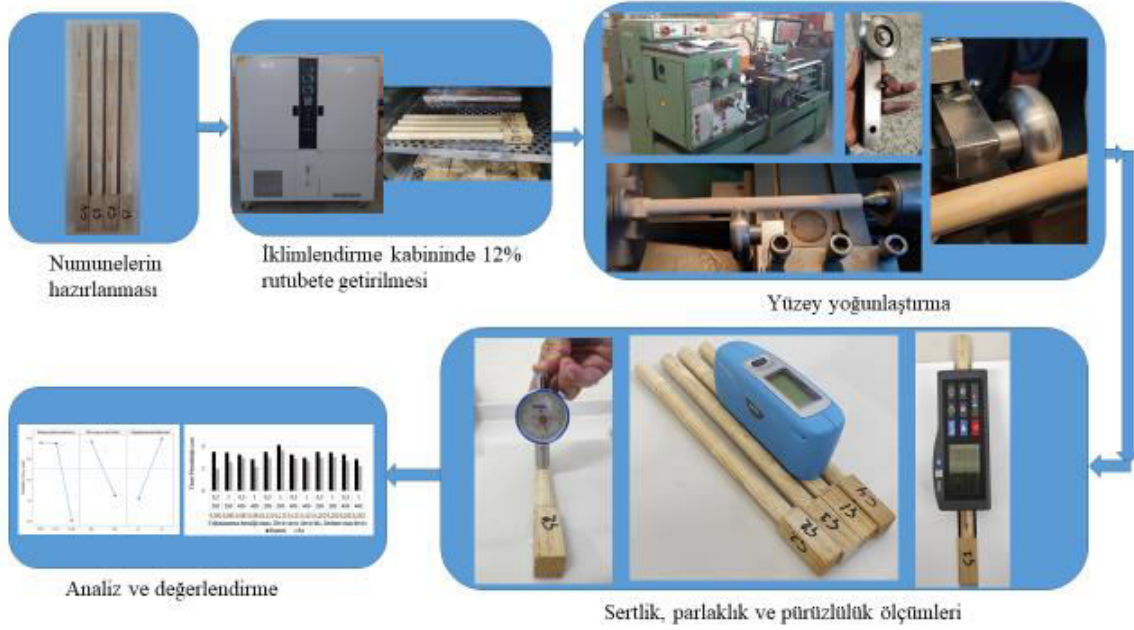
Yoğunlaştırma işlemleri Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Atölyesi’nde bulunan TOS GALANTA SUIL 40A torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir.

2.2 Metot

Deney numuneleri, universal torna tezgahında işlemeye uygun hale getirmek ve klimatize dolabında bekletilebilmesi için ilk olarak 2×2×30 cm ölçülerinde kesilmiştir. Daha sonra numuneler torna tezgahında ortalama 1.9 cm çapta silindir hale getirilmiştir. Dış çap tornalama işleminden sonra bir kanal tornalama kalemi ile her bir deney numunesi üzerinde 5 bölümden oluşan kademelendirme yapılmıştır. Bu kademelendirmelerde parçanın uç ve dip kısımlarında birer kontrol bölgesi oluşturulmuş diğer üç kademe ise deney parametrelerinin gerçekleştirileceği bölümler olarak ayarlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri 20 ± 2°C sıcaklık ve %65 ± 5 nisbi rutubette klimatize dolabında ağırlığı sabit olana kadar 15 gün boyunca tekrardan bekletilerek yoğunlaştırma öncesi rutubet miktarının %12 ± 2’ ye gelmesi sağlanmıştır. Deneylerde yoğunlaştırma parametreleri ve düzeyleri Çizelge 1’deki gibi belirlenmiş ve deneyler yapılmıştır. Çalışmanın deneysel yöntem akış şeması Şekil 2’de verilmektedir.

Çizelge 1. Yoğunlaştırma işleminde işleme parametreleri, düzeyleri ve değerleri

Parametreler	Düzye 1	Düzye 2	Düzye 3
İlerleme miktarı (mm/devir)	0.081	0.121	0.202
Devir sayısı (devir/dakika)	200	400	
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	0.5	1	



Şekil 2. Deneysel yöntem akış şeması

Numunelerin yüzey sertliklerinin ölçümünde Tronic marka Shore D sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Pandüllü sertlik ölçme cihazı ve Durometer ile yapılan sertlik ölçümlerinde yaklaşık sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir ve bu iki metodun ahşap malzemelerin sertlik ölçümlerinde kullanılmaları tavsiye edilebilir (Sofuoğlu ve Yeşil, 2016). Bu yöntemde belli kuvvet ile ahşap numuneye batırılan iğnenin derinliği ölçülerek ahşabın göreceli sertlik derecesinin tayini yapılmaktadır. Ucun gerisinde bulunan yay malzemenin sertliğine göre gerilmekte ve yayın gerilmesine bağlı olarak ahşabın sertliği belirlenebilmektedir.

Çalışmada 60° de Glossmetre kullanılarak parlaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 60°'de hem mat hem parlak yüzeylerde ölçüm yapıldığında çok fazla hata yapılmamış sayılır (Özen ve Sönmez, 1990). Glossmetrede pencerenin birinden yüzeye ışık gönderilir, diğer alıcı penceresinden yüzeyden yansıyan ışık alınarak kaydedilir. TS 4318 EN ISO 2813'de belirtilen esaslara göre ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada BYK Gardner marka Micro-TRI-gloss μ (Glossmetre) parlaklık ölçme cihazı kullanılmıştır.

Yüzey pürüzlülük ölçümleri her bir numunede liflere paralel yönde 3 farklı noktadan elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük parametreleri (R_a ve on nokta pürüzlülüğü ortalama değeri R_z) ISO 468 (ISO 1982), ISO 3274 (ISO 2017) ve ISO 4287 (ISO 2015)' e göre belirlenmiştir. Ölçümlerin gerçekleştirilmesinde Time TR200 (Time Group Inc., China) marka ve model cihaz ile iğne taramalı yöntem kullanılmıştır. Örnekleme uzunluğu 0.25 mm olarak alınmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri $\pm 0.01 \mu\text{m}$ hassasiyetle ölçülmüştür. Prob hızı 10 mm/dk, ölçüm iğnesinin çapı 4 μm ve iğne ucu 90° olarak seçilmiştir. Ölçüm ortamının 18-22

°C civarında ve titreşimsiz olmasına özen gösterilmiştir. Alet, ölçümden önce kalibre edilmiş ve kalibrasyon 10 ölçümde bir kontrol edilmiştir.

3 Bulgular ve Tartışma

Kontrol ve farklı ilerleme miktarı, devir sayısı ve yoğunlaştırma derinliği koşullarında sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Bu gruplara ait verilere ANOVA yapılmıştır. ANOVA sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. Kontrol ve farklı ilerleme miktarı, devir sayısı ve yoğunlaştırma derinliği koşullarında sertlik, parlaklık ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

İlerleme miktarı (mm/devir)	Devir sayısı (devir/dak.)	Yoğunlaştırma derinliği (mm)	Sertlik (Shore D)		Parlaklık (GU)	
			Kontrol	Yoğunlaştırılmış	Kontrol	Yoğunlaştırılmış
0.081	200	0.5	54.83	58.63	2.33	3.57
0.081	200	1	51.25	61.00	2.68	3.67
0.081	400	0.5	50.92	58.43	2.50	2.93
0.081	400	1	48.74	57.88	3.00	3.34
0.121	200	0.5	54.83	61.57	2.33	2.97
0.121	200	1	51.25	68.57	2.68	3.97
0.121	400	0.5	50.92	54.63	2.50	3.23
0.121	400	1	48.74	58.00	3.00	3.33
0.202	200	0.5	54.83	58.89	2.33	2.97
0.202	200	1	51.25	64.75	2.68	3.13
0.202	400	0.5	50.92	55.38	2.50	2.98
0.202	400	1	48.74	58.75	2.85	2.93

İlerleme miktarı (mm/devir)	Devir sayısı (devir/dak.)	Yoğunlaştırma derinliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)			
			Kontrol		Yoğunlaştırılmış	
			Ra	Rz	Ra	Rz
0.081	200	0.5	1.760	7.708	1.000	4.850
0.081	200	1	1.729	7.528	1.300	5.355
0.081	400	0.5	1.650	7.196	1.487	6.750
0.081	400	1	1.427	6.697	1.073	4.805
0.121	200	0.5	1.760	7.708	1.500	6.400
0.121	200	1	2.070	7.528	1.833	7.333
0.121	400	0.5	1.650	7.196	1.462	5.690
0.121	400	1	1.489	6.697	1.325	5.283
0.202	200	0.5	1.760	7.708	1.507	6.490
0.202	200	1	1.729	7.528	1.530	7.066
0.202	400	0.5	1.650	7.196	1.333	6.051
0.202	400	1	1.427	6.697	1.112	5.055

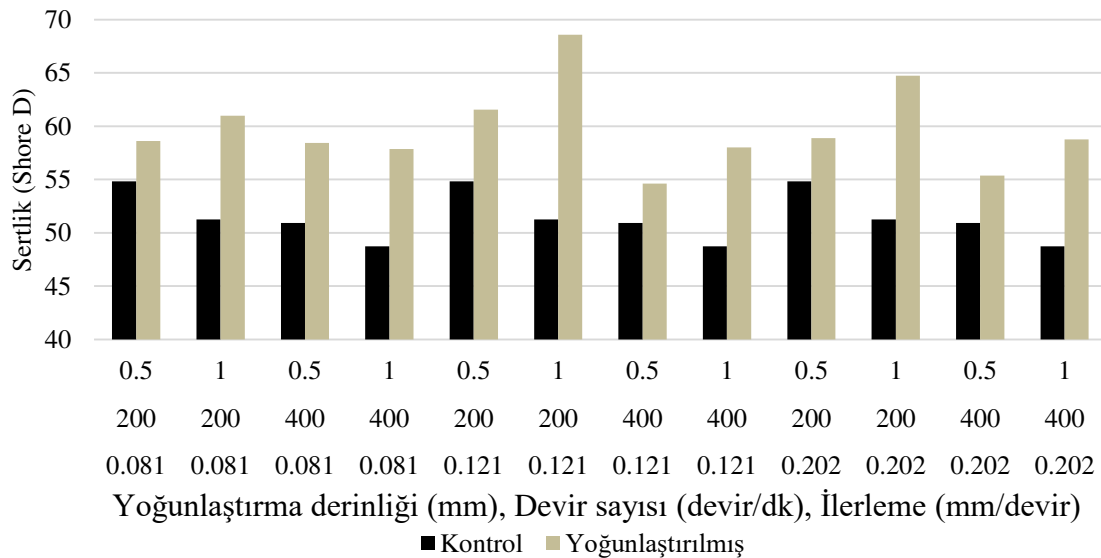
Varyans analizi sonuçlarına göre sertlik açısından %95 güven düzeyinde devir sayısı ($P=0.010<0.05$) ve yoğunlaştırma derinliğinin ($P=0.041<0.05$) etkisi anlamlı bulunmuştur. İlerleme miktarının istatistiksel anlamda etkisi bulunmamaktadır. Parlaklık ve yüzey pürüzlülük parametreleri için %95 güven düzeyinde tüm yoğunlaştırma faktörleri ($P>0.05$) anlamlı gözükmemektedir.

Çizelge 3. Yoğunlaştırma işlemi sonrası elde edilen verilerin ANOVA sonuçları

Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değeri
Deney sonuçları (Sertlik)					
İlerleme miktarı (mm/devir)	2	6.250	3.125	0.51	0.622
Devir sayısı (devir/dakika)	1	76.710	76.710	12.47	0.010
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	1	38.235	38.235	6.22	0.041
Hata	7	43.058	6.151		
Toplam	11		164.252		
Deney sonuçları (Parlaklık)					
İlerleme miktarı (mm/devir)	2	0.3725	0.18626	2.93	0.119
Devir sayısı (devir/dakika)	1	0.1976	0.19763	3.11	0.121
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	1	0.2465	0.24653	3.88	0.089
Hata	7	0.4443	0.06347		
Toplam	11		1.2610		
Deney sonuçları (Ra)					
İlerleme miktarı (mm/devir)	2	0.19846	0.099230	2.08	0.195
Devir sayısı (devir/dakika)	1	0.06424	0.064240	1.35	0.284
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	1	0.00112	0.001121	0.02	0.882
Hata	7	0.33389	0.047699		
Toplam	11		0.597718		
Deney sonuçları (Rz)					
İlerleme miktarı (mm/devir)	2	1.4252	0.7126	0.88	0.456
Devir sayısı (devir/dakika)	1	1.2416	1.2416	1.53	0.256
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	1	0.1483	0.1483	0.18	0.682
Hata	7	5.6697	0.8100		
Toplam	11		8.4848		

Sertlik

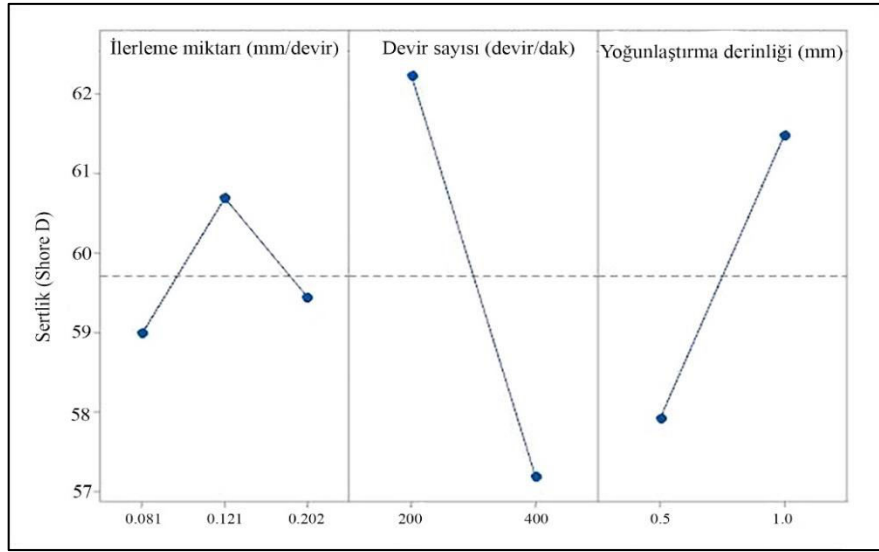
Kontrol ve farklı ilerleme miktarı, devir sayısı ve yoğunlaştırma derinliği koşullarında sertlik sonuçları Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Kontrol ve deney koşullarında sertlik değerleri

Şekil 3'e göre tüm yoğunlaştırma koşullarında yoğunlaştırma ile sertlik değerlerinde artış meydana gelmektedir. En yüksek sertlik değeri 1 mm yoğunlaştırma derinliği, 200 devir/dakika devir sayısı ve 0.121 mm/devir ilerleme miktarında elde edilmiştir.

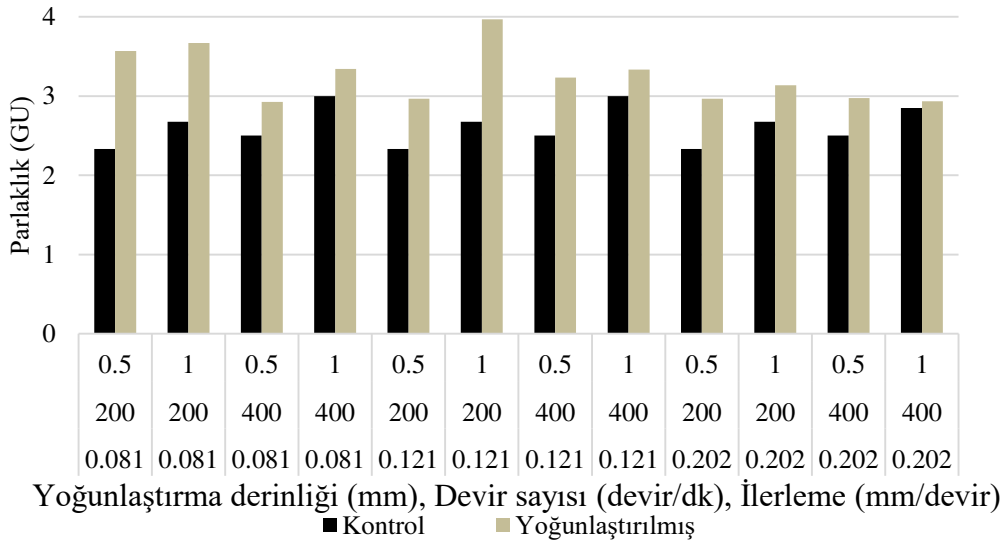
Şekil 4'te yoğunlaştırma işlemi sonrası ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ilerleme miktarı 0.081 mm/devir' den 0.121 mm/devir' e artırıldığında sertlik miktarında artma, ancak 0.202 değerine çıkarıldığında azalma meydana gelmiştir. Düşük devir sayılarında ve yüksek yoğunlaştırma miktarında yüzey sertliği daha yüksek elde edilmiştir. Literatüre göre masif ağaç malzemelerde yoğunlaştırma işlemleri sonrası sertlik değerlerinde artış meydana gelmektedir (Rautkari ve ark. 2009; Budakçı ve ark., 2016; Şenol ve Budakçı, 2016; Laskowska, 2017; Sofuoğlu, 2022).



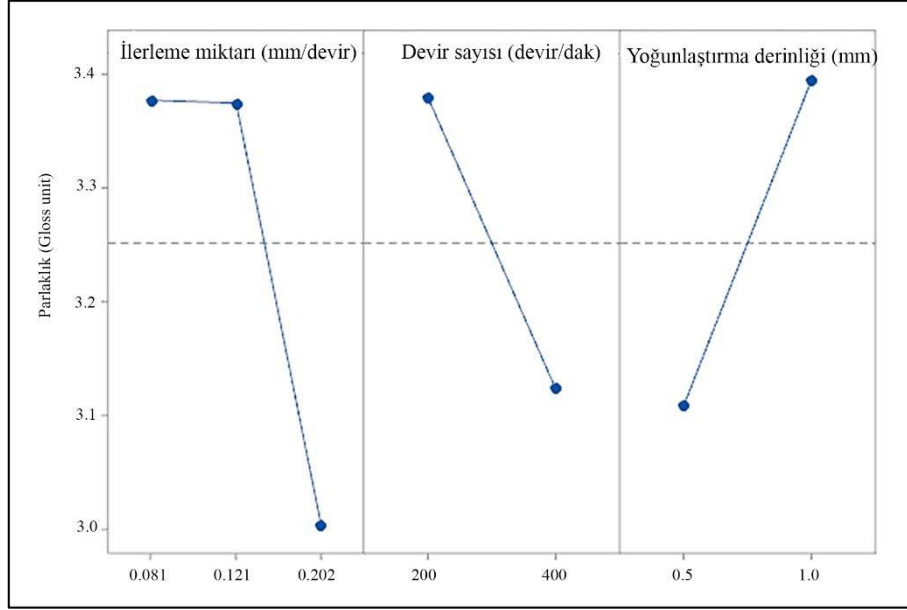
Şekil 4. Yoğunlaştırma işlemi sonrası sertlik sonuçları ana etki grafiği

Parlaklık

Kontrol ve farklı ilerleme miktarı, devir sayısı ve yoğunlaştırma derinliği koşullarında 60° parlaklık sonuçları Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5'e göre tüm yoğunlaştırma koşullarında yoğunlaştırma ile parlaklık değerlerinde artış meydana gelmektedir.



Şekil 5. Kontrol ve deney koşullarında parlaklık değerleri

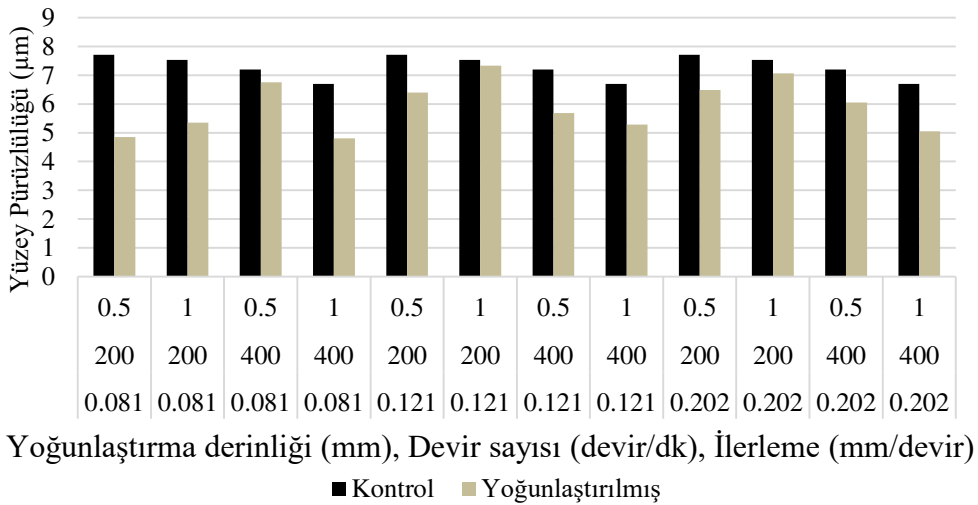


Şekil 6. Yoğunlaştırma işlemi sonrası parlaklık sonuçları ana etki grafiği

Şekil 6’da yoğunlaştırma işlemi sonrası parlaklık için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ilerleme miktarı 0.081 mm/devir’ den 0.121 mm/devir’ e arttırıldığında parlaklık değerinde fazla bir değişme meydana gelmemiş, ancak 0.202 değerine çıkarıldığında ciddi bir azalma meydana gelmiştir. Düşük devir sayılarında ve yüksek yoğunlaştırma miktarında parlaklık değeri daha yüksek elde edilmiştir.

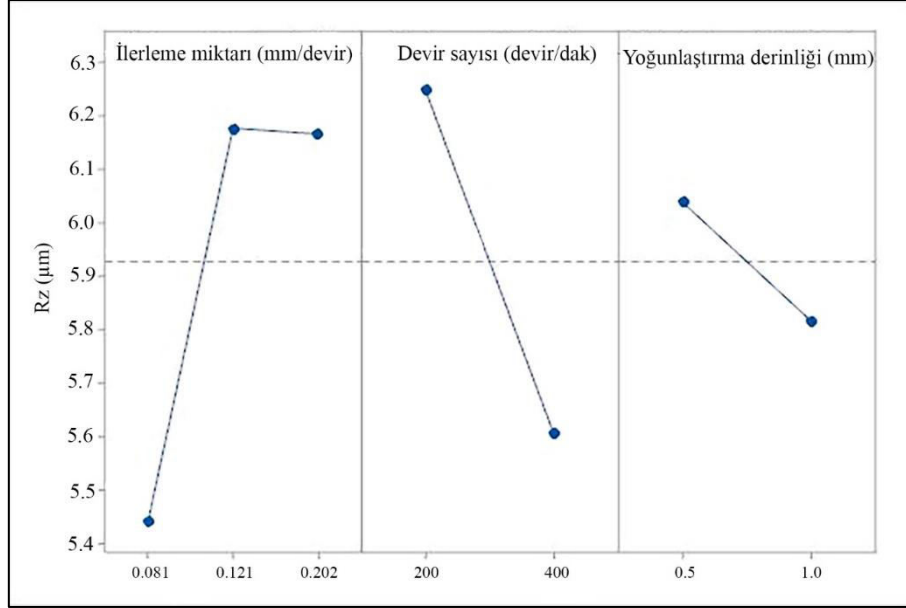
Yüzey pürüzlülüğü

Aynı deney koşullarında, yoğunlaştırma işleminin sonucunda R_a ve R_z pürüzlülük değerleri birbirleriyle benzer eğilim göstermektedir. Çalışma içerisinde daha fazla alan kaplamaması için yalnızca on nokta pürüzlülüğü ortalama değeri olan R_z karşılaştırma grafikleri bu başlık altında değerlendirilmiştir. Şekil 7’de kontrol ve yoğunlaştırma sonrasındaki R_z grafikleri görülmektedir. Kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında tüm yoğunlaştırma koşullarında pürüzlülük değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En düşük R_z değeri 1 mm yoğunlaştırma derinliğinde, 400 devir/dakika devir sayısında ve 0.081 mm/devir ilerlemede meydana gelmiştir.



Şekil 7. Kontrol ve deney koşullarında R_z pürüzlülük değerleri

Şekil 8’de R_z için ana etki grafikleri görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ilerleme miktarı 0.081 mm/devir’ den 0.121 mm/devir’ e artırıldığında R_z için artma meydana gelmiştir. Yüksek devir sayısı (400 devir/dakika) ve yoğunlaştırma miktarında (1 mm) daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Yoğunluğu yüksek masif ağaç ve ağaç kökenli malzemelerde daha düzgün yüzeyler elde edildiği literatürde de belirtilmiştir (Kilic ve ark., 2006; Malkoçoğlu, 2007; Malkoçoğlu ve Özdemir, 2006; Tosun ve Sofuoğlu, 2023; Zhong ve ark., 2013). Yoğunlaştırılan ağaç malzemelerde yüzey pürüzlülük değerlerinde düşme meydana gelmektedir (Pelit ve Arısüt, 2022; Sofuoğlu ve ark., 2022). Çalışmada elde edilen verilerin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Yoğunlaştırma işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü (R_z) sonuçları ana etki grafiği

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada karaçam deney materyali olarak kullanılmıştır. Torna tezgâhında çeşitli yoğunlaştırma parametreleri değiştirilerek yüzeyler yoğunlaştırılmış ve elde edilen yüzeyler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Tüm yoğunlaştırma koşullarında yoğunlaştırma ile sertlik, parlaklık değerlerinde artış, pürüzlülük (R_z) değerinde düşme meydana gelmiştir.
- En yüksek sertlik ve parlaklık değeri benzer şekilde 1 mm yoğunlaştırma derinliği, 200 devir/dakika devir sayısı ve 0.121 mm/devir ilerleme miktarında elde edilmiştir.
- En düşük R_z değeri 1 mm yoğunlaştırma derinliğinde, 400 devir/dakika devir sayısında ve 0.081 mm/devir ilerlemede meydana gelmiştir.
- Sıvama makarası kullanılarak silindirik masif ağaç malzemenin yoğunlaştırılmasında yüzey sertliğinde ve parlaklıkta artış meydana gelmesi ve yüzey pürüzlülüğünde iyileşme/düşme elde edilmesi metodun yüzey yoğunlaştırmada kullanılabileceğini göstermektedir.
- Sıvama makarası kullanılarak silindirik masif ağaç malzemenin yüzeyinin yoğunlaştırılmasında, optimum noktalar ve sonuçlar değerlendirilerek en uygun parametreler kullanılabilir.
- Yoğunlaştırma işleminin olumsuz yönleri (anlık geri esneme, rutubet alımında ilk haline dönme isteği vb.) göz önüne alınarak literatür desteğiyle metod geliştirilebilir.

Yazar Katkıları

Zafer Kaya: Çalışma konusunun belirlenmesi, deneylerin yapılması, verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi, makalenin yazılması. **Sait Dündar Sofuoğlu:** Çalışma konusunun belirlenmesi, Deney tasarımının yapılması, verilerin analiz edilmesi, makalenin yazılması.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar





- Blomberg, J., Persson, B., (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.
- Blomberg, J., Persson, B., Blomberg, A., (2005), Effects of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties with density, *Wood Science and Technology*, 39(5), 339–350.
- Budakçı, M., Pelit, H., Sönmez, A., Korkmaz, M., (2016), The effects of densification and heat post-treatment on hardness and morphological properties of wood materials, *BioResources*, 11(3), 7822–7838. DOI:10.15376/biores.11.3.7822-7838
- Budakçı, M., Şenol, S., Korkmaz, M., (2022), Thermo-Vibro-Mechanic® (TVM) wood densification method: Mechanical properties, *BioResources* 17(1), 1606-1626. DOI: 10.15376/biores.17.1.1606-1626.
- Homan, W., Tjeerdsma, B., Beckers, E., Jorissen, A., (2000), Structural and other properties of modified wood, *World Conference on Timber Engineering*, 5.
- ISO 468 (2009), Surface roughness-parameters, their values and general rules for specifying requirements, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 3274 (2005), Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: Profile method-Nominal characteristics of contact (stylus) instruments, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 4287 (1997), Geometrical product specifications surface texture profile method terms, definitions and surface texture parameters, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jakob, M., Czabany, I., Veigel, S., Müller, U., Gindl-Altmatter, W., (2022), Comparing the suitability of domestic spruce, beech, and poplar wood for high-strength densified wood, *European Journal of Wood and Wood Product*, 80, 859–876, DOI: 10.1007/s00107-022-01828-0
- Kamke, F. A., (2006), Densified radiata pine for structural composites, *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 8(2), 83–92.
- Kilic, M., Hiziroglu, S. and Burdurlu, E. (2006), Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment*, 41(8), 1074–1078. DOI:10.1016/j.buildenv.2005.05.008

- Korkut, S., Kocafe, D., (2009), Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11–34.
- Kutnar, A., Šernek, M., (2007), Densification of wood. *Gozdarstva in Lesarstva*, 82, 53–62.
- Laine, K., Antikainen, T., Rautkari, L., Hughes, M., (2013), Analysing density profile characteristics of surface densified solid wood using computational approach. *International Wood Products Journal*, 4(3), 144–149. DOI:10.1179/2042645313Y.0000000031
- Laine, K., (2014), Improving the properties of wood by surface densification. In *Aalto University publication series Doctoral Dissertations 133/2014*, 53(9), Aalto University publication series.
- Laskowska, A., (2017), The influence of process parameters on the density profile and hardness of surface-densified birch wood (*Betula pendula* Roth). *BioResources*, 12(3), 6011–6023. DOI:10.15376/biores.12.3.6011-6023
- Luan, Y., Liu, L., Ma, Y., Yang, Y., Jiang, M., Semple, K., Dai, C., Fei, B., Fang, C., (2023), An integrated hydrothermal process of bamboo flattening, densification and drying: Mechanical properties and strengthening mechanisms. *Materials & Design*, 226, 111610, 1-11, DOI:10.1016/j.matdes.2023.111610
- Luan, Y., Fang, C.H., Ma, Y.F., Fei, B.H., (2022), Wood mechanical densification: a review on processing, *Materials and Manufacturing Processes*, 37(4), 359-371, DOI: 10.1080/10426914.2021.2016816
- Malkocoglu, A. (2007), Machining properties and surface roughness of various wood species planed in different conditions. *Building and Environment*, 42(7), 2562–2567. doi:10.1016/j.buildenv.2006.08.028
- Malkocoglu, A., Özdemir, T., (2006), The machining properties of some hardwoods and softwoods naturally grown in Eastern Black Sea Region of Turkey, *Journal of Materials Processing Technology*, 173(3), 315–320, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2005.09.031
- Özen, R. Sönmez A., (1990), Ahşap yüzeyler için hazırlanan verniklerin fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilere karşı dayanaklıkları, *Doğa Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, 1428-1436
- Pelit, H., Sönmez, A., Budakçı, M., (2014), Effects of ThermoWood® process combined with thermo-mechanical densification on some physical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), *BioResources*, 9(3), 4552-4567, DOI:10.15376/biores.9.3.4552-4567
- Pelit, H., Arısüt, U., (2023), Roughness, wettability, and morphological properties of impregnated and densified wood materials, *BioResources* 18(1), 429-446. DOI:10.15376/biores.18.1.429-446
- Rautkari, L., (2012), *Surface modification of solid wood using different techniques*. Department of Forest Products Technology, Aalto University, PhD Thesis, Finland.
- Rautkari, Lauri, Properzi, M., Pichelin, F., Hughes, M., (2009), Surface modification of wood using friction, *Wood Science and Technology*, 43(3–4), 291–299. DOI:10.1007/s00226-008-0227-0
- Sofuoglu, S.D., (2022), Ağaç malzemedeki Termo-Mekanik yoğunlaştırmanın parlaklık ve sertliğe etkisi, *Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi*, 1(1), 15-19.

- Sofuoğlu S.D., Tosun, M., Atilgan, A., (2022), Determination of the machining characteristics of Uludağ fir (*Abies nordmanniana* Mattf.) densified by compressing, *Wood Material Science & Engineering*, DOI: 10.1080/17480272.2022.2080586
- Sofuoğlu, S.D., Yeşil, H., (2016), Ahşap sertlik değerlerinin farklı metotlar kullanılarak karşılaştırılması, in Proc. IMCOFE International Multidisciplinary Congress of Eurasia, Jul. 2016, 480-485.
- Şenol, S., (2018), Termo- Vibro - Mekanik (TVM) İşlem görmüş bazı ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, *Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*, Düzce.
- Şenol, S., Budakçı, M., (2016), Mekanik odun modifikasyon metotları, *Mugla Journal of Science and Technology*, 2(2), 53–53. DOI:10.22531/muglajsci.283619
- Tosun, M., Sofuoğlu, S.D., (2021), Ağaç malzemenin sıkıştırılarak yoğunlaştırılması konusunda yapılan çalışmalar, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4 (1), 91-102, DOI: 10.33725/mamad.911947
- Tosun, M., Sofuoğlu, S.D., (2023), Determination of processing characteristics of wood materials densified by compressing, *Maderas-Cienc Tecnol*, 25. Retrieved from <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/MCT/article/view/5821>.
- TS EN ISO 2813 (2014), Boyalar ve vernikler - Metalik olmayan boya filmlerinin 20, 60 ve 85 açılarda parlaklık tayini, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara
- Zhong, Z.W., Hiziroğlu, S., Chan, C.T.M., (2013), Measurement of the surface roughness of wood based materials used in furniture manufacture, *Measurement*, 46(4), 1482–1487. DOI:10.1016/j.measurement.2012.11.041



Investigation of adhesive bonding strength of wood added PLA materials

Duygu Karabağ¹ , Muhammet Ali Tekkanat¹ , Nergizhan Anaç^{1*} , Oğuz Koçar¹ 

Abstract

In this study, plates were produced from wood added polylactic acid (PLA) based materials using 3D printers, which is one of the additive manufacturing methods. After applying mechanical abrasion (sanding), which is one of the surface preparation methods, to the surfaces of the produced plates, the adhesive bonding process was carried out. Adhesive joints were made using the additive-free and additive formula of 3 different commercial adhesives (Araldite 2015, Loctite 9466, and PVA wood glue). In commercial adhesives, 5% hazelnut shell powder in 45 µm dimensions was added and the bonds were joined by forming an additive adhesive formula. The obtained joints were subjected to the tensile test and their mechanical properties were examined. The experiments were repeated for plates cut from Scotch pine wood (*Pinus Sylvestris* Lipsky) with the same adhesives and the values found were compared with the results of the joints made with wood added PLA. With the results obtained, the strengths of pure (plain) and filled (modified) joints were evaluated. It has been observed that Loctite 9466 adhesive provides the highest shear strength in joining wood added PLA and Scotch pine materials with adhesive. The aim of this study is to investigate the adhesion performance of PLA composites, a high-tech material, when used in the furniture and wood sector.

Keywords: Additive manufacturing, Adhesive bonding, Mechanical properties, PLA wood, Scotch pine

Odun katkılı PLA malzemelerinin yapışma dayanımlarının incelenmesi

Öz

Bu çalışmada; eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan 3B yazıcılar kullanılarak ahşap katkılı PLA esaslı malzemelerden plakalar üretilmiştir. Üretilen plakaların yüzeylerine, yüzey hazırlama yöntemlerinden biri olan mekanik aşındırma işlemi (zımparalama) uygulandıktan sonra yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapıştırma bağlantıları, 3 farklı ticari yapıştırıcının (Araldite 2015, Loctite 9466 ve PVA ahşap tutkalı) katkısız ve katkılı formülü kullanılarak yapılmıştır. Ticari yapıştırıcıların içerisine 45µm boyutlarında %5 oranında fındık kabuğu tozu katılmış ve katkılı yapıştırıcı formülü oluşturularak bağlantılar birleştirilmiştir. Elde edilen bağlantılar, çekme testine tabi tutularak mekanik özellikleri incelenmiştir. Deneyler, aynı yapıştırıcılarla Sarıçam ağacından (*Pinus Sylvestris* Lipsky) kesilmiş plakalar için tekrar edilmiş ve bulunan değerler ahşap katkılı PLA ile yapılan bağlantıların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar ile katkısız (sade) ve katkılı (modifiye edilmiş) bağlantıların dayanımları değerlendirilmiştir. Ahşap katkılı PLA ve Sarıçam malzemelerin yapıştırıcı ile birleştirilmesinde en yüksek yapışma dayanımını Loctite 9466 yapıştırıcı ile sağladığı görülmüştür. Bu çalışmanın amacı, yüksek teknoloji ürünü bir malzeme olan PLA kompozitlerin mobilya ve ahşap sektöründe kullanılması durumunda, yapışma performansının incelenmesidir.

Anahtar kelimeler: Ahşap katkılı PLA, Eklemeli imalat, Mekanik özellikler, Sarıçam, Yapıştırma işlemi

Article history: Submitted:28.05.2023, Accepted:08.06.2023, Published:30.06.2023, *e-posta: nergizhan.kavak @beun.edu.tr

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak/Türkiye

To cite: Karabağ, D., Tekkanat, M.A., Anaç, N., Koçar, O., (2023), Investigation of adhesive bonding strength of wood added PLA materials, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (1), 26-38, DOI: 10.33725/mamad.1304449

1 Introduction

Limited global resources and increasing energy and production costs have led people towards sustainable consumption. On the one hand, the desire for environmental friendly production and on the other hand, the expectation of low cost has created a need for innovative materials. As a result, the production of industrial products using composite materials, which provide high strength and lightness, is supported. Composites are categorized as metal, ceramic, and plastic composites based on the matrix material they are composed of, and they have found various applications in different industries. Composite materials are produced based on improving material properties to replace traditional materials. For example, wood-plastic composites, which belong to the group of plastic composite materials, are more resistant to moisture than solid wood due to the addition of wood flour/fiber, and they have higher mechanical strength and acoustic properties (Aysal, 2014). The use of wood-plastic materials, including patents, began in the 1960s and continues to the present day (Rowell, 2006). In addition, wood-filled PLA filaments, which are wood-plastic composites, are used as consumables in 3D printers, which are popular additive manufacturing technologies. As a result, the use of wood-plastic composites has further increased in recent years. These materials are made by combining plastic and wood in granule or powdered form at appropriate quantities and temperatures. Wood composites offer advantages such as cost-effectiveness, ease of access to raw materials, and eco-friendliness compared to pure plastic materials. Compared to wood, wood composites offer dimensional stability, a variety of shapes and color options, high strength, low maintenance and repair requirements, and the ability to be derived from recyclable materials (Rowell et al., 1993; Chen, 2009; Karakuş et al., 2014). Wood materials are the oldest building materials widely used in various products for both indoor and outdoor spaces (Raşit, 2019). In addition, wood composites can lead to significant commercial opportunities in the forest products industry. Because these waste materials (waste wood fibers, wood particles, or wood flour) are used as reinforcement materials in composite material production. A literature review reveals various research studies on the production and use of wood-plastic composites. Altuntaş and Arıkan (2022) examined the changes in the mechanical, thermal, and morphological properties of wood-plastic composite materials by adding perlite, which possesses volcanic glass properties. The experimental results showed that increased perlite content increased flexural strength, tensile strength, modulus of elasticity, and hardness values.

Bal (2022) produced wood-plastic composite sheets by adding Scotch pine wood flour in weights of 0%, 10%, 20%, 30%, and 40% with low-density polyethylene. These composite materials were subjected to various tests. It was noted that as the amount of wood flour in the composite materials increased, there was an increase in density, flexural strength, and modulus of elasticity but a decrease in elongation. In their study, Özmen et al. (2014) aimed to find an alternative to wood flour by using fibreboard waste flour as an additive in polypropylene to produce wood-plastic composites. They used fibreboard waste flour in proportions of 10% to 50%. While an increase in the additive content resulted in a decrease in tensile and impact strength, it was observed that the elastic modulus and flexural strength of the composite materials were higher compared to polyolefin-based plastic lumber. When considering the studies on this subject, it becomes apparent that there is potential for the using and production of wood-plastic composites instead of wood materials in the forest industry and furniture sector. It is known that the using of adhesives or mechanical fasteners is quite common for combining wood and wood-plastic composite materials in the furniture sector. However, it is claimed that adhesive bonding is the most effective method for connecting the

joints of furniture and other wood products, and assembly errors are generally attributed to adhesive errors (Smardzewski, 2002). The adhesive bonding process is applied to achieve a pleasing appearance, smoother stress distribution, and flat surfaces without the need for additional mechanical elements. In cases where an aesthetic appearance is desired in joints, adhesive bonding is often preferred over mechanical joining methods. The adhesive bonding process involves at least two materials being joined and an adhesive substance. Proper surface preparation of the parts to be bonded and knowing the value of the applied force on the joint area after assembly are essential for the seamless operation of these connections in their intended use. The surface preparation for adhesive bonding does not affect the strength of the bonded material but will affect the bond strength. Additionally, the adhesive, the parts to be bonded, and the process parameters will affect the quality of the bonding. Therefore, the bond strength is expected to vary depending on the selection of an adhesive suitable for the material group. While adhesives are commonly used in their pure form (without additives) in conventional applications, adding various fillers in different sizes and types to enhance the bond strength is also considered an option in academic studies (Valášek and Müller, 2016; Nemati Giv et al., 2018; Delzendehrooy et al., 2020; Gonçalves et al., 2022; Anaç et al., 2022; Anaç and Doğan, 2023). Karaman et al. (2017) examined the effects of adhesive surfaces on diagonal tensile and compressive strengths for "L" type furniture corner joints using different types of adhesives such as polyvinyl acetate (PVAc-D4), polyurethane (PU-D4), and epoxy. The highest tensile strength value was measured in the epoxy adhesive, while the lowest tensile strength value was recorded in the polyurethane adhesive.

Karaman et al. (2019) conducted a study on the tensile strength of joints made with polyurethane (PU-D4) and polyvinyl acetate (PVAc-D4) adhesives using ash (*Fraxinus excelsior* Lipsky), chestnut (*Castanea sativa* Mill.), and oak (*Quercus petraea* Lieble) timbers. The highest strength was observed in samples prepared with ash dowel and polyvinyl acetate adhesive, while the lowest strength was found in samples made with chestnut dowel and polyurethane adhesive.

Another (Perçin and Uzun, 2014) conducted a study to examine the bonding strength of PVAc-D4 adhesive in oriental beech (*Fagus orientalis* L.), oak (*Quercus petraea* L.), Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), and poplar (*Populus nigra* L.) woods after applying extended heat treatment. Esen and Özcan (2012) evaluated the bonding strength of oak (*Quercus petraea* L.) wood samples using polyurethane (PUR), phenol-formaldehyde (FF), melamine-urea-formaldehyde (MUF), and melamine-formaldehyde (MF) adhesives.

The forestry industry has various types of trees with different characteristics. Factors such as production/manufacturing location, suitability for mass production, temperature conditions, appropriate heat treatment, and cost can limit the use of wood in various applications (Söğütlü and Döngel, 2007). Nowadays, rapidly developing technology has enabled the use of new materials in furniture and decoration works (Narlıoğlu, 2021). Thanks to the production of wood plastic composite products with 3D printers, it is thought that the traditional wood production process steps will be reduced and will help to conserve raw material resources.

The aim of this study is to evaluate the bond joint strengths of with and without additives bond joints made with 3D printed wood-added PLA sheets, and without additives bond joints made with wood cut from Scotch pine (*Pinus sylvestris* Lipsky). For this purpose, the joint strengths are evaluated by using tensile test after the bonding process.

2 Material and Method

In the conducted study, wood-filled PLA (PLA Wood) and Scotch pine plates were joined using different adhesives, and their adhesive bonding performances were examined. Araldite 2015, Loctite 9466, and PVA wood glue (Adhesive durability class; D3) were used as adhesives. Additionally, for the bonding of PLA Wood plates, the adhesives were modified with hazelnut shell powder (5% by weight) to investigate the effect of organic filler. Figure 1 provides the flowchart of the experimental design. The printing of PLA Wood bonding plates is shown in Figure 1a, while the Scotch pine bonding plates are depicted in Figure 1b. After the preparation of bonding plates, PLA Wood plates were bonded with three different adhesives, both with and without additives (plain and 5% hazelnut shell powder), while Scotch pine plates were bonded without additives (Figure 1c and Figure 1d). Figure 1e and Figure 1f show the specimens after bonding. Tensile tests were conducted to evaluate the bonding strength, and shear strengths were calculated accordingly.

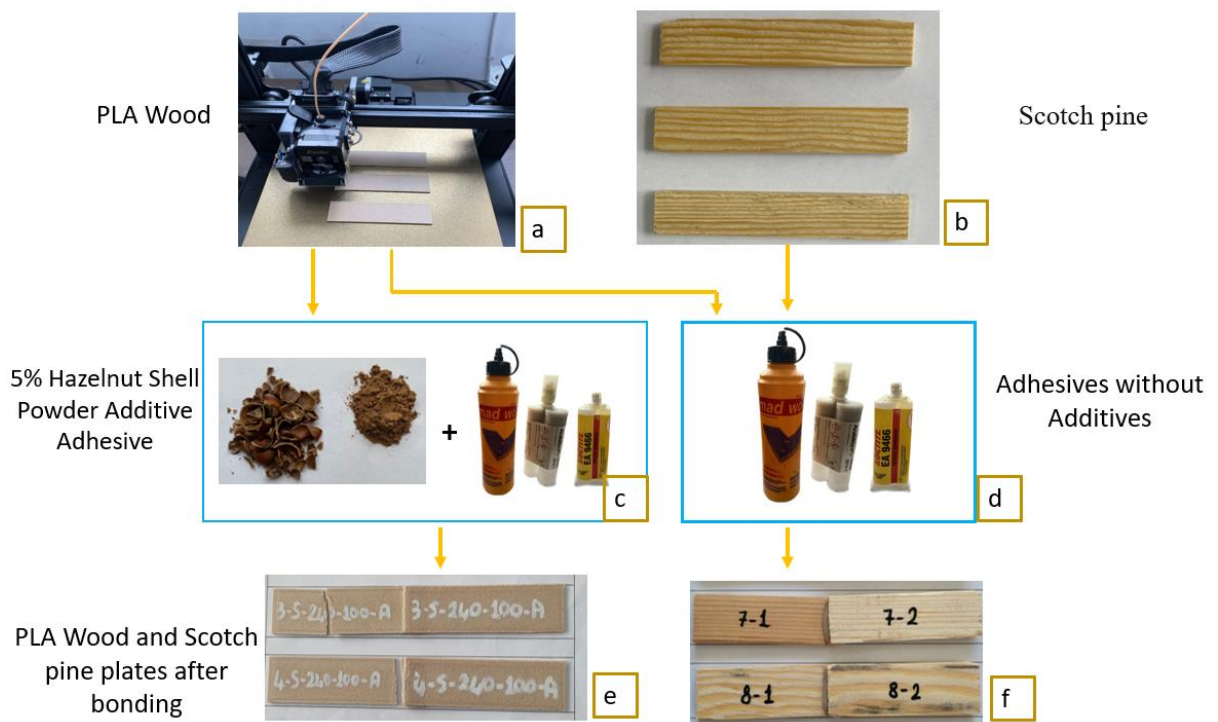


Figure 1. Flowchart of the adhesive bonding process

2.1. Properties of the materials

This study utilized PLA wood filament and Scotch pine (*Pinus sylvestris* Lipsky). Scotch pine is preferred in the woodworking industry due to its abundant availability within the country's borders and its suitability for outdoor applications in various environmental conditions (Keskin and Bülbül, 2019; Keskin and Taner, 2019). The Scotch pine bonding plates were cut into the desired dimensions (25×100×4 mm) and then dried in an oven at 60 °C for 24 hours to remove moisture. PLA material is one of the most commonly used filaments in 3D printing due to its ease of printing, suitability for producing detailed products, and not require a heated bed. Additionally, PLA is biodegradable and a non-toxic thermoplastic that is safe for human health and environmentally friendly, as it contains no harmful substances (Kyutoku et al., 2019; Mahir and Erdoğan, 2020). Carbon fiber, wood

fibers, and other fillers can also impart different properties to PLA. PLA Wood is a composite PLA material reinforced with 30% wood fibers/wood powder (Ayrilmis et al., 2019). PLA Wood is preferred in architectural models, household products, and aesthetically desired items due to its wood-like appearance and texture. Compared to PLA, PLA Wood offers higher temperature resistance and a matte wood finish. The mechanical and technical properties of PLA Wood are provided in Table 1.

Table 1. Mechanical and technical properties of PLA Wood (Filameon)

Diameter (mm)	1.75
Brand	Filameon
Color	Light brown
Tensile Strength (MPa)	47
Melting Point (°C)	200-225
Density (g/cm ³)	1.13

2.2. Preparation of samples

In the study, a 1.75 mm diameter PLA Wood filament was printed using an Ender 3 S1 printer, which operates on fused deposition modeling principles. The prints were made with 100% infill, a nozzle temperature of 220 °C, a bed temperature of 65 °C, a printing speed of 50 mm/s, and XYZ printing direction. The printing parameters directly affect the mechanical properties of the product. Therefore, to determine the mechanical properties of PLA Wood plates, a tensile bar (Figure 2a) according to ASTM D 638 (2022) standards and 25×100×1.5 mm plates for adhesive bonds (Figure 2b) were printed. Solid models were created using the commercial software solidworks, and the necessary codes for the Ender 3 S1 were generated using Ultimaker Cura software.

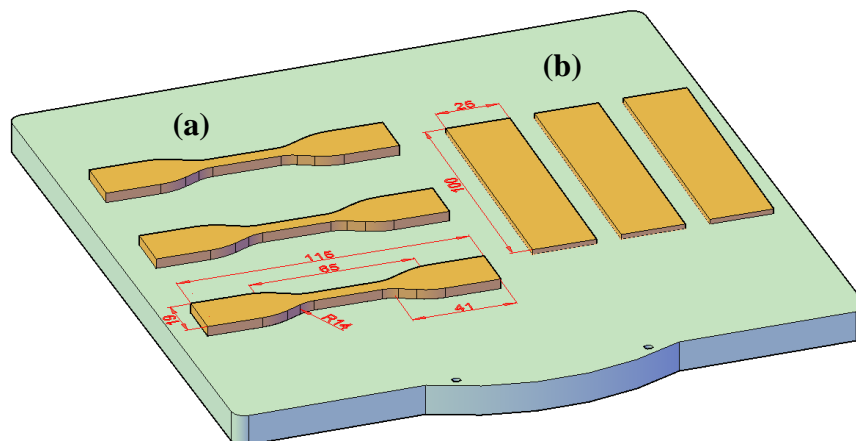


Figure 2. Tensile specimens and bonding plates dimensions (mm)

2.3. Adhesive bonding process

The schematic view of the single lap joint is given in Figure 3. For the examination of the adhesive bonding properties of PLA Wood and Scotch pine, three different commercial adhesives (Araldite 2015, Loctite 9466, and PVA wood glue) were used in both unmodified and with hazelnut shell powder-modified, and the bonding was achieved by clamping with metal clips. The experimental design is presented in Table 2. Before the adhesive bonding

process in PLA Wood plates, the surfaces were roughened using silicon carbide (240 SiC) sandpaper to enhance the low surface energy of the plastic-based material. In all plates, sanding was performed perpendicular and horizontally to the part axis in the bonding area. The sanding process covered the entire bonding surface. After the sanding process, the surfaces were cleaned with air to remove dust, the bonding process was carried out, and the bonding area was secured with metal clips and left to cure at room temperature for 24 hours according to the manufacturer's recommendation.

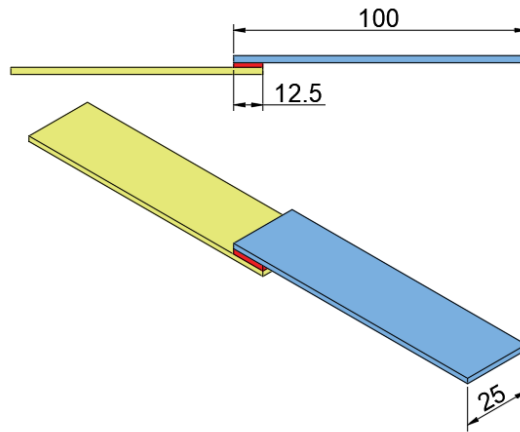


Figure 3. Single lap joint (mm)

Table 2. PLA Wood and Scotch pine bonding experimental design

Material	Adhesive	Additives	Surface Preparation	Compression Type
PLA Wood	Araldite 2015	No additives		
	Loctite 9466	No additives		
	PVA Wood Glue	No additives		
PLA Wood	Araldite 2015	5% Hazelnut Shell Powder	240 SiC	Metal Clips
	Loctite 9466	5% Hazelnut Shell Powder		
	PVA Wood Glue	5% Hazelnut Shell Powder		
Scotch pine	Araldite 2015	No additives		
	Loctite 9466	No additives		
	PVA Wood Glue	No additives		

Araldite 2015 is a versatile, room temperature-curing, high-strength paste adhesive that is a two-component epoxy-based adhesive. It is widely used for adhesive bonding various materials, including carbon fiber and glass fiber composites, as well as different surfaces. It also offers high corrosion resistance. Loctite EA 9466 is a reinforced 2K-epoxy adhesive with high strength and a long working time, suitable for bonding metals, ceramics, and most plastics. The mechanical properties of Araldite 2015 and Loctite 9466 adhesives are provided in Table 3. On the other hand, PVA wood glue is a single-component adhesive that is water-resistant and suitable for bonding wood. It exhibits high elasticity and provides high strength with normal clamping pressure.

Table 3. Araldite 2015 and Loctite 9466 adhesive mechanical properties

	Araldite 2015 (Huntsman)	Loctite 9466 (Henkel)
Elasticity modulus(MPa)	1850	1718
Tensile strength (MPa)	21.6	32
Poisson's ratio	0.33	0.33
Yield strength (MPa)	12.6	-
Elongation (%)	4.2	3
Hardness (Shore D)	-	60

They were placed in a drying oven at 120 °C to remove moisture from hazelnut shells for 6 hours. Afterward, they were ground using a ring mill. The obtained powder was then passed through sieve sets to classify it into different particle sizes, and 45 µm powder was obtained to be added to the adhesive. The stages of obtaining hazelnut shell powder are shown in Figure 4.

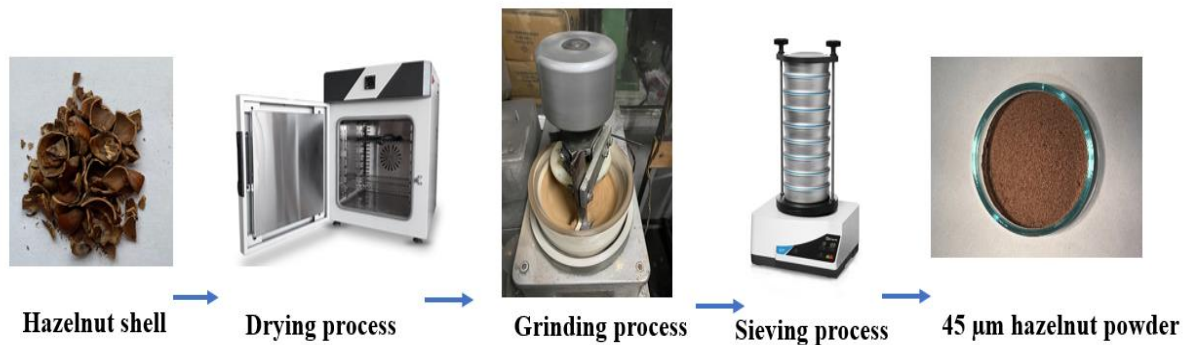


Figure 4. Hazelnut powder grinding process sequence

2.4. Determination of mechanical properties

The prepared tensile specimens ASTM D 638 (2022) and adhesive bonding plates were tested using a WDW-5 model universal testing machine with a capacity of 5 kN at a crosshead speed of 2 mm/min and at room temperature. The experiments were conducted with 5 repetitions, and the averages were taken. Surface images were captured after the tensile test to determine the type of damage in the bonding joints.

A LOYKA D-type Shore hardness durometer was used for hardness measurements of PLA Wood, and measurements were performed per ASTM D2240 (2021) standard. Hardness measurements were conducted with 5 repetitions, and the averages were taken. Lastly, mechanical surface preparation was performed using 240 SiC sandpaper before adhesive bonding. Surface roughness values of the materials before and after surface preparation were measured and evaluated using a Mitutoyo SJ-301 Profilometer.

3. Results and Discussion

3.1. Mechanical properties of materials

The highest tensile strength (47.49 MPa) was obtained from the samples prepared according to the defined experimental parameters of Scotch pine. In comparison, the lower tensile strength (12.40 MPa) was observed in the PLA Wood with wood additive (Figure 5).

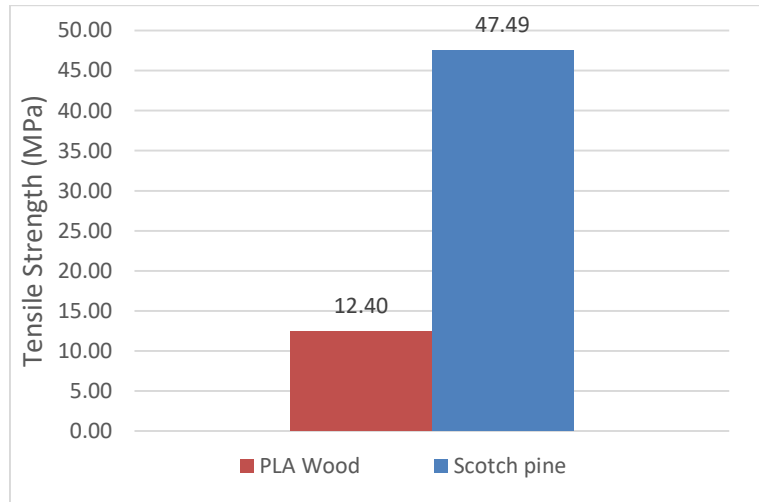


Figure 5. Average tensile strength values of test specimens

The surface roughness values measured before and after surface preparation in the bonding area for the adhesive process are given in Table 4. Due to the natural (organic) nature of Scotch pine wood material, the surface roughness is higher than that of the PLA Wood plates. Scotch pine has fibrous structures, and the surfaces have been sanded to make them smoother and flatter. Additionally, after sanding, the roughness values of both materials were found to be similar to each other.

Table 4. Surface roughness measurement values (Ra)

	PLA Wood	Scotch pine
Before sanding (µm)	3.10	4.27
After sanding (µm)	1.01	1.85

The hardness measurements of PLA Wood plates were conducted, and an average value of 71.6 Shore D was obtained. On the other hand, the hardness value of Scotch pine wood was obtained from the literature. The Brinell hardness values for Scotch pine samples were determined as 3.338 kp/mm² parallel to the grains, 1.772 kp/mm² perpendicular to the grains, and 1.519 kp/mm² in the radial direction (Ulusoy et al., 2017).

3.2. Adhesive bonded joint strengths

Figure 6 presents the shear strengths of adhesive joints made with three different adhesives for wood-filled PLA plates, both with and without additives. As observed in Figure 6, the highest strength was obtained with Loctite 9466, while the lowest strength was measured in the joints using additive PVA glue. The addition of powder resulted in a decrease in the bonding strength for all three adhesives. The amount of strength reduction varied slightly from the strength value of the corresponding adhesive without additives.

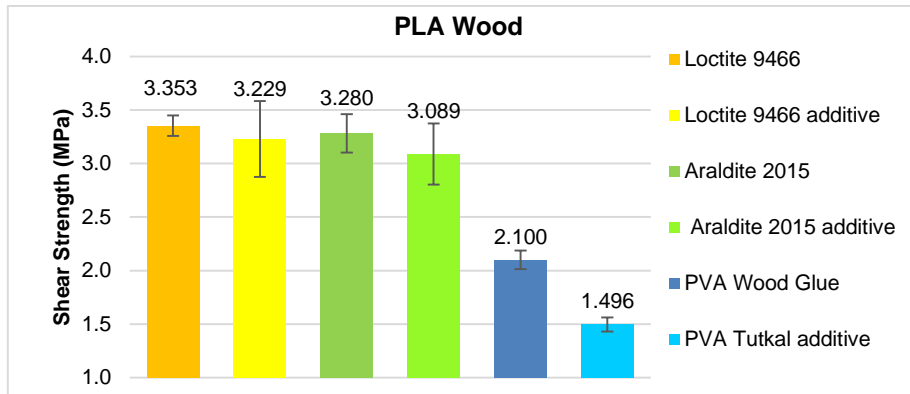


Figure 6. Variation of shear strength of PLA Wood joints according to adhesive type

Figure 7 illustrates the shear strengths of adhesive joints made with three different adhesives for Scotch pine. The highest shear strength of 11.677 MPa was achieved with Loctite 9466, while the lowest shear strength was measured in the joints using PVA glue. In the case of Scotch pine wood materials, the adhesives were used without any additives. However, the strength was lower when testing the adhesive joints with wood-filled PLA material and additives. Therefore, no powder additives were used to bond pine wood materials.

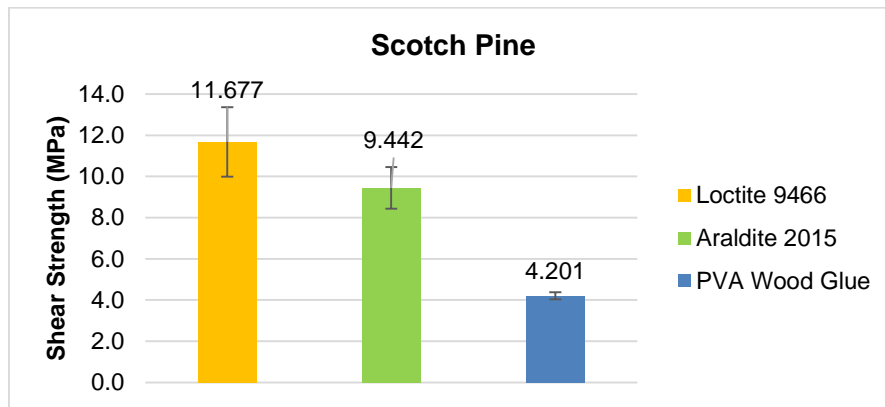
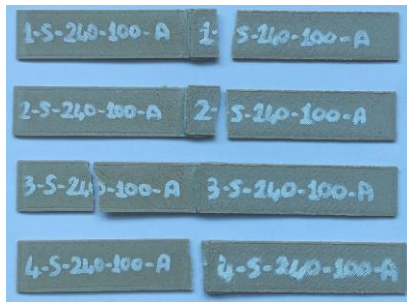


Figure 7. Shear strength of Scotch pine joints according to adhesive type

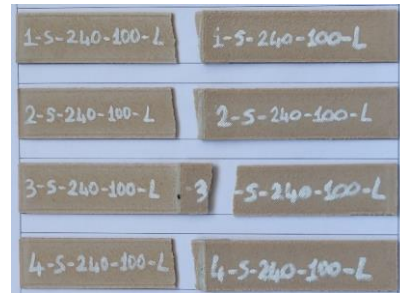
3.3. Joint fracture surfaces

Figure 8 shows the fracture surfaces of adhesive joints made with PLA Wood and pine wood materials. In the case of PLA Wood materials, fracture occurred in the primary material (adherend) in adhesive joints using pure Araldite 2015 and Loctite 9466 adhesives, while adhesive failure was observed in joints using pure PVA wood glue. In the powder-added bonding process of PLA Wood materials, the rupture occurred at the bonding zone in Loctite 9466, at the base material in Araldite 2015, and at the bonding (interface) surface in joints using PVA wood glue.

Regarding Scotch pine material, the fracture patterns slightly differed but generally involved detachment from the overlap region. In Loctite 9466, a fracture occurred in the primary material (adherend) close to the overlap region, combining adhesive and adherend (substrate) failures; for PVA wood glue, predominantly adhesive failures were observed. Araldite 2015 exhibited mostly adhesive failures upon visual examination.



PLA Wood- Araldite 2015- no additives



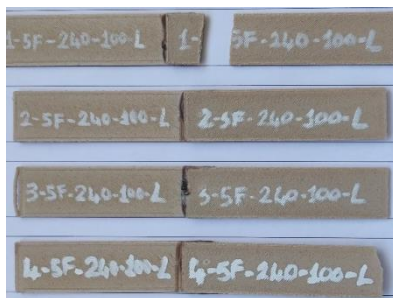
PLA Wood- Loctite 9466- no additives



PLA Wood- PVA wood glue - no additives



PLA Wood- Araldite 2015-5% Hazelnut Shell Powder



PLA Wood- Loctite 9466-5% Hazelnut Shell Powder



PLA Wood- PVA wood glue - 5% Hazelnut Shell



Scotch pine wood- PVA wood glue - no additives



Scotch pine wood- Loctite 9466- no additives



Scotch pine wood- Araldite 2015- no additives

Figure 8. Rupture surfaces of bonded joint after tensile test

4. Conclusions

According to the data obtained at the end of the laboratory studies; the following results can be said;

- It is evident that Scotch pine material is strengthened than wood-filled PLA. However, considering the cost-strength balance, wood-filled PLA material can be preferred.
- Both wood-filled PLA and Scotch pine wood materials exhibited better adhesion properties with Loctite 9466 adhesive compared to the other two adhesives.
- The addition of powder filler to the adhesive in the bonding process of wood-filled PLA material was found to reduce the bond strength.
- Despite its low strength, the affordability of PVA woodworking glue provides an advantage in applications where high strength is not required.
- Although it is seen that wood plastic composite materials need to be developed in many ways, the limited resources of wood materials and the ease of producing small and complex parts and geometric patterns in 3D printing suggest that these materials have the potential to be used more.

Author Contributions

Duygu Karabağ: Laboratory work and experiments, writing the article, **Muhammet Ali Tekkanat:** Laboratory work and experiments, writing the article, **Nergizhan Anaç:** Determining the research topic, laboratory work and experiments, data analysis and interpretation, writing and editing the article, **Oğuz Koçar:** Preparation of samples, laboratory work and experiments, interpretation of results, writing and editing the article.

Funding statement

This project was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) under the 2209-A University Students Research Projects Support Program, within the scope of the 2022 2nd Term, with project number 1919B012217246.

Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest.

References

- Altuntaş, E., Arıkan, A. K. (2022), Odun-plastik kompozit malzemelerde geliştirilmiş perlit kullanımının araştırılması, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 142-154, DOI: 10.33725/mamad.1208112.
- Anaç, N., Doğan, Z. (2023), The effect of organic fillers on the mechanical strength of the joint in the adhesive bonding, *Processes*, 11(2), 406, DOI: 10.3390/pr11020406.
- Anaç, N., Koçar, O., Hazer, B. (2022), Katmanlı imalatla üretilen parçaların birleştirilmesinde yapıştırma bağlantı dayanımının incelenmesi, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(3), 449-458, DOI: 10.46519/ij3dptdi.1170450.
- ASTM D 638 (2022), Standard test method for tensile properties of plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–24 s.
- ASTM D 2240 (2021), Standard test method for rubber property-durometer hardness, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 1–27 s.
- Ayrılmis, N., Kariz, M., Kwon, J.H., Kitek Kuzman, M. (2019), Effect of printing layer thickness on water absorption and mechanical properties of 3D-printed wood/PLA

- composite materials, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102, 2195-2200, DOI: 10.1007/s00170-019-03299-9.
- Aysal, S. (2014), Odun plastik kompozit malzemelerin biyolojik performanslarının incelenmesi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul
- Bal, B.C. (2022), Lineer düşük yoğunluklu polietilen (LDYPE) ve odun unu ile üretilen kompozit malzemenin bazı mekanik özellikleri üzerine bir araştırma, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 40-49, DOI: 10.33725/mamad.1126534.
- Chen, L.-W. (2009), Extrudable melamine resin for wood plastic composites, Washington State University.
- Delzendehtrooy, F., Ayatollahi, M., Akhavan-Safar, A., da Silva, L. (2020), Strength improvement of adhesively bonded single lap joints with date palm fibers: Effect of type, size, treatment method and density of fibers, *Composites Part B: Engineering*, 188, 107874, DOI:10.1016/j.compositesb.2020.107874.
- Esen, R., Özcan, C. (2012), Isıl işlemin meşe (*Quercus petraea* L.) ağaç malzemedeki yapışma direncine etkileri, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 150-154.
- Filameon (2022), PLA Wood. Retrieved 05 Kasım 2022 from <https://www.filameon.com/urun/filameon-pla-wood-filament/>
- Gonçalves, F.A., Santos, M., Cernadas, T., Alves, P., Ferreira, P. (2022), Influence of fillers on epoxy resins properties: a review, *Journal of Materials Science*, 57(32), 15183-15212, DOI: 10.1007/s10853-022-07573-2.
- Henkel (2019), Loctite EA 9466. Retrieved 20 August 2019 from https://www.henkel-adhesives.com/tr/en/product/structural-adhesives/loctite_ea_9466.html
- Huntsman (2015), Araldite 2015 Adhesive Retrieved 06.10.2015 from <https://docs.rs-online.com/47fc/A700000006492752.pdf>
- Karakuş, K., Başboğa, İ.H., Mengeloğlu, F., (2014), Termoplastik Esaslı Polimer Kompozitlerin Üretilmesinde Orman Budama Atıklarının Değerlendirilmesi. II. Ulusal Akdeniz orman ve çevre sempozyumu, 22-24 Ekim 2014 – Isparta.
- Karaman, A., Güven, Ş., Yeşil, H., Yıldırım, M.N. (2017), Farklı tutkallar kullanılarak hazırlanan mobilya köşe birleştirmelerinde diyagonal çekme ve basınç kuvvetinin belirlenmesi, *Teknik Bilimler Dergisi*, 7(2), 26-36.
- Karaman, A., Yıldırım, M.N., Esra, U. (2019), Kavela ağaç türünün farklı tutkallar ile yapıştırılmış ahşap boy birleştirmelerde kavela çekme direncine etkisi, *Turkish Journal of Forestry*, 20(4), 427-432, DOI: 10.18182/tjf.591404.
- Keskin, H., Bülbül, R. (2019), Tanalith-e ile emprenye işleminin masif ağaç malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 67-78, DOI: 10.33725/mamad.602230.
- Keskin, H., Taner, A. (2019), Combustion properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* Lipsky) wood impregnated with boron compound doped colophony, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 11-22, DOI: 10.33725/mamad.516823.
- Kyutoku, H., Maeda, N., Sakamoto, H., Nishimura, H., Yamada, K. (2019), Effect of surface treatment of cellulose fiber (CF) on durability of PLA/CF bio-composites, *Carbohydrate polymers*, 203, 95-102, DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.09.033.

- Mahir, U., Erdoğan, Y.E. (2020), Eriyik yığma modellemesi ile üretimde takviyesiz ve takviyeli PLA kullanımının mekanik özelliklere etkisinin araştırılması, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), 2800-2808, DOI: 10.21597/jist.799230.
- Narlıoğlu, N. (2021), 3B yazıcı kullanılarak odun-PLA kompozit filamentinden mobilya bağlantı elemanlarının yazdırılması ve katman kalınlıklarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 183-192. DOI:10.33725/mamad.1026248.
- NematiGiv, A., Ayatollahi, M.R., Ghaffari, S.H., da Silva, L.F. (2018), Effect of reinforcements at different scales on mechanical properties of epoxy adhesives and adhesive joints: a review, *The Journal of Adhesion*, 94(13), 1082-1121, DOI:10.1080/00218464.2018.1452736.
- Özmen, N., Çetin, N.S., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., Altuntaş, E. (2014), MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 65-71.
- Perçin, O., Uzun, O. (2014), Isıl işlem uygulanmış bazı ağaç malzemelerde yapışma direncinin belirlenmesi, *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 72-76.
- Raşit, E. (2019), Emprenyeli Sarıçam ağaç malzemeye uygulanan üst yüzey işlemlerinin ısı iletkenliğine etkisinin belirlenmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 21(3), 731-741.
- Rowell, R.M. (2006), Advances and challenges of wood polymer composites, Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium,
- Rowell, R.M., Cleary, B.A., Rowell, J.S., Clemons, C., Young, R.A. (1993), Results of chemical modification of lignocellulosic fibers for use in composites, Wood-fiber/polymer composites: Fundamental concepts, processes and material options, 121-127.
- Smardzewski, J. (2002), Technological heterogeneity of adhesive bonds in wood joints, *Wood Science and Technology*, 36(3), 213-227, DOI: 10.1007/s00226-002-0127-7.
- Söğütlü, C., Döngel, N. (2007), Polivinil asetat (PVAc) ve poliüretan (PU) tutkalları ile yapılandırılmış bazı yerli ağaçlarda çekmede makaslama dirençleri, *Politeknik Dergisi*, 10(3), 287-293.
- Ulusoy, H., Nurgül, A., Peker, H. (2017), Ökseotu (*ViscumAlbum L.*)'nun Sarıçam odununun bazı mekanik özelliklerine etkisi, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 10(2), 15-22.
- Valášek, P., Müller, M. (2016), Possibilities of adhesives filling with micro-particle fillers-Lap-Shear tensile strength, *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64(1), 195-201, DOI: 10.11118/actaun201664010195.



Palo Santo odununda bazı yüzey özellikleri ve shore D sertlik değeri üzerine 200°C'de ısıl işlemin etkisi

Ümit Ayata*^{ID}

Öz

Ahşaba farklı yöntemler kullanılarak yapılan ısıl işlem ile renk ve parlaklık özelliklerinin değiştiği bilinmektedir. Bu çalışmada, 200°C'de 3 saat süre ile Palo Santo (*Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb.) ahşabına uygulanmış ısıl işlem ile meydana gelen bazı yüzey özellikleri [liflere (//) paralel ve (⊥) dik yönde beyazlık indeksi değeri, renk (Δa^* , ΔL^* , L^* , Δb^* , b^* , ΔC^* , a^* , C^* , ΔE^* ve h^o), parlaklık (20°, 60° ve 85° de (//) liflere paralel ve (⊥) dik)] ve shore D sertlik değeri incelenmiştir. Çok değişkenli varyans analizi sonuçları bütün testler üzerinde anlamlı bulunmuştur. L^* (%37.87), a^* (%91.60), b^* (%70.24) ve C^* (%71.34) parametreleri, beyazlık indeksi değerleri (⊥ için %57.38 ve || için %81.60), shore D sertlik değeri (%7.32) ısıl işlem ile azalmıştır. h^o açısı %15.63 oranında artmıştır. Parlaklık değerleri ⊥ ve || için 20°'de azalırken, aynı yönler için 60°'de artmıştır. Buna ek olarak; ΔL^* : -19.73, ΔH^* : 2.02, Δb^* : -15.07, ΔC^* : -16.01, Δa^* : -5.77 ve ΔE^* : 25.49 olarak bulunmuştur. Isıl işlem ile ahşaba ait yüzey özelliklerinin değiştiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Isıl işlem Palo Santo, *Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb., parlaklık, renk, shore D sertlik,

The effect of heat treatment at 200°C on some surface properties and shore D hardness value of Palo Santo wood

Abstract

It is known that the color and glossiness, properties change with the heat treatment applied to the wood using different methods. In this study, some surface properties [whiteness index value in (//) parallel and (⊥) perpendicular directions to fibers, color (Δa^* , ΔL^* , L^* , Δb^* , b^* , ΔC^* , a^* , C^* , ΔE^* , and h^o), glossiness ((//) parallel and (⊥) perpendicular to fibers at 20°, 60°, and 85°)] and shore D hardness that occur after heat treatment applied to Palo Santo (*Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb.) wood at 200°C for 3 h were investigated. Multivariate analysis of variance results was found to be significant on all tests. L^* (37.87%), a^* (91.60%), b^* (70.24%) and C^* (71.34%) parameters, whiteness index values (57.38% for ⊥ and 81.60% for ||), shore D hardness value (% 7.32) decreased by heat treatment. h^o angle increased by 15.63%. While the luminance values decreased at 20° for ⊥ and ||, it increased at 60° for the same directions. In addition; ΔL^* : -19.73, ΔH^* : 2.02, Δb^* : -15.07, ΔC^* : -16.01, Δa^* : -5.77, and ΔE^* : 25.49. It has been observed that the surface properties of wood have changed with heat treatment.

Keywords: Heat treatment, Palo Santo, *Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb., glossiness, colour, shore D hardness,

1. Giriş

Ahşabın, mobilya üretimi ve bina inşaatları gibi çok geniş bir uygulama yelpazesi için her yerde bulunan ve vazgeçilmez bir malzeme olması nedeniyle, malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi ve ömrünün uzatılması bilim insanları için uzun yıllardır uğraşı haline gelmiştir (Mitani ve Barboutis, 2014). Ahşap ısıtılma işlemine tabi tutulduğunda, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler kalıcı değişikliklere uğramaktadır (Esteves ve Pereira, 2009).

Literatürde farklı ahşap türlerine çeşitli metotlar kullanılarak ısıtılma işlemlerinin yapıldığı bildirilmiştir. Örneğin: yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia*) için 120°C’de 24 saat (Yao ve ark., 2012), Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) için 180°C’de 2, 4, 6, 8 ve 10 saat (Mitani ve Barboutis, 2014), Çin kavağı açık mor çiçekli (*Paulownia tomentosa*) için 160, 180, 200 ve 220°C’de 2 saat (Hidayat ve ark., 2017), Avrupa kayını (*Fagus sylvatica* L.) için 200°C’de 2.5 saat (Timar ve ark., 2016). Bu çalışmalarda, yapılan ısıtılma işlemi sonrası renk özellikleri de araştırılmıştır.

Palo Santo (*Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb.), yarı kurak Chaco bölgesinin endemik bir ağacdır. Arjantin, Paraguay, Bolivya ve daha az ölçüde Brezilya’da bulunur (Waller ve ark., 2012). Bu ağaç, Arjantin ve Paraguay’daki Chaco bölgesine endemik bir bitkidir. Guaiacum cinsinin “lignum vitae” ağaçlarına benzerliği nedeniyle yaygın olarak “Palo Santo” veya Paraguay “lignum vitae” olarak bilinir (Mabberley, 1997). 8-25 m yüksekliğinde, seyrek, dar taçlı, tepesi yuvarlak, dalları yükselen, boğum araları 2-3 cm, boğumları halkalı genişlemiş bir ağaçtır. Gövde düz, kısa, bazen nervürlü, göğüste çapı 30-70 cm, dış kabuk kahverengi, pürüzlü ve siğilli, gövde boyunca düzensiz ağaç gövdesi oluşturan düzensiz sığ çatlaklar; iç kabuk reçineli, sarımsı renkte ve minik turuncu granüllerdir (López ve ark., 1987). Tür, yaklaşık 20 yaşında yetişkinliğe ulaşır (Brack ve Weik, 1994). Tohumlar otokori ve anemochoria ile dağılır ve meyve ve tohum üretimi bol olmasına rağmen çimlenme oranı düşüktür (López ve ark., 1987). Tohumlar, en iyi olgunlaşır olgunlaşmaz güneşli bir yerde fidanlık tohum yatağında veya kaplarda ekilir. Çimlenme oranları normalde düşüktür ve 3-4 haftada gerçekleşir. Lifleri arasında kalsiyum oksalat ve reçine kristalleri bulunur ve maruz kaldığında bile son derece dayanıklıdır (Lorenzi, 2002). Kaliteli yakacak odun ve odun kömürü sağlar. Duman kokuludur ve çok yoğun bir ağaç olmasına rağmen kolayca tutuşmaktadır. Yerliler; borular, havanlar ve baltalar gibi çok sayıda ahşap gereçler yaparlar. Ahşabı, kaliteli sanat ve el sanatlarının yanı sıra tornacılık, parke, mobilya, çerçeve (Richter ve Dallwitz, 2000), burç imalatında (Lorenzi, 2002) ve yakacak odun (Scarpa, 2000; Rondina ve ark., 2008) gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Öz oduna ait talaş üzerinde buharla ekstraksiyon yöntemiyle, yeşilimsi sarı renkte, mükemmel sabitleme özelliklerine ve hoş bir aromaya sahip “guaiacum” olarak bilinen uçucu bir yağ çıkarılır (Surburg ve Panten, 2006).

Ana ihracatçısı Paraguay olmak üzere, ağırlıklı olarak Avrupa’ya ihraç edilmektedir. Parfümlü sabunlarda, kozmetik üretiminde yardımcı madde olarak, doğal sabitleyici olarak kullanılır. Cilt hastalıkları için iyileştirici faydalarına eklenen hafif aroması, mantar önleyici, kene ve bakterisit etkisi, onu çok değerli bir ürün haline getirmiştir (Salvat ve ark., 2004; Nabais, 2008; Mereles ve Pérez de Molas, 2008; Castillo ve ark., 2012; Rodilla ve ark., 2011). Yağı, yaklaşık olarak eriyen sarı ila yeşilimsi yarı katı bir maddedir. 40-50°C yumuşak gül benzeri bir kokuya sahiptir ve bu nedenle gül yağı için katkı maddesi olarak kullanılmıştır (Guenther, 1944). Bu türün ekstraktı, cilt yaralanması durumlarında iyileştirici özellikleri nedeniyle Chaco halkı tarafından çok kullanılmıştır. Kabuğun kaynatılması mide hastalıklarına karşı kullanılır (Richter ve Dallwitz, 2000). Bu bitki, anti-romatizmal özellikleri

ve romatizmal ve kas ağrıları, eklem romatizması ve artrit, gut ve siyatik tedavisinde kullanılan bir kan temizleyici olarak bilinmektedir. İdrar söktürücü ve kanı arındırıcı, toksinleri yok etmektedir, dolaşımı kolaylaştırır, atardamarların elastikiyetini geri kazandırır ve kan basıncını düzenlemektedir (Scarpa, 2004).

Bu ağaç türüne daha önce herhangi bir metotla ısıtıl işlem yapılmadığı literatürde görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, 200°C’de 3 saat süre ile ısıtıl işlem uygulanmış Palo Santo odununun bazı yüzey özelliklerinde oluşan değişiklikleri incelenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, Palo Santo (*Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb.) ahşap malzemesi kullanılmıştır. Deney numuneleri satın alma yöntemi ile bir keresteciden elde edilmiştir. Daha sonra, malzemeler için iklimlendirme (20±2°C ve %65 bağıl nem) işlemleri yapılmıştır (ISO 554, 1976).

2.2. Metot

2.2.1. Isıl işlem uygulaması

Isıl işlem için hazırlanmış olan deney örnekleri 200°C’de 3 saat süre ısıtıl işleme tabi tutulmuştur.

2.2.2. Testler

Kontrol ve ısıtıl işlemleri malzemeler üzerinde parlaklık testleri (ISO 2813, 1994), beyazlık indeksi (ASTM E313-15e1, 2015), shore D sertlik (ASTM D 2240, 2010) ve renk özellikleri (ASTM D 2244-3, 2007) belirlenmiştir. Aşağıda verilen formüllerle toplam renk farklılıkları hesaplanmıştır. Çizelge 1’de ΔE^* renk farkının görsel değerlendirilmesi (DIN 5033, 1979) gösterilmektedir.

Çizelge 1. ΔE^* farkının görsel değerlendirilmesi (DIN 5033, 1979)

Görsel renk puanı farkı	Toplam renk farkı (ΔE^*)
Çok güçlü	> 12.0
Güçlü	6.0 ila 12.0
Çok belirgin	3.0 ila 6.0
Belirgin	1.5 ila 3.0
Zayıf	0.5 ila 1.5
Çok zayıf	0.2 ila 0.5
Algılanamaz	<0.2



Şekil 1. A: Renk ölçüm cihazı, B: parlaklık ölçüm cihazı, C: sertlik cihazı, D: beyazlık cihazı

Testlerde kullanılan cihazlar Şekil 1’de verilmiştir. Bu cihazların özellikleri şu şekildedir: Renk cihazı aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağıntık aydınlatma), CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, (CS-10 - CHN Spec, Çin), parlaklık ölçüm cihazı: ETB-0833 model gloss meter (20°, 60° ve 85° - liflere dik ve paralel), sertlik cihazı: shore D ve beyazlık indeksi ölçüm cihazı: Whiteness Meter BDY-1.

Testlerde yapılan ölçümler için yapılan hesaplamalarda kullanılan formüller (1-8) aşağıda verilmiştir.

$$h^{\circ} = \arctan (b^{*} / a^{*}) \quad (1)$$

$$C^{*} = [(a^{*})^2 + (b^{*})^2]^{0.5} \quad (2)$$

$$\Delta C^{*} = (C^{*}_{\text{işlem görmüş}} - C^{*}_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (3)$$

$$\Delta a^{*} = (a^{*}_{\text{işlem görmüş}} - a^{*}_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (4)$$

$$\Delta L^{*} = (L^{*}_{\text{işlem görmüş}} - L^{*}_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (5)$$

$$\Delta b^{*} = (b^{*}_{\text{işlem görmüş}} - b^{*}_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^{*} = [(\Delta E^{*})^2 - (\Delta L^{*})^2 - (\Delta C^{*})^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^{*} = [(\Delta L^{*})^2 + (\Delta a^{*})^2 + (\Delta b^{*})^2]^{0.5} \quad (8)$$

2.3. İstatistiksel Analiz

Bir SPSS programı ile homojenlik grupları, standart sapmalar, varyasyon katsayıları, maksimum ve minimum sonuçları ve ortalama sonuçları hesaplanmıştır. Bütün testlerden 30'ar ölçüm alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Renk, parlaklık değerleri, beyazlık indeksi ve shore D sertlik özelliklerine ait belirlenmiş olan çok değişkenli varyans analizi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Sonuçlara göre, bütün testler için ısı işlem faktörü anlamlı oldukları tespit edilmiştir.

Renk parametrelerine, parlaklık değerlerine, beyazlık indeksi değerlerine ve shore D sertlik değerine ait olan veriler Çizelge 3'de gösterilmiştir. Bu verilere göre, 200°C'de 3 saat süre ile yapılan ısı işlem ile ahşap malzemede liflere paralel (%81.60) ve dik (%57.38) beyazlık indeksi değerleri, shore D sertlik değeri (%7.32), 20° ve 85°'lerde liflere paralel (%52.38 ve %74.71) ve dik (%52.38 ve %11.32) parlaklık değerleri, 60°'de değerleri ile L^{*} (%37.87), b^{*} (%70.24), a^{*} (%91.60), C^{*} (%71.34) parametreleri azalırken, 60°'de liflere paralel (%39.36) ve dik (%11.20) parlaklık değerleri ile h° açısı (%15.63) değerleri artmıştır (Çizelge 3). L^{*} 'deki değişiklik, maruz kalma esnasında ahşap numunenin yüzeyinin daha parlak veya daha koyu hale gelmesi ile ilgilidir (Peng ve ark., 2014). Salca ve ark., (2016), L^{*} değerlerindeki azalmanın ısı işlem sırasında hemiselülozların bozunması ile ilgili olduğunu bildirmiştir. Isıtılan numunelerin b^{*} değerlerindeki artış kısmen soluk sarı olan (Hiltunen ve ark., 2006) ve ısı işlem sırasında oluşan düşük moleküler ağırlıklı fenolik maddelerden kaynaklanmış olabilir (Yao ve ark., 2012). Isı işlem ile parlaklık derecelerinde değişikliklerin olduğu görülmüştür. 20°'de \perp ve \parallel parlaklıklar azalırken, 60°'de artış göstermiştir.

Çizelge 2. Çok değişkenli varyans analizi sonuçları

Değişkenler	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha < 0.05$ 'e göre anlamlı
Işıklılık (L^{*}) değeri	5200.566	5200.566	6316.262	0.000*
Kırmızı (a^{*}) renk tonu değeri	446.137	446.137	2871.655	0.000*
Sarı (b^{*}) renk tonu değeri	3121.642	3121.642	17564.616	0.000*
Kroma (C^{*}) değeri	3489.810	3489.810	15477.592	0.000*
Ton (h°) açısı değeri	1996.766	1996.766	830.289	0.000*
\perp 20°'de parlaklık değeri	0.171	0.171	530.286	0.000*
\perp 60°'de parlaklık değeri	1.121	1.121	55.873	0.000*
\perp 85°'de parlaklık değeri	7.921	7.921	31.246	0.000*
\parallel 20°'de parlaklık değeri	0.171	0.171	530.286	0.000*
\parallel 60°'de parlaklık değeri	14.603	14.603	382.660	0.000*
\parallel 85°'de parlaklık değeri	293.046	293.046	1003.148	0.000*
Beyazlık indeksi (\perp) değeri	413.438	413.438	5676.487	0.000*
Beyazlık indeksi (\parallel) değeri	344.641	344.641	5169.610	0.000*
Shore D sertlik değeri	375.000	375.000	326.577	0.000*


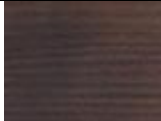
Çizelge 3. Yapılan bütün testlere ait sonuçlar

Test	İşlem	N	Orta-lama	Değişim (%)	Standart Sapma	HG	Varyasyon Katsayısı	Mini-mum	Maksi-mum
Işıklılık (L^*) değeri	Kontrol	30	49.17	↓37.87	1.18	A*	2.41	47.27	52.41
	Isıl işlemlili	30	30.55		0.49	B**	1.62	29.52	31.47
Kırmızı (a^*) renk tonu	Kontrol	30	5.95	↓91.60	0.51	A*	8.58	4.84	7.25
	Isıl işlemlili	30	0.50		0.22	B**	44.46	0.15	0.95
Sarı (b^*) renk tonu	Kontrol	30	20.53	↓70.24	0.42	A*	2.03	20.04	21.67
	Isıl işlemlili	30	6.11		0.43	B**	6.96	5.43	6.78
Kroma (C^*) değeri	Kontrol	30	21.39	↓71.34	0.51	A*	2.39	20.80	22.85
	Isıl işlemlili	30	6.13		0.44	B**	7.10	5.44	6.81
Ton (h°) açısı değeri	Kontrol	30	73.82	↑15.63	1.13	B**	1.52	71.49	76.53
	Isıl işlemlili	30	85.36		1.88	A*	2.21	81.56	88.50
±20° de parlaklık değeri	Kontrol	30	0.21	↓52.38	0.03	A*	12.28	0.20	0.30
	Isıl işlemlili	30	0.10		0.00	B**	0.00	0.10	0.10
±60° de parlaklık değeri	Kontrol	30	2.50	↑11.20	0.19	B**	7.53	2.10	2.90
	Isıl işlemlili	30	2.78		0.07	A*	2.45	2.70	3.00
±85° de parlaklık değeri	Kontrol	30	6.45	↓11.32	0.68	A*	10.61	5.50	7.30
	Isıl işlemlili	30	5.72		0.20	B**	3.45	5.50	6.00
20° de parlaklık değeri	Kontrol	30	0.21	↓52.38	0.03	A*	12.28	0.20	0.30
	Isıl işlemlili	30	0.10		0.00	B**	0.00	0.10	0.10
60° de parlaklık değeri	Kontrol	30	2.49	↑39.36	0.23	B**	9.25	2.00	3.00
	Isıl işlemlili	30	3.47		0.15	A*	4.40	2.80	3.60
85° de parlaklık değeri	Kontrol	30	5.94	↑74.71	0.44	B**	7.48	3.90	6.30
	Isıl işlemlili	30	10.36		0.62	A*	6.00	7.80	11.40
Beyazlık İndeksi (\perp)	Kontrol	30	9.15	↓57.38	0.35	A*	3.87	8.60	9.50
	Isıl işlemlili	30	3.90		0.14	B**	3.66	3.70	4.10
Beyazlık İndeksi ()	Kontrol	30	5.87	↓81.60	0.36	A*	6.05	5.40	6.30
	Isıl işlemlili	30	1.08		0.08	B**	7.84	1.00	1.20
Shore D Sertlik (HD)	Kontrol	30	68.30	↓7.32	1.02	A*	1.50	66.00	69.00
	Isıl işlemlili	30	63.30		1.12	B**	1.77	62.00	65.00

*: En yüksek değer, **: En düşük değer, HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı,

Çizelge 4’de toplam renk farklılıkları ile ilgili sonuçlar verilmiştir. Sonuçlara göre, Δa^* : -5.77, ΔL^* : -19.73, Δb^* : -15.07, ΔH^* : 2.02, ΔC^* : -16.01 ve ΔE^* : 25.49 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen ΔE^* sonuçları ile DIN 5033, (1979)’de belirtilmiş olan renk değiştirme kriterleri ile karşılaştırıldığında “çok güçlü” kriterini verdiği görülmektedir (Çizelge 4). Literatürde ısıl işlem ile ahşabın renginin değiştiği bildirilmiştir (Ulay ve Ayata, 2023a;b; Mitani ve Barboutis, 2014; Yao ve ark., 2012; Ayata ve ark., 2018; Hidayat ve ark., 2017; Ayata, 2020; 2021; 2022). Isıl işlem görmüş numunelerin toplam renk farklılıkları belirgin şekilde artar ve ısıya maruz kaldığında ligninin kimyasal değişimlerinde suyun varlığı çok önemli bir rol oynamaktadır (Yao ve ark., 2012). Isıl işlem ile beyazlık indeksi değerlerinin azaldığı Ulay ve Ayata, (2023a;b) tarafından ve shore D sertlik değerlerinin azaldığı Ayata ve Bal, (2021), Türk ve Ayata, (2021) tarafından yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir. Isıl işlem görmüş ahşabın ana sınırlamalarından biri, mekanik mukavemetin azalmasıdır (Esteves ve Pereira, 2009). Mukavemet kaybının nedeni, yüksek sıcaklıklarda yaşanan hemiselülozlardaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır (Hillis, 1984).

Çizelge 4. Toplam renk farklılıkları için hesaplanmış olan sonuçları

Isıl İşlem Öncesi	Renk değiştirme kriterleri (DIN 5033, 1979)		200°C’de 3 saat süre ile ısıl işlem sonrası	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*
	ΔE^* Değeri	Gözlem Sonucu ▶		-19.73	-5.77	-15.07	-16.01	2.02	25.49
	$\Delta E^* > 12$								

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada elde edilen verilere göre;

- Çok değişkenli varyans analizi sonuçları bütün testler üzerinde anlamlı çıkmıştır.

- Beyazlık indeksi değerleri, L^* , a^* , b^* ve C^* parametreleri ile shore D sertlik değeri ısıtılma işlemiyle azalmıştır.
- h° açısı ısıtılma işlemiyle artmıştır.
- 20° 'de \perp ve \parallel parlaklık değerleri azalırken, aynı yönler için 60° 'de artmıştır.

Palo Santo ahşabına ısıtılma işlemi uygulaması sonunda su bazlı dış mekân verniklerinin uygulanması ve yaşlandırma performansına ait özelliklerinin araştırılması önerilmektedir.

Yazar Katkıları

Ümit Ayata: Araştırma fikrinin oluşturulması, laboratuvar çalışmasının yapılması, makalenin yazılması, ölçüm verilerinin alınması, istatistiksel işlemlerin yapılması.

Finansal destek beyanı

Yazar bu çalışma için finansal destek beyan etmemiştir.

Çıkar çatışması

Yazar çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

- ASTM D 2240, (2010), Standard test method for rubber property-durometer hardness, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States.
- ASTM D 2244-3, (2007), Standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E313-15e1, (2015), Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured coordinates. USA: ASTM International.
- Ayata, U., Gurleyen, T., Gurleyen, L. (2018), Effect of heat treatment on color and glossiness properties of zebrano, sapeli and merbau woods. *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 1(1), 11-20. DOI: 10.33725/mamad.428913.
- Ayata, Ü. (2020), Ayous odununun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi ve ısıtılma işleminden sonra renk ve parlaklık özellikleri. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 22-33. DOI: 10.33725/mamad.724596.
- Ayata, Ü. (2021), Sibirya'da iç ve dış mekânlarda kullanılan Sibirya çamı odununun yüzey pürüzlülüğü parametreleri ve shore D sertlik değeri üzerine ısıtılma işleminin etkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 1-8. DOI: 10.33725/mamad.911611.
- Ayata, Ü. (2022), Isıtılma işlemi görmüş Hindistan cevizi odununda bazı yüzey özelliklerinin incelenmesi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 8-16. DOI: 10.33725/mamad.1116999.
- Ayata, Ü., Bal, B.C. (2021), Kopie, fukadi ve porsuk ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik üzerine ısıtılma işleminin etkisi, Hoca Ahmet Yesevi, 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 5-6 Kasım 2021, Nahçıvan Devlet Üniversitesi, Azerbaycan, 166-180.
- Brack, W., Weik, J.H. (1994), El bosque nativo del Paraguay, Riqueza subestimada, Proyecto ALA 90-24, Serie N° 15. Ministerio de Agricultura y Ganadería & Cooperación Técnica Alemana (GTZ), Asunción.

- Castillo, F., Hernandez, D., Gallegos, G., Rodriguez R., Aguilar, C. (2012), Antifungal properties of bioactive compounds from plants, *Fungicides for Plant and Animal Diseases*. Editorial Dr. Dharumadurai Dhanasekaran. ISBN: 978-953-307-804-5.
- DIN 5033, (1979), Deutsche normen, farbmessung. normenausschuß farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV, Beuth, Berlin März.
- Esteves, B.M., Pereira, H.M. (2009), Wood modification by heat treatment: A review, *BioResources*, 4(1), 370-404.
- Guenther, E. (1944), A survey of oil of guaiac wood, *Am. Perfum. Essential Oil Rev.*, 46, 44-45.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J., Park, B., Banuwa, I. S., Febrianto, F., Kim, N. (2017), Color change and consumer preferences towards color of heat-treated Korean white pine and royal paulownia woods, *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 45(2), 213-222. DOI: 10.5658/WOOD.2017.45.2.213.
- Hillis, W.E. (1984), High temperature and chemical effects on wood stability, *Wood Science and Technology*, 18(4), 281-293. DOI: 10.1007/BF00353364.
- Hiltunen, E., Pakkanen, T.T., Alvila, L. (2006), Phenolic compounds in silver birch (*Betula pendula* Roth) wood, *Holzforschung*, 60(5), 519-527. DOI: 10.1515/HF.2006.086.
- ISO 2813, (1994), Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 554, (1976), Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- López, J.A., Little, E., Ritz, G., Rombold, J., Hahn, W. (1987), Árboles comunes del Paraguay: ñande yvyra mata kuera, Ediciones Cuerpo de Paz, Asunción.
- Lorenzi, H. (2002), Brazilian Trees. Volume 2. 4th Edition, Instituto Plantarum De Estudos Da Flora; Brazil.
- Mabberley, D.J. (1997), *The Plant-Book*, (2nd ed.), Cambridge University Press, Cambridge.
- Mitani, A., Barboutis, I. (2014), Changes caused by heat treatment in color and dimensional stability of beech (*Fagus sylvatica* L.) wood. *Drvna industrija*, 65(3), 225-232. DOI: 10.5552/drind.2014.1250.
- Mereles, F., Pérez de Molas, L. (2008), *Bulnesia sarmientoi* Lorenz ex Griseb. (Zygophyllaceae): estudio de base para su inclusión en el Apéndice II de la Convención CITES. Informe inédito. Asunción, Paraguay: Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción. Disponible en.
- Nabais, S. (2008), Estudo químico da *Bulnesia sarmientoi*, Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- Peng, Y., Liu, R., Cao, J., Chen, Y. (2014), Effects of UV weathering on surface properties of polypropylene composites reinforced with wood flour, lignin, and cellulose, *Applied Surface Science*, 31, 385-392. DOI: 10.1016/j.apsusc.2014.08.140.
- Richter, H., Dallwitz, M. (2000), Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval, Version: 4.

- Rodilla, J., Silva, L., Martínez, N., Lorenzo, D., Davyt, D., Castillo, L., Giménez, C., Cabrera, R., González-Coloma, A., Zrostlikova J., Dellacassa, E. (2011), Advances in the identification and agrochemical importance of sesquiterpenoids from *Bulnesia sarmientoi* essential oil. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 497-503.
- Rondina, R., Bandoni A., Coussio, J. (2008), Especies medicinales de Argentina con potencial actividad analgésica. *Dominguezia*, 24(1), 47-70.
- Salca, E.A., Kobori, H., Inagaki, T., Kojima, Y., Suzuki, S. (2016), Effect of heat treatment on colour changes of black alder and beech veneers. *Journal of Wood Science* 62(4), 297-304.
- Salvat, A., Antonacci, L., Fortunato, R., Suarez, E., Godoy, H. (2004), Antimicrobial activity in methanolic extracts of several plant species from northern Argentina. *Phytomedicine*, 11(2-3), 230-234. DOI: 10.1078/0944-7113-00327.
- Scarpa, G. (2000), Plants employed in traditional veterinary medicine by the criollos of the northwestern Argentine Chaco, *Darwiniana*, 38(3-4), 253-265. ISSN: 0011-6793. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable-Dirección De Bosques, 2014. Inventario forestal en bosques con presencia de palo santo (*Bulnesia sarmientoi*) en la zona del parque chaqueño semiárido. Informe final.
- Scarpa, G.F. (2004), Medicinal plants used by the Criollos of Northwestern Argentine Chaco. *Journal of Ethnopharmacology*, 91, 115-135.
- Surburg, H., Panten, J. (2006), Natural raw materials in the flavor and fragrance industry. *Common Fragrance and Flavor Materials*, 177, 177-238.
- Timar, M.C., Varodi, A.M., Hacibektasoglu, M., Campean, M. (2016), Color and FTIR analysis of chemical changes in beech wood (*Fagus sylvatica* L.) after light steaming and heat treatment in two different environments, *BioResources*, 11(4), 8325-8343. DOI: 10.15376/biores.11.4.8325-8343
- Türk, M., Ayata, Ü. (2021), Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerine ait odunlarda shore D sertlik değerleri üzerine ısıtma işleminin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 166-173. DOI: 10.33725/mamad.1005127.
- Ulay, G., Ayata, Ü. (2023a), Isıl işlem görmüş pembe fildişi (*Berchemia zeyheri*) (Sond.) Grubov) ahşabında seçilmiş bazı yüzey özelliklerinin incelenmesi, Karadeniz 12. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 3-5 Mart 2023, Rize, 389-400.
- Ulay, G., Ayata, Ü. (2023b), 200 derecede ısıtma işlem görmüş amaouk (*Detarium macrocarpum*) odununda bazı yüzey özelliklerinin ve shore D sertlik değerlerinin incelenmesi, 3. Uluslararası Karadeniz Modern Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 23-24 Mart 2023, Samsun, 670-678.
- Waller, T., Barros, M., Draque, J., Micucci, P. (2012), Conservation of the Palo Santo tree, *Bulnesia sarmientoi* Lorentz ex Gri-seb, in the South American Chaco Region. *Medicinal Plant Conservation*, 15, 4-9.
- Yao, C., Yongming, F., Jianmin, G., Houkun, L. (2012), Coloring characteristics of in situ lignin during heat treatment, *Wood Science and Technology*, 46, 33-40. DOI: 10.1007/s00226-010-0388-5.



Determination of the relationship between static and dynamic modulus of elasticity in beech wood

Emre Birinci*^{ID}

Abstract

In this study, the relationship between the dynamic modulus of elasticity determined using the stress wave method, which is one of the non-destructive test methods, and the static modulus of elasticity determined according to the TS ISO 13061-2 (2021) standard was investigated. In this context, randomly selected beech (*Fagus orientalis* Lipsky) timbers of 12x13x110 cm³ in dimensions were used. The time of flight of the timber in the radial and longitudinal directions was determined by using a FAKOPP microsecond timer with an accuracy of 1 µs. Oven-dry densities of the beech timbers were determined according to the TS ISO 13061-2 (2021) standard. Firstly, stress wave velocity and then dynamic modulus of elasticity values were calculated with the obtained data. The beech timbers were then cut into 20x20x320 mm dimensions for the static modulus of elasticity tests. Static modulus of elasticity resistance tests of the specimens were carried out in a Shimadzu AGIC/20/50KN universal test machine according to the TS ISO 13061-4 (2021) standard. Linear regression analyses of static and dynamic modulus of elasticity results were performed. According to the results of the analyses, it was determined that there is a strong relationship between the static and dynamic modulus of elasticity.

Keywords: Non-destructive tests, Stress-wave, Beech, Modulus of elasticity, Microsecond timer

Kayın odununda statik ile dinamik elastikiyet modülü arasındaki ilişkinin belirlenmesi

Öz

Bu çalışmada, tahribatsız test yöntemlerinden birisi olan stres dalga yöntemi kullanılarak belirlenen dinamik elastikiyet modülü ile TS ISO 13061-2 (2021) standardına göre belirlenen statik elastikiyet modülü arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu kapsamda rastgele seçilmiş 12x13x110 cm³ boyutlarındaki kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) keresteler kullanılmıştır. Kerestelerin radyal ve boyuna yöndeki uçuş süreleri, 1 µs hassasiyetteki FAKOPP marka mikro saniye zamanlayıcı kullanılarak belirlenmiştir. Kayın kerestelerin tam kuru yoğunlukları TS ISO 13061-2 (2021) standardına göre belirlenmiştir. Elde edilen veriler ile öncelikle stres dalga hızı ve daha sonra dinamik elastikiyet modülü değerleri hesaplanmıştır. Kayın keresteler daha sonra statik elastikiyet modülü testlerinin yürütülebilmesi için 20x20x320 mm boyutlarına getirilmiştir. Numunelerin statik elastikiyet modülü direnci testleri Shimadzu AGIC/20/50KN universal test cihazında TS ISO 13061-4 (2021) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Statik ve dinamik elastikiyet modülü sonuçlarının lineer regresyon analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre statik ve dinamik elastikiyet modülü arasında güçlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tahribatsız test teknikleri, Stres dalgası, Kayın, Elastikiyet modülü, Mikrosaniye zamanlayıcı

Article History: Received:27.04.2023, Accepted:07.06.2023, Published:30.06.2023, *e-mail:ebirinci@kastamonu.edu.tr

¹ Kastamonu University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industrial Engineering, Kastamonu/Türkiye

To Cite: Birinci E., (2023), Determination of the relationship between and dynamic modulus of elasticity in beech wood using non-destructive testing methods, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (1), 47-54,

DOI: 10.33725/mamad.1288875

1 Introduction

Wood is one of the traditional building materials used for various purposes since the earliest ages of human history. The mechanical properties of the heterogeneous and anisotropic wood material in different cutting directions vary depending on many factors such as wood species, wood density, anatomical structure, growing conditions, moisture content of the wood, growth defects, presence of rot, etc. Due to the large number of factors affecting the mechanical properties of wood material, the determination of the mechanical properties of wood material is not as practical as the determination of the mechanical properties of other homogeneous building materials. Especially in wood materials, due to the prevalence of growth defects, knots, fungal rot, and insect damage, small size perfect specimens conforming to the standards are traditionally used in laboratory conditions for the determination of mechanical properties. In addition to obtaining more reliable results with a low standard deviation, mechanical tests performed in laboratory conditions with small sized perfect specimens have disadvantages such as time loss and material loss. On the other hand, it is not possible to understand the resistance losses that will be caused by the defects of the large-sized wood material at the place of use (Bozkurt, 1986; Bozkurt and Göker, 1987; Dündar and Divos, 2014; İçel and Beram, 2016).

Destructive test methods are generally used to determine the mechanical properties of wood materials. With the use of destructive test methods, fracture and/or deformation occur in the wood material. In this case, the wood material cannot be reused and is lost. Due to these disadvantages, non-destructive test methods have been developed as an alternative to destructive test methods (Görgün and Dündar, 2016, 2018).

Non-destructive testing methods emerged with the development of instrumentation techniques in the 20th century. In some studies conducted in the 1960s, dynamic test results were determined by using the vibration method for non-destructive testing of structural timbers. By using non-destructive testing methods, information can be obtained about the physical and mechanical properties of the wood material, the growth defects it contains, the physical and biological damages it suffers, etc. without damaging the material. Non-destructive testing methods used in wood are generally classified as mechanical, acoustic, electromagnetic, and nuclear techniques (Bucur, 2003; Hoyle, 1961; İçel and Beram, 2016; Niemz, 2008; Pellerin, 1965; Ross and Pellerin, 1994; Senft et al., 1962; Tanasoiu et al., 2002).

The most widely used non-destructive test method is the acoustic evaluation method. With the stress wave method, which is one of the acoustic evaluation methods, the evaluation of the mechanical properties of industrial products and building timber can be carried out very quickly and easily (Dackermann et al., 2014; Divos, 2000; Divos et al., 2011; Dündar and Divos, 2014; Dündar et al., 2012; Dündar et al., 2013).

The aim of this study is to examine the relationship between the dynamic modulus of elasticity (MOEdyn) determined by the stress wave method, which is one of the non-destructive test methods, and the static modulus of elasticity (MOEstc) determined according to the TS ISO 13061-2 (2021) standard.

2 Material and Methods

2.1 Material

Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) timbers obtained from Kastamonu/Turkey were used in this study. Five timbers were randomly selected from the 12x13x110 cm³ timbers produced from beech sapwood. The timbers were carefully inspected to make sure they had no growing problems, knots, etc. The obtained timber was conditioned at 65±5% relative humidity and 20±2°C temperature. After conditioning, the moisture content of the timbers was measured with a moisture meter with a precision of 0.1 g and found to be 13.4%, 12.7%, 12.6%, 13.2%, and 12.9%, respectively.

2.2 Methods

Within the scope of the study, firstly, the MOE_{dyn} values of beech timbers were determined by the stress-wave method. FAKOPP microsecond timer device with a sensitivity of 1 µs was used in the measurements. The microsecond timer basically measures the velocity of the sound wave (time of flight) sent into the material between the sensors. Defects such as rot, knots, etc. that may be present in the material reduce this speed.

Time of flight measurements were performed in longitudinal and radial directions for all timber groups. Figure 1 shows representative images of the tests performed on beech timber. The sensors were carefully positioned to face each other throughout the tests. Measurements were made at 10 different points randomly selected from each cutting direction. The average flight time values were recorded by hitting three times to the red-coloured sensor with a 100 g hammer at each point. After the measurements, the stress wave velocities of beech timbers were calculated according to Equation 1.

$$\vartheta = \frac{l}{t} \times 10000 \quad (1)$$

Where; ϑ is stress wave velocity (m/s); l is distance between sensors (cm); t is time of flight (µs).



Figure 1. Determination of time of flight on beech timber

After the time of flight measurements were performed on the timbers, separate density and MOE_{stc} test specimens were prepared from each of the timbers numbered 1, 2, 3, 4, and 5. Density samples were prepared according to the TS ISO 13061-2 (2021) standard with dimensions of 20x20x30 mm³. The prepared test specimens were dried in a laboratory type oven at 103±2 °C until they reached constant weight. After drying, they were allowed to cool

for 30 minutes in a desiccator containing phosphorus pentoxide. The dimensions of the density samples were measured using a Mitutoyo digital micrometer with an accuracy of 0.001 mm and the weights were measured using a balance with an accuracy of 0.001 g. The oven-dry densities of beech samples were calculated according to Equation 2. MOE_{dyn} values of beech timbers were calculated according to Equation 3 using the oven-dry densities and stress wave velocities of beech timbers.

$$\rho_0 = \frac{\omega}{v} \quad (2)$$

Where; ρ_0 is oven-dry density (g/cm^3); ω is oven-dry weight (g); v is volume (cm^3).

$$MOE_{dyn} = \frac{\vartheta^2 \times \rho_0}{1000} \quad (3)$$

Where; MOE_{dyn} is dynamic modulus of elasticity (N/mm^2); ϑ is stress wave velocity (m/s); ρ is oven-dry density (g/cm^3).

MOE_{stc} test specimens were prepared with dimensions of 20x20x320 mm. The tests were carried out on a Shimadzu AGIC/20/50KN universal testing machine according to the TS ISO 13061-4 (2021) standard (Figure 2). In order to carry out the tests, the distance between the abutments is set to 280 mm. MOE_{stc} was calculated according to Equation 4.

$$MOE_{stc} = \frac{P \times l^3}{4 \times b \times h^3 \times f} \quad (4)$$

Where; MOE_{stc} is the modulus of elasticity (N/mm^2), P is a force equal to the difference between the arithmetic mean of the lower and upper limits of loading in the zone of elastic deformation (N), l is the distance between abutments (mm), b is the width of the test sample perpendicular to the annual rings (mm), h is the width of the test specimen tangential to the annual rings (mm) and f is the deflection in the net bending area, the difference between the arithmetic means of the results for deflections measured at the upper and lower limits of loading (mm).

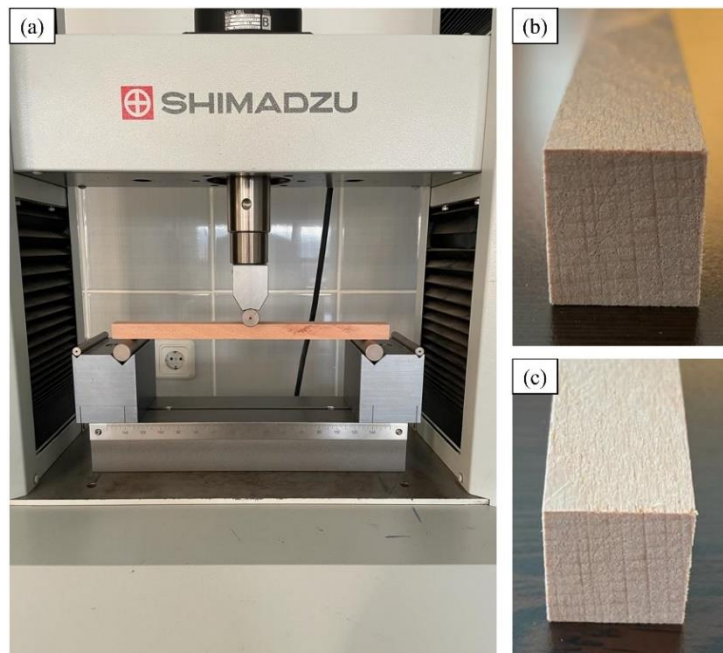


Figure 2. Static modulus of elasticity test (a); test samples (b, c)

3 Results and Discussion

The results of the oven-dry density tests performed on the test specimens taken separately from each beech timber within the scope of the study are given in Table 1. The mean oven-dry density values of each timber were calculated and it was found that there was no significant difference between the mean values. It was determined that the oven-dry density of the beech timbers used in the study was 0.615 g/cm^3 .

Table 1. Oven-dry density of beech timbers

Timber Number	Density (g/cm^3)
1	0.617 ± 0.008
2	0.613 ± 0.003
3	0.621 ± 0.011
4	0.611 ± 0.005
5	0.612 ± 0.007
General Mean	0.615 ± 0.004

Time of flight measurements of beech timbers in radial and longitudinal directions were performed and stress wave velocity values were calculated according to Equation 1 (Table 2). When the results were analyzed, it was found that the stress wave velocities of beech timbers were between 1669-1698 m/s in the radial direction and 4807-4883 m/s in the longitudinal direction.

Table 2. Descriptive statistics

Timber Number	Stress Wave Velocity (m/s)		MOE _{dyn} (N/mm^2)	MOE _{stc} (N/mm^2)
	Radial Direction	Longitudinal Direction		
1	$1680 \pm 37^*$	4883 ± 78	14666 ± 472	10724 ± 610
2	1675 ± 33	4823 ± 29	14309 ± 173	10353 ± 616
3	1698 ± 27	4807 ± 20	14213 ± 119	10741 ± 897
4	1682 ± 22	4817 ± 27	14268 ± 158	10715 ± 716
5	1669 ± 36	4836 ± 52	14381 ± 312	10495 ± 870

*Standard deviation

According to the studies in the literature, it is stated that the stress wave velocity values of a solid wood material should be in the range of 1000-1500 m/s in the radial direction and 3500-5000 m/s in the longitudinal direction (Dackermann et al., 2014; White & Ross, 2014). On the other hand, in the manual of the FAKOPP microsecond timer device used in time of flight measurements, it is stated that the mean stress wave velocity in the radial direction for beech species (*Fagus sylvatica*) is 1650 m/s (FAKOPP, 2022). It is understood that the results obtained in this study are compatible with the literature.

MOE_{dyn} values of beech timbers were calculated according to Equation 3. It was determined that the mean MOE_{dyn} values varied between 14213-14666 N/mm^2 . On the other hand, the average MOE_{stc} values determined by using small-size perfect specimens were found to be between 10353-10741 N/mm^2 . As in many studies, MOE_{dyn} values were higher than MOE_{stc} values in this study (Guntekin et al., 2014; Teles et al., 2011). There was approximately 26% difference between the MOE_{dyn} and MOE_{stc} values. This difference is thought to be due to the creep that occurs during the performance of the MOE_{stc} test (Divos and Toshinari, 2005; Perstorper, 1994; Tanaka et al., 1991).

In order to question the effectiveness of determining mechanical properties by stress wave method, the data obtained by non-destructive test methods were compared with the results obtained by destructive test methods.

Table 3. Regression analysis results.

Timber Number	<i>p</i> - value	R ²	Model
1	0.0002	0.8388	$y = 7072.35 + 0.70x$
2	0.0149	0.5441	$y = 12163.39 + 0.20x$
3	0.0003	0.8149	$y = 12923.32 + 0.12x$
4	0.0032	0.6834	$y = 12312.46 + 0.18x$
5	0.0004	0.8087	$y = 10991.48 + 0.32x$

The *p*, R² values and regression models obtained for each timber by regression analysis in the comparisons are given in Table 3. It is seen that the *p* value is less than 0.05 for all timbers. On the other hand, R² values vary between 0.54 and 0.83. This shows that there is a strong relationship between MOE_{dyn} and MOE_{stc} values for each beech timber.

The regression graph, *p*, R² values, and regression model obtained when MOE_{dyn} and MOE_{stc} values obtained from all timbers are evaluated together are shown in Figure 3.

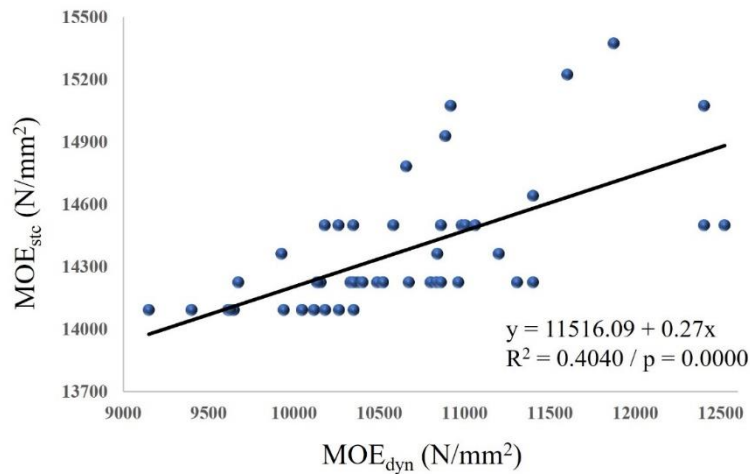


Figure 3. Relationship of static and dynamic modulus of elasticity.

Figure 3 shows that there is a relationship between MOE_{dyn} and MOE_{stc} values. The most appropriate linear regression line passing through the points was obtained as " $y = 11516.09 + 0.27x$ ". At the same time, the R² value of the model was found to be 0.4040. According to all these results, it can be said that if MOE_{dyn} increases by one unit, MOE_{stc} will increase by 0.27 units.

4 Conclusions

As a result of this study, in which the relationship between MOE_{dyn} obtained by using the stress wave method, one of the non-destructive test methods, and MOE_{stc} obtained by using destructive test methods in beech wood was examined, the following can be said:

- As a result of the destructive and non-destructive tests, it was found that there was a strong correlation between MOE_{stc} and MOE_{dyn} .
- When the data obtained from all beech timbers were evaluated together, according to the linear regression analysis, it was determined that if MOE_{dyn} increased by one unit, MOE_{stc} would increase by 0.27 units.
- By proving the existence of the relationship between MOE_{stc} and MOE_{dyn} and modelling this relationship with regression analysis, reliable predictions of the mechanical properties of structural beech timber by the stress wave method can be achieved.
- It is recommended that the relationship between MOE_{dyn} measured in planted trees and MOE_{dyn} measured after the same trees become timber should be modelled.

Author Contributions

Emre Birinci: Determination of the study topic, design of the experiment, obtaining data, analyzing and commenting on the data, writing and publishing the article.

Funding statement

No financial support was received for the study.

Conflict of interest statement

The author declare no conflict of interest.

References

- Bozkurt, A. Y. (1986), *Ağaç teknolojisi*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Taş Matbaası.
- Bozkurt, A. Y., Göker, Y. (1987), *Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi*, İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi.
- Bucur, V. (2003), *Nondestructive Characterization and Imaging of Wood*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-662-08986-6
- Dackermann, U., Crews, K., Kasal, B., Li, J., Riggio, M., Rinn, F., Tannert, T. (2014), In situ assessment of structural timber using stress-wave measurements, *Materials and Structures*, 47(5), 787–803. DOI: 10.1617/s11527-013-0095-4
- Divos, F. (2000), Stress wave based tomography for tree evaluation, Proceedings of the 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood.
- Divos, F., Sismandy, F., Takats, P. (2011), Evaluation of historical wooden structures using nondestructive methods, Proceedings of the International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures (SHATIS). Lisbon.
- Divos, F., Toshinari, T. (2005), Relation between static and dynamic modulus of elasticity of wood, *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 1, 105–110.
- Dündar, T., Divos, F. (2014), European wood NDT&NDE research and practical applications, *Eurasscience Journals*, 1(1), 35–43.
- Dündar, T., Kurt, Ş., As, N., Uysal, B. (2012), Nondestructive evaluation of wood strength using thermal conductivity, *BioResources*, 7(3), 3306–3316.
- Dündar, T., Wang, X., As, N., Avcı, E. (2013), Assessing the dimensional stability of two hardwood species grown in Turkey with acoustic measurements. *Proceedings of the*

18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, 459–468. Madison: United States Department of Agriculture, Forest Service.

FAKOPP. (2022), *FAKOPP microsecond timer manual*. Hungary.

Görgün, H. V., DüNDAR, T. (2016), Yapı kerestelerinde eğilme özelliklerinin incelenmesinde akustik esaslı tahribatsız test yöntemlerinin karşılaştırılması, *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2), 616–621.

Görgün, H. V., DüNDAR, T. (2018), Strength grading of Turkish black pine structural timber by visual evaluation and nondestructive testing, *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 20(1), 57–66.

Guntekin, E., Ozkan, S., Yılmaz, T. (2014), Prediction of bending properties for beech lumber using stress wave method, *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 16(1), 93–98. DOI: 10.4067/S0718-221X2014005000008

Hoyle, R. J. (1961), A nondestructive test for stiffness of structural lumber. *Forest Products Journal*, 11(6), 251–254.

İçel, B., Beram, A. (2016), Tarihi ahşap yapılarda bazı odun özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir tahribatsız muayene yöntemleri, *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 17(2), 201. DOI: 10.18182/tjf.02775

Niemz, P. (2008), Methods of non-destructive wood testing. Wood Science for Conservation of Cultural Heritage - *Proceedings of the International Conference Held by COST Action*. Braga: Firenze University Press.

Pellerin, R. F. (1965), A vibrational approach to nondestructive testing of structural lumber. *Forest Products Journal*, 15(3), 93–101.

Perstorper, M. (1994), Strength and stiffness prediction of timber using conventional and dynamic methods, *First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood*, Sopron, Hungary: University of Sopron.

Ross, R. J., Pellerin, R. F. (1994), Nondestructive testing for assessing wood members in structures.

Senft, J. F., Stanley K.S., Hugh D.A. (1962), A new approach to stress grading of lumber, *Forest Products Journal*, 12(4), 183–186.

Tanaka, T., Nagao, H., Nakai, T. (1991), Nondestructive evaluation of bending and tensile strength by longitudinal and transverse vibration of lumber, *8th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood*. Pullman, USA: Washington State University.



Tanasoiu, V., Miclea, C., Tanasoiu, C. (2002), Nondestructive testing techniques and piezoelectric ultrasonics transducers for wood and built in wooden structures. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 4(4), 949–957.

Teles, R. F., Del Menezzi, C. H. S., de Souza, F., de Souza, M. R. (2011), Nondestructive evaluation of a tropical hardwood: interrelationship between methods and physical-acoustical variables, *Revista Ciência Da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, 2(1), 10–12953.

White, R. H., & Ross, R. J. (2014), *Wood and timber condition assessment manual*, Madison.



Kastamonu'da bulunan tarihi ahşap yapıların çatı sistemlerinin incelenmesi

İsmail Derda Güler^{1*}, Önder Tor²

Öz

Bu çalışmanın amacı, Kastamonu ilinde varlığını koruyan tarihi ahşap yapıların özellikle çatılarının görünüş, tasarım ve karakteristik özellikleri hakkında bilgi verilerek çatı formu çizimleri ile şehrin mimari kimliğinin oluşmasındaki etkisini incelemektir. Bu kapsamda, Kastamonu ilinin merkezinde bulunan mimari nitelikteki 26 adet tarihi konağın ahşap çatı kısımları incelenmiştir. Yapıların çatıları incelendiğinde; iki, üç ve dört yüzeye sahip kırma, haçvari sekiz yüzeye sahip kırma, fenerli kırma çatıların bulunduğu ve tamamının geometrik formuna göre oturtma çatı özelliğinde olup aşık, mertek, payanda, göğüsleme, dikme gibi çatı elemanlarında düz ve lambalı birleştirme uygulandığı tespit edilmiştir. Çıkma, saçak süslemeleri, cihannüma gibi karakteristik özelliklerin ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Şehirde mevcut bulunan tarihi yapılardan ayrıcalıklı niteliğe sahip bir adet haçvari çatı tipinde konak, bir adet kule çatı tipinde konak da çalışmada yer almıştır. Sonuç olarak Kastamonu mimari kimliği oluşumunda büyük öneme sahip tarihî konakların ahşap çatıları teknik, görsel ve işlev yönünden incelenmiş ve tespitler ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Ahşap konak, Cihannüma, Eğim, Taşıyıcı eleman

Roof Systems in Historical Wooden Buildings in Kastamonu

Abstract

This study aims to provide details about the appearance, style, and distinguishing characteristics of the old wooden homes still standing in Kastamonu today and to investigate the role played by roof form drawings in creating the city's distinctive architectural style. The roof components of 26 historically significant, high-quality timber mansions in Kastamonu province's center were evaluated in this regard. When the roofs of the mansions are inspected, there are hipped roofs with two, three, and four surfaces, hipped roofs with eight cruciform surfaces, and hipped roofs with lanterns, and all of them have the characteristic of snap roofs according to their geometric form. It has been established that roof components, including rafters, purlins, pillars, buttresses, and breasting, use flat and lap jointing. Additionally, it has been noted that distinctive elements like overhanging, fringe embellishments, and cihannüma have become increasingly prominent. As a result, the roofs of old wooden mansions were analyzed in terms of technique, visual appeal, and utility. These roofs are crucial in defining Kastamonu's architectural identity.

Keywords: Bearing element, Pinnacle, Slope, Wooden mansion,

Makale tarihçesi: Geliş:29.04.2023, Kabul:15.06.2023, Yayınlanma: 30.06.2023, *e-posta:i.derdaguler@gmail.com

¹ Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu/ Türkiye

² Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kastamonu/ Türkiye

Atf: Güler İ.D., Tor Ö., (2023), Kastamonu'da bulunan tarihi ahşap yapıların çatı sistemlerinin incelenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 55-69, DOI: 10.33725/mamad.1289742

1 Giriş

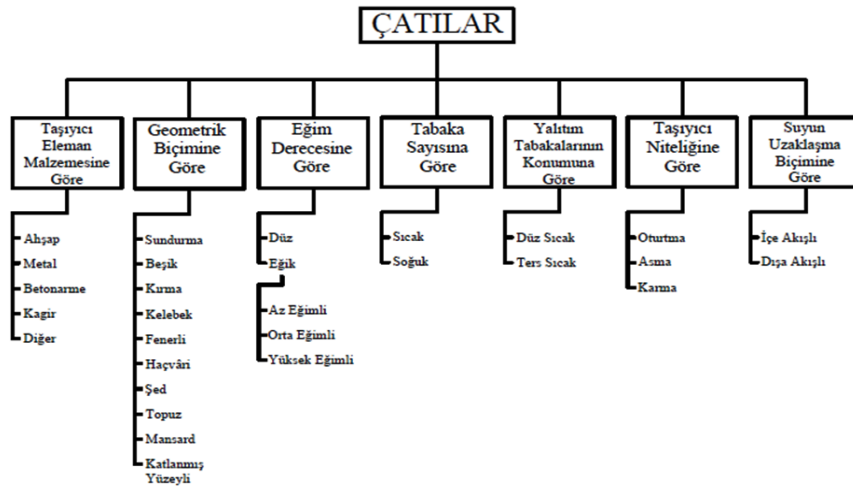
Anadolu'nun her bölgesinde, o bölgenin coğrafi şartlarının etkisiyle belirli yapı tipleri ortaya çıkmıştır. Toplum yaşantısını farklı şekillerde etkileyen geleneksel kültür öğeleri, buldukları şehirlerin mimarilerini de etkilemiştir (Sözlü, 2021). Anadolu'nun çeşitli yörelerindeki kültürel farklılıklar, bölgelerin iklim tipi çeşitliliği, ekonomik imkanlar gibi etkenler insanların yaşam alanı olan yapıların inşasında yapı malzemelerine ulaşılabilirlik ve kullanılabilirlik durumunu şekillendirmiş ve bu durum bölgesel olarak farklılıklar doğurmuştur. Bu farklılık, İç Anadolu Bölgesi'nde taş-kerpiç, Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde taş, Karadeniz Bölgesi'nde ahşap, Ege Bölgesi'nin iç kısımlarında zemin katlarda taş, üst katlarda ise ahşap taşıyıcı dolgu malzemenin yaygın bir şekilde kullanımı göze çarpmaktadır (Söğütü ve Kılıç, 2010). Bölgesel olarak bakıldığında, ormanın yoğun olduğu, orman endüstrisinin bulunduğu bölgelerde ahşap, kayaç oluşumu fazla olan bölgelerde ise taş ana yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte ahşap farklı bölgelere ve çeşitli malzemeye dayalı yerel konut mimarisi içinde genelde tercih edilen konut malzemesidir. Karadeniz Bölgesinde de örneklerine oldukça fazla rastlamak mümkündür (Gezer ve ark., 2021). Ayrıca geçmişten günümüze çatı da dahil yapı konstrüksiyonlarının çeşitli kısımlarında yoğun olarak kullanılmıştır. Bu durumun temel nedenleri, ahşap malzemenin doğallığı, görsel çeşitliliği, kolay işlenebilir ve yenilenebilir olması, ses ve ısı yalıtımının iyi düzeyde sağlaması, korozyona karşı dirençliliği, bağlantı elemanları ile yüksek mukavemetinin olmasıdır (Bozkurt, 2013). Türk mimari geleneğinde ahşap çatılar, genellikle %25-35° eğimli kırma geometrik biçimde ve saçaklı şekilde olup üzerine alaturka kiremit yerleştirilmiştir.

Ev, insanın barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla en fazla inşa edilen yapıdır (Söğütü ve Kılıç, 2010). Bununla birlikte, aile bireylerinin beslenme, dinlenme, yaşama gereksinimleri ile toplumsal, ekonomik, fizyolojik ve estetik ihtiyaçlarını karşılamakta evlerin tarih boyunca bir önemi olmuştur (Aras ve ark., 2005). Bu ihtiyaçlar doğrultusunda Anadolu'da, geleneksel konut mimarisinde evlerin çeşitli farklılıklar göstermesi her birinin özgün tasarıma sahip olduğu anlamını taşır (Başak, 2021). Kastamonu, tarihi ve kültürel zenginliğiyle birlikte, Anadolu'daki en eski yerleşim yerlerinden biridir (Özcan, 2005). Tarih boyunca birçok topluluğa ev sahipliği yapmış, izlerini ve eserlerini günümüze taşımıştır. Kastamonu'da yapılan kazı çalışmalarında Germeç ve Gököy'de çıkarılan kalıntılar Yontma Taş devrine ait olduğunun belirlenmesiyle Kastamonu tarihini M.Ö. 50 bine kadar götürür. İlk çağda "Paflagonya" adı verilmiş, zamanımıza kadar Gaslar, Hititler, Frikler, Kimmerler, Lidyalılar, İranlılar, Yunanlılar, Pontuslar, Romalılar, Bizanslılar, Danişmentliler, Çobanoğulları, Candaroğulları ve Osmanlılar kavim ve devletlerinin hâkimiyetleri altına girmişlerdir (Asar, 2011). Bu kavim ve devletlerin hâkimiyetleri süresince insanlar, ihtiyaçlarını gidereceği ve çevrenin zararlarından korunacağı çeşitli malzemelerden barınaklar yapmışlardır (İşler, 2010). Tarihi Kastamonu evlerinin yapım tarihine ilişkin veriye rastlanmamakla birlikte eşzamanlı veya yakın zaman aralıklarında yapıldıkları tahmin edilmesi dolayısıyla, bu yapıların teknik, mimari özelliklerine ve Kastamonu'daki benzer tarihi ahşap yapıların analojisine göre 19. yüzyılın sonlarında inşa edildikleri söylenebilir (URL-1, 2023). Kastamonu konutlarının, yapının iskeletini oluşturan ahşap dikmelerin altına yerleştirilmiş blok taşlar ile dikme aralarının kerpiç veya taş duvar ile doldurulmasıyla inşa edildiği sıkça gözlemlenmiştir. Kentin, bir derenin iki yamacındaki vadide güney-kuzey yönünde kurulu olması, konutların yönünü inşa sırasında zorunlu olarak şekillendirmiş olup bu zorunluluk neticesinde oluşabilecek problemler, yapıların sokak eğim çizgilerine paralel olarak konumlanmasıyla çözümlenmiştir. Ayrıca tarihi Kastamonu konutlarının cephelerinde bulunan, estetik görünüm

kazandıran ve yapı tasarımında etken unsur olan çıkmalar çatı formunun şekillenmesinde etkilidir. Bununla birlikte, ada ya da parselin form bozukluğunu düzeltmek, yapı inşa alanını kısmen de olsa artırmak veya cepheye daha iyi açıyla yönelim sağlamak amacıyla yapılan çıkmalar ile konutun çatı katında benzer ya da görsel amaçla inşa edilen cihannümler, sokak silüetlerinin oluşumunda etkili olduğu kadar kentin genel görünümünü adeta mimari estetiğe sahip bir tablo gibi pitoresk kılan unsurlardır. Ayrıca yapıların üst katlarında sofa ve odaların yeterli ışık almasını sağlayan çok pencereli uygulamalar bulunmaktadır (Akyol, 2008).

1.1 Çatıların Sınıflandırılması

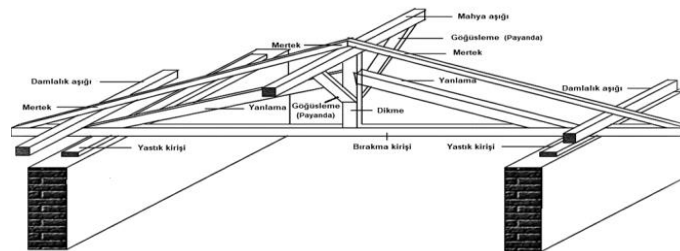
Çatılar; geometrik biçimine, yalıtım tabakalarının konumuna, eğim derecesine, taşıyıcı eleman malzemesine, tabaka sayısına, taşıyıcı niteliğine, suyun uzaklaştırılma biçimine göre sınıflandırılır (Akyol, 2008). Şekil 1’de yapılarına göre çatı şekilleri ve türleri görülmektedir.



Şekil 1. Çatıların Sınıflandırılması (Akyol, 2008)

1.1.1 Taşıyıcı elemanlarının malzemesine göre çatılar

Çatılar, taşıyıcı sistemlerini oluşturan elemanların malzemesine göre; ahşap, metal, kâgir, betonarme ve diğerleri olarak beş gruba ayrılır. Ahşap çatılar ahşap malzemeden, betonarme çatılar betondan, metal çatılar metal elemanlardan, kâgir çatılar topraktan veya taştan yığılarak, diğer çatı türleri ise farklı malzemeli elemanlardan yapılmıştır (Akyol, 2008). Ahşap çatı konstrüksiyon sistemleri (Çizelge 1.) göğüslemeler, yanlamalar, aşıklar, bırakma ve yastık kirişleri, mertekler, mahyalar, dikmeler, kuşaklar, rüzgar kirişleri, çatı örtüsü, örtü altı kaplaması kısımlarından oluşmaktadır. Bu kısımlar bulon, kama, çivi, gibi bağlantı elemanlarıyla ya da çatı elemanlarının birbirine geçirilmesi ile bağlanarak çatı oluşturulmaktadır (Akyol, 2008). Şekil 2’de çatı perspektif görünümü ve konstrüksiyon elemanları görülmektedir.



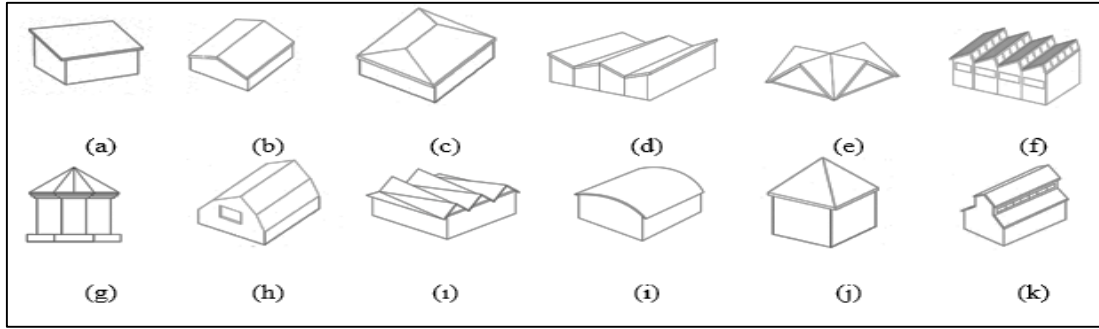
Şekil 2. Çatı perspektif görünümü ve konstrüksiyon elemanları (URL-2)

Dikmeler, oturma sistemlerde duvar ya da kolona yerleştirilen mahya aşığının oturduğu mesnetlerdir ve aşık, mertek ve çatı örtüsü yüklerini taşırlar. Aşıklar, merteklerin yerleştirildiği taşıyıcı kirişler olup çatıda buldukları yere göre damlalık aşığı, ara aşık, mahya aşığı adının alırlar. Bırakma kirişi, dikmeler aynı düşey düzlemde duvar bulunmaması halinde bu kirişlerin üzerine oturtulur. Asma çatıda sıkça kullanılan çatı elemanıdır. Mertekler, aşıklar üzerine oturmakta ve örtü altı kaplamasının yükünü taşımaktadırlar (Binan, 2010). Kuşaklar, bir çatı makası üzerinde bulunan dikme, aşık, yanlama ve mertekleri, her iki yüzeyden birbirine bağlayan çubuklardır. Göğüslemeler (Payandalar), asma çatılarda, aşıklara ve dikmelere bağlanan, mahya aşığı ile gelen yükleri 45° dikmelere aktaran yardımcı taşıyıcı elemanlardır. Yanlamalar, asma çatılarda, mahyalardan aldığı yükleri, bırakma kirişindeki düğüm noktalarına; oturtma çatıda ise duvar, kiriş ya da kolonlara ileten elemanlardır. Rüzgar bağlantıları, çapraz olarak yarım geçmelerle mertekler altına çakılan, mertek niteliğinde elemanlardır. Rüzgarın neden olabileceği deformasyonları önleme görevini üstlenmektedirler (Esen, 2010).

1.1.2 Geometrik biçimlerine göre çatılar

Mimari formuna göre değerlendirilmiş olup literatürde çeşitli dış formda çatı biçimleri mevcuttur. Sundurma çatılar, tek yüzeilidir (Şekil 3-a). Diğer üç çatı cephesinde eğim bulunmayıp mahya aşığına kadar yükseltilmiş ve çatı örtüsü ile korunmuş dik açılı kalkan duvarı mevcuttur. Yağmur veya kar suyu yalnız tek tarafa doğru akar. Beşik çatı, iki yüzeilidir (Şekil 3-b). Yapının yüzey bulunmayan diğer iki çatı cephesinde kalkan duvarı vardır. Mahya aşığından damlalık aşığına uzanan mertekler karşılıklı olarak aynı seviyede ve aynı sayıdadır. Kırma çatı dört yüzeilidir (Şekil 3-c). Yüzeyler genellikle eş ölçülerde olup mahya, orta ve damlalık aşıkları gibi çatı konstrüksiyon elemanları karşılıklı olarak aynı seviyededir. Kelebek çatı, bir dere oluşturacak biçimde eğimli iki adet yüzeyin kesişmesiyle oluşan çatı biçimidir (Şekil 3-d). Bu çatı tiplerinde genellikle birden fazla simetrik eğimli yüzeylerin bir araya gelmesiyle farklı formlarda çatılar oluşturulabilmektedir (Akyol, 2008). Haçvari çatı, iki beşik çatının eş yükseklikteki mahya aşıklarının orta noktasından birleştirilmiş çatı şeklindedir (Şekil 3-e). Bu orta noktada birleşen dört tepe mahyadan damlalık aşığına uzanan dört dere mahya oluşmaktadır. Dört cephede tepe mahyaya kadar yükselen kalkan duvarı bulunmaktadır. Şed çatı, çok sayıda sundurma veya beşik çatının aynı seviyede yan yana sıralanmasından oluşmaktadır (Şekil 3-f). Şed çatının az eğimli yüzeyi genel olarak 33° lik bir eğime sahiptir. Bu çatı tiplerinde, binanın iç kısmında güneş ışığından faydalanmak için pencereler bulunmaktadır. Pencerelerin bulunduğu yüzeyler genellikle tam düşey ya da eğimli bir düzlem şeklinde konumlandırılmaktadır (Binan, 2010). Topuz çatı, binayı piramit benzeri bir geometri ile örten çatıdır (Şekil 3-g). Mahya aşığı bulunmamakla birlikte tepe mahyalar dört köşeden yükseltilerek çatı örtüsünün orta noktasında birleştirilmek suretiyle oluşturulmaktadır. Altı yada sekiz yüzeili olarak tercih edilmektedir. Mansart çatı, yüzey şekli ve konstrüksiyon yapısına göre diğer çatı türlerinden farklıdır. Orta aşığın yükseltilmesiyle damlalık aşığı ile arasındaki eğim açısı artırılmıştır (Şekil 3-h). Bunun sebebi, çatı arası hacim kullanım için daha elverişli hale getirilmesi ve kar yükünün çatı örtüsü üzerinde kalma süresi de azaltılmasıdır. Bu çatılar tercihen çatı arasında istenilen yükseklik ve genişliğe göre tasarlanabilmektedir. Çatının eğimli yüzeyi bulunmayan cephelerinde kalkan duvarına ihtiyaç duyulmaktadır. Katlanmış yüzeili çatı, eğimli düzlemlerin boyuna yönde birleştirilmesiyle elde edilen yarı üçgen prizma şeklindeki katmanların yapı üzerine oturtulduğu çatı strüktür sistemidir (Şekil 3-ı). Ardışık olarak dere ve tepe mahyaların yan yana dizilmesi bu konstrüksiyon sisteminin ve suyun uzaklaştırılma biçimine göre içe akışlı olması bu çatı tipinin karakteristik özellikleridir. Eğimli çatı, tek

yüzeyle olup bu yüzeye istenilen miktarda eğim verilmesiyle oluşturulmaktadır (Şekil 3-i). Çatı konstrüksiyon sistemi taşıyıcı niteliğine göre genellikle asma çatıdır ve geniş açıklıklara sahip cami, spor tesisleri, kongre ve fuar alanları gibi binaların örtülmesinde tercih edilmektedir. Kule çatı, damlalık aşığın dik şekilde yerleştirilen merteklerin yüzeylerinden yükseltilerek çatı örtüsü merkezinde birleştirilmesiyle elde edilen çatı tipidir (Şekil 3-j). Topuz çatı tipine benzer özellik göstermekle birlikte dört yüzeye sahip olmasıyla farklılık kazanmaktadır. Fenerli çatı, iki kısımdan oluşan binanın iç kısmında güneş ışığından faydalanmak amacıyla dik açıyla konumlandırılan pencereler bulunmaktadır (Şekil 3-k). Tabaka sayısına göre bu pencerelerin alt kısmı soğuk, üst kısmı ise sıcak çatıdır. Geleneksel yapılarda bu kısma cihannüma adı verilmekte ve uygulamada sıkça rastlanmaktadır (Akyol, 2008).



Şekil 3. (a) Sundurma çatı (b) Beşik çatı (c) Kıрма çatı (d) Kelebek çatı (e) Haçvari çatı (f) Sed çatı (g) Topuz çatı (h) Mansard çatı (i) Katlanmış yüzeyle çatı (j) Eğimli çatı (k) Kule çatı (k) Fenerli Çatı

1.1.3 Eğim derecelerine göre çatılar

Çatılar, eğim derecelerine göre düz ve eğimli olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Eğim derecesi %6 dan az olan çatılar düz, %6 – 19 arasındaki çatılar az eğimli, %20 - 44 arasındaki çatılar orta eğimli, %45 den büyük olan çatılar ise yüksek eğimli çatılardır (Akyol, 2008).

1.1.4 Tabaka sayılarına göre çatılar

Bırakma kirişi üzerine kaplama tahtası denilen aynı ölçüdeki ahşap malzemelerin yan yana yerleştirilmesiyle oluşturulan zemin ile çatı konstrüksiyon sistemi arasında kalan ve depolama ya da yaşam alanı amaçlı kullanılan kısma çatı arası denilmektedir. Çatı arası soğuk çatılarda (Şekil 4-a) bulunurken, sıcak çatılarda (Şekil 4-b) ise bulunmamaktadır (Koca ve As, 2016). Sıcak çatılarda çatı arası yerine aynı nitelikteki kaplama tahtaları, bırakma kirişi üzerine olmayıp, çatı örtüsünün serilmesi amacıyla sadece mahya aşığında damlalık aşığın uzanan merteklerin üzerine yerleştirilmektedir.



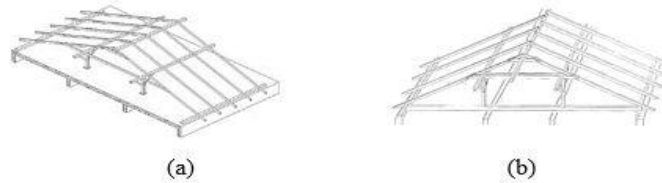
Şekil 4. (a) Soğuk çatı (URL-3), (b) Sıcak çatı (URL-4)

1.1.5 Yalıtım tabakalarının konumuna göre çatılar

Çatılar, su ve ısı izolasyon tabakalarının konumuna göre; düz sıcak çatı ve ters sıcak çatı olarak iki gruba ayrılmaktadır. Düz sıcak çatılarda, su yalıtım tabakası ısı yalıtım tabakasının üzerine yerleştirilerek ısı yalıtımının su alarak bozulması engellenmekle birlikte, ters sıcak çatılarda su yalıtım tabakası ısı yalıtım tabakasının altına yerleştirilip ısı yalıtım tabakasının içerdeki yoğunlaşan nemden zarar görmesi engellenmektedir (Akyol, 2008).

1.1.6 Taşıyıcılık Niteliğine Göre Çatılar

Taşıyıcı sistemin niteliğine göre çatılar; oturtma, asma ve karma çatılar olarak türlere ayrılmaktadır. Oturtma çatılar, çatı örtüsü ve konstrüksiyon sistemi ağırlığı ile kar, yağmur, rüzgar gibi dış yükleri, duvar, kiriş, kolon gibi taşıyıcı elemanlara kolaylıkla aktarabilen, plan düzeni olarak büyük açıklıkları olmayan binalarda maliyet avantajından dolayı tercih edilmektedir (Şekil 5-a). İki aşıklı oturtma çatıda aşıklar arasındaki açıklık, uygulanabilecek mertek ve destekleme görevindeki dikme açıklıklarını belirler. Üç aşıklı oturtma çatıda her yüzeyde mahya ve orta aşıkları taşıyan üçer dikme gereklidir. Mahya aşığı ile damlalık aşığı arası uzunluk 5.00-7.00 m yada daha fazla olan büyük açıklığa sahip binalarda üç aşıklı oturtma çatı uygulamak, iki aşıklı oturtma çatıdan daha uygun olmaktadır. Üç aşıklı oturtma çatıda aşıklar kuşak ve dikmelerle birleşirler. Asma çatılar, plan düzeni bakımından büyük hacimlerden oluşan binalardaki geniş açıklıklar oturtma çatı sistemlerine olanak vermediğinden bu büyük açıklıklar, kafes kirişler veya makaslarla yani asma çatı sistemi ile aşılmaktadır (Şekil 5-b). Bu kirişler ve makaslar, çatının sahip olduğu eğime uygun olarak biçimlendirilmektedir (Binan, 2010). Asma çatılar, yüzey şekillerine göre tek yüzeyli, iki yüzeyli ve kırma asma çatılar şeklinde sınıflandırılırken; oturtma çatıdaki dikme vazifesini üstlenen baba sayısına göre, tek babalı, iki babalı ve üç babalı asma çatılar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Karma çatılar; büyük ve küçük açıklıkların birlikte bulunduğu binalarda, farklı büyüklükteki açıklıklara aynı taşıyıcı sistemi uygulamak yerine değişen açıklıklara göre değişik makas tiplerinin bir arada kullanıldığı karma sistemler uygulanmaktadır (Binan, 2010).



Şekil 5. (a) Oturtma çatı , (b) Asma çatı

1.1.7 Suyun Uzaklaştırılma Biçimine Göre Çatılar

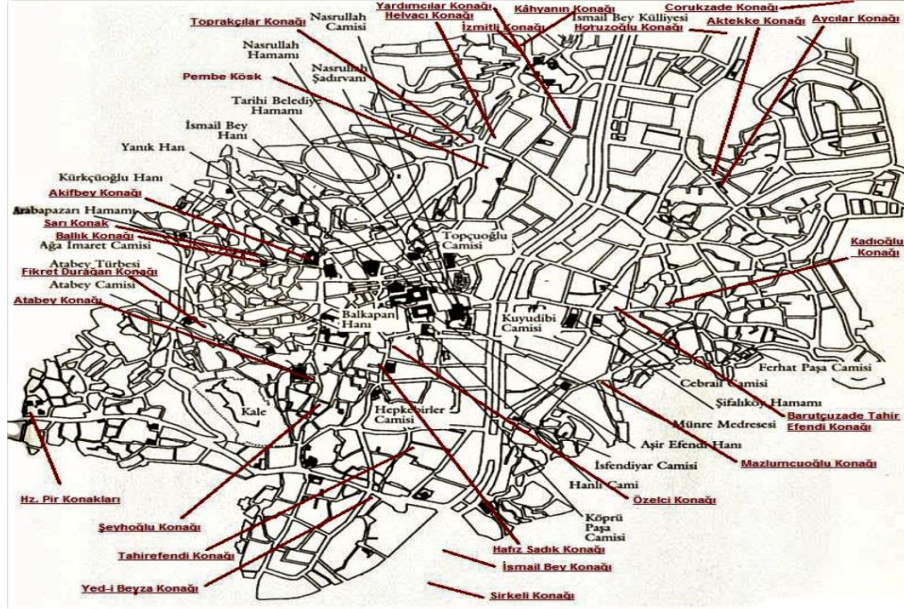
Çatılar, yağış suyunun uzaklaştırılma şekline göre, dışa akışlı çatılar ve içe akışlı çatılar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Dışa akışlı çatılar; yağmur sularını, eğim yönü nedeniyle dışarı doğru akıtmakta (Şekil 3-b), içe akışlı çatılar ise; çatı yüzeylerinin içe eğimli konumlarından dolayı suyu içeri akıtıp (Şekil 3-d), uygun şekilde iç kısımda toplamaktadır (Akyol, 2008).

Kastamonu ilinde varlığını koruyan tarihi ve ahşap yapıların çatılarının görünüş, tasarım, karakteristik özellikleri, çatı formu çizimleri, şehrin mimari kimliğindeki etkisinin incelenmesi çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Anadolu'daki ahşap yapıların incelendiği bilimsel çalışmalarda genellikle ahşap çatı konstrüksiyonuna değinilmemesi, Kastamonu ili özelinde ise bu şekildeki incelemeye literatürde hiç rastlanmaması çalışmanın özgün değer taşıdığının göstergesidir.

2 Materyal ve Metot

2.1 Metot

Bu çalışmada, Kastamonu il merkezinde bulunan tarihî yapı özelliği taşıyan, incelenmesi fiziki olarak mümkün olan ve ahşap çatıları orijinal ve/veya restore edilmiş durumdaki 26 adet tarihî yapı incelenmiştir. Bu yapıların ahşap çatı kısımları, çatı örtüsü altındaki ahşap konstrüksiyon sistemi ile çatı örtüsünde bulunan karakteristik ve teknik özellikleri belirlemek amacıyla incelikli gözlem yapılmıştır. Yapılan bu gözlem ile birlikte tarihi ahşap yapılar ile ilgili ulusal ve uluslararası ölçekte ahşap çatı konstrüksiyon sistemleri alanında literatür taraması yapıldı; elde edilen teknik bilgiler ışığında Kastamonu tarihi yapılarının ahşap çatılarının teknik çizimleri AutoCAD programı (AutoCAD 1.2 2019) kullanılarak çizilmiştir. Çatı sistemlerinin bu teknik bilgilere ve çizimlere göre analizi çalışmanın bulgular ve sonuç kısmında verilmiştir. Ayrıca Şekil 6’te il merkezinde akan ırmağın karşılıklı kuzeybatı ve güneydoğu yönlerinde konumlanmış olan Kastamonu Kalesi ve Kastamonu Saat Kulesi çevresindeki nispeten tarihi niteliğe sahip mahallelerdeki konaklar yoğunlukla incelenmiş olup şehrin diğer mahallelerindeki tarihi ahşap yapılara da çalışmada yer verilmiştir.



Şekil 6. Kastamonu il merkezi krokisi ve çalışma kapsamında incelenen tarihi ahşap yapılar (URL-5)

3 Bulgular ve Tartışma

3.1 İncelenen ahşap yapıların çatı sistemlerinin ortak özellikleri

İncelenen çatı sistemlerinin tamamı, taşıyıcı niteliğine göre oturta çatı ve eğim derecesine göre orta eğimli (20° - 35°) eğik çatı olarak sınıflandırıldı. Çatı sistemlerinde kullanılan malzemelerin tamamının taşıyıcı eleman malzemesine göre ahşap olduğu gözlemlendi. Çatı sistemlerin tamamında biriken su dışı akışlı şekilde uzaklaştırıldığı tespit edilmiş edildi. Çatı sistemlerinin saçakları incelendiğinde tamamının sarkan saçaklı olduğu saptandı.

3.2 İncelenen çatıların karakteristik özellikleri

İncelenen ahşap yapıların karakteristik çatı özellikleri sırasıyla aşağıda ve çizelgelerde belirtilmiştir.

Akif Bey Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 2’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre fenerli çatıdır. Cihannüma çatısı, biçimine göre dört yüzeyli kırma çatıdır. Birinci katın çatısı karma olup farklı cephelerde tek yüzeyli sundurma, iki yüzeyli ve üç yüzeyli kırma çatı biçimindedir. Bu çatının sokağa ve avluya cepheli kısımları sundurma, yan cephelerdeki kısımlar ise kırma çatıdır. Çatının cephe geçişlerinde tepe ve dere mahyalar göze çarpmaktadır. Karakteristik olarak cihannüma mevcut olup bu kısım avluya cephelidir ve dört tarafında da pencere bulunmaktadır. Tabaka sayılarına göre cihannüma sıcak, diğer kısımlar soğuk çatıdır.

Aktekke Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 2’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre üç yüzeyli kırma çatıdır. Ancak çatının yan cephesinde konağın sokağa paralel formunda bulunan çıkmalar, çatı örtüsünde dere ve tepe mahyalı olarak iki ve üç yüzeyli kısımları meydana getirmektedir. Konağın yan binaya bitişik kısmında mahyaya doğru yükselen kalkan duvarı mevcuttur. Çatıda karakteristik olarak çıkmalar bulunmaktadır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Atabey Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 2’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre fenerli çatıdır. Cihannüma çatısı, biçimine göre iki yüzeyli kırma çatıdır. Birinci katın çatısı yan ve ön cephelerde dere ve tepe mahyaya sahip iki yüzeyli kırma çatı biçimindedir. Karakteristik olarak ön cepheye sahip cihannüma ve arka cephede kalkan duvarı bulunmaktadır. Tabaka sayılarına göre ise cihannüma sıcak, diğer kısımlar soğuk çatıdır.

Aycılar Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 2’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre iki yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak ön cephede çıkmalar ve yan cephede kalkan duvarı mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Çizelge 2. İncelenen bazı çatıların (1 - 4) karakteristik yapı özellikleri ve cephe çizimleri

Yapı Adı	Konum	Çatı Görseli	Tipi	Yüzey Sayısı	Aşık Sayısı	Örtü	Karakteristik Özellik	Çatı Üst Görünüşü ve Cephe Çizimleri		
								Üst	Ön (a) - Arka (b)	Sağ (c) - Sol (d)
1. Akif Bey Konağı	Akmescit mah.		Fenerli Çatı - Sıcak	Üç-Dört Yüzeyli	İki Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Cihannüma			
2. Aktekke Konağı	Aktekke mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Üç Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Kalkan Duvarı -Dere Mahyalar			
3. Atabey Konağı	Atabeygazi mah.		Fenerli Çatı - Sıcak/ Soğuk	İki Yüzeyli	İki-Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Cihannüma -Kalkan Duvarı			
4. Aycılar Konağı	Aktekke mah.		Besik Çatı - Soğuk	İki Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Kalkan Duvarı -Saçak Çıkıntıları			


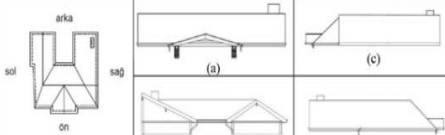

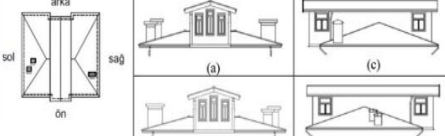

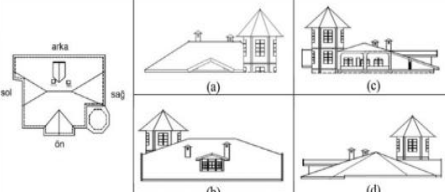

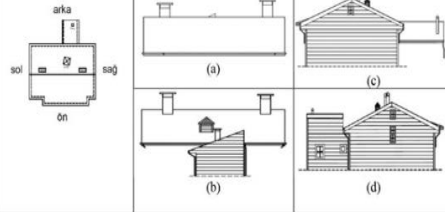
Ballık Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 3’de verilmiştir. Bu konağın çatısı U şeklinde olup Kastamonu ilinde az rastlanmaktadır. Geometrik biçimine göre karma olup, ön cepheye ve sol cephe kısmı iki yüzeyli kırma çatı, sağ cephe kısmı ise tek yüzeyli sundurma çatıdır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Baruçuzade Tahir Efendi Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 3’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre fenerli çatıdır. Cihannüma iki yüzeyli kırma çatı, birinci katın çatısı ise her iki yan cephede üç yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak ön ve arka cepheye sahip cihannüma bulunmaktadır. Tabaka sayılarına göre ise cihannüma sıcak, diğer kısımlar soğuk çatıdır.

Corukzade Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 3’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre dört yüzeyli kırma, kule çatısı yedi yüzeyli kırma çatıdır. Çatının karakteristik olarak sağ yan cephesinde kalkan duvarı bulunurken sol yan cephesinde ise kalkan duvarının orta kısmında balkon bulunmaktadır. Buna bağlı olarak çatı konstrüksiyonunda mahya yükseklikleri farklıdır. Yapının bahçeye bakan arka cephesinde çıkmalar mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Fikret Durağan Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 3’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre beşik çatıdır. Arka cephede avluya açılan kapının bulunduğu kısmın çatısı sundurma çatıdır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Çizelge 3. İncelenen bazı çatıların (5 - 8) karakteristik yapı özellikleri ve cephe çizimleri

5. Ballık Konağı	Akmescit mah.		Beşik Çatı/ Sundurma Çatı - Soğuk	Bir-İki Yüzeyli	İki Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Kalkan Duvarı -U Tipi Plan		(a)	(c)
6. Baruçuzade Tahir Efendi Konağı	Kırkçeşme mah.		Fenerli Çatı - Sıcak/ Soğuk	İki-Üç Yüzeyli	İki Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Cihannüma		(a)	(c)
7. Corukzade Konağı	İnönü mah.		Beşik Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Altgen Kule -Kalkan Duvarı -Çatarası Balkon		(a)	(c)
8. Fikret Durağan Konağı	Akmescit mah.		Beşik Çatı - Soğuk	İki Yüzeyli	İki-Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Kalkan Duvarı		(a)	(c)


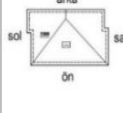
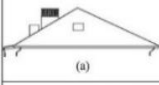
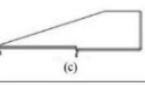

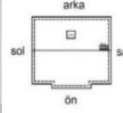
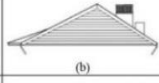
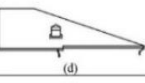

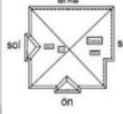
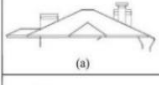
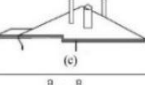

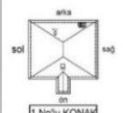
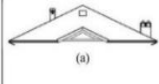
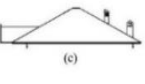


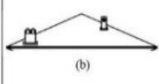
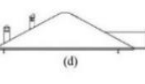
Hafız Sadık Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 4’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre üç yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak arka cephede kalkan duvarı mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Helvacıoğlu Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 4’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre iki yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak ön cephede çıkma ve nadir rastlanan süslemeli alın tahtası bulunmaktadır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Horuzoğlu Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 4’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre dört yüzeyli kırma çatıdır. Ön ve yan cephelerde çatı çıkmaları bulunmaktadır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Hız. Pîr Şeyh Şaban-ı Velî Külliyesi Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 4’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre her iki konağın çatısı, dört yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak ön kısımda çıkma mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Çizelge 4. İncelenen bazı çatıların (9 - 12) karakteristik yapı özellikleri ve cephe çizimleri

9. Hafız Sadık Konağı	Hepkebirler mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Üç Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Kalkan Duvarı			
10. Helvacıoğlu Konağı	İsmail Bey mah		Beşik Çatı - Soğuk	İki Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Kalkan Duvarı			
11. Horuzoğlu Konağı	Arnavutoğlu cad		Kırma Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Eyyan Çıkmaları			
12. Hz. Pîr Şeyh Şaban-ı Velî Külliyesi 1 No’lu Konak	Hisarardı mah.	 (URL 8)	Kırma Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Eyyan Çıkmaları			
										

İsmail Bey Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 5’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre dört yüzeyli kırma çatıdır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

İzmitli Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 5’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre üç yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak ön cephe saçağında süslemeli alın tahtası, sol cephede güvercinlik, sağ cephede kalkan duvarı mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Kadıoğlu Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 5’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre dört yüzeyli kırma çatıdır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Çizelge 5. İncelenen bazı çatıların (13 - 15) karakteristik yapı özellikleri ve cephe çizimleri

13. İsmail Bey Konağı	Beycelebi mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Saçak Çıkması			
14. İzzettin Konağı	İsmail Bey mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Üç Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Güvercinlik -Saçak Çıkmaları -Kalkan Duvarı			
15. Kadıoğlu Konağı	Cebrail mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Saçak Çıkmaları			

Kahyanın Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 6'de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre cihannüma beşik, birinci kat çatısı iki yüzeyle kırma çatıdır. Karakteristik olarak cihannüma mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise cihannüma sıcak, diğer kısımlar soğuk çatıdır.

Mazlumcuoğlu Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 6'de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre fenerli çatı, tek yüzeyle çatı, iki yüzeyle kırma çatı bileşiminden oluşmuştur. Karakteristik olarak çatı biçimi, diğer konaklara göre farklı olup karma tiptedir. Cihannüma mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise cihannüma sıcak, diğer kısımlar soğuk çatıdır.

Özelci Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 6'de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre fenerli çatıdır. Cihannüma dört yüzeyle kırma, birinci katın çatısı, iki yüzeyle kırma çatıdır. Karakteristik olarak cihannüma mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise cihannüma sıcak, diğer kısımlar soğuk çatıdır.

Pembe Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 6'de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre üç yüzeyle kırma çatıdır. Karakteristik olarak ön çıkma kısmında alınlık mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Çizelge 6. İncelenen bazı çatıların (16 - 19) karakteristik yapı özellikleri ve cephe çizimleri

16. Kahyanın Konağı	İsmailbey mah.		Fenerli Çatı - Sıcak/ Soğuk	İki Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Cihannüma -Saçak Çıkmaları -Kalkan Duvarı			
17. Mazlumcuoğlu Konağı	Cebrail mah.		Fenerli Çatı - Sıcak/ Soğuk	Bir-İki Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Cihannüma -Kalkan Duvarı			
18. Özelci Konağı	Hepkebirler mah.		Fenerli Çatı - Sıcak/ Soğuk	İki-Dört Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Cihannüma -Kalkan Duvarı			
19. Pembe Köşk	Aşağımaret mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Saçak Çıkmaları			

Sarı Konağa ait karakteristik özellikler Çizelge 7’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre Kastamonu ilinde nadir rastlanan haçvari çatıdır. Karakteristik olarak dört cephede de çatı arası kullanım alanı mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Sirkeli Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 7’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre dört yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak çıkmalar mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Şeyhoğlu Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 7’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre dört yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak çatının dört köşesinde çıkmalar mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Tahir efendi Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 7’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre iki yüzeyli kırma çatıdır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Çizelge 7. İncelenen bazı çatıların (20 - 23) karakteristik yapı özellikleri ve cephe çizimleri


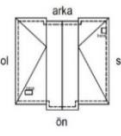

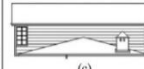

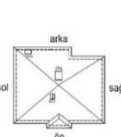
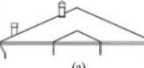
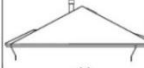

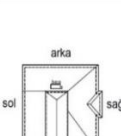

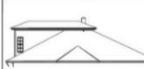
20. Sarı Konağ	Akmescit mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Sekiz Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Saçak Çıkmaları -Kalkan Duvarı			
21. Sirkeli Konağ	Beylebe mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Saçak Çıkmaları			
22. Şeyhoğlu Konağ	Hepkebirler mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Saçak Çıkmaları			
23. Tahirefendi Konağ	Hepkebirler mah.		Beşik Çatı - Soğuk	İki Yüzeyli	Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Saçak Çıkmaları -Kalkan Duvarı			

Toprakçılar Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 8’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre fenerli çatıdır. Cihannüma çatısı beşik, birinci kat çatısı üç yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak cihannüma ve çıkmalar mevcuttur. Tabaka sayılarına göre ise cihannüma sıcak, diğer kısımlar soğuk çatıdır.

Yardımcılar Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 8’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre dört yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak ön cephede çıkma bulunmaktadır. Tabaka sayılarına göre ise soğuk çatıdır.

Yücebıyıkların Konağına ait karakteristik özellikler Çizelge 8’de verilmiştir. Bu konağın çatısı, geometrik biçimine göre fenerli çatıdır. Cihannüma çatısı dört yüzeyli kırma, birinci kat çatısı üç yüzeyli kırma çatıdır. Karakteristik olarak cihannüma ve çıkmalar bulunmaktadır. Tabaka sayılarına göre ise cihannüma sıcak, diğer kısımlar soğuk çatıdır.

Çizelge 8. İncelenen bazı çatıların (24 - 26) karakteristik yapı özellikleri ve cephe çizimleri

24. Toprakçılar Konagi	İsmailbey mah.		Fenerli Çatı - Sıcak/ Soğuk	İki-Üç Yüzeyle	İki Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Cihannüma -Kalkan Duvarı			
25. Yardımcılar Konagi	İsmailbey mah.		Kırma Çatı - Soğuk	Dört Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Marsilya Tip)	-Saçak Çıkmaları			
26. Yed-i Beyzi (Yücebiyıklar Konagi)	Beyçebe mah.		Fenerli Çatı - Sıcak/ Soğuk	İki-Dört Yüzeyle	Üç Aşıklı	Kiremit (Geleneksel Tip)	-Cihannüma			

Butarihi ahşap yapıların lokasyonuna bakıldığında Kastamonu kent merkezi İnönü mahallesinde iki, Atabey Gazi mahallesinde iki, Honsalar mahallesinde bir, Akmescit mahallesinde üç, Topçuoğlu mahallesinde bir, İsmailbey mahallesinde altı, Beyçebe mahallesinde üç, Hisarardı mahallesinde bir, Hepkebirler mahallesinde iki, Cebrail mahallesinde iki, Aktekke mahallesinde iki, Kırkçeşme mahallesinde bir adet konak bulunduğu gözlemlendi.

İncelikli gözlem sonuçlarına göre, fenerli kırma çatı tipinde sekiz adet konak mevcut olup bu konakların birinci kat çatıları bir, iki veya üç yüzeyle kırma tipte olduğu ve bu çatıların bir cihannümayaya sahip olduğu tespit edildi. Konaklardan beş adedi iki yüzeyle, dört adedi üç yüzeyle, sekiz adedi dört yüzeyle ve bir adedi haçvari çatı sekiz yüzeyle kırma çatı biçimine sahiptir. İncelenen konakların tamamı taşıyıcı niteliğine göre oturma çatı tipindedir. Çatı arası gözlemlenen sekiz adet çatının tamamının taşıyıcı eleman malzemesi ahşaptır. Tabaka sayılarına göre cihannümayaya sahip fenerli çatılı konakların sadece bu kısımları sıcak çatı, diğer yüzeyleri ve cihannüma bulunmayan konak çatılarının tamamı soğuk çatı olduğu tespit edildi. Çatıların tamamı orta eğimli (20° - 35°) olup sarkan saçakların olduğu ve aynı zamanda suyun uzaklaştırılma biçimine göre çatıların tamamı dışa akışlı olduğu gözlemlendi.

İncelenen ahşap konakların 23 adedi restorasyon görmüş, üç adedi ise terk edilmiş vaziyettedir. Restorasyon çalışması yapılan konakların çatı sistemlerinde alaturka veya marsilya tip kiremit, yapılmayanlarda ise alaturka kiremit kullanıldığı saptandı.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında Kastamonu'da bulunan 26 adet tarihi ahşap yapının çatı sistemleri incelendi. Sonuç olarak;

- Kastamonu il merkezinde bulunan tarihi ahşap yapılar Osmanlı devletinin son dönemlerinden ve cumhuriyetin ilk yıllarından günümüze kadar şehrin tarihi ve kültürel zenginliğine değer kattığı aşikârdır. Ancak incelemeler sonucu geçen zamanın yıpratıcı etkileri gözler önündedir. Ahşap yapıların, dolayısıyla çatı konstrüksiyonunun korunması ve gerekli hallerde restorasyonuna gerekli önemin verilmesi bu kimliğin varlığını sürdürmesinde önemli ölçüde etkili olduğu anlaşılmıştır.

- Bilimsel ve teknik gözlem, inceleme, uygulama çalışmaları ile ahşap yapıların korunması yanında çeşitli ilgili mühendislik ve diğer bilim dalları ile yüz yılı aşkın ayakta kalan bu mirasa sahip çıkıp gizli kalmış değerlerini de günyüzüne çıkarmak, çeşitli şekillerde toplumun istifadesine sunmak ve böylece bu mirası gelecek nesillere özenle aktarmak büyük önem taşımaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma 6–9 Aralık 2021 tarihleri arasında IV. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi’nde sözlü bildiri olarak sunulmuş ve özeti yayınlanmıştır.

Yazar Katkıları

Önder Tor: Çalışma konusunun belirlenmesi, verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması, makalenin yazılması. **İsmail Derda Güler:** Verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi, makalenin yazılması ve yayınlanması.

Finansal destek beyanı

Yazarlar bu çalışma için finansal destek beyan etmemişlerdir.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Akyol, S., (2008), Ahşap asma çatıların geometrik olanaklar ve malzeme kullanımı açısından sınıflandırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İzmir.
- Aras, R., Budakçı, M., Erbüyür, M., (2005), Kütahya merkez ve Emet ilçesi geleneksel Türk evi tavanları, *Journal of Polytechnic*, 8(1), 81-86.
- Asar, H., (2011), Tarihi Türk ticaret yapıları kapsamında Kastamonu hanları, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Konya.
- Başak, O., (2021), Muğla evlerindeki (merkez menteşe ilçesi) el biçimli kapı tokmakları, *Sanat Tarihi Dergisi*, 30(1), 175-203.
- Binan, C.Ş., (2010), Ahşap çatılar, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Binan, M., (2010), Örtüler ve taşıyıcı sistemler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bozkurt, S.G. (2013), 19.yy da Osmanlı konut mimarisinde iç mekan kurgusunun Safranbolu evleri örneğinde irdelenmesi, *Journal of the Faculty of Forestry*, 62(2), 37-70.
- Esen, O. (2010), Türkiye’de uygulanan ahşap çatı sistemlerinin Avrupa’da uygulanan ahşap çatı sistemleriyle karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi*. Ankara.
- Gezer, E.D., Demirkır, C., Özdemir, T., (2021), Türk ahşap konut örneği Nemlioğlu Konağı’nın mekanik direnç özelliklerinin tahribatsız test teknikleriyle incelenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(2):138-144.
- İşler, E., (2010), Kastamonu merkez, Daday ve Safranbolu geleneksel Türk evi tavanları, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Koca, G., As, N. (2016), Çatıda ahşap kullanımı, Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 2-7, İstanbul.

- Özcan, E. (2005), Kastamonu'daki tarihi ahşap yapılarda zarar yapan böcekler, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Söğütlü, C., Kılıç, E. (2010), Geleneksel Mardin evlerine ait ahşap kapıların incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 13(4), 255-261.
- Sözlü, H. (2021), Ceyhan'da Çavuşoğlu Konağı, *Sanat Tarihi Dergisi*, 30(2), 787-807.
- URL,1., (2023), Kastamonu Toprakçılar Konağı restorasyon projesi, https://www.academia.edu/32854726/Kastamonu_Toprak%C3%A7%C4%B1lar_Kona%C4%9F%C4%B1 (Erişim: 20 Nisan 2023)
- URL, 2.(2023), Çatı çeşitleri ve çatıyı oluşturan elemanlar, <https://inyapi.com/cati-cesitleri-cati-modelleri-cati-elemanlari/> (Erişim: 20 Nisan 2023)
- URL, 3., (2023), Soğuk çatı örneği
https://cdna.artstation.com/p/media_assets/images/images/000/536/378/large/latest_8Feb.jpg?1581526307 Erişim: 16 Haziran 2023)
- URL, 4., (2023), Sıcak çatı örneği, <http://olbiamimarlik.com/hizmetlerimiz/proje> (Erişim: 20 Nisan 2023)
- URL, 5., (2023), Kastamonu şehir merkezi fotoğrafı, <http://wowturkey.com/forum/viewtopic.php?t=8305&start=30> (Erişim: 20 Nisan 2023)
- URL, 6.,(2023) <https://www.kastamonu.bel.tr/v2/portfolio/seyh-saban-i-veli-hz-hazreti-pir-kulliyesi/> (Erişim: 16 Haziran 2023)
- Yaman, F.Z., (2007), Geleneksel ahşap yapılarda kullanılan ahşap yapı elemanlarının uzun dönem performansı – Giresun Zeytinlik mahallesinde örnek yapı incelemesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.



Comparative study of some properties of wood plastic composite materials produced with polyethylene, wood flour, and glass flour

Bekir Cihad Bal* 

Abstract

Wood flour is the most common filler used in the production of wood plastic composite (WPC) materials. In scientific studies on this subject, wood flours obtained from different trees and fillers obtained from different annual plants are used. In addition, some mineral-based fillers are also used in materials made of plastic. In this study, a low-density polyethylene polymer obtained from recycling was used as the matrix. Larch wood flour and glass flour obtained by grinding soft drink bottles were used as fillers. Composite boards were produced using 60% polymer as the matrix, along with wood flour and glass flour in varying proportions. The density, flexural strength, flexural modulus, tensile strength, tensile modulus, elongation at break, and hardness values of the produced composites were determined. Based on the data obtained, the density increased with the addition of wood flour and glass flour as fillers, and the density-increasing effect of the glass flour was higher than that of the wood flour. Compared to the control samples, it was determined that the bending strength and elongation at break of the experimental groups decreased, and the flexural modulus and tensile modulus increased in the experimental samples using wood flour and glass flour.

Keywords: Wood flour, Glass flour, WPC, Wood plastic composites

Polietilen, odun unu ve cam unu ile üretilen odun plastik kompozit malzemelerin bazı özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma

Öz

Odun plastik kompozit (OPK) malzemelerin üretiminde dolgu maddesi olarak çoğunlukla odun unu kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan bilimsel çalışmalarda da farklı ağaçlardan elde edilen odun unları ve değişik yıllık bitkilerden elde edilen dolgu maddeleri kullanılmaktadır. Ayrıca, bazı mineral esaslı dolgu maddeleri de plastikten üretilen malzemelerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, geri dönüşümden elde edilen düşük yoğunluklu polietilen polimer matris olarak kullanılmıştır. Dolgu maddesi olarak Karaçam odun unu ve kullanılmış meşrubat şişelerinin öğütülmesi ile elde edilen cam unu kullanılmıştır. Kompozit levhalarda polimer matris %60 oranında ve odun unu ve cam unu ise değişen oranlarda kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin; yoğunluk, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama ve Shore D sertlik değerleri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre; odun unu ve cam ununun dolgu maddesi olarak eklenmesi ile yoğunluğun arttığı ve cam ununun yoğunluğu artırıcı etkisinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneklerine kıyasla, odun unu ve cam ununun kullanıldığı deney örneklerinde, eğilme direncinin ve kopmada uzama miktarının azaldığı, eğilmede ve çekmede elastikiyet modülünün arttığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Odun unu, Cam unu, OPK, Odun plastik kompozitleri

Article history: Submitted:23.06.2023, Accepted:13.06.2023, published:30.06.2023 *e-mail: bcbal@hotmail.com

*Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Vocational School of Technical Sciences, Kahramanmaraş/Türkiye

To cite: Bal, B.C., (2023), Comparative study of some properties of wood plastic composite materials produced with polyethylene, wood flour and glass flour, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6(1), 70-79,

DOI:10.33725/mamad.1301384

1 Introduction

There have been many studies on wood-plastic composites. The majority of these have attempted to determine the properties of composite materials produced using a polymer matrix and one or more fillers in a lignocellulosic structure. For example, Stark and Matuana (2004) conducted a Fourier-transform infrared spectroscopic analysis and attempted to determine the mechanical properties and photodegradation of composite boards produced using wood flour (Ponderosa pine), high-density polyethylene and wax after aging tests. Ndiaye et al. (2011) determined the bending strengths of composite materials produced using pine wood flour (0%, 5%, 25%, and 50%), and polypropylene. Altuntaş et al. (2017) evaluated the mechanical properties of a composite material produced with Scotch pine wood flour and high-density polyethylene. Mengeloğlu and Çavuş (2020) investigated the effects of teak wood flour and rice husk as fillers. Narlıoğlu et al. (2018) investigated some mechanical properties of composite boards produced using pine wood flour and polypropylene.

Some mineral materials have also been used as fillers in the production of plastic composites. For example, DüNDAR et al. (2016) studied the effects of marble flour and wood flour contents on the technological properties of thermoplastic composites, and they reported that although the mechanical properties of the composites decreased with an increase in the marble-powder content, the water absorption of the composites significantly decreased. The physical, mechanical, and thermal properties of wood/zeolite/plastic hybrid composites were investigated by Kaymakçı et al. (2017), and they reported that the flexural and tensile properties of the wood plastic composites decreased with increasing zeolite content. Kaymakçı (2019) investigated the effect of titanium dioxide on some properties of wood-plastic nano-composites, and noted that the flexural and tensile properties of the composites increased with the TiO₂ content.

In some previous studies, glass flour obtained from waste glass was used as filler in plastic composites. For example, Sadik et al. (2021) evaluated the remarkable mechanical and thermal properties of high-density polyethylene/waste glass flour composite, and they reported that the tensile properties decreased as the waste glass powder percentage increased. Bhaskar et al. (2021) investigated the tensile and flexural strengths of a glass-flour-reinforced polymer composite, and noted that using 40% crystal powder filler by volume resulted in the maximum tensile strength, whereas the maximum flexural and impact strengths were achieved with 30% and 20% volume fractions, respectively. Heriyanto et al. (2018) investigated some of the mechanical properties of a polypropylene composite filled with sawdust and glass powder. They reported that the flexural strength decreased as the sawdust decreased and glass powder increased. Karunanayake (2007) evaluated the effects of glass powder on some of the mechanical properties of some engineering thermoplastics. According to the data obtained as a result of the study, it was reported that the density and flexural modulus increased, and the flexural strength and impact strength decreased, with an increase in the glass powder. Kristiawan (2022) evaluated the effects of glass powder additive on some mechanical properties of recycled polypropylene filaments, and reported that the ultimate tensile strength and Young's modulus of rPP-based specimens with 10% glass powder additive showed increases of 38% and 42% compared to PP specimens, respectively.

To the best of the author's knowledge, there has been no adequate study on the effects of glass flour on the properties of recycled low-density polyethylene composites. Therefore, the aim of this study was to investigate the effects of wood flour and glass flour as filler materials on some of the properties of a polymer composite produced from recycled low-density polyethylene.

2 Material and Method

2.1 Material

In this study, recycled polyethylene was used to produce wood plastic composites. Polyethylene in granular form was obtained from Vepsan (Kahramanmaraş, Türkiye). Pine wood flour with a 40-mesh dimension was used as a filler material. Drink bottles collected from domestic use were used for glass flour. The bottles were smashed with a hammer into small pieces, ground with a grinder, and used as a filler material. The compositions of the composites are given in Table 1. Group 2, which contained 40% wood flour, and group 6, which contained 40% glass flour, were created to compare the effects of wood flour and glass flour on mechanical properties. Groups 3, 4, and 5 were formed to detect changes in the mechanical properties.



Figure 1. Recycled polyethylene (A), pine wood flour (B), waste glass flour (C)

The pine wood flour and waste glass flour were dried at 103 ± 2 °C. The wood flour, glass flour, and polyethylene were then mixed to obtain a homogenous blend before processing in the extruder. Then, the blend was mixed with a single screw extruder at temperatures of 160, 175, and 190 °C. The extruded compound was taken in a filament form from the barrel exit with a nozzle diameter of 3 mm. The extruded compound in a filament form was cooled in the air on a table. The cooled filament was cut into pellets, and these pellets were remixed with the extruder at temperatures of 160, 175, and 190 °C. The extruded compound in a filament form was recooled in the air on a table. The cooled filament was recut into pellets. These pellets were placed in a metal mold and transferred between electrical-heated metal plates at a temperature of 190 ± 5 °C. Non-stick baking paper (wax paper) was used to prevent sticking. The compound was heated, and melted over a period of 17 min. No pressure was applied during this procedure. At the end of this duration, the melted compound was removed from the heater with the metal mold and immediately placed in a cold press. A total of 2.5 kg/cm^2 of pressure was applied in the cold press for 5 min. After pressing, the formed compound was taken from the metal mold, and a composite board was thus obtained with the dimension of $3.5 \times 175 \times 175 \text{ mm}^3$ (thickness \times width \times length). Four composite boards were produced for each group. A total of 24 boards were produced for this present study. Test samples were prepared from these boards. Four test samples were cut from each board for each test. Sixteen test specimens were prepared for each test. Test samples were cut using a laboratory band saw. The edges of each test sample prepared for the tensile test were shaped with a CNC router. The compositions of the composites are given in Table 1. Group 2 containing 40% wood flour and group 6 containing 40% glass flour were created to compare the effects of wood flour and glass flour on mechanical properties. Group 3, group 4, and group 5 were formed to detect the change in mechanical properties.

Table 1. Composition of the Composites (wt%)

Content (%)	Control group		Experimental groups			
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
Polyethylene	100	60	60	60	60	60
Wood flour	0	0	10	20	30	40
Glass flour	0	40	30	20	10	0

2.2 Method

Flexural, tensile, and hardness tests were performed according to ASTM D790-15 (2016), ASTM D638-22 (2022), and ASTM D2240-15 (2021), respectively. Flexural tests were conducted using a three-point bending test procedure on an electromechanical universal testing machine (Natek 10kN). The span length was 56 mm. The support span-to-depth ratio was 16:1. The preload was 5 N and the test speed was 2 mm/min. The test was ended when the load decreased to 80% of the maximum load. Tensile tests were conducted on dog-bone-shaped test samples (Type I) as described in ASTM D638-22 (2022). The distance between grips was 115 mm, the preload was 5 N, and the test speed was 5 mm/min. The test was ended when the test sample broke or the load decreased to 80% of the maximum load. At the end of the test, the elongation was noted as the elongation at break. Hardness tests were performed on a Shore D test device, model LD-J loyka.

The SPSS statistical package program was used. The data were analyzed using a one-way analysis of variance (ANOVA), and significant differences among groups were determined by the Duncan multiple range test.

3 Results and Discussion

The data obtained from density, ANOVA, and Duncan tests are given in Table 2. When the density values given in the table were examined, it was determined that the density of the control group (group 1) was 920 kg/m³, and the densities of the test samples in the experimental groups, which used wood and glass flour fillers, were significantly higher than that of the control group. In addition, the effect of glass flour on the density was greater than the effect of wood flour. The highest density was measured in group 6, which was filled with 40% glass flour. Similar results were reported by Karunanayake (2007) and Heriyanto et al. (2018). According to Heriyanto et al. (2018), this was because the addition of small particles of glass flour filler provided better compaction of the larger wood flour. When the Duncan test results given for the density values in the table were examined, it was determined that there was a statistically significant difference ($P < 0.001$) between groups 1, 2, 3, 4, and 5, but this increase was not statistically significant between groups 5 and 6. In previous studies on wood plastic composite materials, similar results were obtained regarding the density values (Heriyanto et al., 2018; Atar et al., 2021; Friedrich 2021; Bal 2022).

Table 2. Density values, ANOVA P-values, and Duncan test results

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	P values
x	920A*	1034B	1088C	1126D	1162E	1166E	$P < 0.001$
ss	4.2	9.5	8.9	12.0	9.6	13.4	

x: mean value, ss: standard deviation, and *: lowest value, with different letters (*a, b, c) indicating significant differences in Duncan test results

The flexural strength and modulus of elasticity data for the obtained composite material are given in Table 2. As the percentage of wood flour decreased and the percentage of glass flour increased, some mechanical properties increased while others decreased. It is known that the mechanical properties of many composite materials generally increase with the density. However, this is not the case for every mechanical property of wood-plastic composite materials. As listed in Table 2, the flexural strength first increased and then decreased as the amount of wood flour decreased and glass flour increased. The highest flexural strength was determined in the control group.

The flexural strength of the control group was 17.4 N/mm². The lowest flexural strength was 12.7 N/mm² in group 6 with 40% glass flour. The flexural strengths of all the experimental (groups 2, 3, 4, 5, and 6) test samples were lower than that of the control group (group 1) (P < 0.001). When the flexural strengths of groups 2 and 6 were compared, it was determined that group 2 filled with wood flour had a higher flexural strength. Similar results reported by Heriyanto et al. (2018) were related to the effects of wood flour and glass flour. According to Tabari et al. (2011) and Heriyanto et al. (2018), this was because a weak interfacial region leads to delamination of the particulates during flexural testing and reduces the efficiency of the stress transfer along the matrixes.

The flexural modulus was measured as 351 N/mm² in the control group, which was the lowest value. The highest was 741 N/mm² in group 4 (filled with 20% wood flour and 20% glass flour). In general, as the percentage of wood flour decreased and that of the glass flour increased, the flexural modulus first increased and then decreased. Comparing the flexural modulus values of group 2 filled with 40% wood flour and group 6 filled with 40% glass flour showed that group 2 had a higher flexural strength. Compared to the control group, the flexural modulus values of the experimental groups were higher. The difference was statistically significant (P < 0.001).

Similar results were obtained in previous studies on the flexural properties of wood-plastic composite materials. For example, Ayrılmış, and Jarusombuti (2011) reported that the flexural strength tended to increase as the amount of wood flour increased and then decreased again, while the flexural modulus increased as the amount of wood flour increased. Mengeloğlu and Karakuş (2008) reported that as the wood flour ratio of wood plastic composites produced with eucalyptus wood flour and recycled high-density polyethylene increased, the flexural strength decreased and the flexural modulus increased. Altuntaş et al. (2017) reported that as the percentage of wood flour increased, the flexural strength decreased, but the flexural modulus increased. Çavuş (2020) determined that as the wood flour percentage of a wood-plastic composite material produced using mahogany wood and polypropylene increased, the flexural strength and flexural modulus increased.

Table 3. Flexural test data, ANOVA P values, and Duncan test results

		Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	P values
Flexural Strength N/mm ²	x	17.4D	14.4B	15.4C	15.9C	15.4C	12.7A*	P<0.001
	ss	0.5	1.0	0.8	0.8	0.6	1.1	
Flexural Modulus N/mm ²	x	351A*	686C	703CD	741D	696CD	531B	P<0.001
	ss	22	86	85	67	39	37	

x: mean value, ss: standard deviation, and *: lowest value, with different letters (*A, B, C) indicating significant differences in Duncan test results

The load–deformation graphs obtained during the flexural tests of the test specimens belonging to groups 1, 2, and 6 are shown in Fig. 1. These graphs show that the amount of deformation in bending is approximately 20 mm in group 1, where it is the highest. The smallest of approximately 16 mm was obtained in group 2. It was approximately 19 mm in the test samples of group 6. It has been reported that materials showing large areas under the load–deformation graphs produced by flexural tests are more flexible and have higher deformation ability than those showing smaller areas (Örs and Keskin 2001).

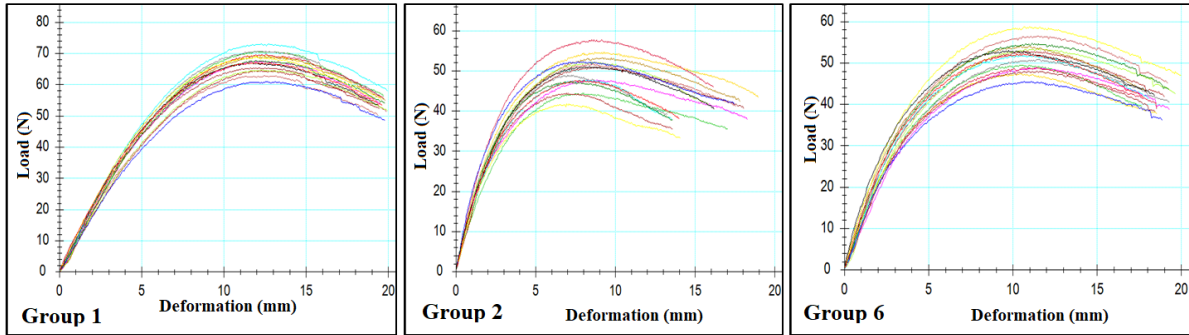


Figure 2. Load–deformation curves from flexural tests (group 1, group 2, and group6)

The tensile strength, tensile modulus, and elongation at break data are given in Table 3. The highest tensile strength was determined to be 10.1 N/mm² in group 1 and the lowest was 5.7 N/mm² in group 2. The tensile strengths of all the experimental groups (groups 2, 3, 4, 5, and 6) were smaller than that of the control group (group 1). Similar results were reported by Sadik et al. (2021) and Karunanayake (2007). The tensile strengths of the experimental groups increased as the percentage of wood flour decreased and the percentage of glass flour increased. The difference was statistically significant ($P < 0.001$). According to the Duncan tests, there was no statistical difference between the tensile strengths of groups 5 and 6. The smallest tensile modulus was 139 N/mm² in group 1, and the highest was 332 N/mm² in group 3. In contrast to the tensile strength, the tensile modulus values of all the experimental groups (groups 2, 3, 4, 5, and 6) were greater than that of the control group. The difference was statistically significant ($P < 0.001$). According to the Duncan test results, there was no difference between groups 4, 5, and 6. The elongation at break was 219% in group 1, which was the highest, and 4.5% in group 3, which was the lowest. The elongation at break values of all experimental groups (groups 2, 3, 4, 5, and 6) were smaller than that of the control group. Similar results related to plastic composites filled with glass flour were reported by Sadik et al. (2021) and Karunanayake (2007). The difference was statistically significant ($P < 0.001$). However, the difference between the Duncan test results for the experimental groups was insignificant. The elongation at break of group 6 was greater than the elongation at break of group 2. Similar results have been reported for the tensile strength, tensile modulus, and elongation at break in previous studies on wood plastic composites. Mengeloğlu and Karakuş (2008) determined that as the wood flour ratio of wood–plastic composites produced using eucalyptus wood flour and recycled high-density polyethylene increased, the tensile strength and elongation at break values decreased, and the tensile modulus increased. Similar results were obtained in the study conducted by Atar et al. (2016) using eggplant stalks as filler. In the study conducted by Altuntaş et al. (2017), it was determined that as the percentage of Scotch pine wood flour increased, the tensile strength decreased and the tensile modulus increased. Akbas et al. (2013) determined that both the tensile strength and tensile modulus decreased with an increase in the filling percentage in their study using hazelnut flour. Çavuş

(2020) reported that as the wood flour percentage of a wood–plastic composite material produced using mahogany wood and polypropylene increased, the tensile modulus increased, but the tensile strength and elongation at break decreased. Similar results were obtained in the studies by Çavuş and Mengeloğlu (2017) and Kısmet (2015). It can be said that the reasons that these studies obtained different results are related to the characteristics of the filler and polymer used.

Table 3. Tensile test data for composites, ANOVA P-values, and Duncan test results

		Group 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Group 6	P values
Tensile Strength N/mm ²	x	10.1D	5.7A*	6.0B	6.1B	6.6C	6.6C	P<0.001
	ss	0.7	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	
Tensile Modulus N/mm ²	x	139A	233B	332D	310C	292C	289C	P<0.001
	ss	30	29	34	25	24	39	
Elongation at break (%)	x	219B	4.7A	4.5A	5.7A	9.2A	29.4A	P<0.001
	ss	93.6	0.8	0.6	1.0	2.5	11.1	

x: mean value, ss: standard deviation, and *: lowest value, with different letters (*A, B, C) indicating significant differences in the Duncan test results

Stress–strain graphs were produced using the data obtained during the tensile tests. These graphs are given in Figure 2. It can be seen that there are very important differences between the graph of group 1, which is the control group, and the other graphs. The elongation at break was measured as 219% in the control group. In group 2, a very rapid decrease in the elongation at break occurred. The smallest elongation at break was measured as 4.7% in group 2. It is thought that the elongation at break decreased because of the weakening of the internal adhesion of the polymer matrix due to the filler.

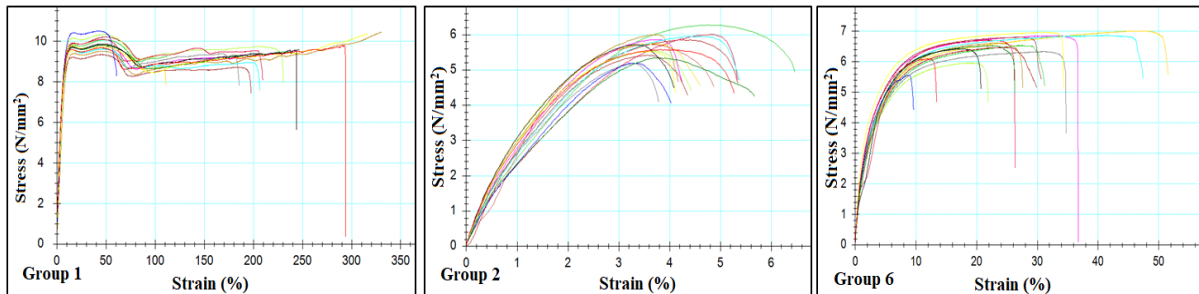


Figure 2. Stress-strain curves of tensile tests of the group 1, 2 and 6

The Shore D hardness values of the composites produced in this study are given in Table 4. The hardness values of all the experimental groups were greater than that of the control group. The Shore D hardness of group 2 was higher than that of group 6. The differences among groups were significant ($P < 0.01$). As the percentage of wood flour in the composite material decreased and the percentage of glass flour increased, the hardness value decreased. In fact, glass is a harder material than wood. However, the amount of wood flour added to the composite as a weight percentage was much greater than the amount of glass flour. Therefore, as the wood flour in the composite decreased, the hardness decreased. Similar results have been reported in previous studies. Çavuş (2020) determined that the Shore D hardness value increased as the percentage of wood flour increased in wood–plastic composite materials produced with mahogany wood and polypropylene. Similar results were obtained in the study by Çavuş and Mengeloğlu (2017) and in the study by Mengeloğlu and Çavuş (2020), in which teak wood flour and rice husk were used as fillers.

The hardness value increased with increasing filler material. In general, with the addition of lignocellulosic or mineral-based filler to the composite, the density of the produced composite material also increased. As a natural consequence of this, the hardness value increased. However, it cannot be generalized that all of the mechanical properties and modulus of elasticity of wood–plastic composite materials increase with the density. There was no such claim in previous studies. In this study and previous studies on similar subjects, the increase in the density of the wood–plastic material caused an increase in the static hardness value. However, some other mechanical properties such as the tensile strength and elongation at break decreased.

Table 4. Hardness test data for composites, ANOVA P-values, and Duncan test results

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	P values
x	48.3A*	56.9E	58.6F	55.5D	54.0C	51.6B	P < 0.001
ss	1.2	0.7	0.5	0.5	1.1	0.7	

x: mean value, ss: standard deviation, and *: lowest value, with different letters (*A, B, C) indicating significant differences in the Duncan test results

4 Conclusions

In this study, the effects of wood flour and glass flour as filler materials on the some properties of a polymer composite produced from recycled low-density polyethylene were investigated comparatively. According to the data obtained, the following conclusions can be made.

- In this study, composite materials were successfully produced using wood flour and glass flour as fillers, along with recycled polyethylene.
- The flexural strength, tensile strength, and elongation at break values of the produced composites decreased with the addition of filler, whereas the bending and tensile modules increased.
- The flexural strength and flexural modulus of group 2, which used 40% wood flour, were higher than those of group 6, which used 40% glass flour.
- The tensile strength, tensile modulus, and elongation at break of group 2, which used 40% wood flour, were lower than those of group 6, which used 40% glass flour.
- It was determined that the hardness values of all experimental groups were greater than that of the control group. Because the volume of wood flour added to the composite was much higher than that of glass flour, the wood flour produced a greater increase in the hardness than the glass flour.
- Considering the flexural and tensile test results, it can be said that wood flour and glass flour should be used in equal amounts in a wood–polymer composite.

Acknowledgement

This work was supported by a grant from the Kahramanmaraş Sütçü İmam University Scientific Research Projects Unit, Project Number: 2022/2-17M. I would like to thank Mr. Ümit Ayata for his contributions to the Shore D hardness tests.

Author contributions

Bekir Cihad Bal: Determining the research topic, planning and conducting laboratory studies, obtaining data, writing the article, publishing the article.

Funding statement

This work was supported by a grant from the Kahramanmaraş Sütçü İmam university scientific research projects unit, Project Number: 2022/2-17M.

Conflict of interest statement

The author declares no conflict of interest.

References

- Akbaş, S., Tufan, M., Güleç, T., Taşcıoğlu, C., Peker, H. (2013), Fındık kabuklarının polipropilen esaslı polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 50-56.
- Altuntaş, E., Yılmaz, E., Salan, T. (2017), Yüksek oranda lif dolgu maddesi kullanımının odun plastik kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisinin araştırılması, *Turkish Journal of Forestry*, 18(3), 258-263.
- ASTM D 638 (2022), Standard test method for tensile properties of plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–24 s.
- ASTM D 790 (2016), Flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA. 1–9 s.
- ASTM D 2240 (2021), Standard test method for rubber property-durometer hardness, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 1–27 s.
- Atar İ., Başboğa, İ. H., Karakuş, K., Mengeloğlu, F. (2016), Utilization of eggplant (*Solanum melongena*) stalks as a filler in manufacturing of compress molded PP based composites, *European Journal of Technique (EJT)*, 6(2), 138-144.
- Atar İ., Başboğa, İ. H., Karakuş, K., Mengeloğlu, F. (2021), Effect of waste tea (*Camellia sinensis*) wood fibers and mape on some properties of high density polyethylene (HDPE) based polymer composites, *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 606-619.
- Ayrilmis, N., Jarusombuti, S. (2011), Flat-pressed wood plastic composite as an alternative to conventional wood-based panels, *Journal of composite materials*, 45(1), 103-112.
- Bal B.C. (2022), Lineer düşük yoğunluklu polietilen (LDYPE) ve odun unu ile üretilen kompozit malzemenin bazı mekanik özellikleri üzerine bir araştırma, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5 (1), 40-49, DOI: 10.33725/mamad.1126534
- Bhaskar, K. B., Devaraju, A., Paramasivam, A. (2021), Experimental investigation of glass powder reinforced polymer composite. *Materials Today: Proceedings*, 39, 484-487.
- Çavuş, V., Mengeloğlu, F. (2017), The effect of lignocellulosic filler types and concentrations on the mechanical properties of wood plastic composites produced with polypropylene having various melt flowing index (MFI), *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(8).
- Çavuş, V. (2020), Selected properties of mahogany wood flour filled polypropylene composites: the effect of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP), *BioResources*, 15(2), 2227-2236.
- Dundar, T., Ayrilmis, N., Akkus, M., Ulay, G. (2016), Effect of the marble powder and wood powder content on the technological properties of thermoplastic composites, *Machines Technologies Materials*, 10(6), 13-16.

- Friedrich, D. (2021), Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique, *Composite Structures*, 262, 113649.
- Heriyanto, Pahlevani, F., Sahajwalla, V. (2018), Waste glass powder–innovative value-adding resource for hybrid wood-based products, *Journal of Cleaner Production*, 195, 215-225.
- Karunanayake, L. (2007), The effects of glass powder on some mechanical properties of engineering thermoplastics, *J. Natn. Sci Foundation Sri Lank*, 35(1), 13-17.
- Kaymakci, A., Gulec, T., Hosseinihashemi, S. K., Ayrilmis, N. (2017), Physical, mechanical and thermal properties of wood/zeolite/plastic hybrid composites, *Maderas Ciencia y tecnología*, 19(3), 339-348.
- Kaymakci, A. (2019), Effect of titanium dioxide on some mechanical, thermal, and surface properties of wood-plastic nanocomposites, *BioResources*, 14(1), 1969-1979.
- Kısmet, Y. (2015), Kurutulmuş kolza bitkisinin dolgu malzemesi olarak alçak yoğunluklu polietilenin mekanik özelliklerine, yoğunluğuna ve su emme kapasitesine etkileri, *Politeknik Dergisi*, 18(4), 203-209.
- Kristiawan, R. B., Rusdyanto, B., Imaduddin, F., Ariawan, D. (2022), Glass powder additive on recycled polypropylene filaments: A sustainable material in 3D printing, *Polymers*, 14(1), 5.
- Mengeloğlu, F., Karakuş, K. (2008), Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer-composites, *Turkish journal of agriculture and forestry*, 32(6), 537-546.
- Mengeloğlu, F., Çavuş, V. (2020), Preparation of Thermoplastic Polyurethane-based Biocomposites through Injection Molding: Effect of the Filler Type and Content, *BioResources*, 15(3), 5749-5763.
- Narlıoğlu, N., Çetin, N. S., & Alma, M. H. (2018), Karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 38-45.
- Ndiaye, D., Matuana, L. M., Morlat-Therias, S., Vidal, L., Tidjani, A., Gardette, J. L. (2011), Thermal and mechanical properties of polypropylene/wood-flour composites, *Journal of applied polymer science*, 119(6), 3321-3328.
- Örs, Y., Keskin, H., (2001). Ağaç malzeme bilgisi, Gazi üniversitesi ders kitabı, S:77, Ankara.
- Sadik, W. A., El-Demerdash, A. G. M., Abokhateeb, A. E., Elessawy, N. A. (2021), Innovative high-density polyethylene/waste glass powder composite with remarkable mechanical, thermal and recyclable properties for technical applications, *Heliyon*, 7(4), e06627.
- Stark, N. M., & Matuana, L. M. (2004), Surface chemistry and mechanical property changes of wood-flour/high-density-polyethylene composites after accelerated weathering, *Journal of Applied Polymer Science*, 94(6), 2263-2273.
- Tabari, H.Z., Danesh, M.A., Pia, R.H., Nourbakhsh, A., (2011), Evaluation of mechanical and morphological behaviour of polypropylene/wood fiber nanocomposite prepared by melts compounding, In: International Conference on Nanotechnology and Biosensors IPCBEE, vol. 2, pp. 1-4.



Sipariş tipi üretim yapan orta ölçekli mobilya işletmelerinde makine seçimi

Mehmet Özgür Kuşcuoğlu^{1*}, Tuncer Dilik²

Öz

Çalışmada, sipariş tipi üretim yapan orta ölçekli mobilya işletmeler için makine seçimi konusu incelenmiştir. Ülkemiz mobilya endüstrisinin sektörel olarak yakalamış olduğu gelişimle birlikte işletmelerin sahip olduğu makine hatları ve yatırımları göz önüne alındığında genel olarak kapasite kullanım oranının beklenilenin altında olduğu görülmektedir. Mevcut duruma kalifiye makine operatörlerinin de eksikliği eklendiğinde, rasyonel bir yatırım ve üretim için doğru makine seçiminin önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Araştırmada, sipariş tipi üretim yapan orta kapasiteli panel mobilya üreticileri için makine seçimi incelenmiştir. Bu amaçla, panel mobilya imalatının önemli üç temel üretim prosesi (ebatlama, kenar bantlama ve delik delme işlemleri) için CNC, PLC kontrollü veya konvansiyonel olmasına bakılmaksızın makine tipinin seçimi yapılmıştır. Çalışmada yöntem olarak çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak, orta ölçekli mobilya işletmeleri için, incelenen üretim proseslerine yönelik uygun bir makine veya makine tipi kombinasyonları seçilerek, rasyonel bir yatırım ve optimum kapasite kullanım oranlarına ulaşılabileceği önerisi getirilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Makine Seçimi, Panel Mobilya İmalatı, Sipariş Tipi Üretim

Machine choosing for custom manufacturing in medium scale furniture businesses

Abstract

In the study, the subject of machine choosing for medium-scale furniture companies that make custom production has been examined. With the sectoral development of our country's furniture industry, considering the machinery lines and investments of the enterprises, it is seen that the capacity utilization rate is generally below the expectations. When the lack of qualified machine operators is added to the current situation, the importance of choosing the right machine for a rational investment and production becomes clear. Machine selection for medium-capacity panel furniture manufacturers making custom production has been examined in the research. So, the choice of machine type has been made for the three important basic production processes of panel furniture manufacturing regardless of whether it is CNC, PLC controlled or conventional. AHP, which is one of the multi-criteria decision-making methods, was used as a method in the study. As a result, it has been tried to suggest that a rational investment and optimum capacity utilization rates can be achieved by selecting a suitable machine or machine type combinations for the production processes examined for medium-scale furniture enterprises.

Keywords: Machine Choosing, Panel Furniture Production, Custom Production

Makale tarihçesi: Geliş:26.04.2023, Kabul:08.06.2023, Yayınlanma:30.06.2023, *e-posta: ozkucu@iuc.edu.tr

¹ İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Ormancılık MYO, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, İstanbul/Türkiye,

² İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye,

Atf: Kuşcuoğlu, M.Ö., Dilik T., (2023), Sipariş tipi üretim yapan orta ölçekli mobilya işletmelerinde makine seçimi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (1), 80-89, DOI: 10.33725/mamad.1287852

1 Giriş

Ağaç işleme makineleri sektörünün, ağaç işleme ve kesme teorisindeki gelişmeleri büyük ölçüde tamamladığı, yeni teknolojiler ve bilişim entegrasyonu ile gelişimini sürdürdüğü görülmektedir. Ayrıca, bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve üretimin CAM) entegrasyonu ile mobilya sanayi işletmeleri genel olarak mevcut üretim kapasitelerini tam olarak kullanamama ve kalifiye eleman ihtiyacı gibi sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu bağlamda, rasyonel yatırımın uygun makine seçiminden geçtiği ilkesinden hareketle bu çalışmada sipariş tipi üretim yapan orta ölçekli işletmelerin makine seçimi konusu incelenmiştir. Çalışma, “AB Sürecinde Türkiye Ağaç İşleme Makineleri Sektörü” isimli doktora tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Bilindiği üzere CNC makineleri kullanacak operatörlerin geleneksel makinelerden farklı olarak temel CNC bilgisine, en azından bazı ayarları değiştirebilecek kadar PLC (Programmable Logic Controller) bilgisine ve kullanacakları makinenin özelliklerine sahip olmaları beklenmektedir. Ancak yapılacak işe, işletmenin kapasitesine ve üretim şekline uygun olmayan makinelerin seçimi, gereği gibi kullanılmayan ve atıl durumda bekletilen makinelerin varlığı ülke ekonomisine yük olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma, ülkemizdeki mobilya işletmelerinin yoğunluğunun yanı sıra sektörel ağırlığı ve tercih edilmekte olan üretim şekli dikkate alınarak panel mobilya üreticisi olan orta büyüklükteki firmalar üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada, panel mobilya üretim hattı için CNC, PLC kontrollü veya konvansiyonel olan makine tipi seçimi yapılmıştır. Panel ebatlama, kenar bantlama ve delik delme gibi üç ana proses, çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada, sipariş tipi üretim yapan orta ölçekli işletmeler için bir makine tipi veya makine tipi kombinasyonu modellemesi hedeflenmiştir.

Öte yandan literatür çalışmalarına göre; Dünya AIM sektöründeki gelişmişlik düzeyi göz önüne alındığında, Türkiye Ağaç İşleme Makinaları sektörünün teknoloji anlamında benzer bir gelişim gösterdiği, ancak ürün-makine çeşitliliği ve satış sonrası hizmet (Yatırım-Üretim) açısından yetersiz olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın amacı; sektörün bu alandaki eksikliklerinin giderilmesine de katkı sağlanmaktır (Sofuoğlu ve Kurtoğlu 2013; Kurtoğlu ve Dilik 2020; Kurtoğlu ve Dilik 2018; Kuşcuoğlu 2022).

1.1 Mobilya sektöründe makine seçimi ve etkili faktörler

Literatür çalışmalarında da belirtildiği gibi, genel olarak makine seçiminde birçok faktör etkili olmaktadır. Mobilya sektöründe yaygın olarak kullanılan mobilya türü panel mobilyadır. Panel mobilya aynı zamanda kabin tipi mobilya veya kutu mobilya olarak da adlandırılır. Panel mobilya üretiminde yongalevha, liflevha, kontrplak, masif panel gibi panel ürünleri kullanılmaktadır. Panel mobilya üretiminde genellikle seri üretim şekli kullanılmakta olup, makine parkurunda bulunan makineler arasında, iş parçalarının mümkün olduğunca geriye doğru hareket etmemesi esastır. Öte yandan gelişen teknoloji ile artan talep çeşitliliği, mobilya sektöründe sipariş tipi üretimin ağırlığını ve önemini artırmaktadır. Bu bağlamda, genel olarak makine seçimini etkileyen faktörler şu şekilde özetlenebilir; (Sofuoğlu 2001; Kobu 2008; Kurtoğlu 2010; Sofuoğlu ve Kurtoğlu 2013; Kurtoğlu ve Dilik 2018; Kurtoğlu ve Dilik 2020;)

1. Üretim şekli (Seri, Sipariş Tipi, Bileşik vb.) ve kapasite
2. İlerleyen dönemlerde üretilmesi planlanan ürün çeşitleri
3. Makinelerin kapasite bakımından birbirleri ile uyumu
4. Makinelerin teknoloji açısından birbirleri ile uyumluluğu
5. Parça boyutlarına bağlı olarak makineler arasındaki mesafe
6. Makinelerin tamir, bakım ve kullanım kolaylığı

7. Makinelerin fiyatı
8. Makinelerde çalışma güvenliği
9. Fayda - maliyet analizi
10. Makine operatörü maliyetleri

Gelişen teknoloji ile birlikte hem yaşam tarzındaki değişimlerin hem de yaşam tarzına bağlı olarak gelişen trendlerin makine seçim kararlarına hızlı etkisi her alanda olduğu gibi literatür çalışmalarından da açıkça görülmektedir. Günümüzde tüketici taleplerinin ve rekabet koşullarının artması nedeniyle seri üretim yapan işletmeler, üretim koşullarını özel üretime benzer şekilde şekillendirmeye başlamışlardır. Bu durum, mobilya sektöründe kullanılan makinelerin hazırlık sürelerinin önemini artırmış ve üretimde esnekliği ön plana çıkarmıştır. Ayrıca, dikkat edilmesi gereken unsurlardan biri de üretim kapasitesidir. Teknik kapasite, ekonomik kapasite, maksimum kapasite, fiili kapasite ve amaçlanan üretim miktarına bağlı olarak belirlenen optimum kapasite değerleri (İlhan ve Burdurlu, 1993) makine seçiminde önemli rol oynamaktadır. Bu duruma mobilya sektörü açısından bakıldığında makine seçiminde öne çıkan kriterler fiyat, kullanım kolaylığı, kapasite, esneklik, işleme kalitesi ve makinenin kapladığı alan gibi faktörlerdir. Araştırma kapsamında özel bir işletmeye odaklanılmadığı için tüm kriterler arasında sadece fiyat, kullanım kolaylığı, kapasite ve esneklik faktörleri dikkate alınmaya çalışılmıştır (Kurtoğlu ve Dilik 2020; Kuşcuoğlu 2022).

1.2 Çok ölçütlü karar verme yöntemleri

Karar verme, istenilen hedefe ulaşabilmek için, gerekli koşullarda uygulanan düşünce ve hareket biçimlerinin belirlenmesi ve en uygun olanın seçilmesidir. Karar vermede birçok alternatifin olması, hangi seçeneğin seçilmesi gerektiğinden şüphe duyulması, karar verme problemine neden olmaktadır. Bu nedenle, karar verme probleminin çözümünde aşağıda belirtildiği gibi birçok kritere (ölçüt) dikkat edilerek söz konusu karar verme problemi çözüme ulaştırılmaya çalışılır. Bu kriterler;

- Amacın ne olduğu,
- Belirlenen hedef
- İçinde bulunulan çevresel etkenler
- Karar vericinin durumu
- Alternatifler
- Sonuca ulaşma şeklinde belirtilmektedir. (URL 1)

Literatürde çok ölçütlü karar verme olarak bilinen problemlerin çözümü amacıyla araştırmacılar tarafından klasik ya da bulanık mantık temelli birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; Analitik Hiyerarşi Süreci, (AHP), Analitik Ağ Süreci (AAS), MAUT, UTA, MACBETH, PROMETHEE, ELECTRE I-II-III, TOPSIS, UTADIS, FlowSort, GAIA ve FS-Gaia gibi yöntemler olarak belirtilmektedir. (Uludağ ve Doğan, 2016)

Araştırmada, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi, matematiksel işlemler ve anlaşılabilirlik açısından kullanıcılara önemli kolaylıklar sağlaması ve tek başına kullanılabilme olanağının bulunması gibi avantajları nedeniyle seçilmiştir. Çalışmada, panel mobilya imalatının, makine hattı için en önemli üç prosesi olan, panel ebatlama, kenar bantlama ve delik delme işlemleri için CNC, PLC kontrollü veya konvansiyonel olmasına bakılmaksızın, makine tipinin seçimi üzerinde durulmuştur. (URL1; Taş, 2010)

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Araştırma, panel mobilya imalatı alanında faaliyet gösteren, sipariş tipi üretim türünde faaliyet gösteren firmalar üzerinde hazırlanmıştır. Çalışmada, makine seçiminde mobilya üretiminde darboğaz oluşumuna en çok maruz kalan aşamalar olarak bilinen panel ebatlama, kenar bantlama ve delik delme işlemleri esas alınmıştır. Panel ebatlama, kenar bantlama ve delik delme işlemlerinde kullanılan farklı tipteki makineler, farklı kapasiteler üzerinden ele alınmaktadır.

2.2 Metot

Araştırmada, avantajları nedeniyle çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla oluşturulan matrislerde kullanılan ikili karşılaştırma puanlamasındaki değerler ve karşılıkları aşağıda Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Puanlama ölçek tablosu

Önem değerleri	Değer tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli (Az Üstünlük)
5	Oldukça Önemli (Fazla Üstünlük)
7	Çok Önemli (Çok Üstünlük)
9	Son Derece Önemli (Kesin Üstünlük)
2, 4, 6 ve 8	Ara Değerler (Uzlaşma Değerleri)

Çalışmada her bir üretim süreci için aşağıdaki senaryolar oluşturulmuş ve uygun makine seçim kararlarına ulaşılmaya çalışılmıştır.

Senaryo 1: Sipariş tipi üretim, panel ebatlama, günlük 100 levhaya kadar.

Senaryo 2: Sipariş tipi üretim, kenar bantlama, günlük 3200 metreye kadar.

Senaryo 3: Sipariş tipi üretim, delik delme, günlük 1200 yüzeye kadar.

Senaryo 1 için, alternatifler arasından panel ebatlama makinesi, senaryo 2 için, alternatifler arasından kenar bantlama makinesi, senaryo 3 için ise, alternatifler arasından delik delme makinesi seçilecektir.

Makine seçimi kararları için, literatür bilgilerinde de belirtildiği gibi, makine seçiminde etkili faktörler esas alınarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir; (Sofuoğlu, 2001; Kurtoğlu, 2010; Sofuoğlu ve Kurtoğlu, 2013; Kurtoğlu ve Dilik, 2018; Kurtoğlu ve Dilik, 2020).

- Üretim biçimi (seri, sipariş, karma vs.) ve kapasite
- Sonraki dönemlerde üretilmesi planlanan ürün çeşitleri
- Kapasite açısından makinelerin birbirleriyle uyumu
- Teknoloji açısından makinelerin birbirleriyle uyumu
- Parça boyutlarına bağlı olarak, makineler arası mesafe
- Makinelerin, onarım, bakım ve kullanım kolaylığı
- Makinelerin fiyatı
- Makinelerde çalışma güvenliği
- Fayda ve maliyet analizi
- Makine operatörü maliyetleri.

Mobilya endüstrisinin önde gelen firmalarıyla görüşmeler yapılmış, üretim hatlarının son şekli incelenmiş, gereksinimleri üzerinde tartışılmış ve sonuçta seçimi yapılacak makine tipleri ile seçim kriterleri, belirlenmiştir.

Senaryoların oluşturulmasında; üretim süreçleri ve kapasiteleri ayrı ayrı harmanlanmış ve karşılaştırma matrislerine göre uygun makine seçimi yapılmıştır. Sonuç olarak, fiyat, kapasite, kullanım kolaylığı ve esneklik olmak üzere 4 farklı karşılaştırma kriteri belirlenmiştir.

Örneğin ilk senaryoda; günde 100 adede kadar levha ebatlama kapasitesi olan sipariş tipi üretim yapan bir firma için, panel ebatlama makinesine ait kriterlerde, "Fiyat", "Kapasite", "Kullanım Kolaylığı" ve "Esneklik" kriterlerinin her biri için toplamda 4 farklı matris oluşturulmuştur ve birbirlerine karşı üstünlükleri belirlenmiştir. Analitik hiyerarşik proses adımları altı ana madde altında toplanabilir;

1. Problem tanımlanır ve amaç belirlenir
2. Kriterler belirlenir
3. Alternatifler belirlenir
4. Problemin hiyerarşik yapısı oluşturulur
5. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulur ve öncelik vektörleri hesaplanır
6. Tutarlılık analizi yapılır
7. Alternatifler sıralanır (Taş, 2010; Kuşçuoğlu, 2022)

Bu amaçla, konusunda uzman beş mühendisten destek alınmış olup, katkıda bulunan uzmanlar şu şekilde tanımlanmaktadır;

Uzman 1: Ağaç işleri endüstri yüksek mühendisi. Ağaç işleme makineleri konusunda uzman.

Uzman 2: Orman endüstri mühendisi. Panel mobilya üretimi konusunda uzman.

Uzman 3: Orman endüstri mühendisi. Ağaç işleme makineleri konusunda uzman.

Uzman 4: Orman endüstri mühendisi. Ağaç işleme makineleri konusunda uzman.

Uzman 5: Orman endüstri yüksek mühendisi. Ağaç işleme makineleri konusunda uzman.

Çalışmaya katılan uzmanlar, Çizelge 1’de sunulan ölçek tablosuna göre, oluşturulan matrislerde puanlama yapmışlardır.

3 Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında incelenen her 3 senaryo için, elde edilen verilerin tutarlılık testleri yapılmıştır. Kriterlerin birbirlerine göre üstünlükleri sayısallaştırıldıktan sonra, normalleştirme matrisi uygulanarak, makine alternatifleri arasında en uygun seçim optimizasyonu belirlenmiştir. Kullanılan çizelgelerde, kriterler olduğu gibi yazılmış, alternatifler ise kısaltmalarıyla kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan alternatifleri oluşturan makine veya makine kombinasyonlarına ait kısaltmalar şunlardır;

- DE : Dikey Ahşap Levha Ebatlama Makinesi
- CNCB : CNC Ahşap Levha İşleme Merkezi (Düz Tablalı)
- CNCB + DE : CNC Ahşap Levha İşleme Merkezi (Düz Tablalı) + Dikey Ahşap Levha Ebatlama Makinesi
- YEF : CNC Ahşap Levha Ebatlama Makinesi (Önden Yüklemeli)
- KB14 : Tek Taraflı Kenar Bantlama Makinesi (≤ 14 m/dak.)
- KB20 : Tek Taraflı Kenar Bantlama Makinesi (≤ 20 m/dak.)
- KB20U : Tek Taraflı Kenar Bantlama Makinesi (> 20 m/dak.)
- 2KB20 : 2 Adet Tek Taraflı Kenar Bantlama Makinesi (> 20 m/dak.)

- CNCB + 12D : CNC Ahşap Levha İşleme Merkezi (Düz Tablalı) + 1 Yatay, 2 Dikey Kafalı Çoklu Delik Delme Makinesi
- MCD + 12D : Manuel Çoklu Delik Delme Makinesi + 1 Yatay, 2 Dikey Kafalı Çoklu Delik Delme Makinesi
- MCD + CNCB : Manuel Çoklu Delik Delme Makinesi + CNC Ahşap Levha İşleme Merkezi (Düz Tablalı)
- NCD : CNC Çoklu Delik Delme Makinesi

Araştırmada incelenen her bir proses için oluşturulan senaryolara yönelik karar verilen makine alternatifleri aşağıdaki gibi belirlenerek seçilmiştir.

1. Senaryo için (Günlük 100 levhaya kadar panel ebatlama); 2 Adet Dikey Ahşap Levha Ebatlama Makinesi (2DE), CNC Ahşap Levha İşleme Merkezi (Düz Tablalı), CNC Ahşap Levha İşleme Merkezi + Dikey Ahşap Levha Ebatlama Makinesi (CNCB + DE), Önden Yüklmeli CNC Ahşap Levha Ebatlama Makinesi (YEF),

2. Senaryo için (Günlük 3200 metreye kadar kenar bantlama); Tek Taraflı Kenar Bantlama Makinesi (≤ 14 m/dak.), Tek Taraflı Kenar Bantlama Makinesi (≤ 20 m/dak.), Tek Taraflı Kenar Bantlama Makinesi (> 20 m/dak.), 2 Adet Tek Taraflı Kenar Bantlama Makinesi (> 20 m/dak.),

3. Senaryo için (Günlük 1200 yüzeye kadar delik delme); CNC Ahşap Levha İşleme Merkezi (Düz Tablalı) + 1 Yatay 2 Dikey Kafalı Çoklu Delik Delme Makinesi (CNCB + 12D), Manuel Çoklu Delik Delme Makinesi + 1 Yatay 2 Dikey Kafalı Çoklu Delik Delme Makinesi (MCD + 12D), Manuel Çoklu Delik Delme Makinesi + Düz Tablalı CNC Ahşap Levha İşleme Merkezi (MCD + CNCB), CNC Çoklu Delik Delme Makinesi (NCD)'dir.

Normalleştirme matrislerinde kullanılan CI, tutarlılık indeksini, RI, rassal indeksi ve CR ise tutarlılık oranını simgelemektedir. Her 3 senaryo için elde edilen araştırma bulguları, çizelgeler halinde aşağıda sunulmakta olup; Çizelge 2'de, Senaryo 1 kriterleri için normalleştirme matrisi oluşturulmuş, CR (Tutarlılık Oranı) değeri 0,1'in altında çıkmış ve uzman yanıtlarının tutarlılığı doğrulanmıştır.

Çizelge 2. Senaryo 1 için kriterler normalleştirme matrisi

NORMALLEŞTİRME MATRİSİ (KRİTERLER)	FİYAT	KAPASİTE	KULLANIM KOLAYLIĞI	ESNEKLİK	Ağırlık	V	V/W
					(W)		
FİYAT	0,0833	0,0625	0,0625	0,1071	0,0789	0,3167	4,0151
KAPASİTE	0,2500	0,1875	0,1875	0,1786	0,2009	0,8115	4,0395
KULLANIM KOLAYLIĞI	0,2500	0,1875	0,1875	0,1786	0,2009	0,8115	4,0395
ESNEKLİK	0,4167	0,5625	0,5625	0,5357	0,5193	2,1190	4,0802
					1,0000		4,0436
CI	0,014527993						
RI	0,882						
CR	CI/RI=0,0165						

Senaryo 1 için, alternatiflerin aldığı puanlar Çizelge 3'te ve öne çıkan makine Şekil 1'de verilmiştir. Karar matrisi sonuçlarına göre en yüksek puanı önden yüklmeli CNC yatay levha ebatlama makinesi (YEF) almıştır.

Çizelge 3. Senaryo 1 için karar matrisi

KARAR MATRİSİ (SENARYO 1)	FİYAT	KAPASİTE	KULLANIM KOLAYLIĞI	ESNEKLİK	KRİTERLER	SONUÇ
2DE	4,1030	4,0079	4,2083	4,0093	4,0151	66,0217
CNCB	4,0152	4,0223	4,0954	4,0668	X 4,0395	= 65,5061
CNCB+DE	4,0408	4,0223	4,0954	4,0668	4,0395	65,6089
YEF	4,0152	4,0790	4,6023	4,0327	4,0802	67,6438

Önden yüklemeli CNC yatay ebatlama makinesine ait görsel Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Önden yüklemeli CNC yatay ebatlama makinesi (URL 2)

Çizelge 4’te, Senaryo 2 kriterleri için oluşturulan normalleştirme matrisi sunulmuştur.

Çizelge 4. Senaryo 2 için kriterler normalleştirme matrisi

NORMALLEŞTİRME MATRİSİ (KRİTERLER)	FİYAT	KAPASİTE	KULLANIM KOLAYLIĞI	ESNEKLİK	Ağırlık (W)	V	V/W
FİYAT	0,1111	0,1250	0,0667	0,1250	0,1069	0,4299	4,0195
KAPASİTE	0,3333	0,3750	0,4000	0,3750	0,3708	1,5167	4,0899
KULLANIM KOLAYLIĞI	0,2222	0,1250	0,1333	0,1250	0,1514	0,6125	4,0459
ESNEKLİK	0,3333	0,3750	0,4000	0,3750	0,3708	1,5167	4,0899
					1,0000		4,0613
CI	0,02042728						
RI	0,882						
CR	CI/RI=0,0232						

Senaryo 2 için karar matrisi, Çizelge 5’de verilmiştir. Bu matrise göre en yüksek puanı alarak seçilen makine KB20 (Hızı dakikada 20 metreye kadar olan tek taraflı kenar bantlama makinesi) olmuştur.

Çizelge 5. Senaryo 2 için karar matrisi

KARAR MATRİSİ (SENARYO 2)	FİYAT	KAPASİTE	KULLANIM KOLAYLIĞI	ESNEKLİK	KRİTERLER	SONUÇ
KB14	4,2222	4,0408	4,2222	4,0362	4,0195	67,0875
KB20	4,1747	4,0362	4,1747	4,1747	X 4,0899	= 67,2516
KB20U	4,0362	4,1747	4,0408	4,0408	4,0459	66,1725
2KB20	4,0408	4,2222	4,0362	4,2222	4,0899	67,1084

Çizelge 5 için örnek makine Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Tek taraflı kenar bantlama makinesi (≤ 20 m/dak.) (URL3)

Senaryo 3 için kriterlerin normalleştirme matrisi Çizelge 6’da sunulmuştur. CR değeri 0,0165 olarak bulunmuştur.

Çizelge 6. Senaryo 3 kriterler normalleştirme matrisi

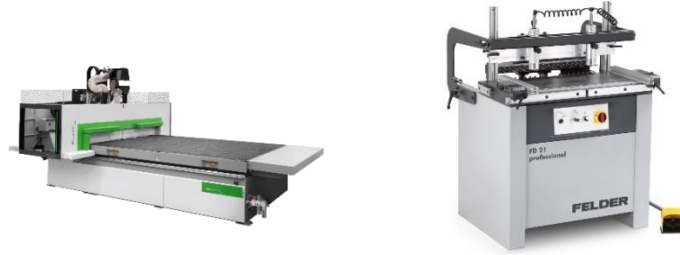
NORMALLEŞTİRME MATRİSİ (KRİTERLER)	FİYAT	KAPASİTE	KULLANIM KOLAYLIĞI	ESNEKLİK	Ağırlık (W)	V	V/W
FİYAT	0,0833	0,0625	0,0625	0,1071	0,0789	0,3167	4,0151
KAPASİTE	0,2500	0,1875	0,1875	0,1786	0,2009	0,8115	4,0395
KULLANIM KOLAYLIĞI	0,2500	0,1875	0,1875	0,1786	0,2009	0,8115	4,0395
ESNEKLİK	0,4167	0,5625	0,5625	0,5357	0,5193	2,1190	4,0802
					1,0000		4,0436
CI	0,014527993						
RI	0,882						
CR	CI/RI=0,0165						

Çizelge 7’de, Senaryo 3 için oluşturulan karar matrisi verilmiştir. Senaryo 3 için (Delik delme prosesi) CNC ahşap levha işleme merkezi (Düz Tablalı) + 1 yatay, 2 dikey kafalı çoklu delik delme makinesi kombinasyonu en yüksek puanı alarak öne çıkmıştır.

Çizelge 7. Senaryo 3 karar matrisi

KARAR MATRİSİ (SENARYO 3)	FIYAT	KAPASİTE	KULLANIM KOLAYLIĞI	ESNEKLİK	KRİTERLER	SONUÇ
CNCB+12D	4,0395	4,0737	4,1747	4,1747	4,0151	66,5718
MCD+12D	4,0802	4,0175	4,0408	4,0408	X 4,0395	= 65,4217
MCD+CNCB	4,0151	4,0737	4,0362	4,2222	4,0395	66,1083
NCD	4,0395	4,1305	4,2222	4,0362	4,0802	66,4284

Senaryo 3 için öne çıkan makine kombinasyonu Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. Düz tablalı CNC ahşap levha işleme merkezi ve 1 yatay 2 dikey kafalı çoklu delik delme makinesi (URL4, URL5)

4 Sonuçlar ve Öneriler

Mobilya sektöründe ağırlığı ve önemi giderek artan sipariş tipi üretim için orta ölçekli işletmelere yönelik makine seçimi tercihleri ve ortaya konan öneriler aşağıda sunulmuştur;

- Kapasitesi günlük 100 levhaya kadar olan bir işletme için, önden yüklemeli CNC ahşap levha ebatlama makinesi (YEF) ilk sırada yer almıştır.
- Sipariş tipi üretim için günlük 1600 metreye kadar kenar bandı kullanan bir firma için alternatifler arasında öne çıkan kenar bantlama makinesi, besleme hızı 20 m/dk’ya kadar olan tek taraflı kenar bantlama makinesidir.
- Sipariş tipi üretimin son prosesi delik delme işleminde, bazı durumlarda sadece tek yüzeye delik delinmediğinden, parça değil, yüzey sayısı üzerinden gidilmiştir. 3. senaryo olan sipariş tipi üretimde, günlük 1200 yüzeye kadar kapasiteyle üretim yapıldığı durumlarda, CNC ahşap levha işleme merkezi ve 1 Yatay, 2 dikey kafalı çoklu delik delme makinesi (CNCB + 12D) kombinasyonu ön plana çıkmıştır. Delik delme işlemlerinde önemli bir parametre olan delik yoğunluğu (Bir yüzeye ne çeşit, kaç delik delineceği gibi) dikkate alınmamıştır.

Çalışmada, makine seçimi sürecinde, ağaç işleme makineleri markaları ve modelleri, üretim yerleri, ürün kalitesine etkileri göz ardı edilerek, özellikle makine tipleri üzerinde durulmuş ve temel bir şablon ortaya konulmuştur. Bu nedenle, Dünya ticaretindeki global trendlerin etkisi de göz önüne alınarak, markalaşma süreçlerini tamamlamış farklı ağaç işleme makinelerinin, işleme kaliteleri ve hizmet ömürleri gibi konularda da çalışmaların yapılması teşvik edilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma Mehmet Özgür Kuşcuoğlu isimli yazarın doktora tezinden hazırlanmıştır.

Yazar Katkıları

Mehmet Özgür Kuşcuoğlu: Verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması, makalenin yazılması. **Tuncer Dilik:** Çalışma konusunun belirlenmesi, verilerin analiz edilmesi, makalenin yazılması ve yayınlanması.

Finansal destek beyanı

Yazarlar bu çalışma için finansal destek beyan etmemişlerdir.

Çıkar çatışması


Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- İlhan, R., Burdurlu, E., (1993), Ağaç İşleri Endüstrisinde Fabrika Planlaması, Hacettepe Üniversitesi, 75, 337 Ankara
- Kobu, B., (2008). Üretim yönetimi, Beta, ISBN: 9786053332008, İstanbul
- Kurtoğlu, A., (2010), Ağaç işleme tekniği ve makineleri ders notları, (Basılmamıştır), *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü*, İstanbul
- Kurtoğlu, A., Dilik, T., (2018), Mobilya ve ağaç konstrüksiyonları ders notları, (Basılmamıştır), *İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü*, İstanbul
- Kurtoğlu, A., Dilik, T., (2020), Mobilya endüstrisi ders notları, (Basılmamıştır), *İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü*, İstanbul
- Kuşcuoğlu, M.Ö., (2022), AB sürecinde Türkiye ağaç işleme makineleri sektörü, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, İstanbul
- Sofuoğlu, S. D., (2001), Ağaç malzemenin işlenmesinde fire oranlarının belirlenmesi üzerine incelemeler, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul
- Sofuoğlu, S.D., Kurtoğlu, A., (2013), The wastage rates at massive wood material processing, *Dumlupınar University, Institute of Science Journal*, Issue:11, 189-204, Turkey
- Taş, Y., (2010), Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) tekniğinin mobilya endüstrisine yönelik uygulaması, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul
- Uludağ, A. S., Doğan, H., (2016), Çok kriterli karar verme yöntemlerinin karşılaştırılmasına odaklı bir hizmet kalitesi uygulaması, *Çankırı Karatekin University Journal of The Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 6(2), 17-47.
- URL1 (2021), Karar verme teknikleri, <https://www.iienstitu.com/blog/karar-verme-teknikleri-nelerdir> (Ziyaret Tarihi: 06.06.2021)
- URL2 (2023) Yatay panel ebatlama, <https://www.ligno.com.tr/tectra-6120-classic.html> (Ziyaret Tarihi: 29.04.2023)
- URL3 (2023), Kenar bantlama makinesi, <https://ormendmakina.com/urun/casadei-flexa507-kenar-bantlama/> (Ziyaret Tarihi: 29.04.2023)
- URL4 (2023), CNC işlem merkezi, <https://www.biesse.com/tr/agac/cnc-islem-merkezleri/rover-k-ft-duez-tabla> (Ziyaret Tarihi: 29.04.2023)
- URL5 (2023), Çoklu delik makinesi FD 21, <https://www.artmakina.com/tr/urun/coklu-delik-makinasi-fd-21> (Ziyaret Tarihi: 29.04.2023)



Effect of fungal infection on physico-mechanical resistance of WPC made from thermally treated wood/PP

Seyyed Khalil Hosseinihashemi^{1*} , Farhad Arwinfar¹ 

Abstract

The effect of fungal decay on the physico-mechanical characteristics of thermally treated wood flour-plastic composites was determined. Firstly, the wood chips (*Fagus orientalis* L.) were treated thermally for 30 and 120 minutes at various temperatures (120, 150, and 180 °C) under saturated vapour in a steaming vessel and they were ground by Wiley mill machine. Then, polypropylene, thermally treated wood flour, and MAPP as compatibilizer were used by melt compounding and injection molding process. Some physical and mechanical parameters were measured prior to and after fungal (*Trametes versicolor*) infection for 6 weeks. The flexural strength, flexural modulus, and impact strength of undecayed and decayed WPCs at 180 °C for 120 min and at 150 °C for 30 min increased, respectively, but the water uptake and thickness swelling of WPCs decreased at 180 °C for 120 min. The wood particles of WPCs treated at 180 °C for 120 minutes had the least mass loss. The mechanical property parameters were reduced after fungal infection. Moreover, the results showed that the moisture sorption and thickness swelling for all formulations of unrotted specimens were significantly lower than that of white-rotted specimens.

Keywords: Fungal decay, thermally treated wood, physical and mechanical properties, decay resistance, WPCs

Mantar enfeksiyonunun ısı işlem görmüş odun/PP kompozitlerin fiziko-mekanik direncine etkisi

Öz

Mantar çürümesinin ısı işlem görmüş odun unu-plastik kompozitlerin fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki etkisi belirlendi. İlk olarak, odun talaşları (*Fagus orientalis* L.) buharlı bir kazanda doymuş buhar altında çeşitli sıcaklıklarda (120, 150 ve 180 °C) 30 ve 120 dakika termal işleme tabi tutulmuş ve Wiley değirmen makinesinde öğütülmüştür. Daha sonra polipropilen, ısı işlem görmüş odun unu ve uyumlaştırıcı olarak MAPP eriyik birleştirme ve enjeksiyon kalıplama işlemi kullanılmıştır. Bazı fiziksel ve mekanik parametreler mantar (*Trametes versicolor*) enfeksiyonundan önce ve sonra 6 hafta boyunca ölçülmüştür. 180°C'de 120 dakika ve 150°C'de 30 dakika boyunca bozulmamış ve çürümüş WPC'lerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve darbe direnci sırasıyla arttı, ancak WPC'lerinsu alma ve kalınlığına şişmesi 180°C'de 120 dakika boyunca azaldı. 180 °C'de 120 dakika muamele edilen WPC'lerin ahşap parçacıkları en az kütle kaybına sahipti. Mekanik özellikler, mantar enfeksiyonundan sonra azaldı. Ayrıca sonuçlar, çürümemiş numunelerin tüm formülasyonları için su alma ve kalınlığına şişmesinin beyaz çürüklük numunelerden önemli ölçüde daha düşük olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Mantar çürümesi, ısı işlem görmüş ahşap, fiziksel ve mekanik özellikler, çürüme direnci, OPK'lar

Article history: Submitted: 21.05.2023, Accepted: 21.06.2023, Published: 30.06.2023, *e-mail: hashemi@kia.ac.ir

¹Department of Wood Science and Paper Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

To cite: Hosseinihashemi S.K., Arwinfar F., (2023), Effect of fungal infection on physico-mechanical resistance of WPC made from thermally treated wood/PP, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (1), 90-103, DOI:10.33725/mamad.1300208

1 Introduction

Wood as an important natural and renewable resource is available in large volumes at low cost with many excellent properties that have been used for many applications. In fact, the application of wood as raw and unprotected in many uses gives added value to final products. Usually, wood as a raw material for final consumer products possesses a number of properties that limits its application (Kozhin and Gorbachev, 2011). Wood as a lignocellulosic polymer absorbs the humidity easily and this phenomenon changes its characteristics and dimensional stability. It can cause bio-deterioration if the water absorption of wood does not protect (Oksman Niska and Sain, 2007; Clemons, 2008).

Heat treatment is an environmentally friendly wood modification method that has been widely used in the last decades to improve the properties of wood material and does not use harmful chemicals during the process (Poncsak et al. 2011; Jirouš-Rajković and Miklečić, 2019). Heat-treated wood has many applications for exterior applications such as decks, cladding, garden furniture, terraces, fences, doors, and windows as well as interior uses such as kitchen furniture, cabinets, decorative wall panels, parquet, sauna benches, and panels (Esteves and Pereira, 2009; Cui and Matsumura, 2019).

A polymer matrix forms the continuous phase surrounding the chemical component of wood in the wood-plastic composites (WPCs). These matrix polymers are typically low-cost commodity polymers which soften easily when they are heated that allow considerable forms when wood is combined with them. These synthetic materials absorb little moisture and they can be efficient barriers against moisture penetration by a well-designed composite (Oksman Niska and Sain, 2007; Clemons, 2008). Due to specific applications, wood composites need protection against the influences of moisture, climatic conditions, biological attack (rot, beetles, termites, marine animals) and fire (Gardner et al. 2003). Heat treatment as a technique is intended in order to improve the dimensional stability and durability of wood-based composites. Heat treatment of wood at conditions with low time and temperature can lead to protect the chemical composition of the wood cell wall polymers but there is need high temperature (more than the melting point of the holocellulose and lignin) to improve of the material ductility through strengthening. The resistance of grain boundaries to intergranular cracking and annealing is a necessary process to obtain a well-defined structure with superior mechanical properties (Hill, 2006). The mechanism that increases the rot resistance depends on the loss of the cellulose and hemicellulose in addition to the low moisture absorption of the cell wall. By reducing the hydroxyl groups from the wood cell wall structural components, the ability of enzymes to metabolize the substrate and/or the mode of action of low molecular weight diffusible reagents may be affected and reduced, also. It should be noted that the formation of biocidal chemicals is possible due to the heat treatment (Hill, 2006).

One of the effective thermal treatment methods that have been implemented by several researchers is hydrothermal treatment (Tjeerdsma and Militz, 2005; Endo et al. 2016). The time and temperature of treatment affect the efficiency of hydrothermal treatment (Saliman et al. 2017). Furthermore, the media of heating also plays an important role. Heat treatment of beech wood in acidic, neutral and alkaline buffered solutions was evaluated by Talaei and Karimi (2015) and they observed that treating of wood by using different buffered media can lead to changes in the mechanical properties.

The impact of different times and temperatures of heating in the air upon the durability of modified wood against *T. palustris* has been investigated (Kim et al. 1998). The relationship between the heating period and mass loss due to fungal rot was modelled using a

regression equation. As the heating period and temperature increased, the decay resistance was improved. It was predicted by numerical analysis that degradation resistance comparable to the absorption of 1% CCA treatment was obtained by applying heat for 150 hours at 150 °C. Kamdem et al. (2000) also found that toxic by-products can be produced that can stop the growth of fungi due to thermal modification.

Based on the findings of Perçin (2022), all parameters of the air-dried density, equilibrium moisture content (EMC), surface roughness, bonding strengths of the black pine (*Pinus nigra* A.) and larch (*Larix deciduas*) woods decreased depending on the heat treatment conditions. The density and EMC values of the control specimens were higher than the heat-treated samples.

Arwinfar et al. (2016) and Hosseinihashemi et al. (2022) discuss the mechanical properties and long-term hygroscopic thickness swelling rate of heat-treated wood particle WPCs in different conditions; they found that the acceptable treatment to make the WPC was 150 °C for 30 minutes for mechanical strength; 120 °C for 30 min and 150 °C for 30 minutes for long-term hygroscopic thickness swelling rate. Moreover, the micromorphology images of the composites produced from the wood heated at the aforementioned conditions showed that there are considerably fewer pores and so broken fiber ends embedded in the matrix of polymer.

The water absorption kinetics of the heat-treated beech wood plastic composites were investigated by Hosseinihashemi et al. (2016). They observed that by increasing the intensity of the heating condition and soaking period, the water absorption decreased than the control composites. In addition, minimum water absorption was observed in composites with wood content that were heat treated at 180 °C for 120 minutes.

Lengowski et al. (2021) demonstrated that while there are significant chemical changes in wood material after heat treatment, hemicelluloses are the most affected compound. The effect of heat treatment on the shear strength of wood was assessed by Can et al. (2021). They reported that shear strength decreased significantly after heat treatment and that reduced chemical bonding or mechanical interlocking of adhesives, and the reduced strength of the brittle heat-treated wood might be responsible for the severity of conditions. Durmaz et al. (2019) measured the changes in the physical properties of the heat-treated wood, whereby the density and EMC declined with the increased treatment conditions. In a similar study, Bal (2015) reported that the density and EMC values of wood decreased after heat treatment. Decreases in EMC values depending on the heat treatment temperatures were also reported by Aytin et al. 2015.

In the literature, the physico-mechanical properties of the WPCs made from heat treated wood and non-wood materials were commonly evaluated. However, little information is available on the effect of fungal infection on the weight loss, water resistance, and bending and impact strengths of WPCs made from thermally treated wood. In addition, beech (*Fagus sylvatica* L.) wood is widely used in construction and building materials as well as wood-based composites industries. On the other hand, the use of thermal-treated wood material is increasing in the industries. So, it is important to determine the relationship between the fungal infection (*Trametes versicolor*) of the heat-treated wood material and physico-mechanical strength.

This study was aimed to analyse the effect of heat treatment on weight loss, water resistance, thickness swelling, flexural strength, flexural modulus, and impact strength parameters of WPCs made from beech (*Fagus orientalis* L.) wood.

2 Material and Method

2.1 Thermoplastic polymer, wood filler, and compatibilizer

Polypropylene V30S (PP) supplied by Petrochemical Company (Marun, Mahshahr, Iran) was used as the polymer matrix with a melt flow index of 16 g/10 min and a density of 0.87 g/cm³. Oriental beech (*Fagus orientalis* L.) wood flour as lignocellulosic material which was milled by Wiley grinder was applied as reinforcement. PPG101, which is a maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP), provided by Kimia Javid Sepahan Co. (Tehran, Iran) with a melt flow index of 64 g/10 min and density of 0.91 g/cm³. The grafted maleic anhydride was used as the compatibilizer at a rate of 3% by weight in the composites.

2.2 Thermal treatment of wood chips

Prior to the processing of the composites, a drum-chipper was used for the chipping of beech logs. Wood chips were dried at room temperature for 24 h before the thermal treatment. Afterwards, the wood chips were heated and saturated by steam in a steaming vessel at different temperatures (120 °C, 150 °C, or 180 °C) for 30 or 120 minutes. Then, produced chips from the beech wood were milled into wood flour and oven-dried at 103 ± 2 °C for 24 h to reach 1% moisture content. The required materials were weighed and formulated according to Table 1.

Table 1. Untreated and modified composites (MC) preparation formulations

Treatment code	Beech wood flour (wt.%)	Polypropylene (wt.%)	MAPP* (wt.%)
A = Untreated composite	50	47	3
B = MC-30 min-120 °C	50	47	3
C = MC-30 min-150 °C	50	47	3
D = MC-30 min-180 °C	50	47	3
E = MC-120 min-120 °C	50	47	3
F = MC-120 min-150 °C	50	47	3
G = MC-120 min-180 °C	50	47	3

*MAPP = maleic anhydride grafted polypropylene.

2.3 Composites manufacturing

Intermeshing counter-rotating twin screw extruder (Model T20, 1990, Dr. Collin, GmbH, Germany) were used at a screw speed of 60 rpm for 14 minutes for the mixing of materials which barrel temperature gradient from 180 °C at six zone from feeding zones to the die zone. The extruded materials were cooled at laboratory conditions and then milled to produce suitable granules for further processing. For the milling of granules, a laboratory grinder (Wieser, WGLS 200/200 Model, Germany) was used and the milled granules were dried at 105 °C for 4 h in a laboratory oven. The injection molding machine (Model EM80, Aslanian Co., Iran) set at 160-180 °C temperature was also used for molding of test samples. In each molding operation, a complete set of samples (3 replicates) was produced for various tests. Finally, before the testing, the samples were conditioned at the temperature of 23 °C and relative humidity of 50% for at least 40 h according to ASTM D 618 (1999).

2.4 Fungus culture

The white-rot fungus (*T. versicolor*) was transferred to petri dishes containing malt extract agar (48 g/L) under laminar hood using sterile pincers. The plates were kept at 23 °C for one week until the culture medium was fully covered by the mycelium of the fungus. The cultured fungus was transferred into petri dishes containing the culture medium and then incubated for one week at 23 °C.

2.5 Inoculation of samples by Fungus

Inoculation of composite samples by the fungus was performed in the petri dishes. The dishes containing the fungus and the composite samples were incubated in an incubator for 6 weeks at 23 °C and 75% RH. The sizes of control WPCs samples are shown in the Figure 1.

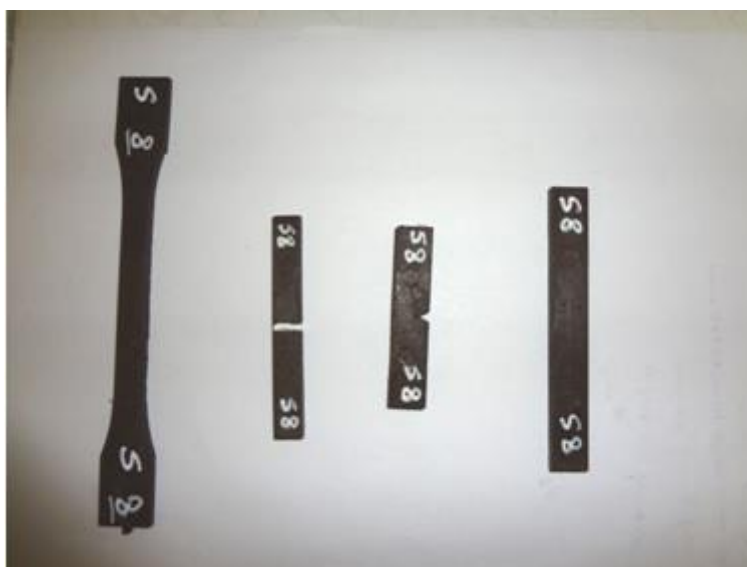


Figure 1. The sizes of WPCs control samples (The tensile test samples were not used in this study)

2.6 Mass loss

The dry mass of the samples was determined after 24 h under 103 ± 2 °C. The mass losses were calculated using the Equation (1):

$$\text{Mass loss (\%)} = (M_b - M_a / M_b) \times 100 \quad (1)$$

where M_b and M_a are the oven-dry weights prior to and after inoculation with fungus, respectively.

2.7 Water uptake and dimensional stability tests

Water uptake and thickness swelling tests of the composites were conducted by following the ASTM D 570 (1998) standard. Five specimens from each formulation were selected and oven-dried for 24 h at 100 ± 3 °C. The samples were weighted with an accuracy of 0.001 g after drying in the oven and their thicknesses were measured at an accuracy of 0.001 mm. Then, the specimens were placed in distilled water for 24 h by the method of immersion and retained at room temperature (20 ± 2 °C). In the final of this time, the excess on the surface of the specimen was cleared with a clean cloth and then their weights and thicknesses were determined. The water absorption values in percentage were calculated using the Equation (2):

$$WA(t) = \frac{W(t) - W_0}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

where $WA(t)$, W_0 , and $W(t)$ denote the water absorption (%) at time t , the oven dried weight, and the weight of the specimen at a given immersion time t , respectively.

The thickness swelling values in percentage were calculated using Equation (3).

$$TS(t) = \frac{T(t) - T_0}{T_0} \times 100 \quad (3)$$

where $TS(t)$, T_0 , and $T(t)$ denote the thickness swelling (%) at time t , the initial thickness of specimens, and the thickness at time t .

2.8 Mechanical properties

The flexural properties (ASTM D 790-10 (2016)) and notched impact strength (ASTM D 256-10 (1997)) of WPCs made from thermally treated wood were determined according to ASTM standards.

2.9 Data analysis

Mass loss, flexural strength, flexural modulus, impact strength, water absorption, and thickness swelling values were evaluated using a computerized SPSS 17.0 statistical program and tested with ANOVA followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) with 95% confidence level.

3 Results and discussion

3.1 Mass loss

Mass loss of the WPCs exposed to the white-rot fungus at different times and temperatures are shown in Table 2. According to the Table 2, when the time and temperature increase, it is clearly seen that the mass loss of the WPC specimens is decreasing, that is, the lowest mass loss was observed in the specimens formulated by thermally-treated wood at 180 °C for 120 minutes. According to the results of DMRT, the thermal treatment of wood had a significant effect on the mass loss of the WPCs. Among the composite formulations, the mass loss of the composites produced with thermally treated wood (30 min- 180 °C, 120 min- 150 °C, and 120 min- 180 °C) have the highest durability (Table 2). The decay resistance of the modified beech wood by heating against the white decay fungus (*T. versicolor*) varied widely with the heat treatment conditions. Since white rot fungus can attack both lignin and cell wall polysaccharides (hemicelluloses and cellulose), the improved durability of the thermally treated beech flour can be attributed to the modification of its chemical components (Jimenez et al. 2011). Changes in the chemical composition of the wood due to heat treatment were correlated with increased resistance to fungal decay. While the hemicellulose content was dramatically reduced with increasing temperature and treatment duration, the lignin content increased proportionately (Yalcin and Sahin, 2015).

Reduced hemicellulose contents of the heated beech wood flour have a significant impact on biological resistance because it is an easily accessible carbon source for fungi (Nuopponen, 2005). The reduction in the amount of free -OH groups in the holocellulose and an increase in lignin cross-linking has caused a decrease in the equilibrium moisture which can also enhance the biological resistance of thermally treated wood (Wikberg and Maunu, 2004; Nuopponen, 2005). When wood is subjected to thermal treatment, formic and acetic

acids are formed. So, they cause the degradation of hemicellulose (Tjeerdsma et al. 1998). During hydrothermal modification, mass loss depends on the wood species, heating medium, temperature and duration (Esteves and Pereira, 2009). Theander and Nelson (1988) stated that the degradation rate of carbohydrates is high in acidic situations and is promoted by the high availability and low crystallinity of hemicelluloses. Further, variations in the acidity of the treatment media increase due to thermal treatment in wet environments because of the formation of acetic and formic acids on the basis of the decomposition of hemicellulose during hydrothermal modification in acidic media (Kubojima et al. 2000; Sulaiman et al. 2012). Lignin degradation occurred only when the treatment temperature was above 200 °C. Furthermore, the bending strength rapidly decreases at high temperatures (above 200 °C), treated wood shows darker colours and it becomes more brittle, and surface cracks are produced due to the further degradation of hemicellulose and the removal of -OH groups (Ali et al. 2021). Cross-linking was shown to reduce the amount of accessible OH groups that are simultaneously active in sorption which was explained based on the concept of sorption of water dimers at hydroxyl group pairs at high RH levels (Altgen et al. 2018).

Table 2. Mean value ± (standard deviation) for mass loss, flexural strength, flexural modulus, and impact strength of the untreated and modified composites

	Treatment code	Mass loss (%)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)	Impact strength (J/m ⁻¹)
Undecayed	A = Untreated composite	-	63.77 a (6.46)	5129 ab (639.30)	6.94 cd (0.26)
	B = MC-30 min-120 °C	-	72.52 bc (1.34)	5484 b (254.42)	5.93 a (0.48)
	C = MC-30 min-150 °C	-	78.94 c (5.57)	5452 b (376.90)	6.08 ab (0.27)
	D = MC-30 min-180 °C	-	73.92 bc (0.62)	5111 ab (265.90)	6.51 bc (0.21)
	E = MC-120 min-120 °C	-	78.92 c (3.01)	5177 ab (372.01)	6.63 c (0.23)
	F = MC-120 min-150 °C	-	74.72 bc (0.23)	5175 ab (202.95)	6.51 bc (0.22)
	G = MC-120 min-180 °C	-	68.94 ab (3.62)	4559 a (147.87)	7.25 d (0.01)
Decayed	A = Untreated composite	0.22*ab (0.02)	61.63 a (0.92)	1779 b (41.87)	5.40 a (0.00)
	B = MC-30 min-120 °C	0.32 bc (0.04)	70.09 bc (0.89)	1940 cd (21.08)	6.05 ab (0.29)
	C = MC-30 min-150 °C	0.37 c (0.01)	76.64 d (2.93)	2001 d (79.62)	6.57 b (0.22)
	D = MC-30 min-180 °C	0.16 a (0.01)	68.82 b (3.67)	1762 b (95.47)	5.30 a (0.22)
	E = MC-120 min-120 °C	0.25 abc (0.14)	75.95 d (0.81)	1911 cd (4.16)	5.86 ab (0.47)
	F = MC-120 min-150 °C	0.16 a (0.06)	73.02 cd (1.46)	1867 bc (69.93)	6.18 ab (0.91)
	G = MC-120 min-180 °C	0.15 a (0.31)	68.82 b (1.71)	1640 a (67.82)	5.91 ab (0.47)

*Lower case letters on the numbers indicates the Duncan grouping of the averages. Values in parentheses are standard deviation (SD). Undecayed and decayed specimens were analyzed statistically and separately.

3.2 Flexural strength, flexural modulus, and impact strength

Statistical analysis of the data shows a significant effect on the mechanical strength of heat-treated wood flour of the undecayed and decayed WPCs. The results of Duncan's multiple range test indicated that the thermal treatment of wood had a significant effect on the mechanical properties of the undecayed and decayed WPCs. The undecayed and decayed WPCs produced from wood treated at 150 °C for 30 min and 120 °C for 120 min had the same flexural strength values and were higher than other treated WPCs (Table 2). All the undecayed and decayed WPCs showed higher flexural strength than the control WPC. Thermal-treatment of wood improved the flexural strength to a greater degree than the flexural modulus. The flexural modulus of the undecayed and decayed WPCs produced with wood treated at 120 °C or 150 °C for 30 min were considerably higher than that of the other treated WPCs and control WPC. The treatments 30 min at 180 °C, 120 min at 120 °C, and 120 min at 150 °C did not have a significant difference in the flexural modulus of undecayed WPCs as compared to the undecayed control but the treatments 30 min at 180 °C and 120 min at 150 °C did not have significant difference in the flexural modulus of decayed WPCs as compared to the decayed control. The undecayed and decayed WPCs produced from wood treated at 180 °C for 30 min or 120 min had lower flexural modulus than the undecayed and decayed control WPC. This result showed that the flexural properties of the undecayed and decayed WPCs considerably decreased as the thermal-treatment duration increased from 30 min to 120 min. In general, all the undecayed WPCs showed higher flexural strength than the decayed WPCs made from untreated and treated wood. The significant differences ($p < 0.05$) between some group averages for the mechanical properties are shown in Table 2. The different letter designations in the Table 2 mean that there were significant differences ($p < 0.01$) for the mechanical properties among the WPC groups according to Duncan's multiple range test.

The results of Duncan's multiple range test indicated that the thermal treatment had a significant effect on the impact strength of the undecayed and decayed WPCs. There were no significant differences in the impact strength values of the undecayed WPCs between the 30 min at 180 °C and 120 min at 150 °C treatments. Also, there were no significant differences in the impact strength values of the decayed WPCs between the 30 min at 120 °C, 120 min at 120 °C, 120 min at 150 °C, and 120 min at 180 °C together and there is no significant difference between undecayed composites for 30 min at 180 °C and 120 min at 150 °C (Table 2). As shown in Table 2, the undecayed WPCs produced from the wood treated at 120 °C for 30 min showed lower notched impact strength than the control WPC specimens but in the decayed WPCs produced from the wood treated at 180 °C for 30 min showed lower notched impact strength than the control WPC specimens. The impact resistance of the undecayed WPCs produced from the wood treated at 180 °C for 120 min increased by 4.5% over the control WPC specimens but the impact resistance of the decayed WPCs produced from the wood treated at 150 °C for 30 min increased by 17.8% over the control WPC specimens. This increase was mainly attributed to the high compatibility between the wood and the polymer matrix due to the softening of lignin.

Furthermore, WPCs produced from the wood treated at 150 °C for 30 min had slightly lower average impact resistance than the WPCs produced from the wood treated at 180 °C for 120 min. Thus, it was expected that the treatment at 150 °C for 30 min caused a reduction in the adhesion between the wood filler and the polymer matrix compared to the 120 min at 180 °C specimens. The average strength loss of the samples after exposure to wood decay fungus is given in Table 3.

Table 3. Mean values of strength loss for flexural strength, flexural modulus, and impact strength measurements of the untreated and modified composites

Treatment code	Flexural strength loss (%)	Flexural modulus loss (%)	Impact strength loss (%)
A = Untreated composite	3.35	65.31	22.20
B = MC-30 min-120 °C	3.35	64.62	-2.02
C = MC-30 min-150 °C	2.91	63.30	-8.05
D = MC-30 min-180 °C	6.90	65.52	18.59
E = MC-120 min-120 °C	3.76	63.09	11.61
F = MC-120 min-150 °C	2.27	64.14	5.07
G = MC-120 min-180 °C	0.17	64.03	18.48

3.3 Water and thickness swelling resistance

The results of statistical analysis (Table 4) indicated that the fungal infection had direct impact on moisture absorption of the modified specimens after 6 weeks ($P < 0.05$). In general, the water absorption of decayed and undecayed modified samples increases with increasing immersion time in distilled water. The absorption of water in modified samples was less compared to the control WPCs, where this case is principally due to the degradation of accessible hydroxyl groups regions on the wood surface related to the reduction of OH groups within the wood cell wall as a result of the degradation of high molecular components (Wikberg, 2004). The lower content of OH groups is responsible for less water absorption by the samples. WPCs made from thermally treated wood could decrease their equilibrium moisture content (EMC) by decreasing the accessibility of the hydroxyl groups in hemicelluloses to water; in other words, the lyses of hemicelluloses involve dehydration reactions that reduce the hydroxyl groups with a direct effect on the moisture content of thermally modified wood (Korkut et al. 2012). In addition, the formation of less hygroscopic furfural polymer from the hydrolysis of hemicelluloses under high temperature has also contributed to the reduction of EMC in wood (Tjeerdsma and Militz, 2005). Consequently, lower wood moisture content could repulse the invasion of fungus and confer better fungal resistance to the WPCs.

The water absorption of the decayed WPCs samples was higher than that of the undecayed samples for all heat-treated WPCs. It can be proposed that white-rot fungus depletes all components of the wood cell wall during decay. Therefore, the ratios of porous of the decayed WPC are increased and retain more water during soaking.

The thickness swelling of undecayed and decayed modified samples increased with increasing water soaking time. According to Table 4, higher thickness swelling was observed in the undecayed samples containing modified wood as well as control samples. The reason for the high thickness swelling of undecayed samples could be due to water absorption by available hydroxyl groups and spring back of the spongy samples exposed to fungal decomposition or the lower TS of the decayed composites could be also explained by the fact that the rot-fungi degraded the hemicelluloses in the wood cell (Hosseinihashemi et al. 2016).

Table 4. Mean value ± (standard deviation) for water absorption (WA) and thickness swelling (TS) of the untreated and modified composites

Treatment code		WA 2 h (%)	WA 24 h (%)	TS 2 h (%)	TS 24 h (%)
Decayed	A = Untreated composite	0.62 ab (0.28)	1.63 c (0.40)	0.28 b c (0.12)	0.49 cdef (0.12)
	B = MC-30 min-120 °C	0.95 b (0.29)	2.40 d (0.02)	0.56 def (0.13)	0.696 fg (0.11)
	C = MC-30 min-150 °C	0.90 b (0.07)	2.31 d (0.11)	0.07 a (0.12)	0.35 bcd (0.12)
	D = MC-30 min-180 °C	0.90 b (0.15)	2.34 d (0.34)	0.43 bcde (0.01)	0.64 efg (0.23)
	E = MC-120 min-120 °C	0.90 b (0.14)	2.26 d (0.07)	0.21 ab (0.00)	0.49 cdef (0.11)
	F = MC-120 min-150 °C	0.91 b (0.80)	2.01 a (0.28)	0.50 def (0.13)	0.79 g (0.14)
	G = MC-120 min-180 °C	0.37 b (0.03)	0.99 a (0.25)	0.21 ab (0.00)	0.42 bcd (0.00)
Undecayed	A = Untreated composite	0.82 cd (0.03)	1.53 e (0.07)	2.07 ab (0.45)	2.93 b (0.72)
	B = MC-30 min-120 °C	0.79 bcd (0.11)	1.45 e (0.20)	2.17 ab (0.38)	2.55 b (0.69)
	C = MC-30 min-150 °C	0.81 cd (0.09)	1.41 e (0.08)	2.17 ab (0.13)	2.63 b (0.12)
	D = MC-30 min-180 °C	0.55 abc (0.12)	0.92 d (0.19)	2.04 ab (0.52)	3.09 b (1.30)
	E = MC-120 min-120 °C	0.77 bcd (0.05)	1.33 e (0.02)	2.74 b (0.54)	3.06 b (0.48)
	F = MC-120 min-150 °C	0.50 ab (0.11)	1.25 e (0.48)	1.27 a (1.19)	2.60 b (0.24)
	G = MC-120 min-180 °C	0.34 a (0.02)	0.60 abc (0.05)	2.04 ab (0.75)	2.67 b (0.29)

*Lower case letters on the numbers indicate the Duncan grouping of the averages. Values in parentheses are standard deviation (SD). Undecayed and decayed specimens were analyzed statistically and separately.

4 CONCLUSIONS

In this study, water resistance, fungal resistance, and technological properties of WPCs produced from thermally treated beech wood were investigated. Based on the authors' study, these conclusions were obtained:

- The decay resistance of the WPCs containing thermally treated beech wood flour against the white-rot fungus (*Trametes versicolor*) improved with increasing the treatment time and temperature.
- At identical thermal treatment conditions, flexural properties and notched impact strength of undecayed WPCs were higher than those of decayed WPCs.
- As expected, the water resistance of undecayed WPCs was higher than those of the decayed WPCs.
- Based on the findings of the present study, WPCs produced using the wood treated at 180 °C for 120 minutes provide increased biological durability against wood-destroying basidiomycetes particularly possessing increased water resistance if it is exposed to ground.

Acknowledgments

The authors wish to thank for the support of the Department of Wood Science and Paper Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University.

Author Contributions

Seyyed Khalil Hosseinihashemi: Creating the research idea, writing the article, performing the statistical operations, **Farhad Arwinfar**: conducting the laboratory work, taking the measurement data.

Funding statement

No financial support was received for the study.

Conflict of interest

We confirm that there is no conflict of interest.

References

- Ali MR, Abdullah UH, Ashaari Z, Hamid NH, Hua LS, (2021), Hydrothermal Modification of Wood: A Review. *Polymers*, 13(16):2612. DOI: 10.3390/polym13162612
- Altgen M, Willems W, Hosseinpourpia R, Rautkari L, (2018), Hydroxyl accessibility and dimensional changes of Scots pine sapwood affected by alterations in the cell wall ultrastructure during heat-treatment, *Polymer Degradation and Stability*, 152:244-252. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2018.05.005
- Arwinfar F, Hosseinihashemi SK, Jahan Latibari A, Lashgari A, Ayrilmis N, (2016), Mechanical properties and morphology of wood plastic composites produced with thermally treated beech wood, *BioResources*, 11(1):1494-1504. DOI: 10.15376/biores.11.1.1494-1504
- ASTM D 618, (1999), Practice for conditioning plastics and electrical insulating materials for testing.
- ASTM D 570, (1998), Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.
- ASTM D 790, (2016), Flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA. 1-9.
- ASTM D 256, (1997), Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.
- Aytin A, Korkut S, Ünsal Ö, Çakıcıer N, (2015), The effects of heat treatment with the ThermoWood® method on the equilibrium moisture content and dimensional stability of wild cherry wood, *BioResources*, 10(2):2083-2093. DOI: 10.15376/biores.10.2.2083-2093
- Bal BC, (2015), Physical properties of beech wood thermally modified in hot oil and in hot air at various temperatures, *Maderas Ciencia y tecnología*, 17(4):789-798, DOI: 10.4067/S0718-221X2015005000068
- Can A, Krystofiak T, Lis B, (2021), Shear and adhesion strength of open and closed system heat-treated wood samples, *Maderas Ciencia y tecnología*, 23(32):1-10, DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100432

- Chen F, Han G, Li Q, Gao X, Cheng W, (2017), High-temperature hot air/silane coupling modification of wood fiber and its effect on properties of wood fiber/HDPE composites, *Materials*, 10(3):286. DOI: 10.3390/ma10030286
- Clemons C, (2008), Raw materials for wood-polymer composites, In: Oksman Niska, K., Sain, M. (Eds.), *Wood-Polymer Composites*, first ed. CRC Press, Cambridge, UK, pp. 1-22. DOI: 10.1533/9781845694579.1
- Cui X, Matsumura J, (2019), Wood surface changes of heat-treated *Cunninghamia lanceolata* following natural weathering, *Forests*, 10(9):791. DOI: 10.3390/f10090791
- Durmaz E, Ucuncu T, Karamanoglu M, Kaymakçı A, (2019), Effects of heat treatment on some characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood, *BioResources*, 14(4):9531-9543. DOI: 10.15376/biores.14.4.9531-9543
- Endo KE, Obataya N, Zaniya N, Matsuo M, (2016), Effects of heating humidity on the physical properties of hydrothermally treated spruce wood, *Wood Science and Technology*, 50(6):1161-1179. DOI: 10.1007/s00226-016-0822-4
- Esteves BM, Pereira HM, (2009), Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4(1):370-404. DOI: 10.15376/biores.4.1.370-404
- Gardner DJ, Tascioglu C, Wålinder MEP, (2003), Wood composite protection, In wood deterioration and preservation; ACS Publications: Washington, DC, USA, 2003; pp. 399-419. DOI: 10.1021/bk-2003-0845.ch025
- Hill CAS, (2006), *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*, John Wiley & Sons, Hoboken, N. J., 2006, 239.
- Hosseinihashemi SK, Arwinfar F, Najafi A, Nemli G, Ayrilmis N, (2016), Long-term water absorption behavior of thermoplastic composites produced with thermally treated wood, *Measurement*, 86:202-208. DOI: 10.1016/j.measurement.2016.02.058
- Hosseinihashemi SK, Arwinfar F, Najafi A, Ozdemir F, Ayrilmis N, Tamjidi A, (2022), Long-term hygroscopic thickness swelling rate of hydrothermally treated beech wood / polypropylene composites, *Drvna Industrija*, 73(1): 59-68. DOI: 10.5552/drvind.2022.2104
- Jimenez JP, Acda MN, Razal RA, Madamba PS, (2011), Physico-mechanical properties and durability of thermally modified Malapapaya (*Polyscias nodosa* (Blume) Seem.) Wood, *Philippine Journal of Science*, 140(1), 13-23.
- Jirouš-Rajković V, Miklečić J, (2019), Heat-treated wood as a substrate for coatings, weathering of heat-treated wood, and coating performance on heat-treated wood. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, Article ID 8621486, 1-9. DOI: 10.1155/2019/8621486
- Kamdern DP, Pizzi A, Triboulot MC, (2000), Heat-treated timber: potentially toxic by-products presence and extent of wood cell wall degradation, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58(4):253-257. DOI: 10.1007/s001070050420
- Kim G-H, Yun K-E, Kim J-J, (1998), Effect of heat treatment on the decay resistance and bending properties of radiata pine sapwood, *Materials and Organisms*, 32(2):101-108.

- Korkut DS, Hiziroglu S, Aytin A, (2013), Effect of heat treatment on surface characteristics of wild cherry wood, *BioResources*, 8(2):1582-1590. DOI: 10.15376/biores.8.2.1582-1590
- Kozhin VP, Gorbachev NM, (2011), Hydrothermal treatment and modification of wood: drying, impregnation, in: Botannini LF, (Ed.), *Wood: Types, Properties, and Uses*, NOVA publisher, New York, pp. 1-49.
- Kubojima Y, Okano T, Ohta M, (2000), Bending strength and toughness of heat-treated wood. *Journal of Wood Science*, 46(1):8-15. DOI: 10.1007/BF00779547
- Lengowski EC, Bonfatti Júnior EA, Nisgoski S, Bolzon de Muñoz GI, Klock U, (2021), Properties of thermally modified teakwood. *Maderas Ciencia y tecnología*, 23(10):1-16. DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100410
- Li MY, Cheng SC, Li D, Wang SN, Huang AM, Sun SQ, (2015), Structural characterization of steam-heat treated *Tectona grandis* wood analyzed by FT-IR and 2D-IR correlation spectroscopy, *Chinese Chemical Letters*, 26(2):221-225.
- Nuopponen M, (2005), FT-IR and UV Raman spectroscopic studies on thermal modification of Scots pine wood and its extractible compounds, Academic Dissertation, Helsinki University of Technology.
- Oksman Niska K, Sain M, (2007), *Wood-Polymer Composites*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, U.K. 366 p.
- Perçin O, (2022), Effects of heat treatment on surface roughness and bonding strength of wood material, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 5(1):17-28. DOI: 10.33725/mamad.1119735
- Poncsak S, Kocafe D, Younsi R, (2011), Improvement of heat treatment of jack pine (*Pinusbanksiana*) using ThermoWood technology, *European Journal of Wood and Wood Products*, 69(2):281-286. DOI: 10.1007/s00107-010-0426-x
- Saliman MAR, Ashaari Z, Bakar ES, Hua LS, Tahir PM, Halip JA, Leemon NF, (2017), Hydrothermal treatment of oil palm wood: Effect of treatment variables on dimensional stability using response surface methodology, *Journal of Oil Palm Research*, 29(1):130-135. DOI: 10.21894/jopr.2017.2901.14
- Sulaiman O, Awalludin MF, Hashim R, Ibrahim H, Mondal MD, (2012), The effect of relative humidity on the physical and mechanical properties of oil palm trunk and rubberwood. *Cellulose Chemistry and Technology*, 46(5):401-407.
- Talaei A, Karimi A, (2015), Compression strength, hardness and shear strength of heat treated beech (*Fagus orientalis*) wood in buffered mediums, In: Proceeding of the 24th IIER International Conference, Barcelona, Spain.
- Theander O, Nelson DA, (1988), Aqueous, high-temperature transformation of carbohydrates relative to utilization of biomass, *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 46:273-326. DOI: 10.1016/S0065-2318(08)60169-9
- Tjeerdsma BF, Boostra M, Pizzi A, Tekely P, Militz H, (1998), Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56(3):149-153. DOI: 10.1007/s001070050287

- Tjeerdsma BF, Militz H, (2005), Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat treated wood, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 63(2):102-111. DOI: 10.1007/s00107-004-0532-8
- Wikberg H, (2004), Advanced solid state NMR spectroscopic techniques in the study of thermally modified wood, Academic Dissertation, Finland: Laboratory of Polymer Chemistry, Department of Chemistry, University of Helsinki, 40 pp.
- Wikberg H, Maunu S, (2004), Characterisation of thermally modified hard- and softwoods by ¹³C CPMAS NMR, *Carbohydrate Polymers*, 26(2):221-225. DOI: 10.1016/j.cclet.2014.11.024
- Yalcin M, Sahin HI, (2015), Changes in the chemical structure and decay resistance of heat-treated narrow-leaved Ash wood, *Maderas Ciencia y Tecnología*, 17(2):435-446. DOI: 10.4067/S0718-221X2015005000040



Isıl işlem uygulanmış karbon fiber ile güçlendirilmiş lamine kaplama kerestenin (LVL) hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncinin belirlenmesi

Osman Perçin*

Öz

Isıl işlem, kimyasal madde kullanılmadan ağaç malzemenin bazı özelliklerinin iyileştirilmesi için geliştirilen çevre dostu bir odun modifikasyon yöntemidir ve son yıllarda Avrupa ve Dünya’da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Isıl işlem, ahşap malzemede denge rutubet miktarını azaltmakta, boyutsal stabilizasyonu ve biyolojik direnci önemli derecede de artırmaktadır. Bu çalışma, ısıl işlem uygulanmış ahşap malzemelerden farklı tutkallarla yapıştırılarak ve karbon fiber kumaş ile güçlendirilerek üretilen lamine kaplama kerestelerin (LVL) hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci değerlerindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu maksatla karaçam (*Pinus nigra*) ahşap malzemeler, 150, 175 ve 200 °C’de 2 saat ısıl işlem uygulandıktan sonra uygun boyutlarda kesilmiş, poliüretan (PU) ve polivinil asetat (PVAc) tutkalları kullanılarak lamine edilmiştir. Lamine kompozit malzemenin özelliklerini iyileştirmek için ahşap kaplamalar arasına takviye tabakası olarak karbon fiberler eklenmiştir. Test sonuçları ısıl işlemin, hava kurusu yoğunluk değerleri ve liflere paralel basınç direncini azalttığını göstermiştir. Öte yandan güçlendirme işlemi hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncinin ikisini de artırmıştır.

Anahtar kelimeler: Ahşap malzeme, Isıl işlem, Karbon fiber, Mobilya

Determination of air-dried density and compression strength parallel to the grains of heat-treated laminated veneer lumber (LVL) reinforced with carbon fiber

Abstract

Heat treatment is an environmentally friendly wood modification method which developed to improve some properties of wood without the using any chemicals and has been commonly used in Europe and the world in recent years. Heat treatment reduces the amount of equilibrium moisture content in the wood material, and significantly increases the dimensional stability and biological resistance. This study was carried out to determine the changes in the air-dry density and compression strength parallel to the grains of laminated veneer lumber (LVL) produced by bonding with different adhesives from heat-treated wood materials and by reinforcing with carbon fiber fabric. For this purpose, black pine (*Pinus nigra*) wood materials were cut into suitable sizes after heat treatment at 150, 175 and 200 °C for 2 hours and laminated using polyurethane (PU) and polyvinyl acetate (PVAc) adhesives. Carbon fibers were added as a reinforcement layer between wood veneers to improve properties of laminated composite material. The test results showed that the heat treatment decreased air-dry density values and compressive strength parallel to the grains. On the other hand reinforcement process increased both air-dry density and compressive strength parallel to the grains.

Key words: Carbon fiber, Furniture, Heat treatment, Wooden material

Makale tarihçesi: Geliş: 21.03.2023, Kabul: 16.04.2023, Yayınlanma: 30.06.2023, *e-posta: osmanpercinl@hotmail.com

* Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Konya/Türkiye.

Atıf: Perçin O., (2023), Isıl işlem uygulanmış karbon fiber ile güçlendirilmiş lamine kaplama kerestenin (LVL) hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncinin belirlenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (1), 104-114, DOI:10.33725/mamad.1268729

1. Giriş

Dünya nüfusunun artması, insanoğlunun ahşap malzemeye olan ihtiyacının da artmasına neden olmuştur. Ağaç malzemenin yoğunluğuna kıyasla mekanik direncinin yüksek olması, ucuz ve sürdürülebilir olması, kolay işlenmesi, bol bulunması gibi özellikler onu iyi bir yapı malzemesi olarak ortaya çıkarmaktadır. Buna karşın ağaç malzemenin, kolay yanabilmesi, havanın nemine göre boyutlarının ve hacminin değişebilmesi ayrıca biyotik ve abiyotik faktörlere karşı hassas olması sonucu degrade olabilmesi gibi olumsuz özellikleri vardır (Keskin ve Bülbül, 2019). Bunun yanında ağaç işleri endüstrisinde hızlı gelişmelerle beraber dünya orman kaynakları azalmaya devam etmektedir (Şenay, 1996). Bu durum orman kaynaklarının ve ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin daha verimli ve etkin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir (Ulusoy ve ark., 2016).

Ağaç malzemenin sahip olduğu olumsuz özellikleri minimize etmek ve zayıf yönlerini geliştirmek için modifikasyon yöntemleri uygulanmaktadır (Sandberg ve ark., 2017). Geliştirilen bu odun modifikasyonlarının temel amacı ağaç malzemenin olumsuz özelliklerini bertaraf etmek ve var olan bazı özelliklerinde daha fazla geliştirilmesini sağlamaktır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, laminasyon tekniği fiziksel ağaç modifikasyon yöntemlerinden birisidir (Korkmaz, 2012). Bu yöntemde ahşap malzemenin kusurları arındırılmakta ve nihai olarak elde edilen malzemenin bazı kalite özellikleri masif ahşap malzemeye göre daha iyi olmaktadır. Bu amaçla, ağaç malzemenin bu kusurlarının azaltılması ve bazı özelliklerinin iyileştirilmesi için ağaç işleri endüstrisinde ve yapı elemanlarında da çok tercih edilen yapısal kompozit keresteler LSL (Laminated Strand Lumber), LVL (Laminated Veneer Lumber), OSL (Oriented Strand Lumber), Glulam (Glued Laminated Timber), PSL (Parallel Strand Lumber) üretilmeye başlanmıştır (Güller, 2001; Bal ve Efe, 2015).

Ağaç malzemenin istenmeyen özelliklerini geliştirmek için kullanılan bir diğer önemli odun modifikasyon yöntemi ise ısı işlemidir. Isıl işlem, endüstriyel olarak son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve hücre çeperinin polimer bileşiklerinin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişimlerle sonuçlanan fiziksel bir işlemdir (Korkut ve Kocaefe, 2009). Isıl işlem, kimyasal madde kullanılmadan ağaç malzemenin boyutsal stabilizasyonunu artıran ve biyolojik direnç sağlayarak ağaç zararlılarına karşı koruyan alternatif bir modifikasyon yöntemidir (Hill ve ark., 2021). Isıl işlem uygulanmış ağaç malzemenin en önemli olumsuzluklarından birisi mekanik direncinin zayıflamasıdır. Bu durum ısı işlem uygulanmış ahşap malzemelerin yük taşıyıcı yapı elemanları olarak kullanılmasını sınırlamaktadır. Mekanik özelliklerde gerçekleşen azalma kullanılan ahşap türüne, uygulanan ısı işlem yöntemine ve şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Efe ve Bal, 2016).

Ağaçları ve yapı endüstrisinde ahşap yapıların yük taşıma kapasitesi budak ve çatlak gibi faktörden olumsuz olarak etkilenmektedir (Zhu ve ark., 2013). Ayrıca düşük kaliteli, ucuz ve mekanik özellikleri az olan ağaç türlerinin yük taşıyıcı sistemlerde kullanımı sınırlı olabilmektedir. Ahşap esaslı kompozit malzemelerin yük taşıma sistemlerinde kullanılacaksa bunların yüksek mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunun yanında ahşap yapı sektöründe bazı noktalar lokal güçlendirmeye ihtiyaç duyarlar. Düşük kalitedeki ahşap malzemeler ve daha zayıf mekanik dirençlere sahip olan odun türleri, sentetik liflerle güçlendirilebilmektedir (Bal ve Özyurt, 2015). Son yıllarda güçlendirici malzeme teknolojisinin gelişmesi ile LVL kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde de lif esaslı güçlendirici kumaşlar başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Wei ve ark., 2013).

Uzun yıllardır, yapısal kompozit kerestelerin özelliklerinin geliştirilmesi, ısı işlemi ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere etkilerine ayrıca güçlendirici fiber kumaşlar ile odun ve odun esaslı malzemelerin güçlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fakat ısı işlemi uygulanmış ahşap malzemenin sentetik liflerle güçlendirilmesi sonucu liflere paralel basınç dirençlerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle çalışmanın amacı, kullanım miktarı her geçen gün artan ısı işlemi uygulanmış ahşap malzemenin güçlendirilmesinde kullanılan karbon fiberin ve tutkal türlerinin hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direncine etkisini belirlemektir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

2.1.1 Ağaç malzeme

Ağaçları ve yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle hava kurusu haldeki karaçam (*Pinus nigra*) ahşap malzemeler deney malzemesi olarak seçilmiştir. Taslak haldeki ahşap levhalar, mekanik ve yapışma performansını olumsuz etkileyecek budak, çatlak vb. kusurlar olmaması için dikkatle ve tesadüfi yöntemle seçilmiştir. Ardından 17 x 97 x 460 mm ölçülerinde kesilen deney ve kontrol grubu taslak levhalar, iklimlendirme kabiniinde 20 ± 2 °C ve % 65 \pm 5 bağıl nem şartlarında ağırlıkları sabit oluncaya kadar bekletilmiştir.

2.1.2 Tutkal

Çalışmada yapıştırıcı olarak, Polisan firmasına ait suya ve neme karşı dayanıklı poliüreatan esaslı polimerin (marine & marine) (PU) ve polivinil asetat (PVAc) tutkalları kullanılmıştır. Üretici firma tarafından PU tutkalının teknik özellikleri; yoğunluğu (20 °C) 1.10 g/ml, viskozitesi (20 °C) 3500-5800 cPs, pH değeri yaklaşık 7 olarak (Polisan, 2019), PVAc tutkalı için viskozitesi (25 °C) 10000-14000 cPs, pH değeri 0.5-2, ağırlıkça katı madde miktarı % 45-47 olarak verilmiştir (Polisan, 2018).

2.1.3 Karbon fiber kumaş

Çalışmada kullanılan karbon fiber kumaşlar Dost Kimya (İstanbul, Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan karbon fiber kumaşlar düz dokuma türüne ve 200 gr/m² ağırlığına sahiptir. Firma tarafından sağlanan verilere göre, çekme mukavemeti 3800 MPa, çekme modülü 240 GPa, ortalama yoğunluk 1,79 g/cm³, çekme gerilimi %1,6 ve elyafdaki gerçek karbon içeriği %95'tir (Dost Kimya, 2020).

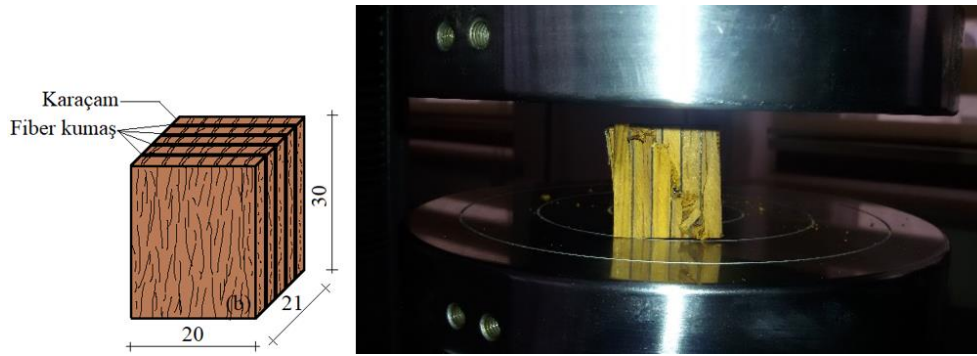
2.2 Metot

2.2.1 Isıl İşlem

İklimlendirme cihazında denge rutubetine gelen taslak levhalar 150, 175 ve 200 °C sıcaklıklarda ısı işleme maruz bırakılmıştır. Deney örneklerinin ısı işleme maruz bırakılmasında içinde hava sirkülasyonu olmayan, ± 1 °C hassasiyetinde, elle kontrol edilebilen laboratuvar tipi etüv fırınında ve normal atmosfer şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubuna ısı işlemi uygulanmamıştır. Isıl işlem sonrası taslak levhalar tekrar iklimlendirme kabiniinde 20 ± 2 °C ve % 65 \pm 5 bağıl nem ortamında ağırlıkları değişmez hale gelinceye kadar bekletilmiştir.

2.2.2 Deney örneklerinin hazırlanması

Isıl işlem uygulanan ve kontrol grubu taslak levhalar, hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci değerlerinin belirlenmesi için laminasyon işleminden önce 4 x 90 x 420 mm ebatlarında net ölçüde kesilmiştir. Her bir deney grubunda liflere paralel basınç direnci için 5 adet taslak levhanın aralarına 4 adet karbon fiber kumaş serilerek presleme işlemine geçilmiştir. Presleme işleminde her bir ahşap levhanın yapıştırılan yüzüne 180 gr/m², karbon lifinin yüzeyine de 250 g/m² hesabıyla tutkal tatbik edilmiştir. Tüm presleme işlemi laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Pres basıncı ve süresi sırasıyla her iki tutkal türü içinde 10 kg/cm² ve 180 dakika olarak ayarlanmıştır. Preslenen taslak levhaların tamamı, tutkalın tam sertliğe ulaşması için bir hafta bekletilmiştir. Ardından liflere paralel basınç direnci için TS 2595 (1977) esaslarına göre her bir deney grubundan 10 adet deney örneği hazırlanmış ve 20 ± 2 °C sıcaklık ve % 65 ±5 bağıl nemde denge rutubete gelmeleri için iklimlendirme kabini içinde bekletilmiştir. Her iki tutkal türü içinde karşılaştırma grubunda ahşap malzemelere ısıl işlem uygulanmamış ve lameller arasına karbon fiber kumaş eklenmemiştir. Şekil 1’de deney örneği ve deneyin yapılışı verilmiştir.



Şekil 1. Liflere paralel basınç direnci deney örneği ve deney düzeneği (mm)

Deney örneklerinin hava kurusu yoğunluk değerleri TS 2472 (1976) esaslarına göre belirlenmiştir.

2.2.3 Deneylerin yapılışı

Denge rutubetine gelen deney örneklerinin liflere paralel basınç deneyleri TS 2595 (1977) esaslarına göre yapılmıştır. Deneylerde yükleme hızı 4 mm/dk olacak şekilde uygulanmıştır. Deneyler esnasında maksimum kuvvet (Fmax) Newton cincinden kaydedilerek her bir deney örneğinin liflere paralel basınç direnci (σ_B) aşağıdaki eşitlik (1) ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

Burada; A: örnek enine kesit alanıdır (mm²).

Hava kurusu yoğunluk değerlerinin belirlenmesi için iklimlendirme cihazında değişmez ağırlığa kadar bekletilen örneklerin ağırlıkları 0.01 gr hassasiyetindeki analitik terazide tartılmış ve boyutları ± 0.01 mm hassasiyetindeki dijital kumpasla belirlenerek kaydedilmiştir. Hava kurusu yoğunluk değerleri (δ) aşağıdaki eşitlik (2) ile hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{M}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (2)$$

Burada; M: Numunelerin ağırlığı (g), V: Numunelerin hacmidir (cm³).

2.2.4 İstatistiksel Analiz

Çalışmada istatistiksel değerlendirmelerde MSTAT-C (Version 1.42, Michigan State University, East Lansing, MI) istatistik paket programı kullanılmıştır. Faktörlerin etkinliğini belirlemek için Varyans analizleri (ANOVA) uygulanmış, farkın önemli çıkması halinde, Duncan testi uygulanmış ve elde edilen ortalama değerlerin arasındaki farklar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Faktörler arasında anlamlı fark olması durumunda en küçük anlamlı fark (LSD) testi uygulanmış ve homojenlik grupları belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Hava kurusu yoğunluk değerlerine ilişkin istatistiksel veriler Çizelge 1’de verilmiştir. Güçlendirme işlemi, tutkal türü ve ısı işlem sıcaklığı ile bu faktörlerin etkileşiminin hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci (σ_B) değerlerine etkilerine ilişkin olarak yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Hava kurusu yoğunluk değerleri

Tutkal türü	Laminasyon türü	Isıl işlem	X (g/cm ³)	HG	Min. (g/cm ³)	Mak. (g/cm ³)	SS
PU	LVL	Isıl işlemsiz	0.539	H	0.531	0.553	0.0053
		Isıl işlemsiz	0.609	A	0.596	0.633	0.0105
	RLVL	150°C	0.589	B	0.581	0.601	0.0055
		175°C	0.565	E	0.559	0.589	0.0031
		200°C	0.544	G	0.519	0.556	0.0061
PVAc	LVL	Isıl işlemsiz	0.528	I	0.513	0.547	0.0066
		Isıl işlemsiz	0.583	C	0.572	0.601	0.0130
	RLVL	150°C	0.574	D	0.556	0.592	0.0109
		175°C	0.548	F	0.535	0.568	0.0088
		200°C	0.526	J	0.511	0.547	0.0081

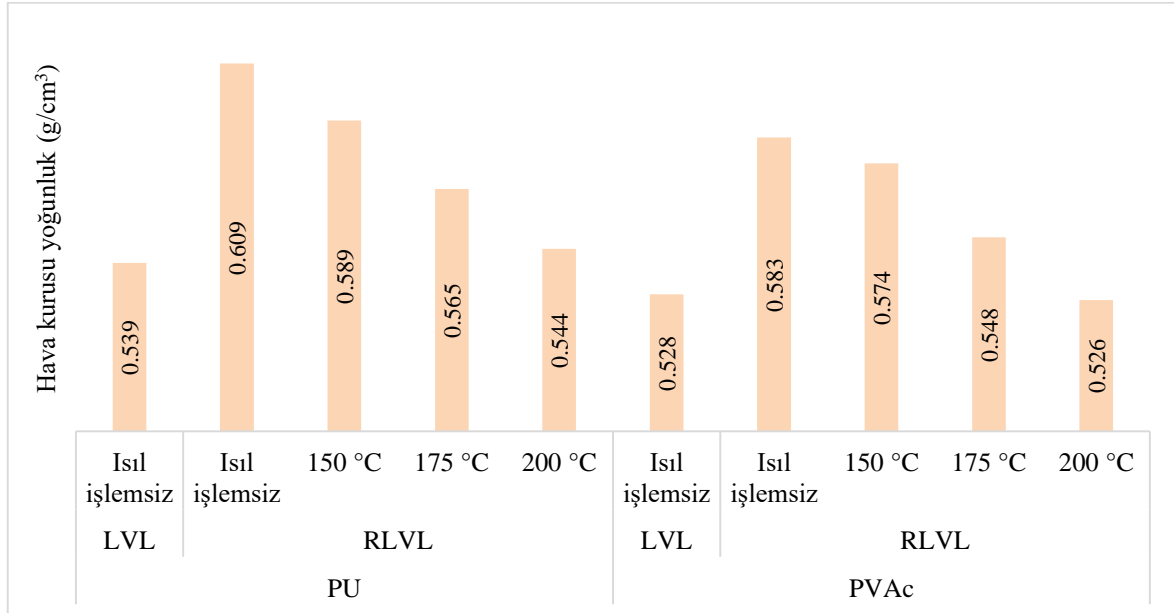
X: Ortalama değer; HG: Homojenlik grubu; Min: Minimum değer; Mak. Maksimum değer; SS: Standart sapma; LSD: 0.0008832; LVL: Lamine kaplama kereste; RLVL: Güçlendirilmiş lamine kaplama kereste

Çizelge 2’ye göre hava kurusu yoğunluk değerleri üzerine tutkal türü, güçlendirme işlemi ve ısı işlemin etkileri istatistiksel açıdan önemli, bu faktörlerin üçlü etkileşimi, ayrıca tutkal türü ve ısı işlem sıcaklığı ikili etkileşimi ise önemsiz bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Deney gruplarına ait, ortalama hava kurusu yoğunluk değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre, her iki tutkal türü ile yapıştırılan, ısı işlem uygulanmış ve güçlendirme yapılmış örneklerin yoğunluk değerleri, kendi gruplarında ısı işlem uygulanmamış ve güçlendirme yapılmamış örneklerden daha yüksek çıkarken, PVAc tutkalında, sadece 200 °C’de ısı işlem uygulanıp güçlendirilen örnekler bir miktar düşük çıkmıştır. En düşük yoğunluk değeri, PVAc tutkalı ile yapıştırılan, 200 °C’de ısı işlem uygulanıp güçlendirilen örneklerde (0.526 g/cm³) tespit edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri ise, PU tutkalı ile yapıştırılan, ısı işlem uygulanmamış ve güçlendirme yapılmış örneklerde (0.609 g/cm³) belirlenmiştir. Her iki tutkal grubunda da sıcaklığın artmasına bağlı olarak, hava kurusu yoğunluk değerleri düşüş trendine girmiş ve en düşük değerler 200 °C’de tespit edilmiştir. Her iki tutkal türünde de, RLVL’lerin yoğunluk değerlerinin LVL’den yüksek çıkması, ahşap kaplamalar arasına serilen karbon fiber kumaşlardan ve bu örnek gruplarında fazla miktarda kullanılan yapıştırıcıdan kaynaklanmış olabilir. Benzer yorumlar Bal (2014) tarafından da rapor edilmiştir.

Çizelge 2. Tutkal türü, güçlendirici karbon fiber ve ısıl işlem sıcaklığının hava kurusu yoğunluk ile liflere paralel basınç direnci etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Özellik	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P≤0.05 SIG.
Hava kurusu yoğunluk (δ)	Faktör (A)	1	0.009	0.009	155.9190	0.0000
	Faktör (B)	1	0.046	0.046	789.3400	0.0000
	AxB	1	0.001	0.001	11.0876	0.0011
	Faktör (C)	3	0.022	0.007	126.1934	0.0000
	AxC	3	0.000	0.000	1.0106	0.3900
	BxC	3	0.022	0.007	126.1934	0.0000
	AxBxC	3	0.000	0.000	1.0106	0.3900
	Hata	84	0.008	0.000		
	Toplam	99	0.108			
Liflere paralel basınç direnci (σ_B)	Faktör (A)	1	362.404	362.404	353.5041	0.0000
	Faktör (B)	1	1306.449	1306.449	1274.3652	0.0000
	AxB	1	17.956	17.956	17.5150	0.0000
	Faktör (C)	3	600.881	200.294	195.3747	0.0000
	AxC	3	35.455	11.818	11.5283	0.0000
	BxC	3	600.881	200.294	195.3747	0.0000
	AxBxC	3	35.455	11.818	11.5283	0.0000
	Hata	84	147.625	1.757		
	Toplam	99	3107.107			

Faktör A: Tutkal türü; Faktör B: Güçlendirici karbon elyaf; Faktör C: Isıl işlem sıcaklığı



Şekil 2. Hava kurusu yoğunluk değerleri

Liflere paralel basınç direnci değerine ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 2'de verilen varyans analizine göre basınç dirençleri değerlerinde tutkal türü, güçlendirme işlemi ve ısı işlemi etkileri ve bunların karşılıklı etkileşimleri istatistiksel açıdan önemlidir ($P \leq 0.05$).

Çizelge 3. Liflere paralel basınç direnci değerleri

Tutkal türü	Laminasyon türü	Isıl işlem	X (N/mm ²)	HG	Min. (N/mm ²)	Mak. (N/mm ²)	SS
PU	LVL	Isıl işlemsiz	55.82	G	54.32	57.48	1.0896
		Isıl işlemsiz	66.41	A	64.11	68.08	1.1531
	RLVL	150°C	64.55	B	63.02	66.69	1.3073
		175°C	61.01	D	59.27	62.34	1.2356
		200°C	56.55	F	55.19	58.24	0.9718
PVAc	LVL	Isıl işlemsiz	53.48	H	52.73	54.98	0.6317
		Isıl işlemsiz	63.17	C	61.89	64.25	0.8413
	RLVL	150°C	59.18	E	57.01	61.89	0.9658
		175°C	60.23	D	58.88	62.21	0.7826
		200°C	51.52	I	49.17	52.89	1.1106

X: Ortalama değer; HG: Homojenlik grubu; Min: Minimum değer; Mak. Maksimum değer; SS: Standart sapma; LSD: 0.8942

Deney gruplarına ait, ortalama liflere paralel basınç direnci değerleri Şekil 3 ve Çizelge 3'te, ayrıca basınç direnci değerleri üzerinde etkili olan faktörlerin (tutkal türü, laminasyon türü ve ısı işlem sıcaklığı) Duncan testi karşılaştırma sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Bunlara göre, en yüksek basınç direnci, PU tutkalı ile yapıştırılan, ısı işlem uygulanmamış ve güçlendirme yapılmış örneklerde (66.41 N/mm²) belirlenmiştir. Öte yandan, en düşük basınç direnci ise, PVAc tutkalı ile yapıştırılan, 200 °C'de ısı işlem uygulanıp güçlendirilen örneklerde (51.52 N/mm²) tespit edilmiştir. Her iki tutkal türünde de, sıcaklığın artması ile basınç direnci değerleri azalma eğilimine girmiştir.

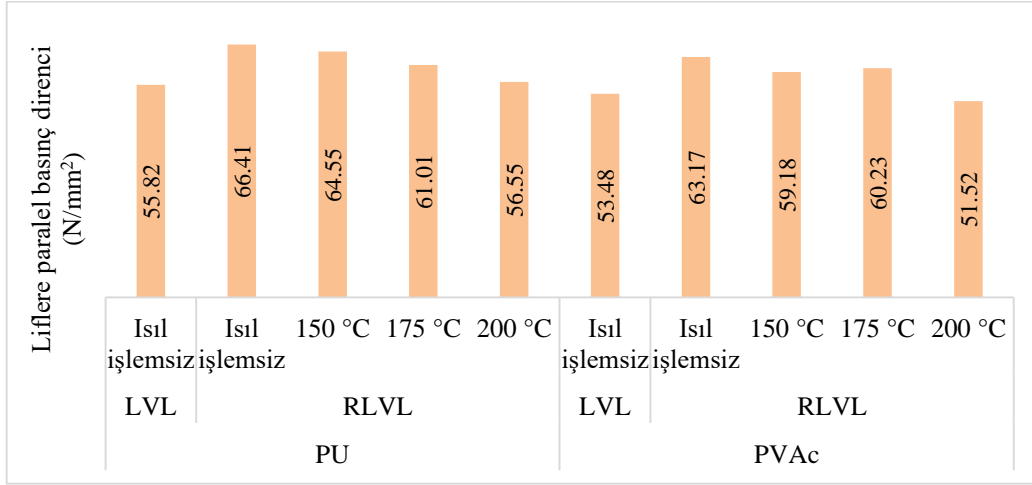
Çizelge 4. Tutkal türü, Laminasyon türü ve ısı işlem sıcaklığı basınç direnci değerleri Duncan testi karşılaştırma sonuçları

Tutkal Türü*	X (N/mm ²)	HG
PU	59.01	A
PVAc	56.00	B
Laminasyon Türü**		
LVL	54.65	B
RLVL	60.37	A
Isıl İşlem Sıcaklığı***		
Isıl işlemsiz	59.72	A
150°C	58.26	B
175°C	57.23	C
200°C	54.42	D

LSD: *0.3162; **0.3162; ***0.4471; X Ortalama değer; HG: Homojenlik grubu

Şekil 3 incelendiğinde, PU tutkalı ile yapıştırılan ısı işlem uygulanmış RLVL örneklerde liflere paralel basınç direnci değerleri LVL'den yüksek belirlenirken, PVAc

tutkalında da benzer durum yaşanmış ancak 200 °C’de ısıtma işlemi uygulanıp güçlendirilen örneklerin basınç direnci değeri LVL’den bir miktar düşük çıkmıştır.



Şekil 3. Liflere paralel basınç direnci değerleri

Çizelge 2’deki liflere paralel basınç direncine ait istatistiksel veriler incelendiğinde, tutkal türü, güçlendirici karbon fiber kumaş ve ısıtma işlem sıcaklığının etkileri istatistiksel açıdan önemlidir ($P \leq 0.05$). PU ve PVAc tutkalları birbirine yakın sonuçlar verse de bu farklılık istatistiksel açıdan önemlidir. Tutkallar arasındaki bu farklılığın karakteristik özelliklerinin farklılığından ve ayrıca PU tutkalının karbon kumaş ve ahşap malzeme ile daha kuvvetli çapraz ve kimyasal bağlar kurmasından kaynaklanmış olabilir. Literatürde benzer durum Uzel ve ark. (2018) tarafından rapor edilmiştir. Liflere paralel basınç deneyleri esnasında PVAc tutkalı ile yapıştırılan örneklerde, yüksek basınç altında de-laminasyon miktarı PU tutkalı ile yapıştırılan örneklerden bir miktar daha fazla gözlenmiştir. Bu durum PVAc tutkalı ile yapıştırılan örneklerde basınç direncinin düşmesine katkı sağlamış olabilir.

Çizelge 4’e göre, RLVL’lerin liflere paralel basınç direnci değerleri LVL’lerden yaklaşık %10 daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun ahşap lameller arasına yerleştirilen güçlendirici karbon kumaşlardan ve tutkaldan kaynaklandığı düşünülmektedir. Karbon fiber kumaşlar, düşük yoğunluğa sahip olmalarına karşın üstün gerilme mukavemetine, esneklik modülüne ve ayrıca yorulma özelliklerine sahiptir (Huang, 2009). Literatürde karbon takviye malzemelerin LVL’lerin ve ahşap esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiği rapor edilmiştir (Xu ve ark, 1998; Buell ve Saadatmanesh, 2005; Wei ve ark., 2013; Wang ve ark. 2015).

Isıtma işlem sıcaklığına göre (Çizelge 4), liflere paralel basınç direnci değerleri kademeli olarak azalmış ve en düşük 200°C’de (54.42 N/mm^2) tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda basınç direncinin azalması, ahşap malzemenin bünyesinde meydana gelen madde kayıplarından dolayı yoğunluk değerlerinin azalmasından ve ahşap malzemenin bozunmasından kaynaklanmış olabilir (Unsal ve Ayrılmis, 2005; Korkut ve ark., 2007). Benzer bir çalışmada, Perçin ve Altunok (2017), 160, 190 ve 220 °C’de ısıtma işlem uyguladıkları kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) kaplamaları Desmodur-VTKA tutkalı kullanarak karbon fiber kumaş ile takviye etmişler ve bazı fiziksel ve mekanik özelliklerde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Çalışmada sadece 160 °C’de ısıtma işlem uygulanan örneklerin liflere paralel basınç direnci değerleri kontrol örneklerinden bir miktar yüksek çıkarken, diğerlerinin azaldığı bildirilmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, 150, 175 ve 200 °C’de ısıtılmış karaçam (*Pinus nigra*) ahşap malzemelerden, PU ve PVAc tutkalları ile yapıştırılarak karbon fiber kumaş ile güçlendirilen LVL örneklerin hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci değerleri analiz edilmiştir.

- Her iki tutkal türünde de güçlendirilmiş LVL örneklerin yoğunluk değerleri, güçlendirme yapılmamış örneklerden genel olarak daha yüksek belirlenmiştir.
- Tüm deney gruplarında ısıtılmış işlem sıcaklığına bağlı olarak yoğunluk değerleri azalmıştır.
- Güçlendirme işleminden sonra liflere paralel basınç direnci değerlerinde artışlar olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışmada PU tutkalı ile lamine edilen örneklerin hava kurusu yoğunluk ve liflere paralel basınç direnci performansları daha yüksek çıkmıştır.

Isıtılmış işlem uygulanmış ahşap malzemenin mekanik özellikleri zayıflamakta bu durum onun yük taşıyıcı sistemlerde kullanımını sınırlamaktadır. Isıtılmış işlem uygulanmış ahşap malzemelerde veya mekanik özellikleri düşük olan ağaç türlerinde, farklı yöntemlerle direnç kayıpları minimize edilebilmektedir. Bu amaçla, bu yönde yenilikçi çalışmaların yapılması önerilmektedir. Ayrıca ısıtılmış işlem uygulanmış ahşap malzemelerde karbon fiber ile güçlendirme işlemlerinin yapılması, yüksek fiziksel ve mekanik performansla sahip güçlendirilmiş ısıtılmış işlemli LVL üretilerek, bunun ekonomik fayda sağlanacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmadaki mekanik deneyler, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü araştırma laboratuvarında yapılmıştır. Bölüm başkanı Prof. Dr. Mustafa Altunok ve emeği geçen öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Yazar Katkısı

Osman Perçin: Çalışma konusunun belirlenmesi, laboratuvar çalışmalarının planlanması ve yapılması, verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması, makalenin yazılması.

Finansal destek beyanı

Yazarlar bu çalışma için finansal destek beyan etmemişlerdir.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Bal, B. C., (2014), Some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber reinforced with woven glass fiber, *Construction and Building Materials*, 68(4),120-126, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.06.042.
- Bal, B. C., Efe, F. T., (2015), Tabakalı kaplama kerestenin bazı vida dirençleri üzerine cam elyaf dokuma ile güçlendirmenin etkisi, *Düzce Üniversitesi, Ormancılık Dergisi*, 11(2), 40-47.
- Bal, B.C., Özyurt, H., (2015), Cam elyaf dokuma ile güçlendirilmiş tabakalı kaplama kerestenin bazı teknolojik özellikleri, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 9-16, DOI: 10.17780/ksujes.28535.

- Buell, T. W., Saadatmanesh, H., (2005), Strengthening timber bridge beams using carbon fiber, *Journal of Structural Engineering*, 131(1), 173-187, DOI: /10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:1(17)
- Dost Kimya (2020), TDS Teknik Doküman Sayfası.
- Efe, F.T. Bal, B.C., (2016), Yüksek sıcaklıkta ısıl işlem görmüş Kızılcıçam (*Pinus brutia* Ten.) odununun sertlik değerlerinde meydana gelen değişimler, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, Özel Sayı, 79-86.
- Güller, B., (2001), Odun kompozitleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A*, Sayı: 2, 135-160.
- Hill, C., Altgen, M., Rautkari, L., (2021), Thermal modification of wood-A review: Chemical changes and hygroscopicity, *Journal of Materials Science*, 56, 6581-6614, DOI: 10.1007/s10853-020-05722-z.
- Huang, X., (2009), Fabrication and properties of carbon fibers, *Materials (Basel)*, 2(4), 2369–2403.
- Keskin, H., Bülbül, R., (2019), Tanalith-E ile emprenye işleminin masif ağaç malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkileri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 67-78.
- Korkmaz, M., (2012), Farklı işlemler uygulanmış lamine ahşap pencere profilinin mekanik özellikleri, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Karabük*.
- Korkut, S., Akgül, M., Dündar, T., (2007), The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood, *Bioresource Technology* 99(6), 1861-1868.
- Korkut, S., Kocaefe, D., (2009) Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11-34.
- Percin, O., Altunok, M., (2017), Some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber reinforced with carbon fiber using heat-treated beech veneer, *European Journal of Wood and Wood Products*, 75, 193-201, DOI: 10.1007/s00107-016-1125-z.
- Polisan (2018), Polivinil asetat tutkalı, Teknik Bilgi Formu.
- Polisan (2019), Marine & Marine AA PU Tutkalı, Teknik Bilgi Formu.
- Sandberg, D., Kutnar, A., Mantanis, G., (2017), Wood modification technologies-A review, *iforest-Biogeosciences and Forestry*, 10(6), 895-908, DOI: 10.3832/ifor2380-010
- Şenay, A., (1996), Lamine edilmiş ağaç malzemenin teknolojik özellikleri, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul*.
- TS 2472 (1976), Odunda fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2595 (1977), Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Ulusoy, H., Atılğan, A., Peker, H., (2016), Orman ürünleri endüstrisinin ekolojik açıdan irdelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 92-106.

- Ünsal, O., Ayrilmis, N., (2005), Variations in compression strength and surface roughness of heat treated Turkish river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) wood, *Journal of Wood Science*, 51, 405-409, DOI: 10.1007/s10086-004-0655-x.
- Uzel, M., Togay, A., Anıl, Ö., Söğütlü, C., (2018), Lamine ahşap yapı elemanlarının basınç dayanımına katmanlar arasına yerleştirilen destek malzemelerinin etkisi, *V. Uluslararası Mobilya Kongresi*, 1-4 Kasım 2018, Eskişehir, Türkiye.
- Wang, J., Guo, X., Zhong, W., Wang, H., Cao, P., (2015), Evaluation of mechanical properties of reinforced poplar laminated veneer lumber, *BioResources*, 10(4), 7455-7465, DOI: 10.15376/biores.10.4.7455-7465.
- Wei, P., Wang, B.J., Zhou, D., Dai, C., Wang, Q., Huang, S., (2013), Mechanical properties of poplar laminated veneer lumber modified by carbon fiber reinforced polymer, *BioResources*, 8(4), 4883-4898, DOI: 10.15376/biores.8.4.4883-4898.
- Xu, H., Nakao, T., Tanaka.C., Yoshinobu, M., Katayama, H., (1998), Effects of fiber length and orientation on elasticity of fiber-reinforced plywood, *Journal of Wood Science*, 44(5), 343-347, DOI: 10.1007/BF01130445
- Zhu, Y. M., Yuan, S. C., Hou, M., Wang, Q. Y., (2013), Square short wood columns strengthened with FRP sheets under compressive load, *Applied Mechanics and Materials*, 256-259, 1008-1011, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.1008



The effects of artificial weathering on the pendulum hardness of chestnut wood applied with polyurethane varnish after heat treatment

Göksel Ulay^{1*} , Ümit Ayata² 

Abstract

The effects of artificial weathering (576 h) on the pendulum hardness values of Anatolian chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood applied with polyurethane varnish (PU) after heat treatment at 190°C for 1.5 h and at 212°C for 2 h were investigated. The results revealed that heat treatment, weathering period, and interaction were significant. The hardness values of the heat-treated materials were higher than those of the non-heat-treated test samples. The highest hardness value was determined in the un-weathered group of the test samples that were heat-treated at 190°C for 1.5 h while the lowest value was determined in the group that was heat-treated at 190°C for 1.5 h and weathered for 432 h. The highest reduction rates after weathering were obtained on samples that were heat-treated at 190°C for 1.5 h, followed by heat-treated at 212°C for 2 h and non-heat-treated. It was observed that the heat treatment application caused different pendulum hardness values in chestnut wood samples covered with polyurethane varnish.

Keywords: Pendulum hardness, Anatolian chestnut, *Castanea sativa* Mill., artificial weathering, heat treatment, polyurethane varnish

Isıl işlem sonrası poliüretan vernik uygulanmış kestane odununda salınımsal sertlik üzerine yapay yaşlandırmanın etkileri

Öz

Bu çalışmada, 190°C’de 1.5 saat ve 212°C’de 2 saat süre ile ısıl işlem gördükten sonra poliüretan vernikler uygulanan Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odununa ait katmanın salınımsal sertlik değerleri üzerine yapay yaşlandırma (576 saat) etkileri araştırılmıştır. Belirlenen sonuçlara göre, tek değişkenli varyans analizi sonuçları için, ısıl işlem, yaşlandırma süresi ve etkileşimi anlamlı olarak belirlenmiştir. Isıl işlem görmüş malzemelere ait sertlik değerleri, ısıl işlem görmemiş deney örneklerinden daha yüksek elde edilmiştir. En yüksek sertlik değeri 190°C’de 1.5 saat süreyle ısıl işlem görmüş deney örneklerine ait yaşlandırma yapılmayan grupta belirlenirken, en düşük değer ise 190°C’de 1.5 saat süreyle ısıl işlem görmüş 432 saat süreyle yaşlandırılmış grupta tespit edilmiştir. Yaşlandırma sonrası azalma oranları en yüksek 190°C’de 1.5 saat süre ile ısıl işlemli örnekler üzerinde elde edilirken, bunu 212°C’de 2 saat süre ısıl işlemli örnekler ve ısıl işlemsiz örnekler izlemiştir. Isıl işlem uygulamasının, poliüretan vernikleri ile kaplanmış kestane odunu örneklerinde farklı salınımsal sertlik değerleri vermesine sebep olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Salınımsal sertlik, Anadolu kestanesi, *Castanea sativa* Mill., yapay yaşlandırma, ısıl işlem, poliüretan vernik

Article history: Submitted:01.05.2023, Accepted:24.06.2023, Published:30.06.2023, *e-mail: g.ulay@yyu.edu.tr.

¹Van Yuzuncu Yıl University, Van Vocational School, Program of Furniture and Decoration, Van-Tuşba, 65085, Turkey

²Bayburt University, Faculty of Arts and Design, Dept. of Interior Architecture and Environmental Design, Bayburt, Turkey

To cite: Ulay, G., Ayata, Ü., (2023), The effects of artificial weathering on the pendulum hardness of chestnut wood applied with polyurethane varnish after heat treatment, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6(1), 115-122, DOI: 10.33725/mamad.1290705

1 Introduction

The method of covering the natural wood surface with a protective material that forms a visibly liquid and shiny layer after drying is called “*varnishing*” (Sümer, 1946). Polyurethane varnishes are available in matte, satin, or glossy surfaces based on water or solvent-based systems (Lyons, 2019).

Polyurethane is transparent and allows working on both sides of its surface. The use of this material may cause different thickness levels to be achieved, giving different results for different uses and techniques (Bebit et al. 2019). The curing rate can vary by system, but pot life is typically 45-60 minutes. This time is reasonable, as polyurethanes can be applied relatively quickly. The rate will change with temperature and large volumes of exothermic reaction will occur. Water pollution and high humidity should be avoided at all costs (Cattell, 2003). Polyurethanes, and especially hydroxylated polyurethanes, can interact with wood via hydrogen bonding (Mubarok et al. 2017).

In artificial weathering devices, three kinds of lamps, namely, the xenon lamp, the ultraviolet fluorescent lamp, and the carbon arc lamp, are widely used as light sources to simulate ultraviolet radiation from sunlight. Periodic condensation or water spray is used to simulate dew or rain (Hu et al. 2009; Cakicier, 2007).

Hardness also has a close relationship with other mechanical properties such as strength, ductility, and fatigue resistance, and therefore hardness testing can be used in industry as a simple, fast, and relatively inexpensive method of material quality control (Broitman, 2017).

Different test methods are available to measure the surface hardness properties of materials and material surface layers. One of these is the König pendulum method.

The König pendulum consists of an open frame connected by a crossbar and has two balls with a hardness of $5+0.005$ mm and a diameter of $63+3$ HRC placed on its lower face to serve as a fulcrum. The lower end of the frame is formed in the form of a marker. In balancing the pendulum, a weight sliding on a rod in the vertical direction is used, depending on the crossbar. The total weight of the pendulum is $200+0.2$ g (ASTM D 4366-95, 1984).

Two test methods based on different types of pendulums are discussed: the König pendulum stiffness test (time in seconds for the oscillation amplitude to decrease from 6° to 3°) and the percus pendulum stiffness test (the oscillation amplitude to decrease from 12 to 4° in seconds). In general, the extinction time of the König pendulum is about half of that of the rivet pendulum (ASTM D 4366-95, 1984).

In laboratories, coatings are artificially etched in apparatus specially designed to simulate or measure aging processes that occur during natural wear. Artificial weathering involves fewer parameters than natural weathering. However, it allows for more homogeneous, controllable, and accelerated test conditions (Simms, 1987; Kropat et al. 2020).

In this study, the effects of artificial weathering on the pendulum hardness values of chestnut wood applied with polyurethane varnish after heat treatment at different temperatures and times were investigated. In the literature, pendulum hardness properties research was not found after 576 h of artificial aging using UV-B 313 EL type lamp on heat-treated chestnut wood covered with polyurethane varnish. The obtained results aim to reveal the interaction between heat treatment, polyurethane varnish and chestnut wood.

2 Material and Method

2.1 Material

2.1.1 Obtaining wood material

Anatolian chestnut (*Castanea sativa* Mill.) woods were used in the study. Wooden samples were obtained from a lumberman by purchasing method. The samples were prepared to 320x75x16 mm in net dimensions. Air-conditioning (20±2°C and 65% relative humidity) processes of the materials were performed (TS 642 ISO 554, 1997).

2.2 Method

2.2.1 Heat treatment

The heat treatment modification of chestnut woods with an initial moisture content of 12% was carried out in a commercial facility with special computer-aided closed kiln application for 1.5 h at 190°C and 2 h at 212°C.

2.2.2 Application of polyurethane varnish on wood material surfaces

In this study, topcoat glossy polyurethane (polyurethane resin-based two-component) varnishes belonging to a commercial company were applied to the heat-treated and non-heat-treated test samples. The technical information on the varnishes used is given in Table 1.

Table 1. Technical information on the varnishes used

Varnish Type	Sample Surface (m ²)	Amount of Varnish Applied (gr/m ²)	Solids Ratio (%)	pH	Number of Layers
Polyurethane Filler	2.40	103	46.20	6.55	1
Polyurethane lossy	2.40	100	46.90	6.25	2

It was applied according to industrial applications and the recommendations of the varnish manufacturer as per (ASTM D3023-98, 2017) in the amounts given in Table 2. Care was taken to ensure that the film layer thicknesses were close to each other and in line with the determined solid matter amounts of the varnishes.

Table 2. Information on the application of polyurethane varnish on wooden surfaces

Features of Varnish	Number of Layers	Application Quantity	Solids Ratio (%)
Using the sealant spray gun	1	99 g/m ²	47 g/m ²
Using the topcoat varnish spray gun	1	101 g/m ²	45 g/m ²
	2	101 g/m ²	47 g/m ²
Total Solids Amount =			139 g/m ²

2.2.3 Artificial weathering

After the varnishes were applied to the test samples, they were left to dry in the air-conditioning room according to ISO 554, (1997) (65±3% relative humidity and 20±2°C temperature). Subsequently, UV-B 313 type fluorescence was applied in a QUV accelerated aging device adjusted to ISO 16474-1, (2013) standards (ambient conditions: 50°C ambient temperature cycle, 15 min water spray, 0.67 light intensity, 4 h UV). It was decomposed by exposure to lamps for 144, 288, 432, and 576 h. They were exposed to lamps for 144, 288, 432, and 576 h for decomposition.

2.2.4 Determination of the solid matter amounts

The amount of solid matter in the varnishes has been calculated according to TS EN ISO 3251 (2019).

2.2.5 Determination of pendulum hardness

The hardness values of the weathered and un-weathered test samples were made according to the TS 642 ISO 1522 (2022) standard, using the König method on the platform of the pendulum hardness measuring device.

2.2.6 Statistical analysis

Standard deviations, univariate coefficients of variation, maximum and minimum results, % change rates after weathering, homogeneity groups, and mean results were calculated by an SPSS program.

3 Results and Discussion

The results of the univariate analysis of variance, calculated using the measurement results of the pendulum hardness values, are shown in Table 3. According to these results, the heat treatment (A) factor, the weathering period (B) factor, and the interaction (AB) of these factors were determined to be significant.

Table 3. Univariate analysis of variance results for pendulum hardness values

Variance Source	Sum of Squares	Degree of Freedom	F Value	Mean Square	$\alpha \leq 5\%$
Heat Treatment (A)	113.853	2	6.012	56.927	0.003*
Weathering Period (B)	9130.827	4	241.074	2282.707	0.000*
Interaction (AB)	6528.413	8	86.182	816.052	0.000*
Error	1278.300	135		9.469	
Total	2799345.000	150			
Corrected Total	17051.393	149			

Result by *: Significant $\alpha \leq 0.05$

The results of the pendulum hardness values measured before and after weathering are presented in Table 4. According to these results, the control measurement result was obtained as 136.10 in the untreated and varnished test samples. In the test performed for this group, a decrease of 4.41% in 144 h of weathering period, an increase of 1.32% in 288 h, a decrease of 3.01% in 432 h and an increase of 4.56% in the last 576 h were recorded. According to Table 4, each period took place in different HG groups among the weathering periods on the surfaces coated with PU varnish of the non-heat-treated samples. However, it was determined that there was no linear change. This is thought to be related to the changes in the UV, temperature, humidity, and PU varnish components and the cell structure of the wood that makes up the aging cycle. It can be attributed to the effect of chemical bonds or thickness forming the varnish layer under the influence of high temperature and UV-B rays.

Ceylan (2016) found the hardness values of beech wood samples applied with polyurethane varnish to be 89.10 before weathering, 121.80 after 100 h of weathering and 118.80 after 300 h of weathering. Peker (1997) determined an increase of 6.43% and 36.90%, respectively, in polyurethane-varnished Scotch pine and chestnut woods after aging in outdoor environmental conditions.

Table 4. Measurement results of pendulum hardness values

Treatment	Weat-hering Period	N	Mean (s)	Change (%)	HG	Standard Deviation	Min.	Max.	Coefficient t of Variation
Non-heat-treated	Control	10	136.10	-	DE	1.97	134.00	139.00	1.45
	144 h	10	130.10	↓4.41	G	1.97	127.00	134.00	1.51
	288 h	10	137.90	↑1.32	D	3.18	132.00	142.00	2.30
	432 h	10	132.00	↓3.01	FG	3.02	127.00	136.00	2.29
	576 h	10	142.30	↑4.56	C	2.11	140.00	145.00	1.48
190°C for 1.5 h	Control	10	158.80	-	A*	4.26	152.00	168.00	2.68
	144 h	10	131.40	↓17.25	FG	3.24	127.00	135.00	2.46
	288 h	10	132.00	↓16.88	FG	1.89	130.00	135.00	1.43
	432 h	10	113.30	↓28.65	I**	4.40	106.00	120.00	3.88
	576 h	10	141.90	↓10.64	C	3.67	136.00	147.00	2.58
212°C for 2 h	Control	10	152.80	-	B	3.55	148.00	158.00	2.33
	144 h	10	126.80	↓17.02	H	2.39	124.00	132.00	1.89
	288 h	10	133.60	↓12.57	EF	2.50	130.00	138.00	1.87
	432 h	10	138.00	↓9.69	D	2.94	133.00	142.00	2.13
	576 h	10	135.90	↓11.06	DE	3.51	130.00	141.00	2.58

N: Number of Measurements, *: Highest result. **: Lowest result

Considering the pendulum hardness values of wood species with polyurethane varnish applied in the literature; it was 73.60 for scotch pine, 62.60 for chestnut (Peker, 1997), 109 for black pine, 82.60 for beech (Sarı, 2012), 62 for Scots pine, 60 for oak, 67 for chestnut (Kılıç, 2019), 115 for Scotch pine, 133 for beech, 104 for mahogany (Akdemir, 2022), 100.40 for walnut, 93.20 for Scots pine (Uzun, 2021), 72.40 for fir, 72.70 for chestnut (Soylamış, 2007), 69.00 for beech (Baysal, 2011), and 38.00 for Scots pine (Baysal et al. 2014). It is reported in the literature that surfaces with higher oscillations are hard, and surfaces with less oscillation have lower hardness (Sönmez, 1989). It is thought that the reason for the different hardness values in the polyurethane varnish studies may be due to the use of chemicals from different companies, the use of different types of wood, and the different layer thicknesses obtained after the stages during the application.

In the literature, after exposure to UV rays for 500 h in an accelerated weathering device consisting of UVA-340 lamps, the pendulum hardness values of wood materials on which polyurethane varnishes were applied were found to increase 21% in varnished oriental beech wood (Baysal, 2011) and 24% in varnished Scotch pine wood (Baysal et al. 2014). In this study, it was observed that the hardness value increased after 576 h of weathering on non-heat-treated and varnished materials.

Genç, (2019) determined that the hardness value of polyurethane varnishes was 115 seconds on average before weathering. This was reported to be 79 seconds after 500 h of weathering of UVA-340 lamps.

In addition, the highest value was determined in the control experimental sample group of the experimental samples that were heat-treated and varnished at 190°C, for 1.5 h while the lowest value was determined in the experimental samples that were heat-treated at 190°C for 1.5 h and varnished for 432 h obtained in the experimental sample group. In addition, the reason why heat-treated wood material and non-heat-treated wood material behave differently against the same varnish type may be due to the change in the structure of the wood with the heat treatment.

It was observed that the hardness value of the heat-treated materials decreased after weathering. While the reduction rates after weathering were lowest without heat treatment, this was followed by samples with heat treatment at 212°C for 2 h and heat treatment at 190°C for 1.5 h. In pendulum hardness, the results of the heat-treated materials were higher than those of the untreated test samples. In addition, the hardness values of the heat-treated materials decreased after weathering.

It was reported by Ulay (2018) that similar results were obtained after aging applications on polyurethane varnishes applied to heat-treated and untreated iroko and ash woods of 212°C for 2 h and 190°C for 1.5 h. In addition, this varied depending on the degrading effect of the heat treatment process and aging factors on lignin and wood components such as cellulose and hemicellulose (Kropat et al. 2020). It has been reported in many studies that they cause many changes such as color change (Karamanoğlu and Akyıldız, 2013; Ulay and Çakıcıer, 2017), glossiness (Ulay, 2018), roughness (Yang et al. 2002), crack formation (Holzhausen et al. 2002; Oosterbroek, et al. 1991), pits and new cracks (Akyıldız and Karamanoğlu, 2016), and varnish layer structure (Jaic and Zivanovic, 1997). It should be taken into account that the factors affecting these can also affect the surface hardness feature.

4 Conclusions

According to data obtained;

- According to the results of univariate analysis of variance, treatment, weathering period, and the interaction were found to be significant.
- The hardness results of the heat-treated materials were higher than those of the non-heat-treated test samples.
- The lowest rate of decrease after weathering was determined to be for the group without heat treatment (between 3 and 4%), followed by samples with heat treatment at 212°C for 2 h (between 9 and 17%) and heat-treated at 190°C for 1.5 h. (between 10 and 17%) followed.

It is recommended to add various additives to the polyurethane varnish in order to prevent a decrease in the hardness value.

Author Contributions

Göksel Ulay: Creating the research idea, conducting the laboratory work, taking the measurement data, writing and edit **Ümit Ayata:** writing the article, performing the statistical operations.

Funding statement

No financial support was received for the study.

Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest

References

- Akdemir, E. (2022), Ultrason destekli vernik komponent karışımının katman kalitesine etkilerinin belirlenmesi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Muğla.
- Akyıldız, M. H., Karamanoğlu, M. (2016), Determination of structural changes under sem on heat treated wood exposed to accelerated weathering, *International Forestry Symposium (IFS 2016) Proceedings* 07-10 December 2016, Kastamonu/Turkey, 1(1), 726-735.

- ASTM D 4366-95, (1984), Standard test methods for hardness of organic coatings by pendulum test, ASTM, Philadelphia, PA.
- ASTM D3023-98, (2017), Standard practice for determination of resistance of factory-applied coatings on wood products to stains and reagents, ASTM, West Conshohocken, PA.
- Baysal, E. (2011), Surface hardness of oriental beech pre-impregnated with CCB before varnish coating after accelerated lightfastness and accelerated aging, *Wood Research*, 56(4), 489-498.
- Baysal, E., Dizman Tomak, E., Ozbey, M., Altin, E. (2014), Surface properties of impregnated and varnished Scots pine wood after accelerated weathering, *Coloration Technology*, 130(2), 140-146. DOI: 10.1111/cote.12070.
- Bebit, M. A. A. B., Ibrahim, S. B., Jaapar, I. B. (2019), The potential of polyurethane in producing a relief painting, *International Journal of Art & Design*, 1(1), 28-38.
- Broitman, E. (2017), Indentation hardness measurements at macro-, micro-, and nanoscale: a critical overview. *Tribology Letters*, 65, 23. DOI: 10.1007/s11249-016-0805-5.
- Cattell, D. (2003), Specialist floor finishes: design and installation, Routledge.
- Ceylan, H. (2016), Mimoza (*Acacia mollissima*) ve kebrako (*Schinopsis lorentzii*) tanenleri ile empenye edilen ahşap malzemelerin üst yüzey işlemlerine uygunluklarının araştırılması, *Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Düzce.
- Çakıcıer, N. (2007), Ağaç malzeme yüzey işlemi katmanlarında yaşlanma sonucu belirlenen değişiklikler, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İstanbul.
- Genç, U. (2019), Ahşap yüzey işlem uygulamalarında çerçe-performans değerlendirmesi: kent mobilyaları örneği, *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi*, İstanbul.
- Holzhausen, U., Millow, S., Adler, H. J. (2002), Studies on the thermal ageing of organic coatings. In *Macromolecular Symposia*, 187(1), 939-952. Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Hu, J., Li, X., Gao, J., Zhao, Q. (2009), Ageing behavior of acrylic polyurethane varnish coating in artificial weathering environments. *Progress in Organic Coatings*, 65, 504-509. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2009.05.002.
- ISO 16474-1, (2013), Paints and varnishes - exposure of coatings to artificial weathering- Exposure to fluorescent UV and water, International Standard Organization.
- ISO-1522, (2022), Paints and varnishes, pendulum damping test, International Standard Organization.
- Jaic, M., Zivanovic, R. (1997), The influence of the ratio of the polyurethane coating components on the quality of finished wood surface, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 55, 319-322.
- Karamanoğlu, M., Akyıldız, M. H. (2013), Colour, gloss and hardness properties of heat treated wood exposed to accelerated weathering, *Pro Ligno*, 9(4), 729-738.
- Kılıç, K. (2019), Doğal yaşlanmış ağaç malzeme üst yüzey işlemlerinin performans özellikleri, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.

- Kropat, M., Hubbe, M. A., Laleicke, F. (2020), Natural, accelerated, and simulated weathering of wood: A review. *BioResources*, 15(4), 9998.
- Lyons, A. (2019), *Materials for architects and builders*, pp:536, Routledge.
- Mubarok, M., Hadi, Y. S., Suryana, J., Darmawan, W., Simon, F., Dumarcay, S., Gérardin, C., Gérardin, P. (2017), Feasibility study of utilization of commercially available polyurethane resins to develop non-biocidal wood preservation treatments, *European Journal of Wood and Wood Products*, 75, 877-884. DOI: 10.1007/s00107-016-1128-9.
- Oosterbroek, M., Lammers, R. J., Van der Ven, L. G. J., Perera, D. Y. (1991), Crack formation and stress development in an organic coating, *Journal of Coating Technology*, 63(797), 55-60.
- Peker, H. (1997), Mobilya üst yüzeylerinde kullanılan verniklere emprenye maddelerinin etkileri, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Trabzon.
- Sarı, S. (2012), Alüminyum sülfat'ın poliüretan vernik uygulamalarında kullanımı, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Kütahya.
- Simms, J. A. (1987), Acceleration shift factor and its use in evaluating weathering data, *Journal of Coatings Technology*, 59(748), 45-53.
- Soylamış, D. (2007), Su itici bazı emprenye maddelerinin üst yüzey işlemlerine etkisi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzmanlık Tezi*, Karabük.
- Sönmez, A. (1989), Ağaçtan yapılmış mobilya üst yüzeylerinde kullanılan verniklerin önemli mekanik fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılıkları, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Ankara.
- Sümer, C. (1946), Ağaç İşleri Teknolojisi, Erkek Sanat Enstitüsü, Konya Yeni Kitap ve Basımevi, 466 sayfa.
- TS EN ISO 3251, (2019), Boyalar, vernikler ve plastikler - Uçucu olmayan madde tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 642 ISO 554, (1997), Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Ulay, G. (2018), Yat ve tekne mobilyalarında kullanılan bazı ağaç türlerine uygulanan termal modifikasyon ve UV yaşlandırma işlemlerinin vernik katman performansları üzerine etkisinin incelenmesi, *Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Düzce.
- Ulay, G., Çakıcıer, N. (2017), Yat ve tekne imalatında kullanılan ağaç türlerine uygulanan hızlandırılmış yaşlandırma (QUV) işleminin koruyucu katman üzerine etkisi, *Ileri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 212-218.
- Uzun, A. (2021), Doğal koruyucular ile modifiye edilmiş bazı ahşap türlerinin üst yüzey özelliklerinin belirlenmesi, *Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Gümüşhane.
- Yang, X. F., Tallman, D. E., Bierwagen, G. P., Croll, S. G., Rohlik, S. (2002), Blistering and degradation of polyurethane coatings under different accelerated weathering tests, *Polymer Degradation and Stability*, 77(1), 103-109. DOI: 10.1016/S0141-3910(02)00085-X.



Farklı geometrik oluklu çekirdeğe sahip ahşap esaslı kompozit panellerin vida tutma dirençlerinin belirlenmesi

Musa Kaya^{1*}, Hasan Özgür İmirzi¹

Öz

Yapılan çalışmada geometrik oluklu çekirdeğe sahip ahşap esaslı kompozit panellerin yoğunluk değerleri ve levha yüzeyinden vida tutma dirençleri belirlenmiştir. Bu amaçla panellerin çekirdek geometrilerine üç farklı geometrik oluk (Dairesel, dikdörtgen ve trapez) şekli işlenerek elde edilen çekirdek katmanlarının alt ve üst yüzeylerinde 4'er mm'lik kontrplak ve liflevha kullanılarak, üre formaldehit tutkalı ile yapıştırılmıştır. Üretilen panellerin yoğunluk değerleri ve vida tutma dirençlerini belirlemek için ilgili standartlarda belirtilen esaslar doğrultusunda deneyler yapılarak veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerin çoklu varyans analizleri yapılarak anlamlı çıkan faktörlerin grupları arasındaki farklılıkların tespit edilmesi için Duncan testi yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçlarına göre ahşap esaslı kompozit panellerin çekirdek katmanına işlenen farklı geometrik oluklu şekillerin; panellerin vida tutma direnci ve yoğunluk değerlerinde azalmalara sebep olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre en yüksek vida tutma direnci; kontrplak yüzeyli dikdörtgen oluklu çekirdeğe sahip panelde 15.36 N/mm² iken en düşük vida tutma direnci ise kontrplak yüzeyli dairesel oluklu çekirdeğe sahip panelde 8.92 N/mm² olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kompozit malzeme, geometrik oluklu panel, vida tutma direnci,

Determination of screw holding resistance of wood-based composite panels with different geometric corrugated core

Abstract

In the study, the density values of wood-based composite panels with a geometric corrugated core and screw retention resistance from the plate surface were determined. For this purpose, three different geometric grooves (circular, rectangular and trapezoidal) shapes were processed into the core geometries of the panels, and the lower and upper surfaces of the core layers were adhered with urea formaldehyde glue, using 4 mm plywood and fiberboard. In order to determine the density values and screw holding resistance of the panels produced, experiments were carried out in accordance with the principles specified in the relevant standards and data were obtained. The Duncan test was used to determine the differences between the groups of the factors that were found to be significant by performing multiple variance analyzes of the obtained data. According to the results of the tests, different geometric corrugated shapes processed into the core layer of wood-based composite panels; it was observed that the panels caused a decrease in screw holding resistance and density values. According to the test results, the highest screw holding resistance; the lowest screw holding resistance was found to be 8.92 N/mm² in the panel with a circular corrugated core with a plywood surface, while the panel with a rectangular corrugated core with a plywood surface was 15.36 N/mm².

Keywords: Composite material, geometric corrugated panel, screw retention resistance,

1 Giriş

Ahşap esaslı kompozit malzemeler; dünya nüfusunun artışına paralel olarak artan ağaç malzeme tüketimini minimize etmek için icra edilen araştırmalar sonucunda elde edilmiş yapay ürünlerdir. Esas yapıları itibarı ile ağaç malzemeye alternatif olarak elde edilen bu malzemeler; ağaç malzemeye göre; istenilen yoğunluk ve ölçülerde üretilmesi, farklı renk ve desenlerde üretilmesi, ekonomiklik gibi birçok olumlu yönleri mevcuttur. Ancak ağaç malzemeye göre; doğal olmaması, tekstürü, mekanik dirençleri, makinelerde işleme kabiliyeti gibi negatif yönleri de bulunmaktadır. Ahşap esaslı kompozit bir malzeme olan lif levhaların çıkışı milattan önce 6. yüzyılda Japonya'daki yapıların duvarlarında kullanılan bir çeşit lif levhaya dayanmaktadır. Endüstriyel amaçlı olarak yapılan ilk üretim ise 1960'lı yıllarda Amerika'da gerçekleştirilmiştir. 1966 yılında ise Amerika'da liflevha üretimi seri üretim şeklinde yapılmıştır (Cehrelî, 1984; Eroğlu, 1988). 1960'lı yıllardan günümüze dek farklı özelliklere sahip liflevha üretimi etkin bir şekilde yapılmaktadır.

Günümüzde mobilya imalat endüstrisinde en çok kullanılan kompozit malzemeler; liflevha ve yongalevhalarıdır. Dolayısıyla bu ve bunlara benzer kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin bilinmesi, bu tarz kompozit malzemelerden üretilen mobilya ve dekorasyon ürünlerinin kullanılacağı mekânlardaki fiziksel ve mekanik etkilere karşı nasıl tepki geliştirdiklerinin bilinmesi oldukça önemlidir (Göker ve ark., 2004; Kasal, 2007). Ancak bu tür panellerin yerine ikame edilecek alternatif ahşap esaslı kompozit panellerin üretilmesi, mekanik, fiziksel ve teknolojik özelliklerinin araştırılmasına yönelik yapılmış bilimsel araştırmaların varlığının, oldukça kısıtlı olduğu görülmüştür.

Ahşap yapılarda ya da diğer yapılardaki kolon, kiriş ve duvar kaplamalarında kaplama malzemesi olarak kullanılan ahşap esaslı kompozit paneller, bağlayıcı bir elemanla (vida ve çivi gibi) bu yapısal taşıyıcılara bağlantısı yapılarak sabitleştirilir (Bal ve ark., 2016). Uygulamada kullanılan bu bağlantı elemanları küçük çaplı (çiviler, vidalar ve metal kamalar) ve büyük çaplı (cıvatalar, lag vidalar ve pimler) bağlantı elemanları olarak nitelendirilmektedir (Rammer, 2010).

Mobilya sanayisinde de mobilyaların montaj edilmesi için birçok bağlantı elemanı kullanılmaktadır. Bunların başında ise vidalar gelmektedir. Üretim işlemleri bitirilerek kullanıma sunulan bir mobilyanın toplam dayanımını belirleyen temel faktörlerden birisi de vidalardır. Vidalı birleştirmelerde mobilya ve mobilya üzerinde bulunan aksesuarların sağlamlığı büyük ölçüde vidalar ve üretime dâhil edilen ahşap malzemelerin vida dayanımlarına bağlı olarak değişmektedir. (Örs ve ark., 1995; Yörür ve ark., 2017; Tor, 2019). Ahşap esaslı kompozit panellerin teknolojik özelliklerini etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Bunlar genel olarak panelde kullanılan malzemelerin yoğunluğu, panel yoğunluğu, kullanılan liflerin yapısı, budak miktarı, rutubet değeri, tutkal türü ve miktarı, pres basıncı, pres süresi, pres sıcaklığı gibi etkenlerdir (Çolakoğlu, 1996).

Bu çalışmada elde edilen ürün; çekirdek katmanı birbirinden farklı geometrik biçimlendirmeye tabi tutularak tabakalı ahşap esaslı kompozit panel biçiminde üretilmiştir. Elde edilen ahşap esaslı kompozit panellerin ağaçşileri endüstrisinde yoğun bir şekilde kullanım alanına sahip olabilmeleri; özellikle duvar kaplamalarındaki ses ve ısı yalıtım amaçlı kullanımları açısından mekanik ve teknolojik özelliklerinin araştırılmasında önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmanın amacı; elde edilen ahşap esaslı kompozit panellerin çekirdek katmanlarına işlenen farklı geometrik şekilli olukların; bu tür kompozit panellerin vida tutma dirençlerine olan etkilerini tespit etmektir.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

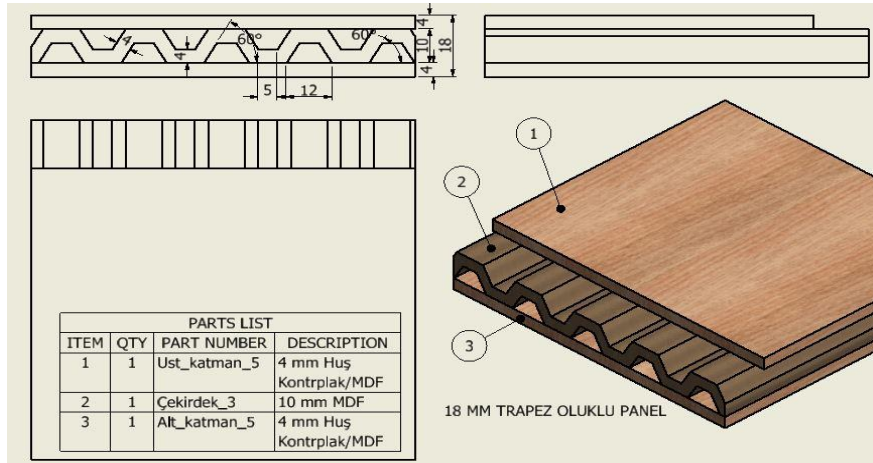
Bu çalışmada, ahşap esaslı kompozit panellerin oluşturulmasında 4 mm kalınlığında huş kontrplak, 4 mm ve 10 mm kalınlığında lif levha ile levhaların birleştirilmesi için üre formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Tabakalı panel yapımında kullanılan malzemeler Ankara Siteler semtinde bulunan ticari işletmelerden satın alma yoluyla tedarik edilmiştir. Panel üretim süreçleri maddeler halinde aşağıda verilmiştir. Ahşap esaslı kompozit panellerin imalatında kullanılan malzemelerin bazı fiziksel özelliklerine ait veriler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Ahşap esaslı kompozit panellerin bazı fiziksel özellikleri

No	Malzeme Adı	Kalınlığı/Miktarı	Yoğunluğu	Panelde kullanıldığı yer
1	Huş Kontrplak	4 mm	0.69 g/cm ³	Alt-Üst yüzey katmanı
2	Lif levha	10 mm	0.77 g/cm ³	Çekirdek katmanı
3	Lif levha	4 mm	0.93 g/cm ³	Alt-Üst yüzey katmanı

2.1.1 Ahşap esaslı kompozit panellerin tasarlanması

Ahşap esaslı kompozit panellerin çekirdek katmanlarına uygulanacak geometrik biçimlendirmelerin çizimleri Autodesk Inventor 2022 programında Şekil 1’deki gibi iki ve üç boyutlu olarak çizilmiştir.



Şekil 1. Ahşap esaslı kompozit panele ait net resim ve perspektif çizimi

2.1.2 Çekirdek katmanının işlenmesi

Tasarım ve çizim süreçleri tamamlanan ahşap esaslı kompozit panelin çekirdek katmanı, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaçşeri Endüstri Mühendisliği Bölümü makine atölyesinde bulunan; Şekil 2’deki SCM Tech Z1 markalı CNC ahşap işleme makinesinde işlenerek elde edilmiştir.



Şekil 2. Ahşap esaslı kompozit panelin çekirdek katmanının CNC Ağaç işleme makinesinde işlenmesine ait görüntü

2.1.3 Ahşap esaslı kompozit panellerin preslenmesi

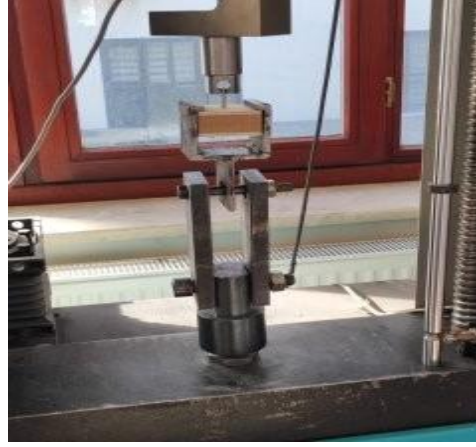
CNC Ahşap işleme makinesinde her iki yüzeyine geometrik oluklar işlenen çekirdek katmanının her iki yüzeyine; 4 mm kalınlığında liflevha (MDF) ve huş kontrplak levhaların yüzeylerine üre formaldehit tutkalı 115 ± 5 g/m² sürülerek, 110 °C sıcaklık ve 200 Bar basınç altında yaklaşık 10 dakika Şekil 3'teki gibi preslenerek 105 x 140 cm ebadında ve 18 mm kalınlığında ahşap esaslı kompozit paneller elde edilmiştir. Presleme makinesinden çıkarılan kompozit panellerin düzlemselliklerini korumak için mengenalere sıkılıp soğutulmaya bırakılmıştır. Yapılan bu presleme işlemi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü pres atelyesinde bulunan hidrolik sıcak pres makinesi vasıtası ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Ahşap esaslı kompozit panellerin preslenmesi

Üretim süreçleri sonucunda elde edilen geometrik oluklu ahşap esaslı kompozit paneller çekirdek geometrilerine göre Şekil 4'teki gibi isimlendirilmiştir. Panellerin 3B görüntülerinde soldaki görüntünün liflevha yüzeyli, sağdaki görüntünün ise huş kontrplak yüzeyli panellere ait görüntülerin olduğunu belirtmektedir.

Her deney numunesi için maksimum yükün ilgili formülle hesaplaması yapılarak; o deney örneği için vida tutma direnci hesaplanmıştır. Yüzeyde vida tutma direncine ait deney görüntüsü Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Yüzeyde vida tutma direnci deneyinin yapılarına ait görüntü

Deney örneklerinin yoğunlukları TS EN 323’de (1999) belirtilen esaslara göre tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda örneklerden elde edilen veriler kullanılarak, varyans analizi yapılmıştır. Daha sonra minimum, maksimum, standart sapma ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmış ve ahşap esaslı kompozit panellerin hava kurusu yoğunlukları ve yüzeyde vida tutma dirençleri belirlenmiştir.

3 Bulgular ve Tartışma

3.1 Hava kurusu yoğunluk

Farklı geometrik oluklu çekirdeğe sahip ahşap esaslı kompozit panellerin hava kurusu yoğunluk değerleri TS EN 323’de (1999) belirtilen esaslara göre tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen istatistik veriler Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Geometrik oluklu panellerin hava kurusu yoğunluklarına ilişkin istatistik verileri

Yüzey Malzemesi	Çekirdek Geometrisi	N	Min	Mak.	Xort.	Std. Sp.	V(%)
Lif levha	Kontrol Grubu	12	0.81	0.83	0.82	0.0080	0.98
	Dairesel Oluklu	12	0.60	0.65	0.62	0.0134	2.16
	Dikdörtgen Oluklu	12	0.65	0.68	0.67	0.0085	1.27
	Trapez Oluklu	12	0.62	0.65	0.63	0.0069	1.10
Kontrplak	Kontrol Grubu	12	0.78	0.80	0.79	0.0057	0.72
	Dairesel Oluklu	12	0.52	0.54	0.53	0.0039	0.74
	Dikdörtgen Oluklu	12	0.57	0.60	0.58	0.0086	1.48
	Trapez Oluklu	12	0.53	0.57	0.55	0.0086	1.56

Çizelge 2’ye göre geometrik oluklu panellerin hava kurusu yoğunluk değerlerinde, çekirdek katmanının geometrik formuna bağlı olarak kontrol numunesine kıyasla azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Geometrik oluklu çekirdekli kompozit panellerin ortalama yoğunlukları 0.53 g/cm³ ile 0.67 g/cm³ arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca kontrplak

yüzeyle panellerin ortalama hava kurusu yoğunlukları, liflevha yüzeyle panellerin ortalama hava kurusu yoğunluklarından daha düşük oldukları tespit edilmiştir.

Literatürde çekirdek katmanı geometrik şekilli olana panellerin yoğunluklarının 0.5 g/cm^3 ile 0.7 g/cm^3 arasında olduğu (Öztürk, 2019), farklı yüzey malzemelerine sahip sandviç esaslı kompozit panellerin yoğunluklarının ise 0.30 g/cm^3 ile 0.51 g/cm^3 arasında değiştiği (Barbu ve ark., 2010) belirtilmiştir.

TS EN 316 (2011)'e göre orta yoğunluktaki liflevhaların (MDF) yoğunlukları 0.35 g/cm^3 ile 0.85 g/cm^3 arasında değişmektedir. Sonuç olarak yapılan çalışmada elde edilen ahşap esaslı kompozit panellerin hava kurusu yoğunluk değerlerinin daha önce yapılmış olan çalışmalarda elde edilen değerlere benzer olduğu; ayrıca ilgili standarda göre belirlenen limit değerlerin arasında olduğu tespit edilmiştir.

3.2 Levha yüzeyinde vida tutma direnci

Geometrik oluklu panellerin levha yüzeyinde vida tutma dirençlerinin tespitine yönelik yapılan deneylerin sonucunda elde edilen sayısal veriler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Geometrik oluklu panellerin levha yüzeyinde vida tutma direncine ait veriler

Yüzey Malzemesi	Çekirdek Geometrisi	N	Min. (N/mm ²)	Mak. (N/mm ²)	Xort. (N/mm ²)	Std. Sp.	V (%)
Lif levha	Kontrol Grubu	10	24.75	28.80	26.81	1.55	5,78
	Dairesel Oluklu	10	12.14	15.41	13.78	0.83	6,01
	Dikdörtgen Oluklu	10	10.43	18.06	14.21	3.14	22,11
	Trapez Oluklu	10	12.92	16.50	14.23	1.04	7,34
Kontrplak	Kontrol Grubu	10	28.17	32.38	30.79	1.34	4,34
	Dairesel Oluklu	10	7.94	9.96	8.92	0.67	7,53
	Dikdörtgen Oluklu	10	11.52	17.12	15.36	1.78	11,56
	Trapez Oluklu	10	8.25	12.14	9.98	1.41	14,09

Çizelge 3'e göre geometrik oluklu panellerin levha yüzeyinde vida tutma dirençlerine ait ortalama değerlere bakıldığında en yüksek vida tutma direnci kontrplak yüzeyle ve dikdörtgen oluklu çekirdeğe sahip panelde 15.36 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir. En düşük vida tutma direnci ise kontrplak yüzeyle dairesel oluklu panelde 8.92 N/mm^2 olduğu tespit edilmiştir. Geometrik oluklu panellerde levha yüzeyinden vida tutma dirençlerinde kontrol numunelerine göre belirgin bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Yüzeyden vida tutma dirençlerinde meydana gelen bu azalmanın nedeni; panel yoğunluklarında oluşan azalmaya bağlı olarak gerçekleştiği söylenilebilir.

Literatürde ahşap ve ahşap esaslı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri panellerin yoğunluk artışlarına bağlı olarak arttığı (Bal ve ark., 2015) ve yapılarında fazla boşluk barındırdıkları için yongalevha kaplı panellerin vida tutma dirençleri, kontrplak kaplı panellerin vida tutma dirençlerinden daha az olduğu belirtilmiştir (Candan, 2012). Çalışma sonuçları bu bakımından literatür ile uyumludur.

Ahşap esaslı kompozit panellerin çekirdek geometrileri ve yüzeylerinde kullanılan malzemeler ile bunların etkileşimlerinin, levha yüzeyinden vida tutma direncine etkilerinin anlamlılık seviyelerini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Panellerin vida tutma dirençlerine ait çoklu varyans analiz sonucu

Varyanslar	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi (p<0.05)
Yüzey	19.691	1	19.691	7.356	0.008*
Çekirdek	3995.337	3	1331.779	497.535	0.000*
Yüzey * Çekirdek	274.425	3	91.475	34.174	0.000*
Hata	192.726	72	2.677		
Toplam	26950.300	80			
Düzeltilmiş Hata	4482.179	79			

*: Anlamlı, SD: Serbestlik derecesi

Çizelge 4'teki çoklu varyans analizine göre geometrik oluklu panellerde yüzey malzemesi, çekirdek geometrisi faktörleri ile bu iki faktörün ikili etkileşiminin; panellerin levha yüzeyinden vida tutma dirençlerine olan etkilerinin ($p \leq 0.05$) istatistiksel olarak anlamlı oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca panellerin vida tutma dirençlerine en büyük etkiyi çekirdek geometrisinin yaptığı (F: 497.535) tespit edilmiştir. Yüzey malzemesinin etkisi ise çok düşük olduğu (F: 7.396) görülmektedir. Etkileri anlamlı olan faktörlerin grupları arasındaki farklılıkları tespit etmek için Duncan testi yapılmıştır. Yüzey malzemesine göre levha yüzeyinden vida tutma direncine ait homojenlik grubu Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Panellerin yüzey malzemesine göre vida tutma dirençlerine ait homojenlik grupları

Yüzey Malzemesi	N	\bar{X} (N/mm ²)	HG
Kontrplak	40	16.26	B
Liflevha	40	17.25	A

LSD: 0.73

HG: Homojenlik grubu; N: Numune sayısı

Çizelge 5'e göre levha yüzeyinde vida tutma direnci; panellerin yüzeylerinde kullanılan malzeme türlerine göre farklı olduğu tespit edilmiştir. Panellerde kullanılan liflevha yüzeyinin levha yüzeyinden vida tutma direncinin kontrplak yüzeyden daha yüksek değere sahip olması; yüzeyde kullanılan lif levhanın yoğunluk değerinin yüksekliğinden kaynaklandığı söylenilebilir. Literatürde; sandviç panellerde yüzey katmanı olarak yonga levha ve kontrplak malzeme kullanılan çalışma sonucunda kontrplak yüzeyinin vida tutma direncinin daha yüksek olduğu tespit edildiği (Candan, 2012), Yonga levhalarda, yüzey yonga oranının artması sonucu ile panel yoğunluklarının artmasıyla mekanik dirençlerde de artışlar gerçekleştiği (İstek ve ark., 2017) ve orta yoğunluktaki lif levhaların vida tutma dirençlerinin 13.57 N/mm² olduğu (İmirzi, 2008) belirtilmiştir. Çalışma sonuçları literatür ile uyumludur.

Geometrik oluklu panellerde çekirdek geometrisinin levha yüzeyinden vida tutma dirençlerine etkisine ilişkin homojenlik grupları Çizelge 6'da verilmiştir. Çizelge 6'ya göre levha yüzeyinden vida tutma direnci en yüksek kontrol grubunda 28.80 N/mm² iken geometrik oluklu çekirdeğe sahip panellerde ise en yüksek levha yüzeyinden vida tutma direnci ise dikdörtgen oluklu çekirdek geometrisinde 14.79 N/mm² olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6. Panellerin çekirdek geometrisine göre vida tutma direncine ait homojenlik grupları

Çekirdek Geometrisi	N	\bar{X} (N/mm ²)	HG
Dairesel Oluklu	20	11.35	C
Trapez Oluklu	20	12.10	C
Dikdörtgen Oluklu	20	14.79	B
Kontrol Grubu	20	28.80	A

LSD: 1,03

HG: Homojenlik grubu; N: Numune sayısı

Yüzey malzemesi ve çekirdek geometrisinin ikili etkileşimine bağlı levha yüzeyinden vida tutma direncine ait homojenlik grupları Çizelge 7’de verilmiştir. Çizelge 7’ye göre çekirdek geometrisi ve yüzey malzemesinin ikili etkileşiminin levhaların yüzeyinden vida tutma dirençlerine etkisine bakıldığında; geometrik oluklu panellerde en yüksek levha yüzeyinden vida tutma direnci kontrplak yüzey ile dikdörtgen oluklu çekirdek etkileşiminde 15.36 N/mm² olduğu görülmektedir. En düşük levha yüzeyinden vida tutma direnci ise kontrplak yüzey ile dairesele oluklu çekirdek etkileşiminde 8.92 N/mm² olduğu tespit edilmiştir. Farklı geometrik oluklu çekirdeğe sahip liflevha yüzeyli panellerde levha yüzeyinden vida tutma direnci kontrol numunesine göre %47 ile %51 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Kontrplak yüzeyli panellerde ise levha yüzeyinden vida tutma direnci kontrol numunelerine göre %50 ile %71 oranında azaldığı görülmüştür.

Çizelge 7. Panellerin yüzey malzemesi ve çekirdek geometrisinin ikili etkileşimine bağlı olarak levha yüzeyinden vida tutma direncine ait homojenlik grupları

Yüzey Malzemesi	Çekirdek Geometrisi	N	X (N/mm ²)	HG*
Lif levha	Kontrol Grubu	10	26.81	B
	Dairesel Oluklu	10	13.78	D
	Dikdörtgen Oluklu	10	14.21	CD
	Trapez Oluklu	10	14.23	CD
Kontrplak	Kontrol Grubu	10	30.79	A
	Dairesel Oluklu	10	8.92	E
	Dikdörtgen Oluklu	10	15.36	C
	Trapez Oluklu	10	9.98	E

LSD: 1.456

*HG: Homojenlik grubu; N: Numune sayısı

Dikdörtgen oluklu çekirdeğe sahip panellerde levha yüzeyinden vida tutma direncinin yüksek olması; Çizelge 2’de görüldüğü gibi panel yoğunluğuna bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Öte yandan geometrik oluklu panellerde vida tutma direncinin kontrol numunesine oranla daha düşük dirençlerde olması; panel yüzeyinin derinliğine nüfuz eden vida adımlarından bir kısmının boşta kalmasından ve yine panellerin yoğunluk değerlerinin azalmasından kaynaklı olduğu söylenilebilir.

Literatürde; çekirdek ve yüzey katmanlarında farklı malzemelerin kullanılması vida tutma dirençlerinde farklı katkılar sağladığı (Srivaro ve ark., 2014), vida tutma direncinin öncelikle yüzey ve çekirdek katmalarının yoğunluklarına bağlı olarak değiştiğini, bunun yanında vida adımı sayısı, kılavuz delik çapı, diş dibi derinliği gibi faktörlerin etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Pour ve ark., 2022). Çalışma sonuçları literatür ile uyumludur.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre;

- Geometrik oluklu çekirdeğe sahip panellerin levha yüzeyinde vida tutma dirençlerinin kontrol panellerine göre azaldığı tespit edilmiştir.
- Yapılan denemeler sonucunda, levha yüzeyinde vida tutma direnci kontrplak yüzeyli dikdörtgen oluklu çekirdeğe sahip panelde 15.36 N/mm² olduğu tespit edilmiştir.
- Geometrik oluklu çekirdeğe sahip panellerin yoğunlukları kontrol grubu panellerine kıyasla %18.3 ile %33 oranında azaldığı tespit edilmiştir.
- Hem çekirdek geometrisi ve hem de panellerde kullanılan yüzey malzemelerinin, panellerin levha yüzeyinden vida tutma dirençlerine olan etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı oldukları tespit edilmiştir.

Farklı geometrik oluklu çekirdeğe sahip panellerin, levha yüzeyinden vida tutma direnci ve diğer mekanik özelliklerin geliştirilmesi oldukça önem arz etmektedir. Bundan dolayı farklı tiplerdeki yapıştırıcılar ile yoğunluk değerleri farklı olan odun liflerinin kullanılması ile kalıpsal üretime dayalı bir üretim süreci önerilir.

Teşekkür

Deneyisel olarak gerçekleştirilen bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2021-7201 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Yazar katkıları

Musa Kaya: Verilerin elde edilmesi, verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması, makalenin yazılması. **Hasan Özgür İmirzi:** Çalışma konusunun belirlenmesi, deney tasarımının yapılması, verilerin analiz edilmesi, makalenin yazılması.

Finansal destek beyanı

Bu çalışma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-202-7201 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Bal, B. C., Akçakaya, E., Gündeş, Z., (2015), Kavak, kayın ve okaliptüs kaplamaları ile üretilen kontrplakların vida tutma direncinin araştırılması, *KSÜ, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 77 – 83, DOI: 10.17780/ksujes.26064.
- Bal, B. C., Akçakaya, E., Gündeş, Z., (2016), Farklı ağaç türlerinden üretilmiş kontrplakların yanal çivi dayanımı, *Düzce Üniversitesi, Ormanlık Dergisi*, 12(1), 145-153.
- Barbu C.M., Lüdtke J., Thömen H., Welling J., (2010), New technology for the continuous production of wood-based lightweight panels, Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe –Timber Committee, Switzerland.
- Candan, Z., (2012), Ahşap sandviç panel ve laminat parke üretiminde nanopartikül kullanımı ve teknolojik özellikler üzerine etkisi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul*.
- Cehreli, H.T., (1984), Orta sert lif levhaları, odun kökenli ürün sanayi ve sorunları semineri, Milli Produktivite Merkezi Yayını, No: 302, Ankara.

- Çolakoğlu, G., (1996), Tabakalı ağaç malzeme teknolojisi ders notları (Yayınlanmamış), *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Trabzon.*
- Eroğlu, H., (1988), Lif levha endüstrisi, Trabzon.
- Göker, Y., Akbulut, T., Ayrılmış, N., (2004), Türkiye’de üretilen MDF levhaların teknolojik özellikleri, *İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi* 54(1A): 13-36.
- İmirzi, H. Ö., (2008), Farklı yapım teknikleri ve değişik kalınlıklardaki levhalar ile üretilmiş kutu tipi mobilyaların mukavemet özellikleri, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 91-105.
- İstek, A., Kurşun, C., Aydemir, D., Köksal, S.E., Kelleci, O., (2017), Tabaka yonga oranının yonga levha özelliklerine etkisi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 182-6.
- Kasal, A., (2007), Bazı masif ve kompozit ağaç malzemelerin kavala tutma performanslarının belirlenmesi, *Gazi Ün. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 22(3), 387-397.
- Örs, Y., Özen, R., Doğanay, S., (1995), Mobilya üretiminde kullanılan ağaç Malzemenin Vida Tutma Dirençleri, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22: 29–34.
- Öztürk, V., (2019), Ahşap esaslı akustik kompozit panellerin bazı teknolojik özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- Pour, M. F., Hatfania, H., Dorieh, A., Kiamahalleh, M. V., Afrouzi, Y. M., (2022), Research on medium density fiberboard (MDF) behavior against screw axial withdrawal: impact of density and operational variables, *In Structures*, 39, 194-206.
- Rammer, D.R. 2010. Fastenings, Wood Handbook: Wood as an engineering Material, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPLGTR-190, Madison, WI (ss. 1–2).
- Srivaro, S., Chaowana, P., Matan, N., Kyokong, B., (2014), Lightweight sandwich panel from oil palm wood core and rubber wood veneer face, *Journal of Tropical Forest Science*, 50-57.
- Tor, Ö. (2019). Effects of pilot hole diameter on screw driving torques in medium density fiberboard, *Cerne* 25: 54-59. DOI: 10.1590/01047760201925012608
- TS EN 316, (2011), Odundan mamul liflevhalar tarifler, sınıflandırma ve semboller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 320, (2011), Lif Levhalar - Vida Tutma Kabiliyetinin (Mukavemetinin) Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 323, (1999), Ahşap esaslı levhalar-birim hacim ağırlığı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yörür, H., Tor, Ö., Günay, M.N., Birinci, E., (2017), The effects of different variables on the direct screw withdrawal strength in plywood, *Kastamonu University Journal of Faculty of Forestry*, 17(2): 325-333, DOI: 10.17475/kastorman.333858.