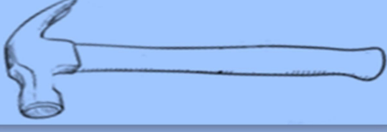
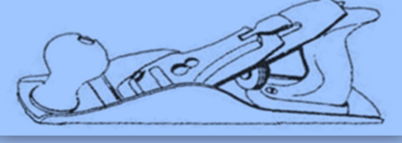


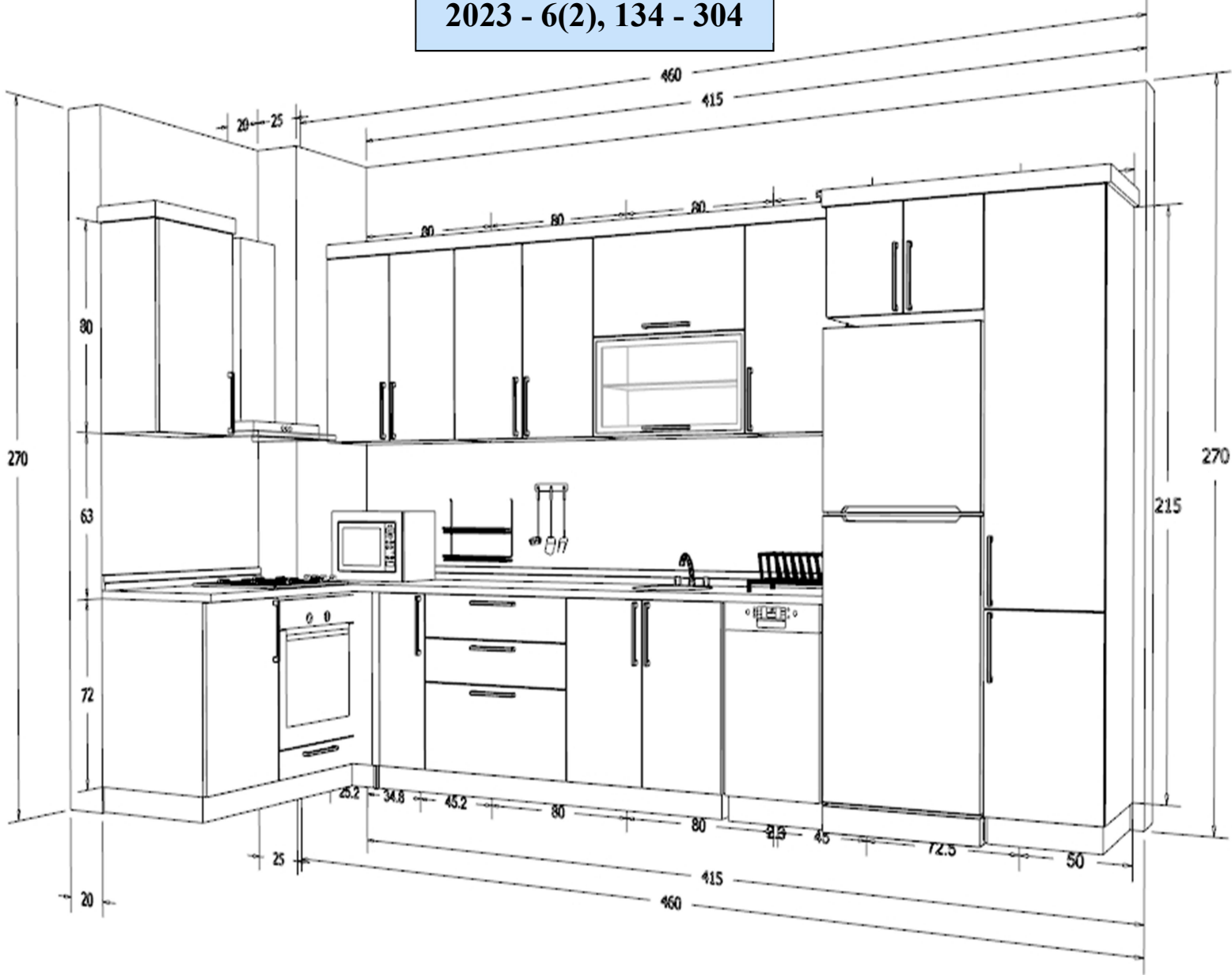
# MOBİLYA ve AHŞAP MALZEME ARAŞTIRMALARI DERGİSİ



**-MAMAD-**

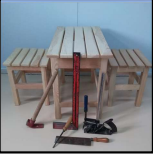


2023 - 6(2), 134 - 304



**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**, Doğuş 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, Poznan, 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, Romanya

**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 HOSEINIHASHEMI**, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

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

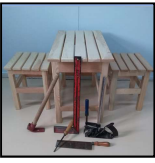
**Assist. Prof. Dr. Tomasz KRYSOFIAK**, Poznań University of Life Sciences, Poland

**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




- Properties of biocomposites produced with polypropylene and willow (*Salix babylonica* L.) wood/bark**  
*Polipropilen ve söğüt (*Salix babylonica* L.) odunu/kabuğu ile üretilen biyokompozitlerin özellikleri* 134-145  
*Seyyed Khalil Hosseinihashemi , Ayoub Eshghi , Younes Shirmohammadli*
- Mobilya endüstrisinde dögüsel ekonomiye geçiş: değerlendirme yaklaşımı**  
*Towards the circular economy in furniture industry: evaluation approach* 146-161  
*Habibe Şenkal*
- Application of Lean Philosophy approaches in furniture design processes**  
*Yalın Felsefe yaklaşımlarının mobilya tasarım süreçlerine uyarlanması* 162-174  
*Eray Ersoy, Gülçin Cankız Elibol*
- Farklı perforelerle oluşturulan çapraz lamine ahşap levhaların (CLT) ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi**  
*Determination of thermal conductivity values of cross-laminated timber (CLT) boards formed with different perforations* 175-182  
*Ramazan Bülbül, Hakan Keskin*
- Determining the technological properties of laminated windows as a component of sustainable facade design**  
*Sürdürülebilir cephe tasarımının bir bileşeni olarak lamine pencerelerin teknolojik özelliklerinin belirlenmesi* 183-198  
*Mustafa Kucuktuvek, Taner Asci, Ahmet Senel*
- E-Ticaret dönüşümünde veri odaklı yaklaşım: Box-Jenkins ARIMA modeli ile mobilya sektörü internet harcamalarının modellenmesi**  
*Data-driven approach in e-commerce transformation: modeling internet expenditures in the furniture sector using the Box-Jenkins ARIMA model* 199-209  
*Rıfat Kurt, Selman Karayılmazlar, Yıldız Çabuk*
- Effects of bleaching chemicals on some surface characteristics of olon (*Zanthoxylum heitzii*) wood**  
*Olon (*Zanthoxylum heitzii*) odununun bazı yüzey özellikleri üzerine ağartıcı kimyasalların etkileri* 210-218  
*Hüseyin Peker, Ümit Ayata*
- Karakavak (*Populus nigra* L.) odununun silindirik yoğunlaştırılmasında sıcaklık ve buharın renk ve parlaklığa etkisi**  
*Effect of heat and steam on color and brightness in cylindrical densification of black poplar (*Populus nigra* L.) wood* 219-232  
*Hüseyin Yeşil, Zafer Kaya , Sait Dündar Sofuoğlu*
- Some selected properties of composite material produced from plastic furniture waste and wood flour**  
*Plastik mobilya atıkları ve odun unu ile üretilen kompozit malzemenin seçili bazı özellikleri* 233-244  
*Bekir Cihad Bal, Ertuğrul Altuntaş, Nasır Narlıoğlu*
- N-octadecane /bio-char composite: preparation, characterization and energy storage properties**  
*N-oktadekan / biyokömür kompoziti: hazırlanması, karakterizasyonu ve enerji depolama özellikleri* 245-255  
*Gaye Köse Demirel*
- Investigation of the usability of laurel waste in thermoplastic composite production**  
*Defne atıklarının termoplastik kompozit üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması* 256-266  
*Nasır Narlıoğlu, Hüseyin Onur Sever*
- Testing of waste vegetable oils as color modifiers in American walnut (*Juglans nigra* L.) wood**  
*Amerikan ceviz (*Juglans nigra* L.) odununda renk değiştirici olarak bitkisel atık yağların denenmesi* 267-277  
*Hüseyin Peker, Bruno Esteves, Ümit Ayata*
- Characterization of 1-tetradecanol's performance as a phase change material in thermally modified ash wood**  
*Termal olarak modifiye edilmiş dışbudak odunda faz değiştiren bir malzeme olarak 1-tetradekanolün performansı* 278-288  
*Gaye Köse Demirel*

### DERLEME MAKALELER - REVIEW ARTICLES

- Kabriyal ayağın mobilya tarihindeki yeri**  
*Cabriole legs throughout the history of furniture* 289-304  
*Alım Selin Mutdoğan, Gülçin Cankız Elibol*



### Properties of biocomposites produced with polypropylene and willow (*Salix babylonica* L.) wood/bark

Seyyed Khalil Hosseinihashemi<sup>1\*</sup> , Ayoub Eshghi<sup>1</sup> , Younes Shirmohammadli<sup>2</sup> 

#### Abstract

The present study investigates the influence of various components of wood-plastic composites (WPCs) namely wood (W), inner bark (IB), outer bark (OB), and their varied percentage mixture on the mechanical behaviour. To achieve this goal, willow W, IB and OB flours were used as reinforcements at different weight percentages (17%, 27%, and 40%) in combination with polypropylene (PP) at varying weight percentages (44%, 58%, and 64%) along with a 2% compatibilizer. These constituents were processed in a twin-screw extruder with each treatment having a distinct mass proportion of reinforcement to polypropylene. Subsequently, test samples were fabricated using an injection molding machine from the obtained pellets. The mechanical properties of the resulting biocomposites were evaluated in accordance with ASTM standards. It was observed that, the flexural and tensile characteristics of the WPCs improved by the increasing inner bark content. Based on the findings of this investigation, a formulation comprising 27% wood, 27% inner bark, 44% polypropylene and 2% compatibilizing agent (W/IB/PP/MAPP) can be recommended where high mechanical properties are required. However, the other reinforced biocomposites exhibited notably lower notched impact strength compared to pure polypropylene.

**Keywords:** Willow wood and bark, mechanical properties, biocomposites, polypropylene

### Polipropilen ve söğüt (*Salix babylonica* L.) odunu/kabuğu ile üretilen biyokompozitlerin özellikleri

#### Öz

Bu çalışmada, odun-plastik kompozitlerin OPK'lar çeşitli bileşenlerinin, yani odun (O), iç kabuk (İK), dış kabuğun (DK) ve bunların çeşitli yüzdelerdeki karışımlarının mekanik davranış üzerindeki etkisi araştırıldı. Bu amaç için, farklı ağırlık yüzdelerinde (17%, 27% ve 40%) söğüt O, İK ve DK unları, değişen ağırlık yüzdelerinde (44%, 58%, 40%) ve 64%, ayrıca 2%'lik bir bağdaştırıcı ve polipropilen (PP) ile kombinasyon halinde takviye olarak kullanıldı. Bu bileşenler çift vidalı bir ekstrüderde işlendi; her işlemde polipropilene göre farklı bir kütleli takviye oranı vardı. Daha sonra, elde edilen peletlerden bir enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılarak test numuneleri üretildi. Elde edilen biyokompozitlerin mekanik özellikleri ASTM standartlarına uygun olarak değerlendirildi. İç kabuk içeriğinin artmasıyla OPK'ların eğilme ve çekme özelliklerinin arttığı gözlemlendi. Bu araştırmanın bulgularına dayanarak, yüksek mekanik özelliklerin gerekli olduğu durumlarda 27% odun, 27% iç kabuk, 44% polipropilen ve 2% uyumlaştırıcı madde (O/İK/PP/MAPP) içeren bir formülasyon önerilebilir. Bununla birlikte, diğer güçlendirilmiş biyokompozitler, saf polipropilenle karşılaştırıldığında belirgin şekilde daha düşük çentikli darbe dayanımı sergiledi.

**Anahtar kelimeler:** Söğüt ağacı ve kabuğu, mekanik özellikler, biyokompozitler, polipropilen

Article history: Submitted: 03.11.2023 Accepted: 03.12.2023, Published: 29.12.2023, \*e-mail: hashemi@kiau.ac.ir

<sup>1</sup>Department of Wood Science and Paper Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

<sup>2</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, The University of Auckland, Auckland, New Zealand

To cite: Hosseinihashemi S.K., Eshghi A., Shirmohammadli Y., (2023), Properties of biocomposites produced with polypropylene and willow (*Salix babylonica* L.) wood/bark, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (2), 134-145, DOI: [10.33725/mamad.1382624](https://doi.org/10.33725/mamad.1382624)



## 1 Introduction

Thermoplastic composites benefit greatly from the inclusion of lignocellulosic materials, which offer several advantageous features such as cost-effectiveness, favourable mechanical properties, ease of machining and eco-friendliness (Kaboarani et al., 2021). Bark stands out as one of the most abundant resources at worldwide among the various lignocellulosic materials. It is usually used as fuel in ovens or landfill. The bark content can be variable between 5 to 28% in a tree (Nyikosov, 1985; Kolozs, 2000; Guidi et al., 2008). The tree's bark protects it from insect damage, weather conditions and fungal infections, and it also has an important role in protecting wood against fire. Bark decomposes at a slower rate than wood because of its low nitrogen content in natural settings (Bersenev, 1975).

The innermost layer of the middle lamella in the bark primarily consists of pectin which makes it more prone to microbial degradation compared to the lignified fibers (Ek et al., 2009). In the case of willow, the outer bark is predominantly composed of aged phloem tissues (Panshin and de Zeeuw, 1980) and is relatively thin in younger trees. The sclerenchyma fibers of willow present significantly greater stiffness and strength compared to the standard pulp fibers derived from both hardwood and softwood (Dou et al., 2016). The bark of willow trees, which includes various species within the *Salix* genus, has been utilized as an indicator of air pollution in urban areas due to its tendency to accumulate heavy metals (Sawidis et al., 2011). In addition to its environmental monitoring capabilities, the bark of willow trees has historically been valued for its robust fibers which were extracted and employed in ancient times for the production of ropes and fishing nets (Bick, 2012). The amount of cellulose as an organic compound in the phloem and outer bark is determined to be relatively low while its amount reaches 40 to 50% in the wood, 18 to 25% in the phloem and only 3 to 17% in the outer bark (Ugolev, 1986). Han and Shin (2014) also compared the organic materials of the bark and wood of *Salix caprea*.

The chemical analysis of the willow bark and wood fibers shows a similar composition (Doczekalska et al., 2014; Oktaee et al., 2017) (Table 1). Muñoz et al. (2013) reported that the bark fibers of *Eucalyptus nitens* could be successfully used as a reinforcement for thermoplastic composites. The influence of pine and larch bark on the properties of polyethylene (PE) was studied by Rudenko (2010). The best combination was found in the composites with 80% PE and 20% bark. The modulus of rupture, the density, the thickness swelling and the water absorption were 41 MPa, 960 kg/m<sup>3</sup>, 2% and 0.1%, respectively.

**Table 1.** Chemical compound of wood (willow) and bast fiber of bark (Doczekalska et al., 2014; Oktaee et al., 2017)

Substances soluble in	Ethanol-benzene mixture (%)	Cold water (%)	Hot water (%)	1% NaOH (%)
Willow wood	7.2	5.2	5.4	26.3
Fiber species	Cellulose (%)	Lignin (%)	Pentosans (%)	-
Willow wood	43.9	24.3	18.4	-
Fiber species	Cellulose (%)	Lignin (%)	Ash (%)	Hemicellulose (%)
Willow wood	44.8	24.3	0.7	34.5
Willow bark	44	25.8	3.3	30.8

Willow is a hardwood with low density characterized by a relatively uniform structure which can be used in the production of panels such as mixed hardwood oriented strand board (OSB) (Han et al., 2006). In this study, the bark fibers of willow were subjected to grinding and sieving processes to obtain two types of fillers which were a soft partition filler with inferior performance and a hard partition filler with superior performance. However, it is still unknown whether the enhanced performance observed with the hard partition filler would translate into other applications such as the manufacturing of wood-plastic composites (WPCs). It is crucial to consider the impact of bark contamination on the wood supplies utilized in WPC production alongside promoting improved biomass utilization by creating markets for bark (Harper and Eberhardt, 2010). The incorporation of bark in WPCs generally leads to reduced strength compared to composites composed solely of wood (Muszynski and McNatt, 1984; Blanchet et al., 2000; Makarychev, 2015). Furthermore, it has been demonstrated that the inclusion of tree bark as a filler in thermoplastics enhances thermal conductivity while composites thermal diffusivity remains unchanged (Makarychev, 2015). The inner and outer bark fibers have the potential for reinforcing thermoplastic composites. Previous studies reported that the use of bark without wood decreased the mechanical properties of thermoplastic composites. However, the objective of the study was to use willow inner and outer bark fibers combined with willow wood fiber and to characterize their properties for use in biocomposites used in outdoor applications such as decking, siding and fencing.

## 2 Material and Method

### 2.1 Material

Three fresh logs with a diameter of 1 m at breast height from the willow tree (*Salix babylonica* L.) were obtained from Saqqez joineries in Kordestan province located in the west of Iran. Saqqez was situated on the banks of the Saqqez River on the Zagros. The inner and outer of the wood bark were separated manually with a scalpel and stored at 20 °C until their use. The willow's wood and bark were meticulously sliced into tiny fragments and processed using a laboratory-grade electric rotary mill to obtain flours from the wood (W), inner bark (IB) and outer bark (OB). These flours were sieved to achieve a particle size ranging between 40 and 60 mesh. Willow wood and bark flours were dried in an oven at  $65 \pm 2$  °C until they reached a constant weight before preparation of composite specimens.

**Table 2.** Compositions of the WPC formulations

Biocomposite code	Wood flour (wt %)	Inner bark flour (wt %)	Outer bark flour (wt %)	PP (wt %)	(MAPP) (wt %)
17%OB17%IB64%PP	0	17	17	64	2
17%W17%OB64%PP	17	0	17	64	2
17%W17%IB64%PP	17	17	0	64	2
40%OB58%PP	0	0	40	58	2
40%IB58%PP	0	40	0	58	2
40%W58%PP	40	0	0	58	2
27%W27%OB44%PP	27	0	27	44	2
27%W27%IB44%PP	27	27	0	44	2
27%OB27%IB44%PP	0	27	27	44	2
Neat PP	0	0	0	100	0

Homopolymer polypropylene (PP) was procured with a trade name of P10800 from Arak Petrochemical Company in Iran. The melt flow rate of the PP material ranged from 7 to 10 g per 10 min at a temperature of 190 °C. Maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) was utilized with the trade name Aldrich 427845 to serve as a coupling agent. The compositions of polypropylene, MAPP, inner bark (IB), outer bark (OB) and wood (W) were varied according to the specified proportions outlined in Table 2. Table 2 was assessed using a complete randomized block design. Mechanical property testing was carried out with three replicates for each formulation.

## **2.2 Preparation of biocomposites**

The constituents of each biocomposite sample including PP, MAPP, W, IB and OB were preliminarily mixed based on the proportions specified in Table 2. The homogeneous compounds were subsequently blended using a counter-rotating extruder with twin screws (Known as Dr. Collin System) operating at a speed of 70 rpm and a temperature range of 155-190 °C. Then, the resulting mixture was extracted from the mixing bowl, subjected to a cooling process in water and granulated pellets. Before the injection molding, the pellets were dried at a temperature of 85 °C for 24 hours. Finally, the dried pellets were placed in injection molding using an injection molding machine (Imen Machine Co., Iran) at temperatures ranging from 160 to 180 °C and a pressure of 10 MPa.

## **2.3 Mechanical testing**

Before mechanical testing, all biocomposite samples were stored at a controlled temperature of 23 °C and 50% RH. Flexural testing that involves the determination of flexural strength and modulus, was performed using an Instron 1186 universal testing machine by ASTM test method D-790. The speed of the machine's crosshead was set at 5 mm/min and the dimension of the flexural test specimens was 105 × 10 × 4 mm.

The tensile properties of the composites were evaluated using an Instron-1186 testing machine following the ASTM D-638 standard. The dimensions of the tensile test specimens were 145 × 10 × 4 mm.

Notched Izod impact testing was conducted using a Santam machine by ASTM D-256 standard. The dimensions of the specimen used for the notched Izod impact test were 60 × 12 × 6 mm.

## **2.4 Statistical analysis**

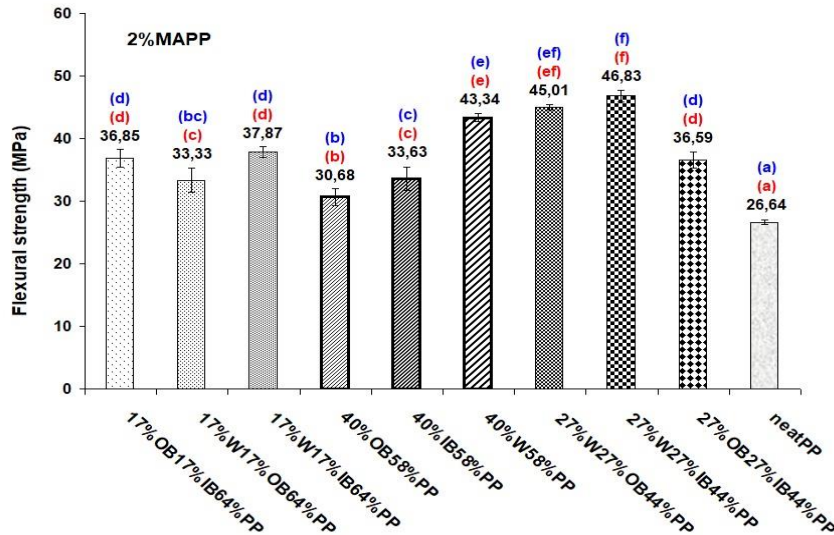
Statistical analysis was conducted by utilizing analysis of variance (ANOVA) with the assistance of SPSS software. The variance of the 10 different formulation designs presented in Comparison of property means was conducted by using Duncan's new multiple range test at confidence levels of 99% and 95% as depicted in Figures 1, 2, 3, 4 and 5.

## **3 Results and discussion**

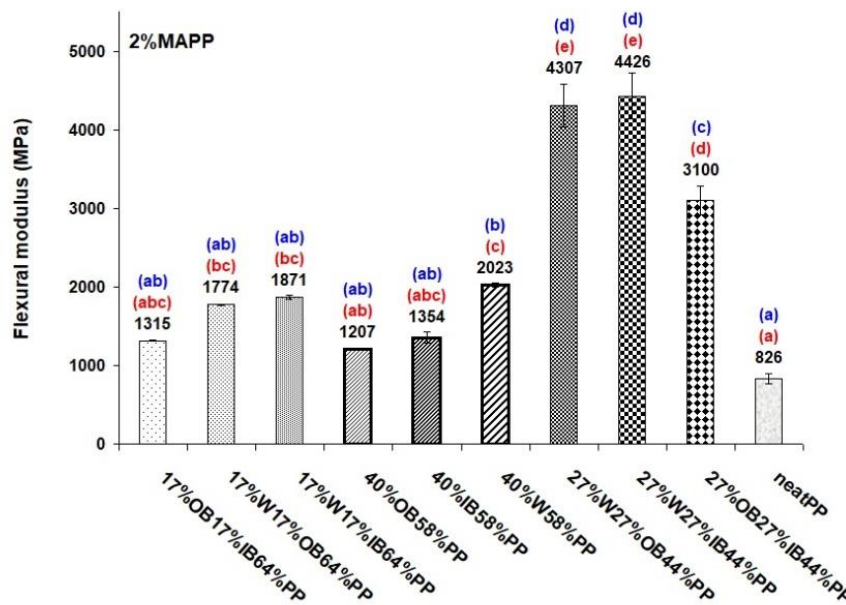
### **3.1 Flexural modulus and flexural strength**

The flexural modulus and strength values of the biocomposites ranged from 30.68 MPa to 46.83 MPa and 1207 MPa to 4426 Mpa, respectively (Figures 1 and 2). The biocomposites OB/PP exhibited the lowest flexural strength and flexural modulus. The 40% OB content presented the lowest flexural strength and was significantly varied from the treatments having lower OB content amongst the bark/PP conditions. The flexural strength and flexural modulus characteristics increase significantly by decreasing the OB content from 40% to 27% and

17%. The ideal composition for enhancing flexural and modulus strength was identified as 27% W, 27% IB and 44% PP within the IB/PP biocomposites. Also, the values for IB/PP were varied from those for neat PP. Thus, the IB acted more as a biocomposite filler rather than as a reinforcing agent. Hosseinihashemi et al. (2017) and Yemele et al. (2010) found the same trends also.



**Figure 1.** Mean values of flexural strength of the IB/PP, OB/PP, W/PP, IB/OB/PP, IB/W/PP, OB/W/PP, IB/OB/W/PP and neat PP composites. Multiple range tests of Duncan (in parentheses) reveal distinct alphabetical designations signifying significant differences among various treatments (composites). Red colour means at a 95% confidence level and blue colour means at a 99% confidence level.



**Figure 2.** Mean values of flexural modulus of the IB/PP, OB/PP, W/PP, IB/OB/PP, IB/W/PP, OB/W/PP, IB/OB/W/PP and neat PP composites. Multiple range tests of Duncan that are indicated within parentheses demonstrate varying alphabetical designations highlighting significant differences among different treatments (composites). Red colour means at a 95% confidence level and blue colour means at a 99% confidence level.

The variation in flexural strength can be attributed to different factors in the polypropylene (PP) matrix because of the presence of inner bark (IB) and outer bark (OB). These factors include the length and fine content of IB and the aspect ratio (length/width) of IB and OB within the PP matrix which are observed to account for the high and low effects (Migneault et al., 2009; Dou, 2015). The lower inherent strength of fibers of bark (Yemele et al., 2010) reduced cellulose (polysaccharide) content in bark fillers compared to wood (Harper and Eberhardt, 2010) and the occurrence of delamination between fines and PP (Safdari et al., 2011; Hosseinihashemi et al., 2017) are also contributing factors. Moreover, the higher concentration of extractives in the outer bark may result in a weakened surface layer thereby diminishing the effectiveness of the coupling agent in creating cross-linking networks with cellulose (Saputra et al., 2004).

When the bark flour was blended with wood flour, the flexural modulus increased compared to the biocomposites that contained only OB. The flexural modulus strength recovered by increasing the outer bark flour content in all of the combinations. For instance, the flexural strengths did not show a significant difference with composites made of W/PP (17% WF + 17% IB + 64% PP) and (17% OB + 17% IB + 64% PP) in the composite made of W/OB/PP such as 27% OB + 27% W + 44% PP. This can be attributed to the high mechanical properties of wood. The amount of cellulose in wood is higher than in bark. As known, cellulose in wood significantly affects the mechanical properties. As the cellulose content in the bark is lower than wood, the flexural properties of the biocomposites were lower than those of the biocomposites containing wood flour. The lower quantity of fiber in the composites was offset by its superior quality and it leads to no noticeable distinctions between the two biocomposites. The biocomposites consisting of 40% W and 58% PP exhibited favourable flexural strength as observed in the results. Notably, these biocomposites demonstrated a significant difference in flexural strength compared to all other treatment groups. In contrast, the biocomposites composed of 40% OB and 58% PP displayed lower flexural strength compared to treatments with lower wood or wood/outer bark content despite containing a lower proportion of OB, This observation suggests that fiber content alone cannot be solely attributed as the determining factor in enhancing flexural strength. Other factors such as the morphological and chemical characteristics of the fibers should be taken into consideration to understand the variations in flexural strength as well as the intrinsic strength of the fibers.

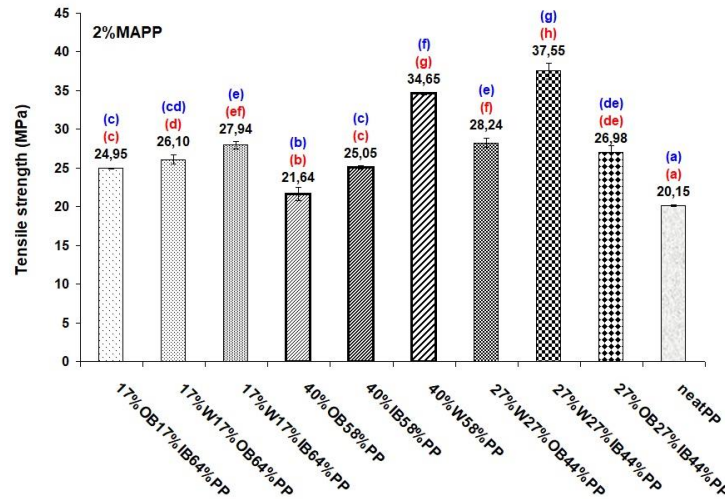
### **3.2 Tensile strength and tensile modulus**

The tensile strength and modulus spanned from 21.64 MPa to 37.55 MP and 1740 MPa to 4653 MPa in reinforced biocomposites, respectively (Figures 3 and 4). The tensile strength of those biocomposites made of OB/PP was found to be lower than other biocomposites. The biocomposites produced from W/IB/PP and W/PP showed the highest tensile strength and modulus values among all other compositions, respectively. The biocomposites having more than 17% IB (i.e. 27% IB) and about 40% W were significantly different from each other. The ideal composition for enhancing tensile strength modulus was 27% IB and 40% W among the IB/PP and W/PP biocomposites.

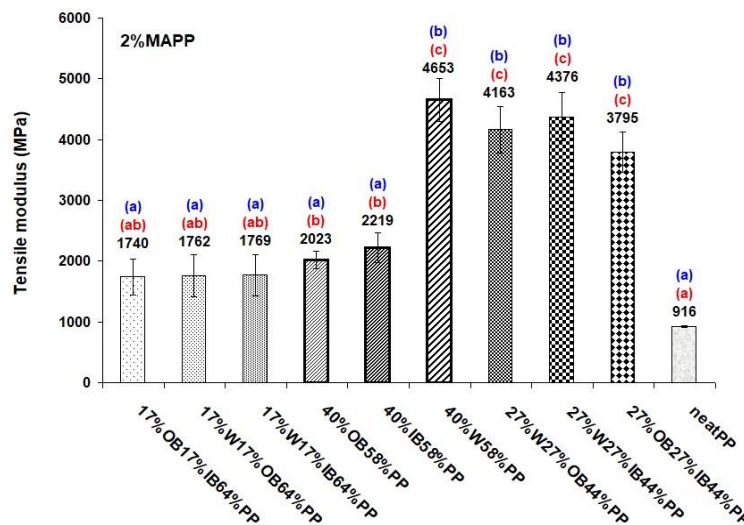
Previous research has indicated a positive correlation between the cellulose content of a fiber and its tensile strength (Pickering et al., 2016; Väisänen et al., 2016). However, the relatively low mechanical strength observed specifically in the biocomposite consisting solely of outer bark (OB) and the combination of wood (W) and outer bark (W + OB) suggests the presence of interactions between the bark extractives and the matrix. The elevated levels of



extractives and minerals present in the fractionated bark tissues posed challenges during the extrusion processing stage. These extractives may be engaging with the polypropylene (PP) matrix potentially leading to alterations in rheological properties. However, further investigation is necessary to confirm this hypothesis.



**Figure 3.** Mean values of tensile strength of the IB/PP, OB/PP, W/PP, IB/OB/PP, IB/W/PP, OB/W/PP, IB/OB/W/PP and neat PP composites. Multiple range tests of Duncan presented in parentheses signify distinct alphabetical designations that indicate significant disparities among various treatments (composites). Red colour means at a 95% confidence level and blue colour means at a 99% confidence level.



**Figure 4.** Mean values of tensile modulus of the IB/PP, OB/PP, W/PP, IB/OB/PP, IB/W/PP, OB/W/PP, IB/OB/W/PP and neat PP composites. Multiple range tests of Duncan presented in parentheses signify distinct alphabetical designations that indicates significant disparities among various treatments (composites). Red colour means at a 95% confidence level and blue colour means at a 99% confidence level.

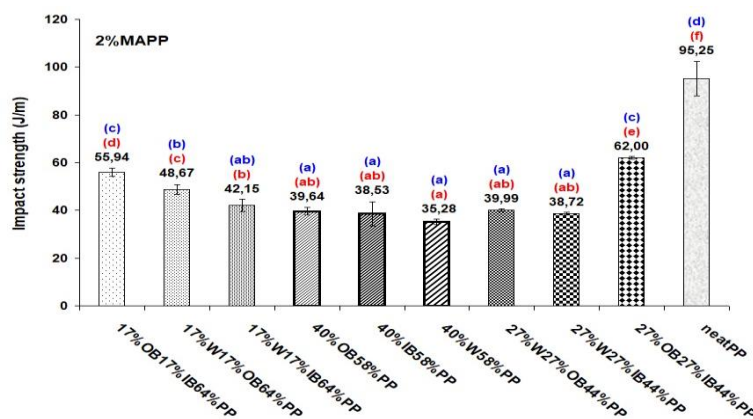
In the current study, it was observed that bark flour exhibited better dispersion within a polymer matrix compared to wood flour. However, this improved dispersion did not yield any mechanical advantages (Harper and Eberhardt, 2010). The inferior performance of OB can be attributed to several factors in comparison to IB and wood. These include the low slenderness

ratio of OB fibers (Stark and Berger, 1997), inadequate dispersion of fine fibers within the plastic matrix leading to stress concentration (Gamstedt et al., 2007) and lower intrinsic strength of outer bark fibers compared to IB and wood fibers. Some researchers have reported poor adhesion between the outer bark fibers and the coupling agent which could be another reason contributing to lower tensile strength (Bouafif et al., 2008; Bouafif et al., 2009).

The tensile strength and moduli of the biocomposites increased with higher W and IB contents. Generally, the length and aspect ratio of willow inner bark fibers were found to be approximately twice as high as those of willow wood fibers although variations were observed among different willow species. The increased fiber length positively impacted the bending properties of the biocomposites. The composition consisting of 27% W, 27% IB and 44% PP exhibited a higher flour content compared to the composition of 17% W, 17% IB and 64% PP. Nevertheless, the notable presence of IB in the initial composition led to a significantly higher tensile strength. This highlights the fact that the impact of fiber content on mechanical properties relies heavily on the inherent strength and dimensions of the fibers. These results are consistent with earlier studies suggesting that augmenting particle size or slenderness ratio tends to improve both flexural and tensile modulus as well as strength (Stark and Berger, 1997; Stark and Rowlands, 2003).

### 3.3 Impact resistance

The obtained impact strength values ranged from 35.28 J.m<sup>-1</sup> to 62.00 J.m<sup>-1</sup> as illustrated in Figure 5. Interestingly, the impact strength results contradicted the findings for other mechanical properties such as flexural strength, flexural modulus, tensile strength and tensile modulus. Biocomposite compositions containing 27% OB, 27% IB and 44% PP as well as compositions with lower flour content and higher polypropylene content (64% PP) exhibited higher impact strength. This observation can primarily be contributed to the lack of compatibility among the phases and the presence of stress concentration regions resulting from the inclusion of bio-resource fibers. These regions are prone to crack initiation with lower energy requirements in the samples (Rowell et al., 1997). The introduction of fillers led to a reduction in energy absorption by the biocomposites, consequently resulting in decreased impact resistance. As a result, the biocomposites reinforced with lignocellulosic materials demonstrated increased brittleness and lower notched impact strength.



**Figure 5.** Mean values of impact strength of the IB/PP, OB/PP, W/PP, IB/OB/PP, IB/W/PP, OB/W/PP, IB/OB/W/PP and neat PP composites. Multiple range tests of Duncan indicated within parentheses denote distinct alphabetical designations underscoring significant disparities among various treatments (composites). Red colour means at a 95% confidence level and blue colour means at a 99% confidence level.

#### 4 Conclusions

- The findings of this study demonstrated that the incorporation of IB and W significantly enhanced the mechanical properties including flexural strength, flexural modulus, tensile strength and tensile modulus when they were compared to neat PP. However, an inverse relationship was observed between the content of IB and W and the notched impact strength of the biocomposites. Despite the overall improvement in mechanical strength, the impact of W was substantial on the mechanical properties, yet not as prominent. Conversely, the addition of IB to the biocomposites significantly restored the mechanical characteristics. In contrast, biocomposites containing OB exhibited inferior mechanical properties compared to those incorporating W and IB. This disparity could be attributed to the distinct chemical composition between bark and wood as well as the low slenderness ratio of OB which impeded proper dispersion. Additionally, the lower strength of bark fibers contributed to this distinction compared to wood fibers.
- The fiber content effect on the mechanical strength exhibited a positive trend for biocomposites composed of W/IB/PP and W/PP while it had a negative impact on biocomposites consisting of OB/PP. Thus, the influence of fiber content on the mechanical properties is contingent upon the inherent characteristics of the fibers. Alone, OB and IB did not adequately reinforce the polypropylene composite, but more favourable outcomes were achieved when combined with W or blended together. The observed negative relation between notched impact strength and biocomposites reinforced with W and IB aligns with the behaviour typically observed in other lignocellulosic materials. This can be attributed to the increased brittleness of the polypropylene caused by the inclusion of lignocellulosic fillers resulting in a reduced energy requirement for crack initiation in the samples.

#### Acknowledgments

The authors are thankful for the support received from 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. **Ayoub Eshghi:** Conducting the laboratory work, taking the measurement data. **Younes Shirmohammadi:** Writing, original draft, reduce similarity rate, and editing.

#### Funding statement

No financial support was received for the study.

#### Conflict of interest

We confirm that there is no conflict of interest.

#### References

- Bersenev RS, (1975), Использование коры на удобрения (The use of bark for fertilizer), *Derevoobrabatyvayushhaya Promyshlennost*, 12(27).
- Bick A, (2012) Die Steinzeit (Thesis WissenKompakt) [The Stone Age (Thesis Knowledge Compact)], Thesis, Stuttgart, Germany.
- Blanchet P, Cloutier A, Riedl B, (2000), Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues, *Wood Science and Technology*, 34(1):11-19. DOI: [10.1007/s002260050003](https://doi.org/10.1007/s002260050003)

- Bouafif H, Koubaa A, Perre P, Cloutier A, (2009), Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(12):1975-1981. DOI: [10.1016/j.compositesa.2009.06.003](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.06.003)
- Bouafif H, Koubaa A, Perre P, Cloutier A, Riedl B, (2008), Analysis of among-species variability in wood fiber surface using DRIFTS and XPS: Effects on esterification efficiency, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 28(4):296-315. DOI: [10.1080/02773810802485139](https://doi.org/10.1080/02773810802485139)
- Doczekalska B, Bartkowiak M, Zakrzewski R, (2014), Esterification of willow wood with cyclic acid anhydride, *Wood Research*, 59(1):85-96.
- Dou J, Galvis L, Holopainen-Mantila U, Reza M, Tamminen T, Vuorinen T, (2016), Morphology and overall chemical characterization of willow (*Salix* sp.) inner bark and wood: Toward controlled deconstruction of willow biomass, *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(7):3871-3876. DOI: [10.1021/acssuschemeng.6b00641](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00641)
- Dou J, (2015), Willow inner bark as a potential source of fibers and chemicals. Master's thesis for the degree of Master of Science in Technology submitted for inspection, Espoo.
- Ek M, Gellerstedt G, Henriksson G, (2009), *Pulp and Paper Chemistry and Technology: Volume 1. Wood Chemistry and Wood Biotechnology*, De Gruyter, Berlin, Germany.
- Gamstedt KE, Nygard P, Lindström M, (2007), Transfer of knowledge from papermaking to manufacture of composite materials, In: Proceeding of 3rd symposium international sur les composites bois polymères, Bordeaux, France.
- Guidi W, Piccioni E, Ginanni M, Bonari E, (2008), Bark content estimation in poplar (*Populus deltoids* L.) short-rotation coppice in central Italy, *Biomass and Bioenergy*, 32(6):518-524. DOI: [10.1016/j.biombioe.2007.11.012](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.11.012)
- Han G, Wu Q, Lu JZ, (2006), Selected properties of wood strand and oriented strand board from small-diameter southern pine trees, *Wood and Fiber Science*, 38(4):621-632.
- Han S-H, Shin S-J, (2014), Investigation of solid energy potential of wood and bark obtained from four clones of a 2-year old goat willow, *Frontiers in Energy Research*, 2:5. DOI: [10.3389/fenrg.2014.00005](https://doi.org/10.3389/fenrg.2014.00005)
- Harper DP, Eberhardt TL, (2010), Evaluation of micron-sized wood and bark particles as filler in thermoplastic composites, In: 10th international conference on wood & biofiber plastic composites, Madison, WI.
- Hosseinihashemi SK, Shamspour M-H, Safdari V, Pourmousa S, Ayrilmis N, (2017), The influences of poplar inner and outer bark content on mechanical properties of wood/polypropylene composites, *Journal of the Chilean Chemical Society*, 62(1):3365-3369. DOI: [10.4067/S0717-97072017000100012](https://doi.org/10.4067/S0717-97072017000100012)
- Kaboorani A, Gray N, Hamzeh Y, Abdulkhani A, Shirmohammadli Y, (2021), Tailoring the low-density polyethylene-thermoplastic starch composites using cellulose nanocrystals and compatibilizer, *Polymer Testing*, 93:107007. DOI: [10.1016/j.polymertesting.2020.107007](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107007)
- Makarychev SV, (2015), Thermophysical properties of thermoplastics made on the basis of wood wastes, *Altai State Agricultural University Bulletin*, 6(128):139-142.

- Migneault S, Koubaa A, Erchiqui F, Chaala A, Englund K, Wolcott MP, (2009), Effects of processing method and fiber size on the structure and properties of wood-plastic composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(91), 80-85, DOI: [10.1016/j.compositesa.2008.10.004](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.10.004)
- Muñoz F, Ballerini A, Gacitúa W, (2013), Variability of physical, morphological and thermal properties of *Eucalyptus nitens* bark fiber, *MaderasCiencia y Tecnología*, 15(1),17-30.
- Muszynski Z, McNatt JD, (1984), Investigations on the use of spruce bark in the manufacture of particleboard in Poland, *Forest Product Journal*, 34(1):28-35.
- Nyikosov VD, (1985), Komplexnoliszpolzovaniedreveszini, Lesznejapramislenoszty, Moszkva, 264 pp.
- Oktaee J, Lautenschläger T, Günther M, Neinhuis C, Wagenführ A, Lindner M, Winkler A, (2017), Characterization of willow bast fibers (*Salix* spp.) from short-rotation plantation as potential reinforcement for polymer composites, *BioResources*, 12(2):4270-4282. DOI: [10.15376/biores.12.2.4270-4282](https://doi.org/10.15376/biores.12.2.4270-4282)
- Panshin AJ, de Zeeuw C, (1980), Textbook of Wood Technology: Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada, Volume 1, McGraw-Hill, New York, USA.
- Pickering KL, AruanEfendy MG, Le TM, (2016), A review of recent developments in natural fiber composites and their mechanical performance, *Composites Part A: Applied Science and manufacturing*, 83:98-112.
- Rowell RM, Sanadi AR, Caulfield DF, Jacobson E, (1997), Utilization of natural fibers in plastic composites: Problems and opportunities, In: Leão, A. L.; Carvalho, F. X.; Frollini, E. (eds.), Lignocellulosic-Plastic Composites, São Paulo, USP & UNESP, 23-51.
- Rudenko BD, (2010), Influence of structure on formation of properties of plates from the bark and secondary polyethylene, *Moscow State Forest University Bulletin — LesnoyVestnik*, 4:151-154.
- Safdari V, Khodadadi H, Hosseinihashemi SK, Ganjian E, (2011), The effects of poplar bark and wood content on the mechanical properties of wood-polypropylene composites, *BioResources*, 6(4):5180-5192. DOI: [10.15376/biores.6.4.5180-5192](https://doi.org/10.15376/biores.6.4.5180-5192)
- Saputra H, Simonsen J, Li K, (2004), Effect of extractives on the flexural properties of wood/plastic composites, *Composite Interfaces*, 11(7):515-524. DOI: [10.1163/1568554042722964](https://doi.org/10.1163/1568554042722964)
- Sawidis T, Breuste J, Mitrovic M, Pavlovic P, Tsigaridas K, (2011), Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities, *Environmental Pollution*, 159:3560-3570. DOI: [10.1016/j.envpol.2011.08.008](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.008)
- Sopp L, Kolozs L, (2000), Cubage tables of trees, ÁllamiErdészetiSzolgálat, Budapest, Hungary, pp. 24-29.
- Stark NM, Berger MJ, (1997), Effect of particle size on properties of wood-flour reinforced composites, 4th International Conference of Woodfiber-plastic Composites, Madison, Wisconsin.



- Stark NM, Rowlands RE, (2003), Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites, *Journal of Wood Fiber and Science*, 35(2):167-174.
- Ugolev BN, (1986), Wood science with the basics of forest products, 2nd Revised Edition, Lesnajakpromyshlennost, Moscow, Russia.
- Väisänen T, Haapala A, Lappalainen R, Tomppo L, (2016), Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites: A review, *Waste Management*, 54:62-73. DOI: [10.1016/j.wasman.2016.04.037](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.037)
- Yemele MCN, Koubaa A, Cloutier A, Soulounganga P, Wolcott M, (2010), Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(1):131-137. DOI: [10.1016/j.compositesa.2009.06.005](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2009.06.005)



### Mobilya endüstrisinde dögüsel ekonomiye geçiş: değerlendirme yaklaşımı

Habibe Şenkal<sup>1\*</sup> 

#### Öz

Dögüsel ekonomi (DE), malzeme ve ürünlerin çeşitli stratejilerle kullanım ömrünü uzatan bir üretim ve tüketim modelidir. Lineer ekonomi (LE) gibi mevcut ekonomi modellerinin artan çevre sorunlarıyla yeniden sorgulanması sonucu DE'ye geçiş farklı disiplinlerde ele alınmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, mobilya endüstrisinde DE'ye geçiş için atılması gereken adımlar ve uygulanması gereken kriterler araştırılmıştır. Çalışma, LE ve DE'nin benimsediği temel ilke ve özelliklerin tanımlanmasına, DE ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişki üzerinden DE'nin önemi ve faydalarının sunulmasına, gelişen dögüsel iş modellerinin araştırılmasına, mobilya endüstrisinde DE'ye geçiş stratejileri, bu geçiş önündeki engeller ve sunduğu fırsatlara odaklanılmıştır. Çalışma kapsamında, mobilya endüstrisindeki firmaların DE'ye geçiş sürecine hazır olup olmadığının tespiti için değerlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, mobilya firmalarının tasarım süreci, üretim ve tedarik süreci, atık yönetimi ve iş modeli olmak üzere dört başlığa ayrılmış kriterler üzerinden değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Yaklaşım, Türkiye'nin önde gelen bir ofis mobilyası firmasıyla yapılan çeşitli görüşmelerle elde edilen bulguların, 8 katılımcı tarafından değerlendirilmesiyle test edilmiştir. Sonuçlar, firma çalışmalarının DE ile büyük oranda örtüştüğünü göstermektedir. Çalışmanın mobilya endüstrisindeki firmalara mevcut durumunun tespiti ve DE'ye geçiş sürecinde destek olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Dögüsel ekonomi, Dögüsel iş modelleri, Mobilya endüstrisi, Sürdürülebilirlik

### Towards the circular economy in furniture industry: evaluation approach

#### Abstract

Circular economy (CE) is a production and consumption model extends the useful life of existing materials and products with various strategies. As a result of increasing environmental problems and the re-questioning of existing economic models such as linear economy (LE) the transition to CE has begun to be discussed in a different discipline. In this study, the steps to be taken and the criteria to be applied for the transition to CE are researched in the furniture industry. The study focuses on LE and CE to be defined their basic principles and features, presenting the importance and benefits of CE by revealing the relation between CE and sustainability, researching improving circular business models, strategies for the transition of the furniture industry to CE, barriers to this transition and opportunities it offers. The study proposes an evaluation approach to determine whether companies in the furniture industry are ready to transition to CE. The proposed approach allows evaluation of the companies according to four main criteria: design process, production and supply process, waste management and business model. The approach was tested by evaluating the findings obtained from various interviews with a leading office furniture company in Turkey by 8 participants. The results show that the firm's work largely overlaps with CE. It is thought that the study will support the determination of the current status of the companies in the furniture industry and their transition to CE.

**Keywords:** Circular economy, Circular business models, Furniture industry, Sustainability.

## 1 Giriş

Sanayi devrimi ile hayatımıza giren makine bazlı üretim yöntemleri, teknolojik gelişmelerle birlikte “dijital devrim”, “dijitalleşme çağı”, "IV. Sanayi Devrimi" veya "Endüstri 4.0" olarak anılan yeni bir çağı oluşturmuştur (Oxman, 2006). Bu çağla birlikte düşünme, tasarlama, üretme ve tüketme biçimlerinde değişimler yaşanmıştır. Makine ile üretim hacminin artması, insanın kazanmasını sağlarken çevrenin kaybetmesine neden olan "daha fazla üret" ilkesinin oluşmasına, daha fazla tüketimi ve israfı teşvik eden yeni pazarlama yöntemlerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Ürünlerine alıcı bulmak için daha çok tüketip, tükettiklerini çöpe atmayı teşvik eden ve "al-yap-kullan-at" olarak adlandırılan bu ilke, lineer ekonomi (LE) modelinin temelini oluşturmaktadır (MacArthur, 2013:14). Bu modelde ham madde çeşitli işlemlerden geçirilerek ürüne dönüştürülmekte, ürün tüketicinin kullanımına sunulmakta ve tüketim ömrü sonuna gelen ürün atık haline gelmektedir (Şekil 1). Bu durum, LE modeli ile sürdürülebilir üretim ve tüketim ilkelerinin etkin bir şekilde birlikte kullanmasını engellemektedir. LE modeli, artan sera gazı emisyonu ve ekolojik ayak izi, plansız tüketimi yapılan doğal kaynaklar ve ham madde tüketimleri, buna bağlı olarak ekolojik dengenin bozulması ve biyoçeşitlilik kaybı başta olmak üzere iklim ve çevre sorunları üzerindeki olumsuz etkisi son yılların tartışma konusu olmaktadır (Acharya ve ark., 2018; Koszewska ve Bielecki, 2020).

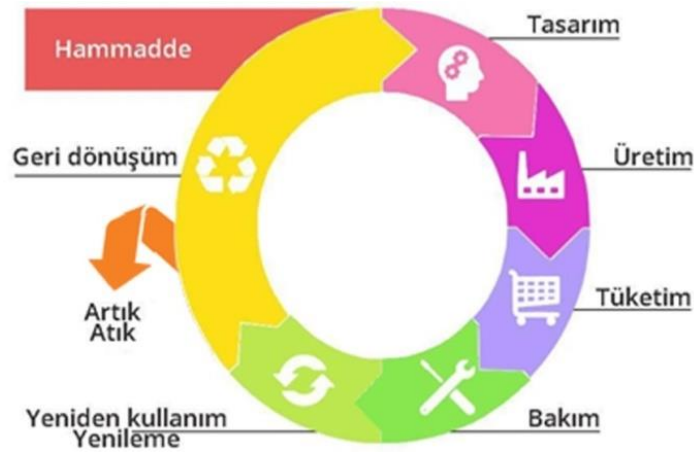


Şekil 1. Lineer ekonomi iş akışı.

Tüm dünya ekonomilerini etkisi altına alan 2008 mali krizinin sonunda, ham madde ihtiyacını azaltan, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını dikkate alan, kaynak verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımına dayalı sürdürülebilir bir ekonomik model olan döngüsel ekonomi önem kazanmıştır (Ghisellini ve ark., 2021). Döngüsel ekonomi (DE) mevcut kaynak, malzeme ve ürünlerin değerinin mümkün olduğunca uzun süre paylaşılması, kiralanması, yeniden kullanılması, onarılması, yenilenmesi ve geri dönüştürülmesi ile ekonomide tutulmasını içeren bir üretim ve tüketim modelidir (Şekil 2) (Koszewska ve Bielecki, 2020:1689). Bu model, onarıcı bir endüstriyel ekonomiye, yenilenebilir enerjiye geçişe, toksik kimyasalların kullanımının azaltılmasına ve israfın önlenmesine dayanmaktadır. Ana hedefleri, doğal sermayeyi korumak ve geliştirmek, kaynak verimliliğini optimize etmek ve sistem verimliliğini sürdürmektir (European Commission, 2015). Bu sebeple, LE modeli yerine sıfır atık ve kaynak verimliliği prensibine dayanan ve dönüşümün teşvik edildiği DE modelinin kullanımı önerilmektedir. DE modeline geçişe yönelik çeşitli protokoller oluşturulmakta, çalışmalar yürütülmektedir (European Comission, 2011; 2015; 2019; Ticaret Bakanlığı, 2021). Türkiye'nin 2021 yılında "Paris İklim Anlaşması" ile tarafı olduğu "Avrupa Yeşil Mutabakatı" yürütülen çalışmalardan biri olup DE kavramının farklı disiplinlerde yaygınlaşmasını, yeni iş modellerinin oluşmasını sağlamış ve bu alanda yeni araştırma olanakları sunmuştur.

Mevcut gelişmeler DE'nin her endüstri için kaçınılmaz bir zorunluluk olduğunu göstermektedir. DE, her endüstri için benzer temel ilkeleri içermektedir. Fakat her endüstrinin kendine özgü yanları, farklılaşan yaklaşımları ve iş modelleri olduğundan endüstrilerin bireysel olarak incelenmesi gerektiği söylenebilir. Bu çalışmada, döngüsel ekonomiye geçiş

için atılması gereken adımlar mobilya endüstrisi üzerinden araştırılmaktadır. Çalışma, (I) LE ve DE'nin benimsediği temel ilke ve özelliklerin tanımlanmasına, (II) DE ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişki üzerinden DE'nin önemi ve faydalarının sunulmasına, (III) gelişen döngüsel iş modellerinin araştırılmasına, (IV) mobilya endüstrisinde DE'ye geçiş stratejileri, bu geçiş önündeki engeller ve sunduğu fırsatlara odaklanılmaktadır. Çalışma kapsamında, mobilya endüstrisindeki firmaların döngüsel ekonomiye geçiş sürecine hazır olup olmadığının tespiti için bir değerlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşım, mobilya firmalarının tasarım süreci, üretim ve tedarik süreci, atık yönetimi ve iş modeli olmak üzere dört başlığa ayrılmış kriterler üzerinden değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Yaklaşım, Türkiye'nin önde gelen bir ofis mobilyası firmasıyla yapılan çeşitli görüşmelerle elde edilen bulguların, 8 katılımcı tarafından değerlendirilmesiyle test edilmiştir. Test aşamasında, katılımcılar ile Türk ofis mobilya firmasıyla ilgili elde edilen veriler paylaşılmıştır. Katılımcılar, önerilen yaklaşım ile sunulan kriterlere göre Likert ölçeğinde (Cramer ve Howitt, 2004:89) değerlendirme yapmıştır. Bu çalışmanın, son birkaç yılda artan bir ivmeyle yaygınlaşan DE çalışmalarına ve ülkemizde yürütülecek çalışmalara katkı sağlayacağı, mobilya endüstrisindeki firmalara mevcut durumlarını tespit etmekte ve DE'ye geçiş süreçlerinde destek olacağı, bu endüstride karşılaşılan sorunların ve mevcut fırsatların farklı endüstriler için referans olma potansiyelleri içerdiği düşünülmektedir.



Şekil 2. Döngüsel ekonomi iş akışı.

## 1.1 Çalışmanın arka planı

“European Furniture Industry Confederation” (EFIC) yayınladığı yıllık raporlarda “DE ilişkin en iyi uygulamaların EFIC koleksiyonu” başlığı altında mobilya endüstrisinden çeşitli firmaların DE ilkelerinin uygulanmasına ilişkin başarılı bulduğu örnekleri duyurmaktadır. Bu raporlarda duyurulan bazı çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

- Resol firması “Toledo” sandalyesini geri dönüştürülmüş ve tekrar dönüştürülebilir malzemelerden optimize edilmiş bir ağırlıkla üretmektedir. Sürdürülebilir malzeme kullanımı ve ağırlığa bağlı olarak karbondioksit ayak izinde azalma sağlamaktadır (EFIC, 2022).
- Slettvoll firması kiralama iş modelini benimsemektedir. Firmadan yıllık hizmet olarak bakım dâhil mobilya kiralanabilmektedir. Kira sona erdiğinde ürünlerin bakımı yapılarak firma tarafından kullanılmış mobilya olarak satılmaktadır (EFIC, 2022).
- Arper firmasının ürettiği “Kata” sandalyeleri malzeme israfını azaltmayı hedefleyen 3B örgü teknolojisi kullanılarak üretilmektedir. Bu örgü için

kullanılan lifler, polyestere dönüştürülen, geri dönüştürülmüş plastiklerden elde edilmektedir (EFIC, 2021).

- Flokk firmasının “RH New Logic” çalışma sandalyeleri koleksiyonu, kolay sökme, onarım ve geri dönüşüm prensipleriyle tasarlanmıştır. Ürünün kumaşı geri dönüştürülmüş PCR ve PET plastik türleri ile geliştirdikleri “ipli mil” teknolojisi ile yapıştırıcı veya zımba kullanılmadan üretilmektedir (EFIC, 2021).
- Stolab firmasının “Lilla Snaland” tabureleri “Lilla Aland” adındaki kullanım ömrünü tamamlayan ve normalde yakılmaya gönderilecek olan sandalyelerin yeniden işlevlendirilmesi ile üretilmektedir (EFIC, 2020).
- Veldeman Bedding firması ürünlerini modüler ve sökülerek parçalara ayrılabilir olarak tasarlamaktadır. Sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir malzeme kullanmakta, yeniden kullanım ve yenileme olanakları sunmaktadır (EFIC, 2020).

Raporlar doğrultusunda firmaların DE kapsamında; (I) atık yönetimi stratejilerini benimsediği, (II) dönüştürülmüş malzeme kullandığı, (III) ürettikleri ürünleri tamamen parçalanıp ayrıştırılarak kullanılan malzemenin geri dönüştürülme potansiyeli barındırdığı, (IV) üretilen ürünün bulunduğu ürün kataloğu içerisinde diğer ürünler ile değişebilen ve birleşebilen parçalarının olduğu, (V) ürünün üretimi için gereken malzeme miktarını optimize ederek ağırlığında sağlanan azalma ile karbon ayak izinin azaltıldığı, (VI) eskiyen ürünleri müşterilerden geri toplayıp dönüştürerek bir başka ürün olarak satışına devam edildiği, (VII) yıllık bakım, ömür boyu parça garantisi ve satış yerine kiralama iş modelini kullandıkları belirlenmiştir. Belirlenen ilkeler bu çalışma kapsamında önerilen değerlendirme yaklaşımının kriterlerinin geliştirilmesine referans sağlamaktadır.

## **1.2 Döngüsel ekonominin ortaya çıkışı ve etki alanı**

Kapalı döngü sistemi tanımlamasının devamı olan döngüsel ekonomi sanılanın aksine yeni araştırılan ve tartışılan bir kavram değildir. Ekonomist Boulding (1966) dünyanın kaynak sınırlılığına ve ekonomi-çevre etkileşimine vurgu yaparak açık ve kapalı ekonomi sistemlerini tartışmış, dünyada yaşamın sürdürülebilirliğini kapalı ekonomi sistemiyle ilişkilendirmiştir. Alışılmış tanımların aksine ekonomik başarının ölçütünün üretim hacmiyle değil dünyanın insan, doğa, kapsam, kalite ve karmaşıklık gibi mevcut kaynak stoğuna etkisiyle ilgili olduğundan bahsetmiştir. Stahel (1982), malzeme ve enerji tüketimini azaltarak çevreye zararı en aza indirmek ve sürdürülebilir bir toplum için mevcut ürünlerin ömrünün uzatılmasına işaret etmiştir. Pearce ve Turner (1989), geleneksel açık uçlu ekonomi modelinden ekonomi ve çevre arasındaki ilişkiyi tanımladıkları "her şeyin" her şeyin girdisi olduğu DE modelini tasarlamıştır.

DE'nin ekonomi alanında tartışılmasının ardından pek çok alanda farklı perspektiflerden araştırılmaya başlanmıştır. Bu alanlar arasındaki mobilya, tekstil ve moda, inşaat ve yapılı çevre ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde çalışma alanlarının farklılaşmasına karşın vurgulanan başlıklarda ortaklıklar keşfedilmiştir. İncelenen çalışmalar, çalışmaların ortak vurguları gözetilerek DE ilkeleri ve iş modelleri, malzeme israfı ve sürdürülebilirlik başlıkları altında sunulmuştur.

### **1.2.1 İlkeler ve iş modelleri**

DE'nin temel ilkeleri ve bu ilkelerin endüstrilere sunduğu fırsatlar, bu fırsatlara ulaşmada karşılaşılabilecek zorluklar ve öneri iş modelleri çalışma alanlarına göre ayrı ayrı araştırılmıştır. Örneğin mobilya endüstrisi için Hartini ve ark. (2021), yalın üretim ve DE'nin



“6R” prensiplerinin birlikte uygulandığı bir strateji tanımlamaktadır. Bu strateji ile bir mobilya şirketinin hem üretim sürecinde oluşan ahşap malzeme atıklarının hem de yeni ürün üretimi için kesilmesi gereken ağaç miktarının azalmasına katkı sağlayıp sağlamayacağını araştırmaktadır. Çalışmanın sonuçları uygulanan stratejinin çevresel sürdürülebilirliği artırdığını ve israfla mücadelede etkili olduğunu göstermektedir. Yine mobilya endüstrisi üzerine çalışan de Oliveira ve ark. (2018) ise çalışma alanlarını Brezilya mobilya endüstrisinde özelleştirmiştir. Bölgenin mevcut durumunu, yerel üretim düzenine DE'nin sunduğu fırsatları ve zorlukları, 20'den fazla şirketin DE stratejik yönelmelerine uygunlukları üzerinden ele almaktadır. Çalışma ile DE'nin çevresel ve ekonomik açıdan sunduğu faydaları, karşılaşılabilecek olası zorlukları tartışmaktadırlar. DE ilkelerini yapısal çevre alanında ele alan Cheshire (2019), tüm paydaşların daha iyileştirici bir yapısal çevre oluşturabilmeleri için basit bir çerçeve ve bir dizi DE ilkeleri sunmaktadır. Bu ilkeleri vaka çalışmaları ile aktararak ilkelerin kullanımının binaların daha az kaynak kullanmasını ve farklı kullanımlara uyarlanabilmesini sağladığını, insanlara daha sağlıklı yaşam alanları sunduğunu ve maliyetleri düşürdüğünü göstermektedir. Hart ve ark. (2019) ise yapısal çevrede DE'ye geçişin önündeki engellerden ve bu geçişi destekleyen fırsatlardan bahsettiği çalışmada, DE'ye geçişte teknolojik gelişmeler ve oluşturulan mevzuatların tek başına yeterli olmayacağını tüm bunlarla birlikte mevcut iş modellerinde ve paydaşların tutumlarında değişikliğin gerektiğini savunmaktadır. Koszewska (2018), giyim ve tekstil endüstrisinin DE geçişi ve bu sürece uyum sağlamada karşılaşılan zorlukların tespiti ve değerlendirmesini, bu endüstriler özelinde mevcut lineer üretim ve tüketim modellerinin sınırlılıklarını örnekler üzerinden tartışmaktadır.

### **1.2.2 Malzeme israfı**

Endüstrilerin başlıca problemlerinden biri olan malzeme israfı konusunu Koszewska ve Bielecki (2020), döngüsel bir mobilya endüstrisi hedefiyle modülerlik ve bileşen standartlaştırmasının rolü üzerinden ele almaktadır. Standartlaşmanın malzeme israfını önleme, ürün ömrünü artırma, yeniden kullanımı kolaylaştırma ve maliyetleri düşürmeye yardımcı olabileceğini belirtmektedirler. Ayrıca, DE ve standartlaşmayla faydalı sonuçlara ulaşmak için endüstrinin tüm paydaşları tarafından işbirliği içinde yürütülmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ancak, standartlaşmanın etkin bir şekilde uygulanmasının önünde tasarım özgürlüğünü kısıtlaması ve ürünün estetik çekiciliğini azaltması gibi zorlukların olduğu vurgulanmaktadır. Malzeme israfını yapıların dönüşüm süreçleri üzerinden ele alan Durmisevic (2019), yapıların tasarım sürecinde çoklu kullanım seçeneklerinin değerlendirildiği tasarımların önemini vurgulamıştır. Yapıların kullanım ömürleri süresince değişime ve dönüşüme ihtiyaç duyduğunu ve bu süreçlerde eğer yapıda kullanılan malzemeler bir yaşam döngüsü içerisinde tasarlanmışsa yapının bu dönüşümü sıfır malzeme israfıyla tamamlayabileceğini ifade etmiştir. O'Grady ve ark. (2021) ise inşaat endüstrisinde inşaat malzemesi atıklarının çöplüklere atıldığını ve bu atıkların küresel bazda büyük bir atık yüzdesini oluşturduğunu belirterek konuyla ilgili bir yöntem önerisinde bulunmaktadırlar. Önerdikleri yöntemin yapısal çevrede tasarım, üretim, bakım ve kullanım ömrü sonu sırasında uygulanmasıyla yapı malzemelerinin döngüsünün kapatılacağı adım ve kararları gösterdiğini savunmaktadır. Moda endüstrisinde tasarım kavramını yeniden ele alan Niinimäki (2017), çalışmada tasarımın uzun ömür, hizmet, üretimde yeniden kullanım ve malzeme geri kazanımı ile ilişkilendirmekte ve DE için yeni iş modelleri sunmaktadır. Malzeme israfı konusuna farklı bir perspektiften bakarak çözüm önerileri sunan Provin ve de Aguiar Dutra (2021), çalışmalarında bir endüstrilerinin atığının bir diğer endüstri için kaynak olabileceğine değinmektedir. Gıda endüstrisindeki atıkların barındırdığı katma değerini tekstil endüstrisinde biyotekstil üretimi için kullanım potansiyellerini araştırmaktadırlar. Çalışma, probiyotik

içeceklerin atıklarından elde edilen bakteriyel selülozların tekstil endüstrisinde yeniden kullanılarak işlenmesiyle yeni biyotekstil ürünlerin üretilmesi problemine odaklanmaktadır.

### **1.2.3 Sürdürülebilirlik**

Sadece endüstrilerde değil tüm çalışma alanlarında ele alınan sürdürülebilirlik konusunu Barbaritano ve ark. (2019), İtalyan lüks mobilya sektöründe sürdürülebilirlik ve kalite yönetimi konularını dört şirketin incelendiği vaka çalışmasıyla DE perspektifinden ele almaktadırlar. Araştırma şirketlerin yeniden kullanım ve geri dönüşüm prensiplerini uygulamada yetersiz kaldığını, DE'ye olan olumlu bakış açıları ile fiili uygulamaları arasında çelişkinin olduğunu göstermektedir. Firmaların “sürdürülebilirlik” ve “eko-tasarım” kavramlarını marka isimleriyle birleştirerek kullanmalarına karşın endüstrinin ham maddeye bağımlılık ve aşırı tüketim, yapıştırıcı, boya ve kaplama malzemesi gibi kimyasal içerikli bileşen kullanımları ve atık yönetimindeki eksiklikler ile çevreye verilen zarara dikkat çekilmektedir. Susanty ve ark. (2020), DE temel prensiplerinin ahşap mobilya endüstrisinde nasıl uygulanabileceğini Endonezya'daki küçük ve orta ölçekli 190 işletmeyle yapılan kapalı anket yöntemiyle araştırmaktadır. Çalışma, ürün ömrünün uzatılması, ahşap atıkların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması ile sürdürülebilirlik konusuna dikkat çekilmektedir. Ayrıca, firmaların DE'ye geçiş sürecinde karşılaşacağı zorluklar ve bu zorluklara sunulan çözüm önerilerini içermektedir. Brydges (2021) ise moda endüstrilerinde DE'nin sürdürülebilirliğe katkısını araştırmaktadır. Bu araştırma, DE ilkelerinin uygulanma oranını İsveç moda endüstrisindeki firmaların kurucuları ve üst düzey yöneticileriyle yapılan röportajlarla araştırmaktadır. Araştırmanın odak noktası DE'nin moda endüstrisindeki var olan zorluklara sağladığı çözümleri, firmaların yaptığı çalışmaların tedarik zincirinde DE ile ilişkisini ve tüm bunların sürdürülebilir bir moda endüstrisine geçiş sürecine katkısını tespit etmektir. Modanın petrolden sonra çevreye en çok zarar veren sektör olduğunu vurgulayan Moorhouse ve Moorhouse (2017) çalışmalarında sonu çöplüklerde biten tekstil üretimlerinin endişe uyandıran mevcut durumunun DE ile çözülebileceğini ortaya koymaktadır. Moda sektöründe sürdürülebilir tasarım uygulamalarının temiz ve yaşanabilir bir çevreyle birlikte sağlayacağı ekonomik faydaları vurgulayarak moda endüstrisinin tasarım ve üretim süreçlerinde işbirlikçi bir yaklaşımı benimsemesini değerlendirmektedir.

Bahsedilen farklı endüstrilerdeki çalışmalar DE ilkeleri ve iş modelleri dikkate alınarak tasarım ve üretim süreçlerinin yürütülmesi ve atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi hem firmalara ekonomik katkı sunduğunu hem de daha temiz ve sürdürülebilir bir çevreye fayda sağladığını kanıtlar niteliktedir. Bu çalışma kapsamında önerilen değerlendirme yaklaşımının dört ana başlığının ve kriterlerinin belirlenmesinde hem farklı endüstrilerin kesiştiği ortak paydalar hem de mobilya endüstrinin kendi özelinde ihtiyaç duyduğu gereklilikler dikkate alınmıştır.

## **1.3 Döngüsel ekonomi**

### **1.3.1 Döngüsel ekonominin temel ilkeleri**

DE; yeniden düşünmek (rethink), azaltmak (reduce), yeniden kullanmak (re-use), onarmak (repair), yenilemek (refurbish), geri kazanmak (recover) ve geri dönüştürmek (recycle) gibi temel ilkelere sahiptir ve bu ilkelere yenileri eklenmeye devam etmektedir (MacArthur, 2013; Yang ve ark., 2014). Bu ilkeler, daha az kaynak tüketiminin teşviğiyle doğal kaynakların tükenme hızının yavaşlatılmasına, atık sorununun ve çevresel etkilerin azaltılmasına ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanmasını amaçlamaktadır.

- Yeniden düşünmek, kaynak tüketimi ve oluşan atık miktarının farkında olmayı ve çözümleri her düzeyde yeniden düşünmeyi ifade eder. Yapılan tüketimleri dikkate alarak yeniden düşünüp ihtiyaç olmayan şeyleri tüketmeyi reddetmektir (MacArthur, 2013:70).
- Azaltmak, yalın tasarım ilkelerini uygulayarak ve dayanıklı ürünler üreterek enerji ve malzeme tüketimini azaltmayı amaçlar. Düşük enerji tüketimli ekipmanlara geçerek, kullanılmayan cihazları kapatarak ve yalnızca gerçekten ihtiyaç olanı kullanarak enerji tüketimini azaltmak hedeflenir (Yang ve ark., 2014:218-219).
- Yeniden kullanmak, ürünleri başka bir kullanıcıya devrederek veya minimum değişikliklerle yeniden kullanımını sağlamaktır. İkinci el ürün alış-satışları ve ürünün kullanım amacını değiştirerek yeniden kullanmak bu ilkeye örnektir (MacArthur, 2013:25; Yang ve ark., 2014:218-219).
- Onarmak, hasar gören parçaları ve bileşenleri onararak ürünün daha uzun süre kullanılmasının sağlanmasıdır. Bu ilke tamir endüstrisini geliştirerek dayanıklı ürün üretimini teşvik etmeyi temsil eder (MacArthur, 2013:25).
- Yenilemek, ihtiyaçları karşılamayan, kullanımı son bulan veya arızalı ürünlerde parça değişimi ve onarımı gibi yenileme işlemleri yapılarak ürünün görsel cazibesinin artırılmasıyla tekrar kullanılabilir hale getirilmesini ifade eder (MacArthur, 2013:25).
- Geri kazanmak, geri dönüştürülemeyen atık malzemede var olan gömülü enerjiyi kurtarmayı ve bu enerjiyi farklı amaçlar için kullanabilmeyi hedefler (MacArthur, 2013:25).
- Geri dönüşüm, kullanılmış veya atık malzemelerin toplanması ve işlenmesiyle yeniden kullanılabilmesi veya daha yüksek kaliteli ürünlere dönüştürülmesidir. Bu ilke ile malzemelerin işlevselliğini veya kalitesini koruma (functional recycling), artırma (upcycling) ve daha düşük kaliteli malzemelere dönüştürme (downcycling) potansiyellerini ifade eder (MacArthur, 2013:25).

### **1.3.2 Döngüsel ekonominin faydaları**

İşletmeler ve tüketiciler tarafından her yıl milyonlarca ton mobilya atılmaktadır. Bu atıklar ya yakılmakta ya da çöplüklere taşınmaktadır. Yeniden üretime yönelik yapılan çalışmalar ise bazı bölgelerde toplam imalat cirosunun ancak %2'sinden daha azını oluşturmaktadır (Forrest ve ark., 2017:3). DE'nin başlıca faydası ise bu mevcut değeri ve potansiyel enerjisi tam olarak kullanılmayan mobilya ürünlerinin döngüye katılmasını hedefler. "European Academies Science Advisory Council" (EASAC, 2015:8) tarafından yayınlanan rapora göre DE, kullanılan ham maddeleri ve enerji bağımlılığını azaltarak rekabet gücünü artırmaktadır. Tedarik güvenliğini artırarak maliyet kontrolüne yardımcı olmakta ve sera gazı emisyonunu azaltarak iklim değişikliğiyle mücadele edilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, kaynak tüketimine dayalı ihtiyaçları karşılamaya yönelik alternatif çözümler aramaktadır. Bu çözümler, yeni iş modellerinin ve iş fırsatlarının yaratılmasında ve ekonomik büyümenin teşvik edilmesinde avantaj sağlamaktadır. Böylece, DE ile çevresel, sosyal ve ekonomik faydalar elde edilebilmektedir.

### **1.3.3 Döngüsel ekonominin iş modelleri**

DE iş modellerini beş başlıkta incelemek mümkündür (Şekil 3). (I) Döngüsel tedarik modeli, doğal kaynaklardan gelen malzeme girdilerinin biyo-tabanlı, yenilenebilir veya geri dönüştürülmüş malzemelerle değiştirilmesiyle uzun vadede doğal kaynak çıkarma ve tüketim

talebini azaltır. (II) Kaynak geri kazanım modeli, atıkların ikincil ham maddelere dönüştürülmesi ile doğal kaynakları tüketmeden üretim yapılmasını kapsar. (III) Ürün ömrünü uzatma modeli, ürünlerin mevcut kullanım ömürlerinin onarım, yeniden kullanım, yenilenme ve yeniden üretim ile uzatılmasını amaçlar. Bu iş modeli hem daha az kaynak tüketimi hem de daha az atık üretimine neden olur. (IV) Paylaşım modeli, yeni ürünlerin ve kullanım ömürlerinden çok daha az kullanılan ürünlerin paylaşılmasını kolaylaştırarak üretimleri için gereken ham maddeyi azaltmayı hedefler. (V) Ürün hizmet sistemi modeli, ürüne sahiplik sağlayan sistemlerin aksine ürüne ait hizmetlerin satışını ifade eder. Bu sistem yeşil ürün tasarımını, daha verimli ürün kullanımını ve daha az atık üretimini teşvik eder (Cheshire, 2019; Forrest ve ark., 2017:20; Winans ve ark., 2017:829).



Şekil 3. Döngüsel ekonomi iş modelleri.

### 1.3.4 Döngüsel ekonomiye geçiş stratejileri, fırsatlar ve engeller

DE yapısı gereği toplumun ve farklı endüstrilerin işbirliği ile başarı potansiyellerini artırmaktadır. Dolayısıyla DE toplum ve endüstriler arasında daha güçlü bağların kurulmasını sağlar (MacArthur, 2013:10). Döngünün sürekliliği için geri dönüşüm ve yeniden üretim başta olmak üzere farklı iş kollarının gelişmesini sağlar, yeni istihdam fırsatları oluşturur (European Commission, 2019:1). Çevre kirliliği ve insan sağlığı konularında temizlik, sürdürülebilirlik ve güvenlik ilkeleriyle toplumda bilinci artırır, kaynak tüketimini azaltır, sera gazı emisyonu başta olmak üzere toksik madde emisyonunu azaltarak çevre kirliliğiyle savaşır ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletir (Ernst and Young Global Limited, 2015 ). Eko-tasarım ve temiz üretimi teşvik eder (Liu ve Bai, 2014; Forrest ve ark., 2017:20). Geri dönüşüm ve atık yönetimi ile malzemenin döngüde kalmasını sağlayarak kaynak tüketimini azaltır. Kullanım ömrü yönetimi ve sürdürülebilir tedarik zinciri ile yaşam döngüsünü uzatarak depolama ihtiyacını azaltır. Böylece, firmaların maliyetlerini düşürür, kâr oranlarını artırır ve pazar içi rekabet güçlerini artırır (MacArthur, 2013; EASAC, 2015:3).

DE önündeki engellerin başında ekonomik sebepler gelmekte olup eko-endüstriyel zincirin kurulması yüksek maliyetlidir. Ayrıca, ön yatırım gerektiren maliyetli bir süreç olması ve yapılan yatırımın uzun vadeli geri dönüş sağlamasıdır. Buna karşılık yerel yönetimlerden finansal destek ve teşvikler nispeten yetersiz kalmaktadır (MacArthur, 2013:80; Liu ve Bai, 2014:149; Forrest ve ark., 2017:24; EASAC, 2015:11). Dolayısıyla, firmaların LE'den DE'ye geçişi için devlet desteğiyle uygun ortamın oluşturulması, işbirlikçi iş modellerinin geliştirilmesi, konunun uzmanı kalifiye eleman yetiştirilmesi, yasal ve ekonomik teşviklerin yapılması gerekmektedir. DE ilkelerinin anlaşılması, konuyla ilgili farkındalığın düşük olması yatırım yapma konusunda tereddütte yol açmaktadır, bilgi eksikliği ise DE'nin karlılığı ve fırsatlarını engellemektedir (Forrest ve ark., 2017; Winans ve ark., 2017). Daha yeşil faaliyetler, DE'nin sunduğu yeni iş kolları ve pazar fırsatları için desteğe ihtiyaç vardır. Ayrıca, dönüşüm için kullanılan mevcut makine ve ekipmanların gelişmiş teknoloji ile daha çevreci olması, dönüşüm firmalarının sayılarının ve kapasitelerinin, dönüşümden geri kazanılan malzemenin kalitesinin ve miktarının artırılması

gerekmektedir. Dönüştürülen ürünlerin görsel cazibesinin müşteri talebini karşılayacak düzeye getirilmesi gerekmektedir.

Çalışmanın amacı, Türkiye’de mobilya endüstrisinin DE’ye geçiş için benimsenmesi gereken prensiplerini araştırmaktır.

## **2 Materyal ve Metot**

Bu çalışma, yapılan geniş literatür incelemesi ve analizine ek olarak Türkiye’nin önde gelen bir ofis mobilyası firmasıyla yapılan röportaj, çevrim içi ve yüz yüze görüşmeler sonucu elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir. Veriler, mobilya endüstrisindeki firmaların DE’ye geçiş sürecine hazır olup olmadığının tespiti için bu çalışmada önerilen değerlendirme yaklaşımı kriterlerinin oluşturulmasına destek olmuştur. Çalışma kapsamında önerilen değerlendirme yaklaşımı, sürdürülebilirlik ve DE temel prensipleri esas alınarak (I) tasarım süreci, (II) üretim ve tedarik süreci, (III) atık yönetimi ve (IV) iş modeli olmak üzere dört başlığa ayrılmıştır. Bu başlıklar altında oluşturulan kriterler Çizelge 1’de ilişkili oldukları çalışmalar ile beraber sunulmuştur. Önerilen yaklaşım ve kriterlerin etkisi vaka çalışması olarak ele alınan Türk ofis mobilya firmasının mevcut durumu ve çalışmaları üzerinden test edilmiştir. Test aşaması, mobilya tasarım ve üretim süreçlerinde bilgi ve deneyim sahibi 8 katılımcı ile çevrimiçi anket yöntemiyle yürütülmüştür.

### **2.1 Vaka çalışması**

Çalışma kapsamında ele alınan Türk ofis mobilya firması yaklaşık 50 yılı aşkın süredir mobilya sektörüne hizmet vermektedir. Firmaların uluslararası pazarda rekabet güçlerini ve işbirliklerini artırmayı hedefleyen ulusal ve uluslararası çeşitli kuruluşların üyesidir. İmalat teknikleri, akustik ve malzeme teknolojileri alanlarında çalışan AR-GE merkezine sahiptir.

Firma ile biri çevrimiçi (2 saat) diğeri yüz yüze (8 saat) iki görüşme yapılmıştır. Bu görüşmeler öncesinde firmanın açık kaynak erişime sahip ürün çeşitleri, tasarım kriterleri, kalite raporları, ürün ve sistem bilgileri, ürün malzemeleri, sürdürülebilirlik prensipleri, dijitalleşme çalışmaları araştırılmış ve firma için röportaj soruları oluşturulmuştur. İlk görüşme, firma yönetim kurulu üyesi ve baş tasarımcısı ile 2 saat süreli çevrimiçi bir sunum ile sürdürülebilirlik ve DE kapsamında yaptıkları çalışmaların anlatılması ve soru cevap aşamasından oluşmaktadır. İkinci görüşme, firmanın merkez ofisi ve fabrika binası ziyaretinden oluşmaktadır. Merkez ofis binasında sergilenen ürünler detaylı olarak incelenmiş, tasarım ekibine sorular sorulmuştur. Tasarım sürecinden üretime ve teslimat sonrasına kadar tüm süreçlerle ilgili bilgi alınmıştır. Ek olarak, fabrika üretim alanı firma yetkilileriyle beraber gezilerek üretimi devam eden çalışmalar ile çeşitli testlerin yapıldığı laboratuvar ve test odaları incelenmiş, yürütülen AR-GE çalışmaları hakkında bilgi alınmıştır. Ardından firmanın yönetim kurulu üyesi ve baş tasarımcısı, tasarım ve üretim ekibi sorumlularıyla önceden hazırlanan ve firma ile paylaşılan sorular üzerinden röportaj yapılmıştır. Firma soruları sunum eşliğinde cevaplandırmıştır. Görüşme sonrası yapılan röportaj transkript edilmiştir.



**Çizelge 1.** Değerlendirme yaklaşımı kriterlerinin belirlenmesinde yararlanılan kaynaklar.

	Barbafano ve ark., 2019	Cheshire, 2019	de Oliveira ve ark., 2018	EASAC,2016	European Commission, 2019	European Commission, 2015	Forrest ve ark., 2017	Hartini ve ark., 2021	Kozłowska ve Bielecki, 2020	Liu ve Bai, 2014	MacArthur, 2013	O'Grady ve ark., 2021	Winans ve ark., 2017
<b>TASARIM SÜRECİ</b>													
Ürün tasarımında standardizasyon	X	X	X	X		X	X		X		X		X
Ürün tasarımında bileşenlerin alt parçalarına ayrılabilir olması	X	X	X	X		X	X		X		X		X
Ürünün modüler olarak tasarlanması		X	X	X		X	X		X		X		X
Ürünün ürün grubu içindeki diğer ürünlerle değişebilen parça oranı			X			X	X		X		X		X
Ürünün kullanım ömrü sonunda yeniden işlevlendirilebilir oranı	X	X	X	X		X	X	X	X		X		X
Uzun ömürlü ve dayanıklı ürün tasarımı ve malzeme seçimi	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
Adapte edilebilir ürün tasarımı	X	X	X	X		X	X	X	X		X		
Ürünlerde kullanılan teknolojik bileşenlerin değiştirilebilir olması	X		X	X	X								
Ürünün yaşam ömrü boyunca (bakım, onarım ve yenileme talepleri için) takip edilebilir olması	X			X		X	X	X			X		
Bakım yapılabilir ürün tasarımı	X		X	X	X	X	X	X			X		
Tamir edilebilir ve yenilenebilir ürün tasarımı	X		X	X	X	X	X	X			X		
<b>ÜRETİM SÜRECİ</b>													
Birim ürün başına kullanılan ham madde oranını azaltmak	X	X	X	X	X		X	X	X	X			
Birim ürün başına kullanılan enerji ve iş gücü oranını azaltmak	X	X	X	X	X		X	X		X			
Üretim sürecinde enerji verimliliğini artırma girişimleri	X	X	X	X	X		X	X		X	X		
Üretim sürecinde iş gücünü azaltma girişimleri		X		X	X		X	X		X	X		
Yenilenebilir enerji kullanımı	X	X	X	X	X		X	X			X		X
Üretim sürecinde ham maddeye olan bağımlılığı azaltmak	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Ham madde teminindeki karbon emisyon miktarını azaltmak	X	X	X	X	X		X	X			X		X
Ham madde olarak geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı	X	X		X	X		X	X		X	X		
Ham maddenin işlenmesinde kullanılan biyolojik bileşenler		X		X	X		X			X	X		X
Yapıştırıcı malzeme olarak biyolojik bileşen kullanımı		X		X	X		X			X	X		X
Üretilen ürünün geri dönüşebilir oranı	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Toplam maliyeti azaltmaya yönelik sürdürülebilir girişimler	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Ürün ambalaj malzemesinde kullanılan geri dönüştürülmüş malzeme	X			X	X		X	X			X		
Ürün ambalajının geri dönüşebilir oranı	X			X	X		X	X			X		
Üretim sürecinde temizlik amacıyla kullanılan biyolojik malzeme oranı				X	X		X	X			X		X
Ürün ambalaj oranını minimize etmek	X			X	X		X	X			X		
Ürün tesliminde karbon ayak izini azaltma girişimleri				X	X		X	X			X		
<b>ATIK YÖNETİMİ</b>													
Üretim sürecinde tehlikeli atık yönetimi	X	X		X	X		X			X	X		X
Üretim sürecinde fire malzeme oranını azaltmak	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Üretim sürecinde oluşan atık ve çöpün ayrıştırılması	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Atık ve çöpün yeniden işlenmesi	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Yeni ürünler üretmek için atık ve çöplerin kullanımı	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Üretim sürecinde oluşan ham madde atığının kullanımı	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Ahşap, plastik ve metal gibi atıkların üretim sürecine yeniden katılması	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
Üretim süreçlerinin çevresel etkisinin azaltılması	X	X	X	X	X		X	X		X	X		X
<b>İŞ MODELLERİ</b>													
Sürdürülebilir üretim prensibi için yapılan AR-GE çalışmaları	X	X	X			X	X			X			X
Servis iş modeline uyumluluk		X	X	X		X	X						X
Bakım ve onarım hizmeti		X	X	X		X				X	X		X
Ürün parça garantisi	X	X	X			X							X
Kiralama iş modeline uyumluluk		X	X	X		X					X		X
Kiralama iş modeli kullanımı		X	X			X							X
Paylaşım iş modeline uyumluluk		X	X			X							X
Paylaşım iş modeli kullanımı		X	X			X							X

## **2.2 Değerlendirme Yaklaşımı**

Döngüsel ekonominin temel gayesi atık oluşumunu engellemektir. Ürün tasarımı ve optimizasyonu, ürünün sökülerek alt bileşenlerine ayrılabilmesi ve farklı tasarım senaryolarıyla yeniden kullanılabilmesi bir yaşam ömrü döngüsü esasıyla oluşturulmaktadır. Ürünün bileşenlerine ayrılabilir ve yeniden kullanılabilir olması üretimde kullanılan enerji, işgücü ve emek kaybını önlemeye odaklanmaktadır. Bu odak beraberinde ürünün tüketiminde süreklilik oluşturmaya yönlendiren tüketim temelli yaklaşımların yerine dayanıklı ve uzun ömürlü üretim yaklaşımını getirmektedir. Ürünün dönüştürülerek yeniden kullanımı için ürünün üretiminde kullanılan sarf malzemeler (metal, plastik, tekstil vb.) büyük oranda biyolojik ve toksik olmayan bileşenlerden oluşmalıdır. Ek olarak, ürünün sarf malzemesi ağaç kökenli malzemeler (kontrplak, yonga ve MDF levha vb.) gibi doğal malzemelerle üretilmiş ise, sarf malzemenin üretiminde kullanılan birleştirici maddelerin de doğaya zarar vermeyen sürdürülebilir içerikli olması, ürünün doğanın doğal dengesine zarar verilmeden dönüştürülebilmesi için önemlidir. Ayrıca, döngüsellik için tüm aşamalarda kullanılan enerji yenilenebilir olmalıdır. Uzun ömürlü üretim, yaygın kullanılan kullan-at prensipli tüketim alışkanlığına uymadığından kiralama ve paylaşım esaslı iş modellerinin gelişmesini tetiklemektedir. Bu iş modellerinin gelişmesi ise satın alınan ürünün birinci kullanımı sonunda ürünün iade edilmesini ve yeniden kullanım hakkının satılması veya kiralanmasını destekleyen teşviklerin, yasaların ve sözleşmelerin gelişmesine bağlıdır (MacArthur, 2013:70; Forrest ve ark., 2017:24). Önerilen değerlendirme yaklaşımının test aşaması 8 katılımcı ile yürütülmüştür. Katılımcıların tamamı mobilya tasarımı ve üretimi süreçlerine hakim, bilgi ve tecrübe sahibidir. Katılımcıların deneyim düzeyi şu şekildedir: 5-10 yıl (4 kişi), 10 yıl ve üzeri (4 kişi). Katılımcıların 6'sı mobilya endüstrisinde faaliyet gösterirken, 2'si akademik alanda konuyla ilgili çalışmalar yürütmektedir. Katılımcılara, DE İş Modelleri ve Vaka Çalışması başlığı altında sunulan bilgiler ve firma çalışmalarıyla ilgili elde edilen tüm veriler raporlanarak sunulmuştur. Katılımcılar, sunulan raporu inceledikten sonra firmayı önerilen değerlendirme yaklaşımının kriterleri üzerinden anket aracılığıyla değerlendirmiştir. Değerlendirme, 7 dereceli Likert ölçeği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Likert ölçeği, şu değerlendirme seçeneklerini içermektedir: 1: Kesinlikle Uyumsuz, 2: Uyumsuz, 3: Kısmen Uyumsuz, 4: Kararsızım, 5: Kısmen Uyumlu, 6: Uyumlu, 7: Tamamen Uyumlu.

## **3 Bulgular ve Tartışma**

Yapılan değerlendirme sonucunda her kriter için verilen en düşük, en yüksek ve ortalama değer Çizelge 2'de sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde, iş modelleri başlığı hariç, tasarım, üretim ve tedarik ve atık yönetimi başlıklarının tamamında en yüksek değer olan 7 (tamamen uyumlu) en az bir katılımcı tarafından tüm kriter için verilmiş iken en düşük değer farklılık göstermektedir.

Tasarım süreci başlığında en düşük değer olarak 3 (kısmen uyumsuz) sadece iki kriter için verilmiştir. Bu kriterler ürün tasarımında standardizasyon ve ürünün kullanım ömrü sonunda yeniden işlevlendirilebilme oranıdır. En yüksek ortalama değer adapte edilebilir ürün tasarımı kriterinde iken en düşük ortalama değer ürünün ürün grubu içindeki diğer ürünlerle değişebilen parça oranıdır. Tasarım süreci, ortalama 5,94 değer almıştır. Bu başlıkta ürün tasarımında standardizasyon, ürün grubu içinde diğer ürünlerle değişebilen parça oranı ve kullanım ömrü sonunda yeniden işlevlendirilebilme oranı ortalamanın altında değere sahiptir. En düşük standart sapma ürün tasarımında bileşenlerin alt parçalara ayrılabilir olması kriterindedir.

**Çizelge 2.** Anket katılımcıları değerlendirme sonuçları

	En Düşük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama Değer	Standart Sapma	
<b>TASARIM SÜRECİ</b>	Ürün tasarımında standardizasyon	3	7	6	2,07
	Ürün tasarımında bileşenlerin alt parçalarına ayrılabilir olması	5	7	6,25	0,71
	Ürünün modüler olarak tasarlanması	5	7	6,125	0,83
	Ürünün ürün grubu içindeki diğer ürünlerle değişebilen parça oranı	5	7	5	0,83
	Ürünün kullanım ömrü sonunda yeniden işlevlendirilebilme oranı	3	7	5,875	1,69
	Uzun ömürlü ve dayanıklı ürün tasarımı ve malzeme seçimi	5	7	6,125	0,83
	Adapte edilebilir ürün tasarımı	5	7	6,375	0,92
	Ürünlerde kullanılan teknolojik bileşenlerin değiştirilebilir olması	4	7	6	1,2
	Ürünün yaşam ömrü boyunca bakım, onarım, yenileme vb talepler için takip edilebilmesi	5	7	6,125	0,99
	Bakım yapılabilir ürün tasarımı	5	7	6	0,93
	Tamir edilebilir ve yenilenebilir ürün tasarımı	5	7	6	0,93
<b>ÜRETİM ve TEDARİK SÜRECİ</b>	Birim ürün başına kullanılan ham madde oranını azaltmak	4	7	4,875	0,99
	Birim ürün başına kullanılan enerji ve iş gücü oranını azaltmak	4	7	5,375	0,74
	Üretim sürecinde enerji verimliliğini artırma girişimleri	4	7	5,375	0,74
	Üretim sürecinde iş gücünü azaltma girişimleri	4	7	5,5	0,93
	Yenilenebilir enerji kullanımı	4	7	5,625	1,3
	Üretim sürecinde ham maddeye olan bağımlılığı azaltmak	4	7	5,5	1,07
	Ham madde temininde karbon emisyon miktarını azaltmak	4	7	5,75	1,28
	Ham madde olarak geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı	5	7	6,125	0,83
	Ham maddenin işlenmesinde kullanılan biyolojik bileşenler	4	7	5,625	1,19
	Yapıştırıcı malzeme olarak biyolojik bileşen kullanımı	3	7	5,625	1,51
	Üretilen ürünün geri dönüşebilme oranı	4	7	5,75	1,04
	Toplam maliyeti azaltmaya yönelik sürdürülebilir girişimler	4	7	6,125	0,99
	Ürün ambalaj malzemesinde kullanılan geri dönüştürülmüş malzeme oranı	4	7	6	1,07
	Ürün ambalajının geri dönüşebilme oranı	4	7	6	1,07
	Üretim sürecinde temizlik amacıyla kullanılan biyolojik malzeme oranı	4	7	5,625	0,92
Ürün ambalaj oranını minimize etmek	3	7	5,125	1,36	
Ürün tesliminde karbon ayak izini azaltma girişimleri	4	7	5,5	1,2	
<b>ATIK YÖNETİMİ</b>	Üretim sürecinde tehlikeli atık yönetimi	4	7	5,375	1,3
	Üretim sürecinde fire malzeme oranını azaltmak	5	7	6,25	0,89
	Üretim sürecinde oluşan atık ve çöpün ayrıştırılması	4	7	5,5	1,31
	Atık ve çöpün yeniden işlenmesi	4	7	5,25	1,04
	Yeni ürünler üretmek için atık ve çöplerin kullanımı	4	7	5,375	0,92
	Üretim sürecinde oluşan ham madde atığının kullanımı	4	7	5,625	1,06
	Ahşap, plastik ve metal gibi atıkların üretim sürecine yeniden katılması	5	7	5,75	0,89
	Üretim süreçlerinin çevresel etkisinin azaltılması	4	7	5,625	0,92
<b>İŞ MODELLERİ</b>	Sürdürülebilir üretim prensibi için yapılan AR-GE çalışmaları	6	7	6,625	0,52
	Servis iş modeline uyumluluk	6	7	6,5	0,53
	Bakım ve onarım hizmeti	4	7	6,25	1,04
	Ürün parça garantisi	4	7	6,375	1,06
	Kiralama iş modeline uyumluluk	2	6	5,125	1,46
	Kiralama iş modeli kullanımı	1	4	2,25	1,16
	Paylaşım iş modeline uyumluluk	2	6	5,25	1,39
	Paylaşım iş modeli kullanımı	1	4	2,375	1,19

Üretim ve tedarik süreci başlığında yapıştırıcı malzeme olarak biyolojik bileşen kullanımı ve ürün ambalaj oranını minimize etmek kriterleri bu bölümün en düşük değeri olan 3'ü almıştır. Ağırlıklı olarak en düşük değer olarak 4 (kararsızım) kullanılmıştır. Ham madde olarak geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı ve toplam maliyeti azaltmaya yönelik sürdürülebilir girişimler en yüksek ortalama değere sahiptir. En düşük ortalama değer ise birim ürün başına kullanılan ham madde oranını azaltma kriteridir. Bu başlık ortalama 5,62

değere sahiptir. Ham madde, iş gücü ve enerji tüketimiyle ilişkili kriterler ortalamanın altında kalırken, toplam maliyeti azaltma, geri dönüşüm ve karbon emisyonu konularında ortalamanın üstündedir. Birim ürün başına kullanılan enerji ve iş gücü oranını azaltma ve üretim sürecinde enerji verimliliğini artırma girişimleri kriterleri en düşük standart sapmaya sahiptir.

Atık yönetimi başlığında en düşük ve ağırlıklı olarak verilen değer 4'dür. En yüksek ortalama değer üretim sürecinde fire malzeme oranını azaltmak kriterindedir. En düşük ortalama değer ise atık ve çöpün yeniden işlevlendirilmesidir. Bu başlık ortalama 5,59 değere sahiptir. Tehlikeli atık yönetimi, atık ve çöpün ayrıştırılması, yeniden işlevlendirilmesi ve yeni ürün üretiminde kullanılması kriterleri ortalamanın altında kalmıştır. Fire malzeme oranını azaltma, katılımcıların benzer değerler verdiği ve standart sapmanın bu başlıkta en düşük olduğu kriterlerdir.

İş modelleri başlığında ele alınan firmanın kiralama ve paylaşım iş modellerini kullanmaması sebebiyle bu kriterler hem en düşük değer olan 1 (kesinlikle uyumsuz) değerini hem de en düşük ortalama değerleri almışlardır. Sürdürülebilir üretim prensibi için yapılan AR-GE çalışmaları hem en yüksek değere sahip olan kriterlerden biridir hem de en yüksek ortalama değere sahiptir. İş modelleri başlığı ortalama 5,09 değer almıştır. Firma, DE iş modellerini kullanmamasına rağmen katılımcılar tarafından bu modellere uyumluluk kriterlerinde bölüm ortalamasının üstünde değerler almıştır. Bu bölümdeki en düşük standart sapma AR-GE çalışmalarına aittir.

#### **4 Sonuçlar ve Öneriler**

Yapılan çalışma sonucunda, vaka çalışması olarak incelenen firmanın yaptığı çalışmalar ve bu çalışmalar üzerinden önerilen değerlendirme yaklaşımı ile ilgili aşağıdaki sonuçlar söylenebilir;

- Katılımcıların çoğunluğunun, yeterli bilginin açık ve detaylı bir şekilde sunulmadığı durumlarda 4 (kararsızım) değerini tercih ettiği gözlenmektedir. Bu durum, önerilen yaklaşımın etkili bir biçimde kullanılabilmesi için değerlendirilecek firmaların, kriterlerle ilgili ayrıntılı ve somut bilgiler sağlamalarının önemini vurgulamaktadır.
- Standart sapmanın genellikle 1 civarında olması (biraz üzeri veya altı), katılımcıların benzer değerlendirmelerde bulunduğunu işaret etmektedir.
- Vaka çalışmasında değerlendirilen firmanın dört başlıktaki ortalama puanları genellikle 5 ile 6 arasındadır. Bu, firmanın önerilen değerlendirme yaklaşımı kriterleriyle büyük oranda uyumlu olduğu şeklinde yorumlanabilir.
- Değerlendirilen firma, önerilen yaklaşım ile güçlü ve zayıf yönlerini kriterler bazında detaylı olarak tespit edebilir ve gelecekteki eylem planlarını oluşturabilir.
- Önerilen yaklaşım ve kriterlerin benimsenmesi, firmaların sürdürülebilir uygulamalarını artırmasına ek olarak hem çevresel hem de ekonomik fayda sağlar. İş gücü, ham madde ve atık maliyetlerinde azalma ile enerji verimliliğinde artış gibi faktörler, maliyetleri düşürerek rekabet avantajı sağlayabilir.
- Kriterlere uyumun artması firmaları paydaşları (müşteriler, tedarikçiler, kamu vb.) ile işbirliğine yönlendirir. Böylece, yeni iş kolları ve istihdam alanları açmaya teşvik ederek ekonomik büyümeye destek olur.
- Önerilen yaklaşım, mobilya endüstrisindeki diğer firmalar tarafından da uygulanabilme potansiyeli barındırır. Böylece bu firmalar DE kapsamında değerlendirilebilir ve mevcut durumları analiz edilebilir.

- Önerilen değerlendirme yaklaşımı ile DE'ye geçiş süreçleri için atılması gereken adımların planlamasını kolaylaştırabileceği düşünülmektedir.
- Çalışmanın kullanıcı dostu ara yüzü bir uygulamaya dönüşmesinin çalışmayı zenginleştireceği düşünülmektedir. Gelişim potansiyelleri gelecekteki çalışmalar için hedefler sunmaktadır.

### **Teşekkür**

Bu çalışmanın erken aşamalarının geliştirilmesine katkılarından dolayı İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimari Tasarımda Bilişim Lisansüstü Programı, 2021-2022 bahar yarıyılı, Digital Architectural Design Studio dersi yürütücülerine ve öğrencilerine teşekkür ederim. Çalışmada ele alınan Türk ofis mobilya firmasına destekleri için ayrıca teşekkür ederim.

### **Yazar Katkıları**

**Habibe Şenkal:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), proje yönetimi, metodolojinin belirlenmesi, araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, veri iyileştirme, kaynaklar, denetleme, doğrulama, görselleştirme, makale taslak oluşturma, makale yazma, inceleme ve düzenleme.

### **Finansal destek beyanı**

Yazar bu çalışma için finansal destek beyan etmemiştir.

### **Çıkar çatışması**

Yazar çıkar çatışması beyan etmemiştir.

### **Kaynaklar**

- Acharya, D., Boyd, R., Finch, O., (2018), From principles to practices: first steps towards a circular built environment. *Arup & Ellen MacArthur Foundation*.
- Barbaritano, M., Bravi L., Savelli, E., (2019), Sustainability and quality management in the Italian luxury furniture sector: A circular economy perspective, *Sustainability*, 11(11), 3089, DOI: [10.3390/su11113089](https://doi.org/10.3390/su11113089).
- Boulding, K. E., (1966), The economics of the coming spaceship earth, *Environmental Quality in a Growing Economy*, RFF Press, 3-14.
- Brydges, T., (2021), Closing the loop on take, make, waste: Investigating circular economy practices in the Swedish fashion industry, *Journal of Cleaner Production*, 293(2021), 1-8, DOI: [10.1016/j.jclepro.2021.126245](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126245).
- Cheshire, D., (2019), *Building revolutions: Applying the circular economy to the built environment*, Routledge.
- Cramer, D., Howitt, D.L., (2004), *The SAGE dictionary of statistics: A practical resource for students in the social sciences*, Londra: SAGE.
- de Oliveira, F. R., França, S. L. B., Rangel, L. A. D., (2018), Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 202-209, DOI: [10.1016/j.resconrec.2017.10.031](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.031).
- Durmisevic, E., (2019), Circular economy in construction design strategies for reversible buildings, [www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strateges.pdf%20](http://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strateges.pdf%20) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).



- Ernst and Young Global Limited, (2015), Are you ready for the circular economy? – The Necessity of an Integrated Approach, [www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-brochure-cas-are-you-ready-for-the-circular-economy/\\$FILE/EY-brochure-cas-are-you-ready-for-the-circular-economy.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-brochure-cas-are-you-ready-for-the-circular-economy/$FILE/EY-brochure-cas-are-you-ready-for-the-circular-economy.pdf) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- European Academies Science Advisory Council (EASAC), (2015), Circular Economy: A commentary from the perspectives of the natural and social sciences, [easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/EASAC\\_Circular\\_Economy\\_Web.pdf](http://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/EASAC_Circular_Economy_Web.pdf) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- European Commission, (2019), Report from the commission to the European parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan. Brussels, COM(2019)190, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0190> (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- European Commission, (2015), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions—closing the loop—an EU action plan for the Circular Economy. Brussels, COM(2015)614, [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- European Commission, (2011), Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Youth Opportunities Initiative. Brussels, COM(2011)933, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0933> (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- European Furniture Industry Confederation (EFIC), (2022), EFIC Best Practices list, [www.efic.eu/efic-best-practices](http://www.efic.eu/efic-best-practices) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- European Furniture Industry Confederation (EFIC), (2021), Annual Report, [https://www.efic.eu/files/ugd/a1d93b\\_98d8b2a7293e485db0c204d855a41593.pdf](https://www.efic.eu/files/ugd/a1d93b_98d8b2a7293e485db0c204d855a41593.pdf) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- European Furniture Industry Confederation (EFIC), (2020), Annual Report, [https://www.efic.eu/files/ugd/a1d93b\\_96092c18e73f4eb8a13581e9123204e6.pdf](https://www.efic.eu/files/ugd/a1d93b_96092c18e73f4eb8a13581e9123204e6.pdf) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- Forrest, A., Hilton, M., Ballinger, A., Whittaker, D., (2017), Circular Economy Opportunities in the Furniture Sector. European Environmental Bureau (EEB), [eeb.org/library/circular-economy-opportunities-in-the-furniture-sector/](http://eeb.org/library/circular-economy-opportunities-in-the-furniture-sector/) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- Ghisellini, P., Passaro, R., Ulgiati, S., (2021), Revisiting Keynes in the light of the transition to circular economy, *Circular Economy and Sustainability*, 1(1), 143-171.
- Hart, J., Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D. D., Pomponi, F., (2019), Barriers and drivers in a circular economy: The case of the built environment, *Procedia Cirp*, 80, 619-624.
- Hartini, S., Wicaksono, P. A., Rizal, A. M. D., Hamdi, M., (2021, February), Integration lean manufacturing and 6R to reduce wood waste in furniture company toward circular economy, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1072(1).



- Koszewska, M., (2018), Circular economy—Challenges for the textile and clothing industry, *Autex Research Journal*, 18(4), 337-347.
- Koszewska, M., Bielecki, M., (2020), How to make furniture industry more circular? The role of component standardisation in ready-to-assemble furniture, *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(3), 1688.
- Liu, Y., Bai, Y., (2014), An exploration of firms' awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China, *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 145-152, DOI: [10.1016/j.resconrec.2014.04.002](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.002).
- MacArthur, E., (2013), Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 23-44.
- Moorhouse, D., Moorhouse, D., (2017), Sustainable design: circular economy in fashion and textiles, *The Design Journal*, 20(sup1), 1948-1959.
- Niinimäki, K., (2017), Fashion in a circular economy, *Springer International Publishing*, 151-169.
- Oxman, R., (2006), Theory and design in the first digital age, *Design studies*, 27(3), 229-265.
- O'Grady, T., Minunno, R., Chong, H. Y., Morrison, G. M., (2021), Design for disassembly, deconstruction and resilience: A circular economy index for the built environment, *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105847.
- Pearce, D. W., Turner, R. K., (1989), Economics of natural resources and the environment, *Johns Hopkins University Press*.
- Provin, A. P., de Aguiar Dutra, A. R., (2021), Circular economy for fashion industry: Use of waste from the food industry for the production of biotextiles, *Technological Forecasting and Social Change*, 169, 120858, DOI: [10.1016/j.techfore.2021.120858](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120858).
- Stahel, W. R., (1982), The product life factor, *An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector (Series: 1982 Mitchell Prize Papers)*, NARC, 74-96.
- Susanty, A., Tjahjono, B., Sulistyani, R. E., (2020), An investigation into circular economy practices in the traditional wooden furniture industry, *Production Planning & Control*, 31(16), 1336-1348, DOI: [10.1080/09537287.2019.1707322](https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1707322).
- Ticaret Bakanlığı, (2021), Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021, [ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf](https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf) (Ziyaret Tarihi: 09.07.2023).
- Winans, K., Kendall, A., Deng, H., (2017), The history and current applications of the circular economy concept, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833.
- Yang Q. Z., Zhou J., Xu K., (2014). A 3R Implementation Framework to Enable Circular Consumption in Community, *International Journal of Environmental Science and Development*, 5(2), 217-222.



### Application of Lean Philosophy approaches in furniture design processes

Eray Ersoy<sup>1</sup> , Gülçin Cankız Elibol<sup>2\*</sup> 

#### Abstract

Methodological approaches observed and applied regarding “Lean Philosophy”, which is a concept originating from production, became important tools that can offer solutions to different problems in several disciplines. In recent years, Lean Philosophy has been widely applied in different fields as "Lean Architecture", "Lean Design", "Lean Construction", "Lean Management", "Lean Hospital", "Lean Accounting". The main purpose of this study is to draw attention to the gains of Lean Philosophy, which can be defined as eliminating all kinds of waste and any activity that has no added value in the end use, to furniture design and production. Considering the effects of the design process on the whole enterprise, it is thought that design activities can contribute to a sustainable and more efficient interaction by incorporating concerns as modularity, inventory management, reduction of material consumption, reduction of labour and energy consumption, besides form and function concerns. As a qualitative research, this study embraces the document analysis method as a means of data collection and analysis. Existing prominent Lean Philosophy tools for manufacturing systems were analysed and some of them were adapted to design processes.

**Keywords:** Lean philosophy, furniture, design, production, productivity

### Yalın Felsefe yaklaşımlarının mobilya tasarım süreçlerine uyarlanması

#### Öz

Üretim kökenli bir kavram olan “Yalın Felsefe” ile gözetilen ve uygulanan metodolojik yaklaşımlar kıt kaynakların etkin kullanımında, zaman içerisinde tüm disiplinlerde, farklı problemlere çözüm sunabilen önemli araçlar haline gelmiştir. Son yıllarda Yalın Felsefe’nin, “Yalın Mimarlık”, “Yalın Tasarım”, “Yalın İnşaat”, “Yalın Yönetim”, “Yalın Hastane”, “Yalın Muhasebe” gibi kavramlar ile farklı alanlarda da yaygınlaşarak uygulandığı görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, her türlü israfı ve nihai kullanımda katma değeri olmayan her faaliyeti bertaraf etme olarak tanımlanabilen Yalın Felsefe’nin mobilya ve donatı elemanı tasarım süreçlerine katabileceği kazanımlara dikkat çekebilme. Tasarım sürecinin, üretim faaliyetleri gerçekleştiren bir işletmenin bütünündeki etkileri dikkate alındığında, tasarım faaliyetlerinin, form ve fonksiyon kaygılarının yanı sıra modülarite, stok yönetimi, malzeme tüketimlerinin azaltılması, işçilik ve enerji tüketimlerinin azaltılması gibi kaygıları da barındırmasının, sürdürülebilir ve daha verimli bir etkileşim ortamına katkı sağlayabileceği düşüncesi ortaya çıkmaktadır. Nitel araştırma olarak planlanmış bu çalışmada, veri toplama yöntemleri doküman tarama ve analiz olarak belirlenmiştir. Öne çıkan mevcut Yalın Felsefe araçları analiz edilmiş ve örneklendirilerek bazı araçların tasarım süreçlerine uyarlamaları yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yalın felsefe, mobilya, tasarım, üretim, verimlilik

Article history: Received: 06.09.2023, Accepted: 29.11.2023, Published: 29.12.2023, \*e-mail: gcelibol@yahoo.com

<sup>1</sup>Bursa Uludağ University, Vocational School of İnegöl, Department of Materials and Materials Processing Technologies, Bursa/Türkiye

<sup>2</sup>Hacettepe University, Faculty of Fine Arts, Department of Interior Architecture and Environmental Design, Ankara/Türkiye

To cite: Ersoy, E., Elibol, G. C., (2023), Application of lean philosophy approaches in furniture design processes, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (2), 162-174, DOI:[10.33725/mamad.1356240](https://doi.org/10.33725/mamad.1356240)

## **1 Introduction**

With the developments in globalization and increasing competition environment, design is seen as a strategic step that provides superiority. This competitive environment has led manufacturers to find new ways to deliver their products to a wider audience. Undoubtedly, it has started to gain importance for the consumer to have remarkable physical features in order for the products to be preferable in the competitive environment, in addition to the innovations put forward in their functional features. Thus, the importance given to design has gradually increased (Bezci 2022).

Since the first years of industrial history, companies have been in competition and are in a global race to increase their sales. Managers are looking for the fastest and most economical ways to produce and distribute products and services. As the pressure in global competition spreads from the East to the world, the survival of manufacturing firms depends on the ability to reduce production costs, improve products continuously and keep pace with changes in socio-technological developments. For this reason, lean production is seen as one of the keys to being efficient. Lean production can be defined as a production system that has no unnecessary elements in its structure and minimizes factors such as fault, cost, stock, labor, development process, production area, waste, customer dissatisfaction (Özçelik and Cinoğlu 2013).

The main purpose of lean thinking is to ensure that value flows uninterruptedly throughout the value creation process, starting from the raw material, and is quickly delivered to the end customer. In order to achieve this, it is necessary to look at the entire value chain as a whole, eliminate waste and direct all activities towards the goal of creating excellent value for the customer (Lean Institute - lean.org.tr).

The foundations of the lean management philosophy were laid as a result of Taiichi Ohno's on-site examination of the Ford Production System after the Second World War and his application of what he saw to the Toyota factory production processes with a different perspective (Apilioğulları 2010).

It is possible to define lean philosophy, which rises on the themes of respect for people and continuous improvement, as studies that contribute to making processes more efficient by focusing on eliminating waste.

Accordingly, 7 types of waste are basically defined in the production environment; faulty production, overproduction, stock, unnecessary work, transportation, movement, waiting (Öksüz et al. 2017).

Some sources also mention an eighth waste. The eighth waste has been referred to by several different names. This type of waste, which can be called differently as "unused creativity", "untapped brain", "human potential" and "skill", emphasizes in all definitions that the potential or talents of employees can be wasted and points to situations where their ideas are not used. Therefore, ignoring or not implementing improvement ideas from employees, assigning wrong, inadequate or incomplete responsibilities or tasks and not using their knowledge are also considered as a type of waste. In order to combat this eighth type of waste, which is caused by poor communication, lack of teamwork, poor management and inadequate training, management needs to encourage employees' ability to think critically and use continuous improvement feedback (Çanakçıoğlu 2019).

In Japan, where the Toyota production system, the origin of lean, was first realized in the 1950s, both money and raw materials were scarce and waste was very costly. Toyota had

to survive in this difficult environment. Toyota waged a war against waste by realizing at the time that scarce resources were being wasted in shoddy processes. During these years, Ohno formed the backbone of the "Just In Time" based Toyota Production System and identified seven types of waste. The production philosophy to reduce these identified wastes included several factors such as respect for people, teamwork, reduction of inventories and continuous maintenance which increased Toyota's productivity and performance compared to other automobile manufacturers. With continuous improvement efforts and flexible production, processes became more qualitative and both the variety and quality of products increased (Lodgaard et al, 2016; Wan and Chen 2009) (Derin 2017).

Lean production thinking has started to be adopted as a management approach over time. As explained above, lean management is based on "lean production thinking". As a result of the studies carried out within the framework of lean production, lean management philosophy has emerged (Tikici et al. 2006). Organizations converting to lean systems will give higher priority to operational issues compared to philosophical issues (Marvel and Standridge, 2009: 92).

With a focus on enhancing (customer) value and eliminating/reducing waste from a system's perspective, it can be argued that the lean philosophy and its basic elements address both design and production processes (Jørgensen and Emmitt, 2009: 228).

According to some recent studies, this trend of thought, which originated in Japan and started in the 1950s with the philosophy of lean production, has started to be adopted in all disciplines since the beginning of the 2000s. "Lean Management", "Lean Construction", "Lean Architecture", "Lean Hospital", "Lean Accounting", etc. "Lean Philosophy" applications focusing on sectors, processes and people have become addressed to many different fields.

In a study focused on health services (Çilhoroz and Çakmak 2020), the concept of Lean Leadership, which has an increasing importance in the management processes of enterprises and is evaluated within the scope of the Lean Management Approach, is the subject of research. In another study focused on the health sector (Taşdemir et al. 2021), it was stated that the application of lean thinking principles in health enterprises will ensure that patients wait less between processes, patients' treatments are started much faster, unnecessary analyzes are not performed, laboratory analysis results are delivered to doctors much faster, many more patients are treated within a day and costs are reduced in this way.

It is seen that there are also studies carried out in the field of logistics. Akben and Güngör (2018) stated that, the most important difference between the supply chain and the lean supply chain is that; in the traditional model, the focus is on activities during and after the production process, economically to the end customer and without creating major confusion; while in the lean supply chain approach, the focus is on eliminating waste along the chain and obtaining value.

In another study on lean organization principles (Çakırlı Akyüz and Çetin 2009), lean organization principles were discussed from philosophical and managerial perspectives, and it was aimed to examine the applications in the automotive supply industry and to measure the gains obtained from these applications.

In this context, the field of furniture design appears as a virgin field of study where high added value outputs can be obtained. This study focuses on the application of Lean philosophy approaches to furniture production and design processes. It is thought that lean

philosophy in production processes can find many application areas within the framework of lean production. However, this study focuses on design processes rather than production processes. The aim is to analyze furniture design processes and to develop suggestions for production on a sectoral basis.

## **2 Method**

The study was planned as qualitative research. Qualitative research can be defined as research in which qualitative information collection methods such as observation, interview and document analysis are used and a qualitative process is followed to reveal perceptions and events in a realistic and holistic manner in a natural environment (Yıldırım 1999).

Document search was used as the data collection method. Document search and document analysis are information gathering methods used in qualitative research to support the information obtained through interviews and observations (Yıldırım 1999).

Document analysis regarding Lean Philosophy was used to analyze the data and the analysis results were used to adapt production process based Lean Philosophy tools to the design processes. Within this framework, document search was made on several national and international scientific databases. The search keywords were “lean philosophy”, “lean design”, “lean production” and “lean management”. The results in this framework were analysed in a detailed manner. The tools, which were suitable for adaptation, are given under the following headings and suggestions for furniture design processes are presented

## **3 Using Lean Philosophy Tools in Furniture Design Processes: Analysis and Matching Suggestions**

Although Lean Philosophy is a culture that can be spread to all areas of life and can even be included in our daily lives individually, it can be reported rationally by using some systematic methods, especially in applications in businesses. There are many methods that can also be described as Lean Philosophy tools. Among these methods, 5 approaches that stand out in terms of adaptability to design processes are included in the scope of this study. These approaches are Kaizen, JIT and Kanban, Poka Yoke, DOE - Design of Experiments and VSM - Value Stream Mapping.

### **3.1 Kaizen Approach: Standardization and Continuous Improvement of Processes, Operations and Products**

#### **3.1.1 Standard Work**

The word standard is defined as "made or separated according to a certain type, measurable, uniform, single form" according to the Turkish Language Association. Standardization can be related to some features of a product as well as to the execution of processes such as design, production and sales.

Considering the design process of furniture and fittings, it is possible to improve and maintain product quality with some standards to be created for the relevant product group. At the same time, standard product production can eliminate some uncertainties that may lead to inefficiency in production and enable more efficient, faster and more controllable processes to be designed with various improvements.

The accuracy of the product and production processes to be produced can be measured in environments where standards are set. Measures can be taken against faults with repeated

measurements so that they do not occur again and it is possible to make improvements to products and processes.

### **3.1.2 Kaizen**

Kaizen is a Japanese word for improvement. Thus, the desire to continuously improve system performance leads repeating the gap assessment step (Marvel and Standridge, 2009: 98). It is formed from the combination of the words Kai and Zen, which mean change and better in Japanese. It is used in the sense of continuous improvement and development. Masaaki Imai, who created this philosophy, mentioned that managers at all levels should create separate strategies for the implementation of continuous improvement philosophy in enterprises. Continuous improvement is a concept that expresses a rapid improvement in processes and a reduction in costs to increase customer satisfaction in a certain period of time (Buzlu 2011: 58) (Arıcı 2019).

### **3.1.3 Possible Gains That Can Be Obtained by Using These Methods in Furniture Design Process**

Technical drawings, which are the outputs of the design process and at the same time the inputs of the production process, are the main reference that defines the materials, determines the material consumption amounts and determines the workflows to be realized in the production processes. For this reason, significant gains can be achieved when standardization, one of the lean philosophy methods, is considered at the product design stage. The first and most important process in which standards can be set and improvements can be made through kaizen studies is the design process.

A common design and production language can be observed by designing the product groups and product families to be produced within certain standards in terms of material, colour, size and configuration (variable features). In this way, both quality standards can be maintained and production processes in which faults are minimized can be carried out more efficiently. Standards can be determined in the design process with examples such as making certain products in standard sizes, defining variable sizes alternatively with a similar approach, designing modular products, considering the machine capabilities and tolerances, determining material alternatives, etc.

It is often not possible to make improvements in a non-standard product production process where each production is unique in itself. When products produced with a variety of different colours, sizes and configurations are standardized with certain design criteria at the design stage, it will be possible to carry out forward-looking kaizen that is improvement studies. Both product designs and production processes of the relevant product will be continuously improved.

## **3.2 JIT and Kanban Pulling System**

### **3.2.1 JIT (Just in Time)**

There are different definitions of JIT (Just in time production). Some definitions limit the system only to the reduction of inventories. However, JIT should be considered in a broader context. JIT is effective not only in activities related to manufacturing but also in other areas of the production system, from materials handling to warehousing, from maintenance and repair to engineering design, from sales to top management. JIT is a strategy that aims to achieve significant and sustained improvement in work efficiency through the prevention and elimination of time and resource losses throughout the enterprise. In short, the



philosophy of JIT aims to achieve the least cost and highest customer satisfaction with the participation of all units (Emiroğlu 2014).

Just in time, production is an approach to produce the required product in the required quantity and is a material management system that requires the material required in the production process to be available at the point of need at the required time and targets "zero inventory". It is a system that utilizes all potentials by using the cheapest and error-free production in the shortest time, with the least waste and the most flexible use of all production factors with the least use of resources. (Emiroğlu 2016).

### **3.2.2 Kanban Pull System**

One of the important approaches that form the basis of the lean philosophy is that the system can enable the customer to pull the desired value from the producer instead of supplying mass productions to the consumer. It is possible to call this integrated approach a pull system.

The information flow, which enables the pull system to operate, is called "Kanban". Kanban is a card showing the type and quantity of the product withdrawn. This card is sent as a production order from the next process to the previous one. In this way, all manufacturing processes are connected to each other. Suppliers are also part of this system and they should adjust their production according to the quantity and time of withdrawal (Güner and Karaca 2004) (Türkan 2010). Although some of the techniques provided better results depending on the firm size, practices such as setup reduction, multifunction employees and the Kanban system provide better organizational performance regardless of firm size (Marvel and Standridge, 2009: 92).

A production process triggered by a customer order is considered an appropriate example of a pull system setup.

### **3.2.3 Possible Gains That Can Be Obtained by Using These Methods in Furniture Design Process**

When the orientations of end users regarding furniture preferences are examined today, it is seen that customer demands and expectations are diversifying day by day and therefore manufacturers have to create a wide variety of alternatives. From this point of view, it is not known what will be used causes furniture manufacturers to be unable to keep stock at the product level. In order to provide fast service at the right time in multi-product production processes, effective inventory management that can be realized at raw material and semi-finished product levels can reveal more accurate results in terms of costs.

One of the important approaches that can contribute to the solution in this regard is modularity and the other is the common part approach. Designing the parts that will form the products according to a modular coordination can enable a semi-finished product to be transformed into more than one product. In other words, a part that may belong to one product can also be used in another product. If the same parts in terms of configuration such as dimensions and holes are designed as a common part, they can be used in more than one product. It is seen that common parts that can quickly turn into different products from the semi-finished product level facilitate production and contribute positively to the delivery of parts to the right place at the right time in production.

Production units that are activated by customer orders stand out as one of the best examples of the pull system. It is possible to establish a Kanban system in a production

assembly line triggered by an order. It is possible to manage the semi-finished product stocks created before the assembly line with Kanban cards (work orders) coming from the assembly. If the relevant semi-finished parts are common parts that can be used in more than one final product, both the functionality of the Kanban system and the end-to-end speed of production can be increased. By taking these methods into consideration during the design process, it can also contribute to reducing the stock quantity and diversity at the raw material, semi-finished product and finished product levels.

With the common part approach and design processes where modularity is considered, the functionality of JIT and Kanban Pull Systems can be increased and the efficiency of operational processes can be improved.

### **3.3 Poka Yoke; Defect Preventing Devices**

Poka Yoke is considered as one of the lean production techniques and is basically defined as a mechanical and electronic mechanism that prevents and eliminates human defects (Pekin and Çil 2015). It is seen that many possible defects can be eliminated by observing the Poka Yoke approach which is defined as defect prevention in the design processes and operation times can be reduced in both production processes and after-sales assembly processes.

#### **3.3.1 Possible Gains That Can Be Obtained by Using This Method in Furniture Design Process**

Many Poka Yoke applications can be implemented in technical drawings. These drawings are the result of design processes and guide production operations.

Some examples of applications in furniture design and production can be listed as follows;

- Marking the screw points on the cabinet body and furniture doors that can ensure the quick assembly of hinges and hinge bases in the right place.

- In order to prevent a part to be used in product assembly from being installed in the wrong direction, the distances of the fasteners (minifix, dowel, etc.) to the edges are differentiated so that the part can be assembled correctly in one direction.

- Marking of fixing points for accessories such as drawer runners, handles, legs, etc. on the part during operations such as drilling, etc.

- The moulds, jigs and fixtures used in the production and assembly processes can eliminate individual errors in the operations. Again, the design process is where the necessary equipment design and analysis should take place.

As seen in all these examples and dozens of examples that can be multiplied specifically for the design process, great gains can be achieved by observing the Poka Yoke method in the design process. Faulty production can be prevented and the efficiency and speed of the relevant production processes can be increased.

### **3.4 DOE (Design of Experiments)**

Main philosophy; It is the design that will eliminate critical problems in production with the idea that "quality is designed together with the product". By taking previous design verification results as data, a design is made that will prevent problems that may occur during production in subsequent designs (Womack PJ, Jones DT, 1998).

DOE method can be effectively applied in product design processes that repeat production. Especially in standard product groups, the inferences made through iterative production can contribute positively to the principle of continuous improvement.

Today, it is possible to see that different software and drawing/design programs with simulation capabilities are actively used in the DOE process.

### **3.4.1 Possible Gains That Can Be Obtained by Using This Method in Furniture Design Process**

Design processes in furniture and decorative applications can be quite painful, depending on the complexity of the product being designed. Especially when designing a product or a construction with dimensions whose limits have not yet been tested, an environment is created in which the designer can make mistakes. Such uncertainties are either resolved by trial and error or the ideal product is moved away from the ideal product with excessive (waste) or incomplete (defective product) solutions.

Experience and knowledge come to the fore in the quest for the ideal product. Experience and knowledge may also be insufficient for some application details or physical exertion for aesthetic purposes.

When unnecessary material and labour costs are added to the difficulties mentioned above, the efficiency of the process becomes highly questionable. Knowing and applying the right research methods and techniques in design activities, can contribute positively to process efficiency. For this reason, the simulation method, which is a powerful research method and technique, has an important place in furniture and decoration applications. Especially 3D design programs with simulation capability can provide unique facilities to designers in this regard.

When the design outlines of the product are formed in the content described above, the technical design process, which can be defined as detail, begins. Observing the criteria to be determined and included in the design process at this stage can enable significant gains in terms of form or function. While many of these criteria depend on the properties of the material (raw material) to be used, some of them are determined by the preferences of the decision-makers in the design process.

Some sample study titles that can be done in this context can be listed as follows:

- For products that use different materials such as metal, wood and glass, solid modelling software with simulation capabilities is used to ensure the robustness of the design, to calculate the amount of load the product will carry within safe limits, and to select the right profiles and thicknesses of material.

- In order to make the best use of the sizes of raw materials that can be supplied in standard sizes, some changes can be made to the dimensions of the product/part without neglecting the ergonomics of the product.

- Differentiation of parts sizes formed by the product in order to eliminate potential visual errors. As an example of this issue, we can consider the dimensioning of the parts that make up a cabinet body consisting of four panels. While the side panel depth measurement is determined as 330 mm, the depths of the bottom and top panel parts can be determined as 329 mm. In this example, part sizes are differentiated to prevent (+-) error tolerances in the production processes from turning into a visual problem in the final product.

- Depending on the features of the CNC drilling machines, placing all hole axis distances in the holes to be defined for the fasteners at 32 mm and its multiples can be considered as another example. In this way, in line with the machine capabilities, several holes on the part can be processed simultaneously and production time can be shortened.

The number of examples above can be multiplied. By carrying out many such detailed analyses using solid modelling in CAD/CAM programs with simulation capabilities, it will be possible to resolve potential problems at the design stage before production.

### **3.5 VSM (Value Stream Mapping)**

One of the most important techniques used in the transition to a lean production philosophy is VSM. VSM can be applied not only in the manufacturing sector but also in the service sector. VSM includes all the processes that take place until a product arrives at the factory as a raw material, goes through certain production processes and reaches the customer as a finished product. VSM shows the material and information flows for a product. These flows can be used to find waste and sources of waste by identifying activities that add or do not add value to the product. Future situation maps are created by making improvements in the process to eliminate/reduce current wastes (Adalı et al., 2017).

#### **3.5.1 Possible Gains That Can Be Obtained by Using This Method in Furniture Design Process**

It is known that space and product design processes are carried out in a way that can effectively respond to needs and take into account ergonomic factors. The placement points are as important as the functionality of the furniture designed for a space. Positioning product placements in accordance with the flow of activities within the space is an important space design criterion. In terms of efficient use of space and equipment, the flow of activities planned to be carried out in the space should be observed. The gains that can be achieved with a correct space design are similar to the gains that can be achieved with the correct layout in a production workshop. The venues of cafes, restaurants and fast-food chains especially their kitchens that try to provide fast service to crowded groups of people can be considered as striking examples in this regard.

## **4 Results and Discussion**

The methodological approaches followed in Lean Philosophy, which originated in manufacturing, can be used as an important tool in all disciplines for the efficient use of limited resources.

One of the most important features of lean production techniques is that they enable production operations to continue with far fewer inputs and costs. Therefore, the adoption of lean production techniques will lead to the accumulation of much more resources in the hands of firms than before. In other words, capital accumulation will accelerate. The accumulated capital can be transformed into new investments, and workers who are no longer needed within the scope of existing jobs can be employed in new investments (Çakırlı Akyüz and Çetin, 2009).

Therefore, lean transformation includes the elimination of all kinds of activities that do not create value in the organization, the reduction of the amount of production factors used, the use of advanced technology equipment and qualified workforce and the prevention of

faults before they are made based on the principle of doing the right job at once. Lean transformation, which is referred to as "Lean Production System" in practice, aims to achieve the highest efficiency with the least input by providing a high level of performance (Türkan, 2010).

The fact that interior space and furniture design processes will be handled with this systematic thought, which has an engineering infrastructure at its basis, is considered as an interdisciplinary field of study where high value-added outputs will be obtained.

In the first part of this study, there has been a classification of waste types. With this perspective, the table below tries to summarize how the methods discussed in the study can contribute to reducing some possible types of waste. Gains, related to the findings of the comments conducted within this study, can be followed systematically through Table 1. The numbers given below the table represent the gains.

**Table 1.** Expected gains of regarding furniture design and manufacturing processes

	Objectives						
	Fault-free production	Reduction of stocks	Decretion of standby times	Elimination of unnecessary tasks/works	Elimination of unnecessary transport	Reduction of unnecessary acts	Utilizing labour force
Standard work	1	2			3		4
JIT / Kanban		5	6				
Poka Yoke	7, 8						
DOE	9			10			
VSM					11	12	

1 With the production of standard parts and products and the determination of quality standards, it will be possible to reduce faults.

2 With the standardization of raw materials, it will be possible to reduce stock diversity and to provide minimum stock levels.

3 Effective use of the areas and reduction of unnecessary transportation will be possible by determining the materials at raw, semi-finished and finished product levels.

4 Technical office personnel working with drawing and design will be able to have a more productive working environment.

5 It will be possible to reduce the stocks of semi-finished and finished products, by using common parts that can be used in different products.

6 It will be possible to gain flexibility in production and to increase the ability to respond quickly to incoming orders with the parts that can be used in different products.

7 Faulty production and faulty assembly can be completely prevented by using markings while preparing technical drawings and production data.

8 It will be possible to perform fault-free operations with molds and fixtures that will be designed for being used in production processes.

9 Preparing computer simulations for the productions that will firstly take place will contribute to avoid labour, material and time losses.

10 Simulations will reduce unnecessary processes and operations.

11 Unnecessary transports will be minimized by considering VSM criteria in interior design.

12 Unnecessary movements can be minimized by considering VSM criteria in interior design.

According to Letens et al. (2011: 83), future research may want to further expand the current framework through the identification of additional LPD system components that facilitate continuous improvement from a systems and multilevel perspective.

## **5 Conclusions**

Based on the results of the research, the following conclusions were reached;

- Looking at the processes involved in interior and furniture design, the first step is to produce design sketches and 3D visual studies, followed by technical product drawings and detailed solutions, and then the next step is to develop the product itself so that the final product can be used as a model.
- The outputs of design studies are almost a constitution for all departments in the organization where operational activities are carried out.
- The variety of materials defined in the design processes is supplied by the purchasing department. For this reason, design process decisions directly affect the purchasing budget.
- The choices and decisions made during the design process regarding raw materials, semi-finished and finished products have a direct impact on stock and inventory management either positively or negatively.
- The main reference for work orders in the workshops and factories, where the production of furniture is carried out, are the technical drawings.
- Production flows and all the operations are carried out in accordance with the details specified in the technical drawings.
- Considering the impact on other departments/processes in a furniture manufacturing company, the first and most important area where Lean philosophy should be applied is the design process.
- Design activities that address modularity, industrial design, inventory management, reduction of material consumption, reduction of labour and energy consumption can contribute to sustainable success.
- The adoption of the Lean Philosophy, whose main purpose is to eliminate all kinds of waste and every activity that has no added value in the end use, and the application of its methods in design processes can provide great gains in terms of efficiency not only in the design process but also in the entire value chain.



### Acknowledgement

Authors would like to extend their sincere thanks to Gülfer Çetinkaya for her kind contributions.

### Author Contributions

**Eray Ersoy:** Conceptualization, Data curation, Investigation, Project administration, Resources, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Gülçin Cankız Elibol:** Formal Analysis, Methodology, Resources, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing.

### Funding statement

No financial support was received for the study.

### Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest

### References

- Adalı M.R., Kiraz A., Akyüz U., Halk B. (2017), Yalın üretime geçiş sürecinde değer akışı haritalama tekniğinin kullanılması: büyük ölçekli bir traktör işletmesinde uygulama, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 2017, 242-251. DOI: [10.16984/saufenbilder.283787](https://doi.org/10.16984/saufenbilder.283787).
- Akben, İ., Güngör, A. (2018), Tedarik zinciri ve yalın tedarik zinciri, *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (ASEAD)*, 5 (7), s. 1-12.
- Apilioğulları, L. (2010), *Yalın dönüşüm*, Sistem Yayıncılık, İstanbul.
- Arıcı F. (2019), Sınırsız iyileşme ile örgüt performansı arasındaki ilişkinin incelenmesi: Kastamonu ilinde bir uygulama, *The International New Issues in Social Sciences*, 7 (2).
- Bezci, İ. (2022), Tasarım tescilinde iç mekan tasarımlarına ilişkin görsel anlatımlara yönelik bir analiz, *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 12 (2), 595-616. DOI: [10.20488/sanattasarim.1221928](https://doi.org/10.20488/sanattasarim.1221928)
- Buzlu, H. B. (2011), *Kalite yönetim sistemleri*, Zeus Kitabevi Yayınları, İzmir.
- Çakırlı Akyüz, N., Çetin, C. (2009), Yalın organizasyon ilkeleri ve uygulamaları üzerine bir araştırma, *Öneri Dergisi*, 8 (32), 1-14.
- Çanakçıoğlu, M. (2019), Yalın düşünce felsefesinde israfla mücadele araçları, *Social Sciences Research Journal*, 8 (3), 270-282.
- Çilhoroz, Y, Çakmak, C. (2020), Yalın yönetim bakış açısıyla yalın liderlik, *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (4), 1331-1339, DOI: [10.18506/anemon.648680](https://doi.org/10.18506/anemon.648680)
- Derin, N. (2017), *İşletmelerde yalın yaklaşım*, Nobel Yayınevi, Ankara.
- Emiroğlu, A. (2014), Yalın üretim, tam zamanında üretim ve hücreli üretimin organizasyon ve insan boyutu, *Leges Sosyal Bilimler Dergisi*, 1 (1), 263-287.

- Emiroğlu, A. (2016), Yalın üretim ve tam zamanlı envanter yönetim stratejisi, *International Journal of Management Economics and Business*, 16, 71-85.
- Letens, G., Farris, J. A., Van Aken, E. M. (2011), A multilevel framework for lean product development system design, *Engineering Management Journal*, 23 (1), 69-85.
- Güner E., Karaca M.E. (2004), Tam zamanında üretim sisteminde tedarikçi ilişkileri ve en iyi parti büyüklüğü üzerine bir uygulama, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (4), 443-454.
- Jørgensen, B. and Emmitt, S. (2009), Investigating the integration of design and construction from a “lean” perspective, *Construction Innovation*, 9 (2), 225-240.
- Lean Institute, [www.lean.org.tr](http://www.lean.org.tr)
- Lodgaard, E., Ingvaldsen, J. A., Gamme, I., Aschehoug, S. (2016), Barriers to Lean implementation: perceptions of top managers, middle managers and workers, *Procedia CIRP*, 57, 595-600.
- Marvel, J. H., Standridge, C. R.. (2009), Simulation-enhanced lean design process, *Journal of Industrial Engineering and Management*, (1) 2, n. 1, 90-113.
- Öksüz, M. K., Öner, M., Öner, S.C. (2017), Yalın üretim tekniklerinin endüstri 4.0 Perspektifinden Değerlendirilmesi, *4th International Regional Development Conference (IRDC'2017)*, 21-23 September, Tunceli/Turkey.
- Özçelik, T. Ö., Cinoğlu, F. (2013), Yalın felsefe ve bir otomotiv yan sanayi uygulaması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (23), 79-101.
- Pekin, E., Çil İ. (2015), Kauçuk sektörü Poka-Yoke uygulaması, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (2), 163-170.
- Taşdemir, N. Z., Yapıcı, F., Baş, H., Furvgi, A. (2021), Sağlık sektöründe yalın felsefe, *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi*, 6 (1), s. 11-17.DOI: [10.47115/jshs.783459](https://doi.org/10.47115/jshs.783459)
- Tikici, M., Aksoy, A., Derin, N. (2006), Toplam kalite yönetiminin radikal unsurlarından birisi olarak yalın yönetim, *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 5 (15), s. 20-33.
- Türkan, Ö. U. (2010), Üretimde yalın dönüşümün temel performans kriterleri, *BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2), 28-41.
- Wan, H. And Chen, F. F., (2009), Decision support for lean practitioners: A web-based adaptive assessment approach, *Computers in Industry*, 60 (4), 277-283.
- Womack, P. J. and Jones, D.T. (1998), *Yalın düşünce*, Sistem Yayıncılık, İstanbul.
- Yıldırım, A. (1999), Nitel Araştırma yöntemlerinin temel özellikleri ve eğitim araştırmalarındaki yeri ve önemi, *Eğitim ve Bilim*, 23 (112), 7-17.



### Farklı perforelerle oluşturulan çapraz lamine ahşap levhaların (CLT) ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi

Ramazan Bülbül<sup>1\*</sup>  Hakan Keskin<sup>1</sup> 

#### Öz

Bu çalışmada, orman ürünleri sanayisinde yaygın bir kullanım alanına sahip olan sarıçam (*Pinus silvestris* L.) odunundan; kontrol grubu ile ara katmanlarda perforasyon oranları sırasıyla %5, %10 ve %20 olmak üzere 45 mm kalınlıkta, üç katmanlı çapraz lamine ahşap levhalar (CLT) oluşturulmuştur. Çapraz lamine ahşap levhaların ara katmanını oluşturan masif levhanın yüzeyine belirtilmiş olan oranlarda ve Ø10 mm çapında perforasyon işlemi yapılmış ve her iki yüzeyine tutkal sürüldükten sonra preslenerek çapraz lamine levha üretilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen çapraz lamine ahşap levhaların TSE EN 322'ye göre rutubet miktarının tayini, TS EN 323'e göre yoğunlukları, TS EN 12667'ye göre ise ısı iletim katsayıları tespit edilmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen verilere göre, çapraz lamine ahşap levhaların (CLT) ara katmanlarına belirtilmiş olan oranlarda yapılan perforasyon uygulamasında ısı iletim katsayılarında kontrol grubuna kıyasla %1.05, %4.56 ve %9.73 oranında azalma meydana geldiği ve bu azalmanın da istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Ara katmanlarda uygulanan perforasyon işleminin anlamlı olan etki düzeyinin daha yüksek olması için ara katmandaki levhanın daha düşük yoğunluğa sahip masif ahşap malzemelerden yapılması ve perforasyon işleminin ise CNC makinelerinde uygulanması önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Sarıçam, çapraz lamine ahşap, ısı iletim katsayısı, perforasyon

### Determination of thermal conductivity values of cross-laminated timber (CLT) boards formed with different perforations

#### Abstract

In this study, from scotch pine (*Pinus silvestris* L.) wood, which has widespread use in the wood products industry; Three-layer cross-laminated wooden boards (CLT) of 45 mm thickness were formed with the control group, with perforation rates of % 5, %10 and %20 in the interlayers, respectively. Perforation is made on the surface of the solid board, which forms the interlayer of cross-laminated wooden boards, at the rates specified and with a diameter of Ø10 mm. and after applying glue on both surfaces, a cross-laminated board was produced by pressing. Determination of moisture content according to TSE EN 322, densities according to TS EN 323, and heat transmission coefficients according to TS EN 12667 of the cross-laminated board produced within the scope of the study were determined. According to data obtained from the tests conducted, in the application of perforation made at the specified rates to the interlayers of cross-laminated timber (CLT) boards. It was observed that the heat transmission coefficients decreased by %1.05, %4.56 and %9.73 compared to the control group, which was statistically significant. In order for the perforation process applied in the intermediate layers to have a higher level of significant effect, it is recommended that the board in the intermediate layer be made of solid wood materials with lower density and the perforation process be applied on CNC machines.

**Keywords:** Scotch pine, cross-laminated timber, heat conduction coefficient, perforation

Makale tarihçesi: Geliş:23.07.2023, Kabul:11.11.2023, Yayınlanma:29.12.2023, \*e-posta: ramazanbulbul@gazi.edu.tr

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaçlıeri Endüstri Mühendisliği, Ankara/Türkiye

Atif: Bülbül R., Keskin H., (2023), Farklı perforelerle oluşturulan çapraz lamine ahşap levhaların (CLT) ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (2), 175-182, DOI: [10.33725/mamad.1331454](https://doi.org/10.33725/mamad.1331454)

## 1 Giriş

Küresel ısınmaya karşı etkin önlemlere ihtiyaç duyulduğu, üstün ısı yalıtım özelliklerine sahip malzemelerin geliştirilmesi gerektiği (Kawasaki ve Kawai, 2006), binaların enerji tüketiminin azaltılması gerektiği, bundan dolayı bir binanın ısı yalıtımı bu sürecin önemli bir parçası olduğu için yalıtım malzemelerinin tasarımında düşük ısı iletkenliği değerleri elde etmenin önemi (Sekino, 2016) vurgulanmıştır. Her geçen gün yalıtım uygulamalarına daha fazla gerek duyulduğu (Akgün, 2008) ve enerjinin etkin kullanımında binanın iç ortamını dış ortamdan ayıran yapı elemanlarının yalıtım özelliği öne çıkmaktadır (Uysal ve ark., 2011). Isı yalıtım malzemelerinin ise insan ve çevre sağlığına zararı olmadan, istenilen ısı yalıtım özelliklerine sahip olması gerektiği bildirilmektedir (Kabakçı, 2018).

Ağaç malzeme, doğal güzelliği, yüksek özgül mukavemeti, ısı yalıtımı, taşıma ve üretim süreçlerinde kolay işlenebilme özelliğinden dolayı konut inşaat malzemesi olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Kılıç ve ark. 2006). Ahşap yapılar, özellikle sismik eğilimli alanlarda inşa edilen yapılar için büyük avantajlar sağladığı için son yıllarda yeniden popülerlik kazanmıştır (Izzi ve ark., 2018).

Ahşap yapıların inşasında farklı yöntem ve tekniklerle üretilen birçok yapısal ahşap ve ahşap esaslı ürünler ile yapılar oluşturulmaktadır. Bunlardan bir tanesi ise Türkiye’de ahşap yapı sektöründe kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan çapraz lamine ahşap (CLT) levhalarıdır.

Avrupa standartlarına göre ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları 0.06 – 0.10 W/m.K’nın altında olmalıdır, ISO ve CEN standartlarına göre ısı iletim katsayısı 0.065 W/m.K değerinden küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Isı iletim katsayısı, ısı yalıtım malzemeleri seçiminde en belirleyici özellik olurken, bu değer ne kadar küçük ise malzeme o kadar iyi bir ısı yalıtkanıdır (Kabakçı, 2018). Dolayısıyla ısı yalıtım malzemelerinin en önemli özelliği şüphesiz ısı iletim katsayılarının mümkün olduğunca sıfıra yakın olmasıdır (Kaya ve İmirzi, 2023).

Isı iletim katsayısı sembolü lambda ( $\lambda$ ), birimi W/m.K’dır. Bu birim, bir malzemenin bir birine dik ve bir metre mesafedeki bir m<sup>2</sup>’lik iki yüzeyi arasında sıcaklık farkı 1 °C olduğunda birim zamanda geçen ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır (Altınışık, 2006).

Çapraz lamine ahşap (CLT) paneller, sahip oldukları yapısal rijitlik özelliklerinden dolayı perde duvarlar, zemin diyaframları ve çatı tertibatları için tercih edilen bir inşaat malzemesi haline gelmiştir (He ve ark., 2018). Ayrıca deprem sonrası geçici barınma sürecini geliştirebilecek, estetik ve kalite gözetilerek depremzedelere güvenli ve yaşanabilir ortamlar sunmak için iki farklı CLT E-BOX modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan CLT E-BOX modellerinin kullanım esnekliği ve kurulum alanının yerleşim önerisi ile deprem sonrası barınma sorununun giderilebilir ve deprem sonrası yaşam koşullarının beklenen düzeye yükseltilebileceği vurgulanmıştır (Avlar ve ark., 2023). Dolayısıyla deprem öncesi ve deprem sonrası geçici veya kalıcı konut olarak tasarlanan CLT E-BOX ve buna benzer konut tasarımlarının proje boyutunda kalmaması, üretimlerinin gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Bununla birlikte üretilen bu tür yapıların pilot bir bölgede uygulamasının yapılması, ülkemizde yaşanan son yıkıcı depremler sonrası ortaya çıkan konut ihtiyacının giderilmesi açısından önem arz etmektedir.

Isı iletim katsayılarının 0.083 W/m.K ile 0.137 W/m.K arasında değiştiği tespit edilen bir çalışmada ahşap esaslı kompozit paneller incelenmiştir (Şahin ve Döngel, 2018). Ağaç türü olarak, doğu ladini (*Picea orientalis* L.) tercih edilerek hazırlanan iki farklı çalışmadan birincisinde 5 farklı yapısal ahşap ürünün ısı iletim katsayısı değişimleri incelenmiştir.

İncelenen değişimlere göre kontrplak, Q-LVL, LVL, PSL ve CLT panellerde en düşük ısı iletim katsayısı değerinin kontrplak'ta 0.0965 W/m.K, en yüksek ısı iletim katsayısı değerinin ise CLT panelde 0.1161 W/m.K olarak ölçülmüştür (Öztürk ve ark., 2017). Poliüretan tutkalı kullanılarak oluşturulan CLT levhaların ısı iletim katsayısı değerlerinin belirlenmesi için, ara katmanda lif yönleri 45° ve 90° olarak hizalanmış ahşap masif levhalardan oluşan iki tip CLT panelini karşılaştırmışlardır. Buna göre ara katmandaki lif yönü 45° olan CLT panelin ısı iletim katsayısı değeri 0.1050 W/m.K, lif yönü 90° olan CLT panelin ısı iletim katsayısı değerinin ise 0.1032 W/m.K olduğu belirlenmiştir (Öztürk ve ark., 2020). Sarıçamda ısı iletkenlik katsayısının teğet yönde 0.1015 W/m.K, radyal yönde 0.1040 W/m.K olarak tespit etmiştir (Arslan, 2015).

Düşük sıcaklık ve uzun süreli farklı ısı işlem süreçlerinde ahşabın yapısal bozunuma bağlı fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği çalışmada ise sarıçam, meşe ve kestane odunu örnekleri incelenmiştir. 170°C/4s ve 190°C/3s ısı işlem şartlarının daha uygun olduğu, ısı iletim katsayısının azaldığı, yalıtkanlığının ve mekanik direnç değerlerinin artış kaydettiği belirlenmiştir. Ahşap kullanımı için (denge rutubeti bakımından) uygun olan iklim şartının ise 40°C%35 olduğu tespit edilmiş bu iklim şartında en düşük ısı iletkenlik katsayısı değerinin sarıçam örneklerinde 0.1124 W/m.K olduğu görülmüştür (Altunok ve ark., 2023).

Sarıçam, kestane ve meşe odunlarının ısı iletim katsayılarını belirlemek için yapılan ölçümlerde; ısı iletim katsayısı değerini en düşük sarıçamda 0,1049 W/m.K olarak tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise Sarıçam odunu yoğunluğunun düşük ve iç boşluğunun diğer odun türlerine göre fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir (Doğan ve Altunok, 2018). Bununla birlikte tabakalı kompozit panellerde ara katmanlarda yapılan geometrik oluklandırmaların; bu tür panellerde ısı iletim katsayılarını düşürdüğünü belirtmiştir (Kaya ve İmirzi, 2023).

Yapıların kullanımında sürdürülebilirlik sağlayacak ve enerji tüketiminin önemli bir parçası olan düşük ısı iletkenliği değerlerine sahip malzemelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, sarıçam (*Pinus Sylvestris* L.) odunu örnekleri ile kontrol grubu, ara katmanlarda ise perforasyon oranları sırasıyla %5, %10 ve %20 olan üç katmanlı ve 45 mm kalınlığındaki çapraz lamine levhalar (CLT) üretilerek ısı iletim katsayılarının belirlenmesidir.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

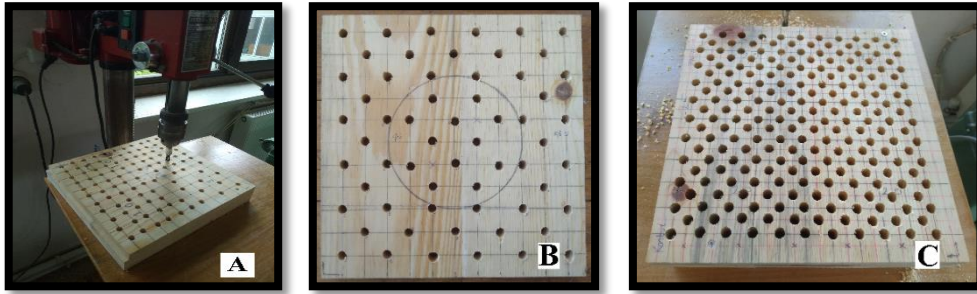
Bu çalışmada, sarıçam (*Pinus silvestris* L.) odunları kullanılmıştır. Çalışma konusu kereste; birinci sınıf özelliklerde, düzgün lifli, budaksız, reaksiyon odunu, çürüme, böcek ve mantar tahribatının olmamasına dikkat edilerek ve rastgele yöntemle seçilmiştir.

Çapraz lamine ahşap levhalar TS EN 12667 (2003) esaslarına göre hazırlanan deney örnekleri 20 °C sıcaklık ve % 65 bağıl nem şartlarında iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar kondisyonlanmıştır. Isı iletim katsayılarının belirlenmesi için Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaçışleri Endüstri Mühendisliği Bölümü test laboratuvarındaki Linseis HFM 300 test cihazı kullanılmıştır.

Kolay sürülmesi, çabuk sertleşmesi, kokusuz ve yanmaz oluşu ile işlenmesi sırasında kesici aletleri yıpratmaması gibi avantajlı özelliklerinden dolayı PVAc tutkalı tercih edilmiştir. Birleştirilecek yüzeylerden yalnız birinin tutkalanması ve birleşme yüzeyine 150-200 g/m<sup>2</sup> PVAc tutkalı uygulamasında TS 3891/T1 (1992) de belirtilen esaslara uyulmuştur.

## 2.2 Metot

Bu deneysel çalışmada; kaba kesimli ölçüleri 300 mm x 100 mm x 20 mm olan sarıçam masif parçaları, temel işlem makineleri (planya makinesi, daire testere ve kalınlık makinesi) ile 300 mm x 300 mm x 15 mm ölçüsünde masif levha oluşturacak biçimde işleme tabi tutulmuşlardır. İşlenen ahşap masif parçaların öncelikle cumbalarına m<sup>2</sup>'ye 150 – 200 gram PVAc tutkalı sürülerek yan yana ekleme pres makinesinde 8 kg/cm<sup>2</sup>'lik basınç ile 300 mm x 300 mm x 15 mm ölçüsünde Şekil 2.a'daki ahşap masif levhalar üretilmiştir. Üretilen ahşap masif levhaların kontrol grubu haricindeki çapraz lamine ahşap levhaların ara katmanlarında, Şekil 1.a'da görüldüğü gibi 10 mm çapındaki sütunlu matkap tezgâhında ile Şekil 1.b'de %5, Şekil 1.c'de ise %10 ve %20 oranlarında perforasyon delikleri oluşturulmuştur. Daha sonra perforasyon işlemine tabi tutulan ve ara katmanlarda kullanılan ahşap masif levhaların her iki yüzeyine PVAc tutkalı sürülerek 3 katman halinde tanzim edilen çapraz lamine ahşap levhalar, Şekil 2.b'deki pres makinesinde cm<sup>2</sup>'ye 80 kg'lık bir pres basıncı ile sıkılarak çapraz lamine ahşap (CLT) levhalar elde edilmiştir. Elde edilen levhaların ölçümleri şekil 2.c'de görülen Linseis HFM 300 ısı iletkenlik cihazında elde edilmiştir.



Şekil 1. Perforasyon konumları işaretlenmiş masif levhada delme işlemi (A) , Ara katmanına %5 perforasyon oluşturulmuş masif levha (B), Ara katmanın %20 perforasyon oluşturulmuş masif levha (C).



Şekil 2. Yan yana ekleme pres makinesi (A), Pres (B), Isı iletkenlik katsayısı tespit cihazı (C)

## 3 Bulgular

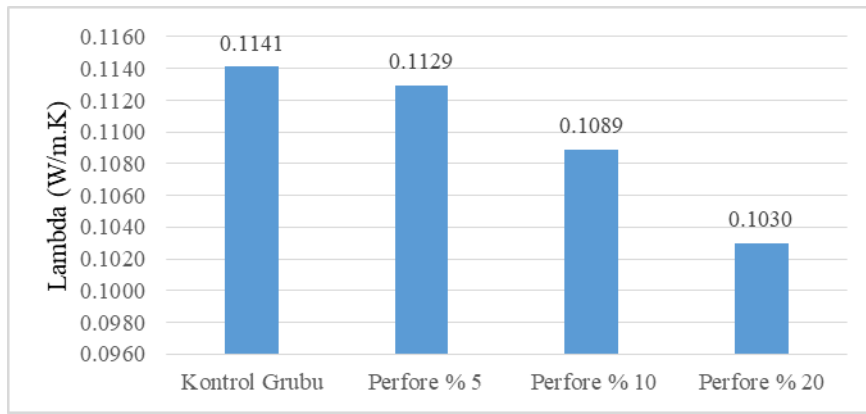
Sarıçam (*Pinus silvestris* L.) odunundan üretilen çapraz lamine ahşap levhanın; TS EN 323 (1999)'teki esaslara uygun olarak yapılan yoğunluk belirleme testinin sonuçlarına göre deney numunelerinin hava kuru yoğunluk ortalaması 488 kg/m<sup>3</sup>, tam kuru yoğunluk ortalaması 465 kg/m<sup>3</sup> olduğu görülmüştür. TS EN 322 (1999)'ye göre çapraz lamine ahşap levhaların ortalama rutubet değerinin ise %8.94 olduğu tespit edilmiştir. Bu yoğunluk ve rutubet değerlerine sahip olan çapraz lamine ahşap levhaların ısı iletim katsayılarına ilişkin istatistiksel sonuçlar Çizelge.1'de verilmiştir.



**Çizelge 1.** Çapraz lamine ahşap levhalara ait ısı iletim katsayısı ( $\lambda$ ) değerlerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Malzeme Çeşidi	N	Ortalama (W/m.K)	Min (W/m.K)	Max (W/m.K)	Std. Sp.	v. (%)
Kontrol	10	0.1141	0.1065	1.2358	0.0045	26.45
% 5 Perforasyon	10	0.1129	0.1065	1.2145	0.0049	24.15
% 10 Perforasyon	10	0.1089	0.1019	1.1839	0.0053	27.67
% 20 Perforasyon	10	0.1030	0.9029	1.1042	0.0067	44.42

Çizelge 1'e göre çapraz lamine ahşap levhaların ısı iletim katsayısı ortalamalarının birbirinden farklı değerlere sahip olduğu görülmektedir. Çizelgeye göre levhaların en düşük ısı iletim katsayısı değeri 0.1030 W/m.K olup, ara katmanda %20 perforasyon oluşturulan çapraz lamine ahşap levha grubunda gerçekleşmiştir. Ara katmanı farklı perforasyon oranlarına sahip çapraz lamine ahşap levhalara ait sütun grafiği Şekil 3'te verilmiştir.

**Şekil 3.** Ara katmanı farklı perforasyon oranlarına sahip levhalara ait sütun grafiği

Şekil 3'e göre birbirlerinden istatistiksel olarak farklı değerlere sahip çapraz lamine ahşap levhaların grupları arasındaki farklılıkların anlamlı olup olmadığını tespit etmek için tek yönlü varyans analizi yapılmış olup, sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Isı iletim katsayılarına ( $\lambda$ ) ilişkin tek yönlü varyans analizi

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık Düzeyi $p < 0,05$	Kısmi Eta Kare
Ara Katman Perforasyon Oranı	0.001	3	0,000	8.617	0.000	0.418
Hata	0.001	36	2,924E-5			
Toplam	0.484	40				
Düzeltilmiş Toplam	0.002	39				

Tek yönlü varyans analizinin sonuçlarına göre; ara katmanda oluşturulan perforasyon uygulamasının etkisinin ( $p \leq 0.05$ ) istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve etki düzeyinin ise %41.8 oranı ile yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Yapılan varyans analizi sonucunda etkisi anlamlı düzeyde farklı çıkan değişkenin grupları arasındaki farklılıkları belirlemek için Duncan testi yapılarak, sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.** Isı iletim katsayısına ( $\lambda$ ) etkisi anlamlı çıkan perforasyon oranları değişkenin grupları arasındaki farklılıkların homojenlik grupları

Malzeme Çeşidi	Isı İletim Katsayısı (W/m.K)	
	( Xort )	HG
Kontrol grubu	0.1141	A
% 5 Perforasyon	0.1129	AB
% 10 Perforasyon	0.1089	B
% 20 Perforasyon	0.1030	C
LSD: 0,0041W/m.K	HG: Homojenlik grubu	

Çizelge 3'teki Duncan testi sonucuna göre levhaların ara katmanlarında oluşturulan perforasyon uygulamasının etkilerinin %5 ( $\alpha$ : 0.05) hata payı dâhilinde değerlendirildiğinde; levhaların ısı iletim katsayısına etkilerinde %10 ile %20 perforasyon oranına sahip olan levhaların kontrol grubu ile aralarında anlamlı bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca perforasyon değişkeninin grup ortalamalarına bakıldığında, en düşük ortalama ısı iletim katsayısı değerinin %20 perforasyonlu ara katmana sahip çapraz lamine ahşap levhada meydana geldiği tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada ara katmanları farklı yüzdelik oranlardaki perforasyonlara sahip 3 katmanlı çapraz lamine ahşap (CLT) levhaların hava kuru su yoğunluk değerleri, tam kuru yoğunluk değerleri, rutubet değerleri ve ısı iletim katsayısı değerleri deneysel yöntemlerle belirlenmiştir. Ara katmanda oluşturulan perforasyon oranının istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Perforasyon oranı %5 olan CLT grubunun ısı iletim katsayısı değerlerinin kontrol grubuna yakın değerde bulunduğu aralarında anlamsız bir farkın olduğu; %10 ve %20 perforasyonlu CLT'lerin ısı iletim katsayısı değerlerinin ise kontrol grubuna göre anlamlı sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ara katmanlarda uygulanacak perforasyon uygulamalarında yüzey alanı yüzdelik oranlarının %10 ve %20 perforeler olduğu, perfore boşluklarının Ø10 mm'nin yanı sıra Ø20 mm'lik oluşturulması ve CNC makinelerinden yararlanılması gerektiği tespit edilmiştir.
- Isı yalıtımı açısından özellikle %20 perforasyon oranına sahip çapraz lamine ahşap levhaların, iç mekânların taşıyıcı olmayan kısımlarında ara bölme duvar elemanı olarak kullanılması önerilir
- Çapraz lamine ahşap (CLT) levhaların dış mekanda kullanılması durumunda ise dış hava koşullarına dayanıklı tutkal türlerinden poliüretan veya üre-formaldehit tutkal türlerinin seçilmesi önerilir.
- Daha düşük yoğunluğa sahip ahşap malzemeler ile CLT'lerin üretilmesi, perforasyon % oranlarının artırılması ve elde edilecek CLT'lerin ısı iletim katsayısı-ses yutumu gibi fiziksel özelliklerinin araştırılması önerilir.

#### Teşekkür

Bu makale, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 8051 ID numaralı, FDK-2022-8051 kodlu ve "Çapraz Lamine Ahşap Levhaların Teknolojik Özellikleri ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi" adlı doktora tezi projesinden üretilmiştir. BAP koordinasyon birimine teşekkür ederiz.

### Yazar katkıları

**Ramazan Bülbül:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), proje yönetimi, metodolojinin belirlenmesi, araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, veri iyileştirme, kaynaklar, görselleştirme, makale taslak oluşturma, makale yazma, inceleme ve düzenleme. **Hakan Keskin:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), proje yönetimi, metodolojinin belirlenmesi, veri iyileştirme, kaynaklar, denetleme, doğrulama, makale yazma, inceleme ve düzenleme.

### Finansal destek beyanı

Bu çalışmaya Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından finansal destek sağlanmıştır.

### Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynaklar

- Akgün, K., (2008), Lamine edilmiş kestane (*Castanea sativa Mill.*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine tanen ve ısıl işlemin etkileri, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.*
- Altınışik, K., (2006), *Isı Yalıtımı (Birinci Basım)*, Nobel Yayınevi, yayın no: 954.
- Altunok, M., Bülbül, R., Güneş, M., (2023), Farklı ısıl işlem ve iklimatik uygulamanın yapısal ahşabın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerinin deneysel incelenmesi, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(1), 263-272. DOI: [10.29109/gujsc.1190933](https://doi.org/10.29109/gujsc.1190933).
- Arslan, F., (2015), Lamine ağaç malzemelerin farklı rutubet şartlarında ısı iletkenlik ve dielektrik özelliklerinin belirlenmesi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.*
- Avlar E., Limoncu S., Tızman D., (2023), Deprem sonrası geçici barınma birimi: CLT E-BOX, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 471-482. DOI: [10.17341/gazimmfd.1027894](https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1027894).
- Doğan, N, N., Altunok, M., (2018), Doğal tanen ile modifikasyonun bazı ağaç türlerinde ısı geçirgenliğine etkilerinin incelenmesi, 5. Uluslararası Mobilya Kongresi, 1-4 Kasım 2018, Eskişehir, Türkiye.
- He M., Sun X., Li Z., (2018), Bending and compressive properties of cross-laminated timber (CLT) panels made from canadian hemlock, *Construction and Building Materials*, 175–183. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2018.07.072](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.072).
- Izzi M., Casagrande D., Bezzi S., Pasca D., Follesa M., Tomasi R., (2018), Seismic behaviour of cross laminated timber structures: a state-of-the-art review, *Engineering Structures*, 170, 42–52. DOI: [10.1016/j.engstruct.2018.05.060](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.060).
- Kabakçı, A., (2018), Bazı ahşap döşeme kaplamalarında kullanılan içi boşluklu su bazlı boyanın sertlik, yapışma ve ısı yalıtım özellikleri, *Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.*
- Kawasaki T., Kawai S., (2006), Thermal insulation properties of wood-based sandwich panel for use as structural insulated Walls and Floors, *The Japan Wood Research Society*, 52(2006), 75–83. DOI: [10.1007/s10086-005-0720-0](https://doi.org/10.1007/s10086-005-0720-0).

- Kaya M., İmirzi H. Ö., (2023), Ahşap esaslı tabakalı kompozit panellerin ısı iletim katsayılarının belirlenmesi, Anadolu 12th International Conference On Applied Sciences, s: 66-75, Diyarbakır / Türkiye
- Kılıç Y., Çolak M., Baysal E., Burdurlu E., (2006), An investigation of some physical and mechanical properties of laminated veneer lumber manufactured from black alder (*Alnus glutinosa*) glued with polyvinyl acetate and polyurethane adhesives. *Forest Products Journal*, vol.56, no.9, 56-59.
- Öztürk H. H., Birinci A., Demirkır C., (2017), Yapısal ahşap ürünlerinin ısı yalıtım özellikleri, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 522-527.
- Öztürk H., Yücesoy D., Çolak S., (2020), Thermal conductivity of cross laminated timber (CLT) with a 45° alternating layer configuration, *Wood Industry and Engineering*, 2(1), 13-16.
- Sekino N., (2016), Density dependence in the thermal conductivity of cellulose fiber mats and wood shavings mats: investigation of the apparent thermal conductivity of coarse pores, *The Japan Wood Research Society*, 62, 20–26, DOI: [10.1007/s10086-015-1523-6](https://doi.org/10.1007/s10086-015-1523-6).
- Şahin H., Döngel N., (2018), Bazı ahşap ve ahşap esaslı levhaların ısı iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi, 5. Uluslararası Mobilya Kongresi, 1-4 Kasım 2018, Eskişehir, Türkiye.
- TS 3891/T1 (1992), Yapıştırıcılar- Polivinil asetat esaslı emülsiyon (ahşap malzeme için), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 322 (1999), Ahşap esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 323 (1999), Ahşap esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 12667 (2003), Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performans-mahfazalı sıcak plâka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncin tayini-yüksek ve orta ısı dirençli mamuller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- Uysal B., Yapıcı F., Kol H. Ş., Özcan C., Esen R., Korkmaz M., (2011), Emprenye yapılmış ağaç malzeme üzerine uygulanan üst yüzey işlemlerinin ısı iletkenliklerinin belirlenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs 2011, s. 262-266, Elazığ, Türkiye.



### Determining the technological properties of laminated windows as a component of sustainable facade design

Mustafa Kucuktuvek<sup>1\*</sup>, Taner Asci<sup>2</sup>, Ahmet Senel<sup>3</sup>

#### Abstract

Wood is an environment-friendly, durable and sustainable material which gives spaces a warm and natural look. The construction industry, which uses many types of materials together in terms of its components, focuses on efficiency in building materials in order to offer aesthetic, economical and ergonomic solutions as a result of today's architectural approaches. In the construction sector, the use of wood has become widespread in facade design and window production especially with the increasing importance of environmental awareness and sustainability in the 21st century. In this study, black pine (*Pinus nigra subsp. pallasiana*) has been used as the wood material. The test samples consist of three layers. Urea-formaldehyde glue was used for bonding the test samples. Following the physical and mechanical experiments conducted during the research process, it was determined that the technological characteristics of the window profile produced from three-layer laminated black pine wood are superior to the technological characteristics of the solid window profile representing its own species. In order to achieve sustainability goals, it can be recommended to use laminated wooden window profiles in buildings.

**Keywords:** Sustainability, window profile, wood, technological properties

### Sürdürülebilir cephe tasarımının bir bileşeni olarak lamine pencerelerin teknolojik özelliklerinin belirlenmesi

#### Öz

Ahşap, mekanlara sıcak ve doğal bir görünüm kazandıran çevre dostu, dayanıklı ve sürdürülebilir bir malzemedir. Bileşenleri açısından birçok malzeme türünü bir arada kullanan inşaat sektörü, günümüz mimari yaklaşımları neticesinde estetik, ekonomik ve ergonomik çözümler sunmak amacıyla yapı malzemelerinde verimliliğe odaklanmaktadır. İnşaat sektöründe özellikle 21. yüzyılda çevre bilincinin ve sürdürülebilirliğin öneminin artmasıyla birlikte cephe tasarımında ve pencere üretiminde ahşabın kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu çalışma; bina cephesinin tasarımında sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için önemli bir rol oynayabilecek ahşap lamine pencere profilinin bazı teknolojik özelliklerini belirlemek için yapılmaktadır. Bu çalışmada ahşap malzeme olarak, karaçamdan (*Pinus nigra subsp. pallasiana*) kullanılmıştır. Deney örnekleri üç katmandan oluşmaktadır. Deney örneklerinin yapıştırılmasında üre-formaldehit tutkalı kullanılmıştır. Araştırma sürecinde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik deneyler sonunda, üç katmanlı olarak lamine edilmiş karaçam odunundan üretilen pencere profilinin teknolojik özelliklerinin, kendi türünü temsil eden masif pencere profilinin teknolojik özelliklerinden daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak amacıyla, yapılarda lamine ahşap pencere profili kullanılması önerilebilir.

**Anahtar kelimeler:** Sürdürülebilirlik, pencere profili, ahşap, teknolojik özellikler

Article history: Received: 27.09.2023, Accepted: 14.11.2023, Published: 29.12.2023, \*e-mail: mustafa.kucuktuvek@iste.edu.tr

<sup>1</sup> İskenderun Technical University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture, İskenderun, Hatay/Türkiye,

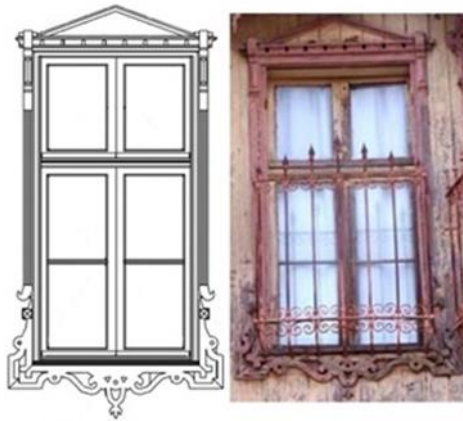
<sup>2</sup> Ankara Yıldırım Beyazıt University, Faculty of Architecture and Fine Arts, Department of Industrial Design, Ankara/Türkiye,

<sup>3</sup> Gazi University, Industrial Arts Education Faculty, Department of Industrial Technology Education, Ankara/Türkiye.

To cite: Kucuktuvek M., Asci T., Senel A., (2023), Determining the technological properties of laminated windows as a component of sustainable facade design, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (2), 183-198, DOI:[10.33725/mamad.1367037](https://doi.org/10.33725/mamad.1367037)

## 1 Introduction

Windows, which are used in architecture for natural lighting, ventilation and decorative purposes, are an essential building component for living spaces. Windows designed and manufactured in proportion to the space add value to the building in terms of design as well as architecture. Upon examining historical structures, it becomes evident that artistic and aesthetic elements frequently coalesce on building facades with windows standing out as a crucial focal point. Wooden window example is displayed in Figure 1.



**Figure 1.** View of a wooden window of an old building in Kırklareli (Yüksek, 2005).

The window types used in Turkish houses are manufactured with methods called vertical and guillotine, and the main factors in choosing these methods are lighting, security and heat/sound insulation as well as privacy (Saka and Kahraman, 2020).

Depending on atmospheric conditions, physical deformation and dimensional instability are frequently observed in windows manufactured with materials mostly wood, PVC, aluminium, etc. It is crucial to ascertain the choice of window products in facade designs considering factors such as the building's characteristics, location, daily sunlight exposure and temperature fluctuations.

The wood used for wooden window profiles can be obtained in accordance with the principles of sustainable forest management. Sustainable forestry involves cutting down trees in a balanced manner ensuring that forestry does not harm ecosystems and regrowth of trees. In this way, forest resources are protected and long-term wood supply can be ensured. Wooden window profiles have a relatively lower carbon footprint than other materials. Wood absorbs carbon dioxide as it grows and stores this carbon. Wooden products retain this carbon throughout their lives. Additionally, processing and manufacturing wood is generally less costly in terms of energy which can contribute to energy savings. Wood is a natural material and can be produced without harming the environment. It can be processed and recycled without the need for chemical treatments. Wooden window profiles naturally provide good thermal insulation. This is advantageous in terms of energy efficiency because it blocks outside heat from entering the interior and reduces heat loss. This can reduce heating and cooling costs. Wooden window profiles can last for many years when properly maintained. This can contribute to less material consumption and longer use of resources.

Structural laminated wood is a prefabricated wood building element created by bonding independent wood layers of varying dimensions under controlled industrial conditions with

special adhesives. Structural laminated wood systems offer structural features such as a reduction in dead load and seismic load, a high strength-to-density ratio similar to steel, high fire resistance, low transportation cost and a rapid construction process compared to steel and reinforced concrete systems. In addition to these structural characteristics, the system provides opportunities for durable and sustainable construction due to its low heating and cooling requirements in building envelope design as well as its impact on acoustic comfort levels inside the space, negative carbon footprint feature and contribution to the life cycle process of the structure (Ceylan and Girgin, 2019).

For many users, the price parameter plays an important role in window profile selection. Although the frequency of use of PVC window profiles has increased, wooden profiles, which are still an element of choice, find use due to their ease of maintenance. The issue of workability, which is a significant drawback of natural wood, leads to both technical and aesthetic complications in the material. The lamination technique, which is frequently preferred to eliminate this drawback, eliminates the drawbacks of wood and significantly increases its lifespan (Kucuktuvek, 2002).

According to Keskin (2003), utilizing solid wood material as a single piece for large and curved elements serves to avoid concerns such as knots, cracks and spiral fibers in the wood. Recognizing the impracticality of completely eliminating these imperfections, attempting to do so would not be feasible from both an economic and technical standpoint.

Wooden laminated elements are preferred in the industry due to their high formal stability as a semi-finished material, their closest properties to wood material compared to other composite materials and their flexibility in shaping. It is frequently used in the furniture industry especially in various construction elements such as laminated materials, columns, beams, arches and trusses. The use of laminated materials provides various advantages in terms of technical, aesthetic, economic and eases of production especially in curved furniture elements (Kahraman and Altunok, 2017). Indeed, it was stated in a particular study that Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), which grows in our country, can be preferred in the production of laminated beams obtained by using wooden materials (Öztürk and Arıoğlu, 2006).

The lamination process enables the production of window profiles suitable for the facade design by providing advantages such as saving raw materials in wood materials, minimizing the defects seen in the material, ensuring quality optimization in the material, reducing material work depending on atmospheric conditions and dimensional flexibility in terms of efficient use of the material.

The lamination technique was first used in chair production in our country in 1987 by a private company in Istanbul. Later, private companies in Ankara and Tekirdağ used this technique in joinery construction. It is known that products produced using the lamination technique had become more widespread after 1990 (Dilik, 1997).

The study delved into the mechanical impacts of lamination and analyzed various physical and mechanical attributes of laminated Scots pine wood. Within this context, it was established that the five-layer laminated wood material bonded with polyvinyl acetate (PVAc-D4) adhesive exhibited distinct advantages in terms of both physical and mechanical properties when compared to the solid material derived from Scots pine wood (Keskin, Atar and Kurt, 2003).

Güler et al., (2007) determined that the dimensional stabilization of laminate flooring used as building elements is directly related to the glue used in parquet manufacturing. In



support of this, it has been observed that significant advantages are obtained depending on the glue types and wood species in the pressure, bending and adhesion resistance measurements made on laminated materials obtained by using different wood types and glues (Perçin et al., 2009). In a study conducted by Kahraman and Altunok (2016), paper veneers of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky), sessile oak (*Quercus petraea* Lieble) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) each with a thickness of 1.5 cm were affixed using PVAc dispersion D4 glue onto a vacuum membrane press. Curved laminated wood samples comprising 13 layers were subsequently obtained and subjected to diagonal tensile testing. The results indicated that the highest level of adhesion quality was observed in the panel manufactured using pellets derived from oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood (Kahraman and Altunok, 2016).

The aim of this study is to determine the technological properties of black pine wooden laminated window profiles that can play an important role in achieving sustainability goals in the design of the building facade. In this context, laminated boards and solid forms obtained from the same tree species are compared separately.

## 2 Material and Method

### 2.1 Wood

Black pine (*Pinus nigra subsp. pallasiana*), which is widely used in window profile production in our country, was used in the research. Wooden material was obtained from the Afyonkarahisar wood industry by random selection method. The wood material was selected by ensuring that it was knot-free, ridge-free, resin-free, growth defects-free, solid, smooth-fibered and sapwood. The black pine wood used in the study has very wide sapwood (half the diameter), yellowish and reddish white, and with reddish brown heartwood. In the cross section, it is dull and in the tangential section summerwood strips are darker in colour than Scots pine.

The full dry density of black pine wood, which is preferred in our country's forest industry, is 0.52 g/cm<sup>3</sup>. The pressure resistance parallel to the fibers is 479 kg/cm<sup>2</sup> and the tensile strength is 23.4 kg/cm<sup>2</sup>. It is used as a building material because it has good nail retention resistance and is easy to process (Örs and Keskin, 2001). Table 1 displays the physical and mechanical properties of black pine.

**Table 1.** Average values of physical and mechanical properties of black pine (Bozkurt, 1986).

Air dry density values (gr/cm <sup>3</sup> )		0.56
	$\beta_R$	5.58
	$\beta_T$	8.19
Shrinkage amount (%)	$\beta_L$	0.23
	$\beta_V$	13.9
Compressive Strength (// N/mm <sup>2</sup> )		47.9
Bending Strength ( $\perp$ N/mm <sup>2</sup> )		109.6
Modulus of Elasticity (N/mm <sup>2</sup> )		-
Shear strength (// N/mm <sup>2</sup> )		6.71

$\beta_R$ : Radial Shrinkage (%),  $\beta_T$ : Tangential Shrinkage (%),  $\beta_L$ : Longitudinal Shrinkage (%),  $\beta_V$ : Volume Shrinkage (%)

### 2.2 Glue

The glue used in the study is urea-formaldehyde glue supplied by Polisan Company in Kocaeli, Turkey and this type of glue is preferred in the woodworking industry. It was



assessed that urea-formaldehyde glue could be employed in the manufacturing of door and window frames when the studies were examined (Örs, 1981).

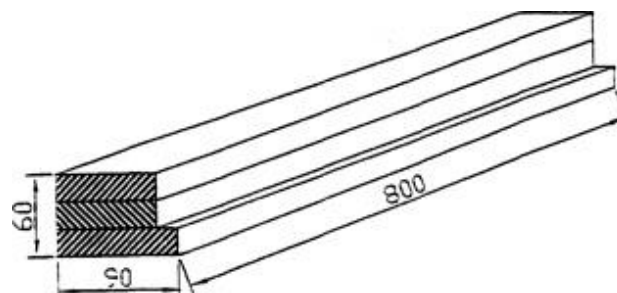
The urea-formaldehyde glue utilized in this study is a product derived from the condensation reaction of urea and formaldehyde obtainable in either dry or liquid form. The properties of the resulting glue are determined by factors such as temperature, reaction time, pH value, catalyst concentration and the molar ratio of urea-formaldehyde (Çolakoğlu, 2001). Table 2 provides an overview of the technological characteristics of the urea-formaldehyde glue employed in the research.

**Table 2.** Properties of urea-formaldehyde adhesive

Type	Polyurea – 8755
Appearance	Clear, White liquid
Solid content (2 hours at 120 °C)	55 ± 1% (by volume)
Density (20 °C)	1.220 - 1.240 gr/cm <sup>3</sup>
Viscosity (20 °C)	250 - 400 cp
pH (200 °C)	7.5 - 8.5
Free formaldehyde	1% max
Gelation time (100 °C)	35 - 45 Seconds
Storage time (20 °C)	60 days
Mixture	50 g resin + 5 mL 10% NH <sub>4</sub> Cl
Hardener	20% maleic acid was used in the research

### 2.3 Preparation of test samples

The timbers measuring (10x10x100 cm) to be used in the production of the test samples were stored in a ventilated environment away from direct sunlight and stored for approximately one year according to TS 2471 (1976) standard. Thus, the air-dried parts were kept in the climate chamber at 20 ± 2 °C temperature and 65 ± 5% relative humidity until they reached the equilibrium humidity (12%). Then, the air-dried wood material was cut to rough dimensions on a band saw and planed, and lamellas were produced by making them 20 mm thickness in a thickening machine. Then, the lamination process was carried out. Gluing was done with a brush during the lamination process and the glue manufacturers' instructions were followed. Cold pressing was used in the lamination process. The wood moisture content was 12%, the used amount of glue was 150-170 gr/m<sup>2</sup>, the pressing pressure was 0.5 N/mm<sup>2</sup> and the pressing time was 30 minutes in the pressing process. One week after the lamination process, the profiles were cut with a circular saw machine to dimensions of 60 × 90 × 800 mm in the L-type shape which was chosen considering that they are widely used in window production. Afterwards, test and measurement samples were prepared from the window profiles by taking into account the following test standards. 3-layer laminated samples were prepared for experiments and measurements that cannot be made in 1/1 dimensions. The perspective view of the experimental sample prepared for the research is shown in Figure 2.



**Figure 2.** Window profile produced with lamellas of equal thickness

## **2.4 Test method**

In the trials carried out within the scope of the research study, the test methods used in the standards for solid wood materials were chosen as the trial methods as it was aimed to determine the physical and mechanical properties of laminated window profiles as well as to compare them with the properties of solid wood. In this context, experiments and measurements regarding the physical and mechanical properties suitable for window and laminated materials were carried out.

Experiments were carried out to determine compressive strength, bending strength, modulus of elasticity and shear strength values regarding to laminated window profiles of this research. In addition, air-dry density values and dimensional deformation amounts of the material were also measured.

### **2.4.1 Determination of air dry density**

The samples for density determination were fabricated following the guidelines outlined in TS 2471 (1976). A total of 20 experimental and 10 control samples, each measuring  $60 \times 70 \times 30$  mm (1/1), were prepared by drawing reference from the TS 2472 (1976) standard. Then, these samples were stored in a climate-controlled chamber at a temperature of  $20 \pm 2$  °C and a relative humidity of  $65 \pm 5\%$  until they reached a stable weight. Subsequently, they were weighed using an analytical balance, their dimensions were measured using a micrometer digital caliper and the volumes were computed. The air-dry density ( $\delta_{12}$ ) values were then calculated using the following equation:

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \frac{g}{cm^3} \quad \text{Eq. 1}$$

where,  $M_{12}$  denote the air dry weight (g) and  $V_{12}$  denote the air-dry volume ( $cm^3$ ).

### **2.4.2 Determination of shrinkage amount**

TS 4083 (1983) and TS 4084 (1983) principles were followed in the experiments to determine the amount of shrinkage. For this purpose, 20 experimental and 10 control samples were prepared with dimensions of  $60 \times 70 \times 30$  mm. Subsequently, the digital caliper accurate to 0.01 accuracy was employed to gauge the gap between the designated points on two perpendicular sections of the samples. These samples had been immersed in clean and quiescent water at 20 °C for 24 hours elevating their moisture level beyond Fiber Saturation Point (FSP). In the following, the identical samples were subjected to drying in a cabinet set at  $103 \pm 2$  °C until their weight stabilized after which they were allowed to cool within a desiccator. In this case, the shrinkage percentages ( $\beta$ ) were measured again from the first measurement points:

$$\beta = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}} \quad \text{Eq. 2.}$$

Where,  $L_{\max}$  is wet dimension,  $L_{\min}$  is dry dimension.

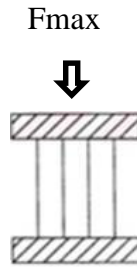
### **2.4.3 Determination of compression strength**

A total of 20 air-dried laminated and three layers test samples and 10 laminated control samples, which are each measuring  $20 \times 20 \times 30$  mm in accordance with TS 2595 (1976) standard, were employed to assess the compressive strength parallel to the grain and the adhesive line. The performance of compression strength tests is displayed in Figure 3. The cross-sectional area where force would be exerted on the samples was measured before

conducting the experiments. Subsequently, the maximum force (Fmax) at the point of fracture during the experiment was ascertained and the compressive strength of the samples was calculated using the following equation:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \frac{N}{mm^2} \quad \text{Eq. 3.}$$

Where,  $\sigma$  is the Compression strength (N/mm<sup>2</sup>), Fmax is the Maximum force (N), A is the area where force is applied (A).



**Figure 3.** Compression strength test

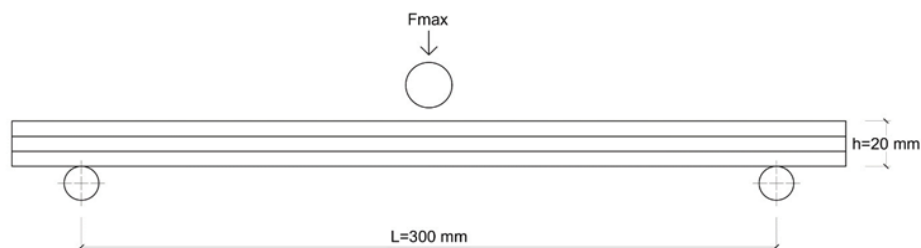
#### 2.4.4 Determination of bending strength

Adherence to TS EN 310 (1999) and TS 2474 (1976) standards was ensured to ascertain the bending strength by taking into consideration the prevailing laboratory conditions. For this purpose, a total of 20 experimental and 10 control samples, which are each measuring 20 × 20 × 360 mm, were prepared. The experiments were conducted utilizing a computer-controlled universal testing machine with a capacity of 1000 kN. The bending strength test is illustrated in Figure 4. The bending strength determined by the maximum force at fracture (Fmax) was computed by using the following equation.

In this equation;

$$\sigma_e = \frac{3.F_{max}.L}{2.b.h^2} \frac{N}{mm^2} \quad \text{Eq. 4.}$$

Where,  $\sigma_e$  is the Bending strength (N/mm<sup>2</sup>), Fmax is the breaking load (N), L is the span length (mm), b is the Width of the sample (mm), h is the Thickness of the sample (mm)



**Figure 4.** Bending strength test

#### 2.4.5 Modulus of elasticity in bending

In order to determine the bending strength, TS EN 310 (1999) and TS 2478 (1976) standards were complied with taking into account the current laboratory conditions. For this purpose, 20 experimental and 10 control samples were prepared with dimensions of 20 × 20 × 360 mm. The modulus of elasticity was calculated for the force difference Fmax applied in the elastic deformation region according to the formula below with the help of the difference f in the bending amounts in the sample.

$$E = \frac{\Delta F \cdot I^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot f} \tag{Eq. 5}$$

In this equation;  $\Delta F$  is load equal to the difference between the lower and upper F forces in the region where elasticity is measured, I is span length (mm), b and h are cross-sectional dimensions of the test piece (mm), f is the deflection due to the load F applied at the middle of the beam.

#### 2.4.6 Determination of shear strength

In the research, 20 test and 10 control samples were prepared from L-type sample profiles measuring 60 × 60 × 90 by taking into account the ASTM D 3110 (1995) standard used for this purpose. Shear strength was calculated according to the formula below:

$$\sigma_m = \frac{F_{max}}{b \cdot l} \frac{N}{mm^2} \tag{Eq. 6}$$

In this equation;  $\sigma_m$  is shear strength (N/mm<sup>2</sup>), Fmax is breaking load (N), b is adhesion surface (mm), l is defined as the adhesion surface length (mm).



**Figure 5.** Shear strength test parallel to fibers and glue line

In the shear strength test, the shear strength of the profiles was calculated in the perpendicular (⊥) direction to the fibers. Additionally, breakage patterns were observed during the trials and care was taken to exclude samples showing glue breakage (fiberless separation) from being evaluated.

### 3 Results and Discussion

In this section, findings regarding the technological properties of laminated and solid window profiles and comparisons with the literature within the framework of the findings are included. Each technological experiment is examined separately under separate headings.

#### 3.1 Air dry density

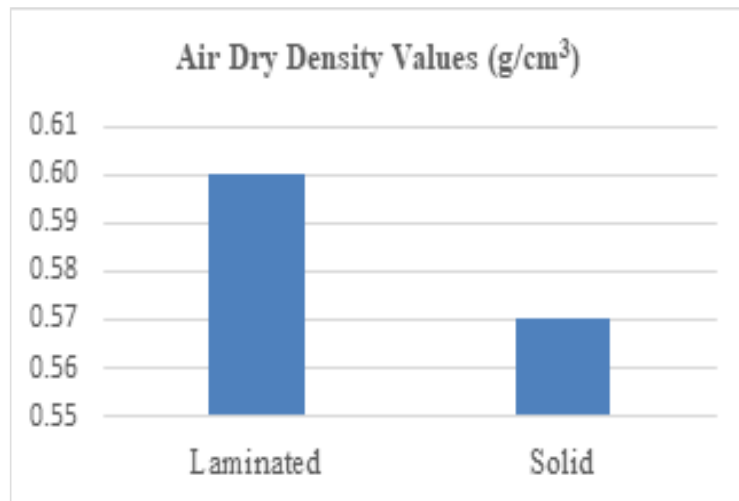
Statistical values of air-dry density of laminated and solid window profiles are given in Table 3.

**Table 3.** Air Dry density test results

Statistical Value	Laminated Black Pine	Solid Black Pine
x (g/cm <sup>3</sup> )	0.5986	0.5719
s (g/cm <sup>3</sup> )	0.022246	0.0168
v (s <sup>2</sup> )	0.000495	0.0003
min (g/cm <sup>3</sup> )	0.562	0.543
max (g/cm <sup>3</sup> )	0.637	0.601
N	20	10

x=arithmetic mean, v=variance, s=standard deviation ,N=number of samples

Upon analyzing the gathered data, it was observed that the air-dry density of the laminated black pine window profile exceeded that of the solid window profile. The air-dry density for the control samples employed in the experiment was recorded at 0.57 g/cm<sup>3</sup> as depicted in Figure 6. In Bozkurt's (1986) study, the air-dry density of solid black pine was determined to be 0.56 g/cm<sup>3</sup>. This suggests that the experimental findings align with existing literature. Furthermore, it was noted that the air-dry density of laminated black pine (0.6) surpassed that of the control samples. This discrepancy is likely attributed to the adhesive employed in the lamination process ( $\sigma = 1,230 \text{ g/cm}^3$ ).



**Figure 6.** Air-dry density histogram graph

### 3.2 Determination of the shrinkage amount

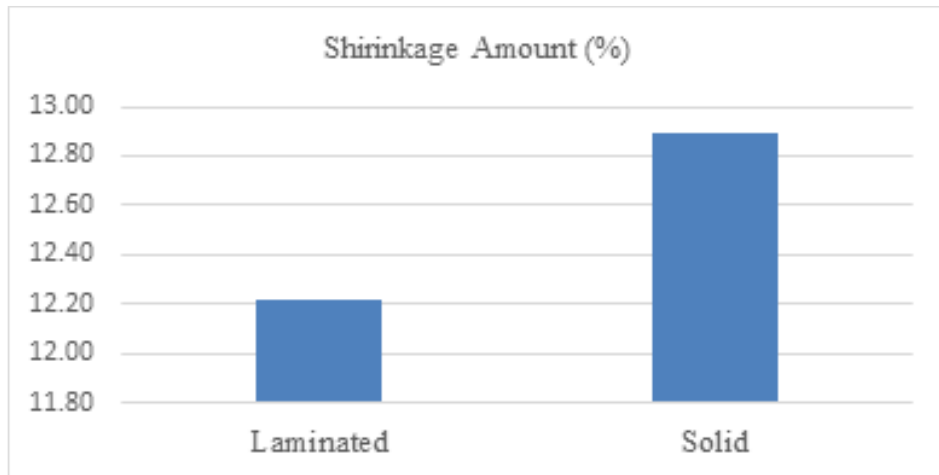
Statistical values of the shrinkage amounts of laminated and solid window profiles are given in Table 4.

**Table 4.** Shrinkage amount values

Statistical Value	Laminated Black Pine				Solid Black Pine			
	$\beta_R$	$\beta_T$	$\beta_L$	$\beta_V$	$\beta_R$	$\beta_T$	$\beta_L$	$\beta_V$
x (%)	4.544	7.316	0.363	12.223	4.763	7.762	0.376	12.889
s (%)	0.3012	0.4865	0.0345	0.4830	0.1783	0.3732	0.0324	0.3944
v (s <sup>2</sup> )	0.0907	0.2367	0.0012	0.2333	0.0318	0.1393	0.0010	0.1556
min (%)	4.16	6.58	0.28	11.32	4.5	6.88	0.32	12.2
max (%)	5.21	8.21	0.42	12.88	5.02	8.14	0.42	13.48
N	20	20	20	20	10	10	10	10

x:arithmetic mean, v:variance, s:standard deviation, N:number of samples

The shrinkage of the laminated black pine window profile was less than that of the solid window profile. The histogram chart created within the framework of the obtained data can be seen in Figure 7.



**Figure 7.** Histogram graph of shrinkage amount

In the literature, the shrinkage amount of solid black pine is given as 13.9% (Bozkurt, 1986). These values are greater than the shrinkage values of the control samples used in the experiment. The shrinkage amount of laminated black pine was found to be less than the control samples. This may be due to the adhesive used in the lamination technique preventing the movement of water in the wood cell wall.

### 3.3 Compression strength

In light of the data obtained in the study, it was observed that the compression strength value of the laminated window profile was higher than the control samples. Statistical values of compression strength (parallel to grain) of laminated and solid window profiles are given in Table 5.

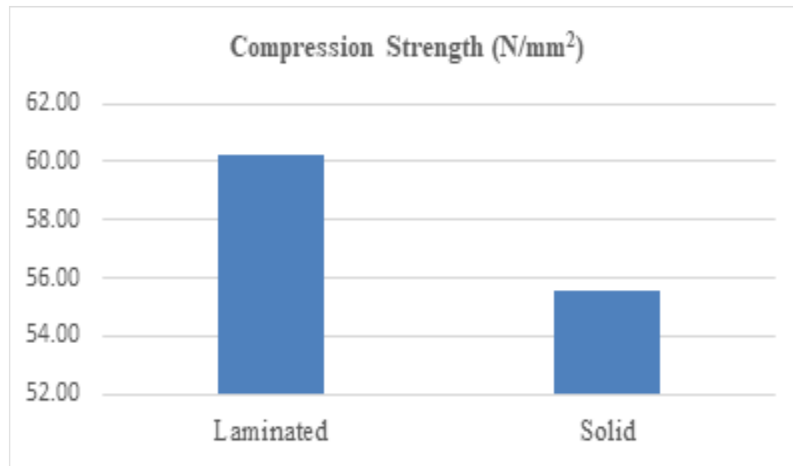
**Table 5.** Compression strength values

Statistical Value	Laminated Black Pine	Solid Black Pine
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	61.24	55.56
s(N/mm <sup>2</sup> )	0.1818	0.1981
v(s <sup>2</sup> )	0.0331	0.0392
Min (N/mm <sup>2</sup> )	58.6	52.4
Max (N/mm <sup>2</sup> )	65.2	58.8
N	20	10

$\bar{x}$ =arithmetic mean, v=variance, s=standard deviation, N=number of samples

In a study conducted by Bozkurt (1986), the compression strength of solid black pine was determined as 47.9 N/mm<sup>2</sup>. At the end of the pressure test, it is seen that the compression strength values of solid black pine samples are higher than those determined in the literature. The compression strength histogram graph is shown in Figure 8.

The compressive strength of the laminated black pine window profile was observed to surpass that of the control samples. This could be attributed to the adhesive applied in the lamination process permeating between the wood fibers, thereby augmenting the cohesive force.



**Figure 8.** Compression strength histogram graph

### 3.4 Determination of bending strength

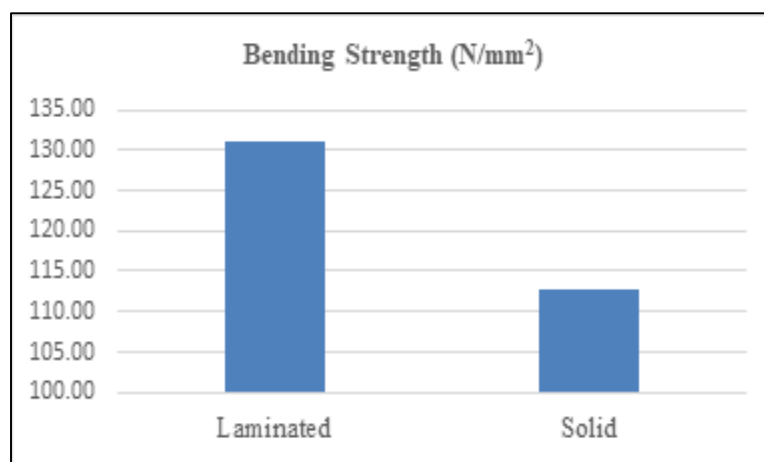
Statistical values of bending strength of laminated and solid window profiles obtained as a result of the study are given in Table 6.

**Table 6.** Bending strength values

Statistical Value	Laminated Black Pine	Solid Black Pine
x (N/mm <sup>2</sup> )	131.173	112.804
s (N/mm <sup>2</sup> )	5.5819	5.3742
v (s <sup>2</sup> )	31.1576	28.8829
min (N/mm <sup>2</sup> )	123.58	105.35
max (N/mm <sup>2</sup> )	143.36	121.02
N	20	10

x=arithmetic mean, v=variance, s=standard deviation, N=number of samples

The bending strength value of the laminated black pine window profile was found to be higher than the solid window profile. Bending strength test results are shown in Figure 9.



**Figure 9.** Bending Strength

In the literature, the bending strength value of solid black pine is given as 109.6 N/mm<sup>2</sup> (Bozkurt, 1986). This value is less than the bending strength values of the control samples used in the experiment. The laminated black pine window profile bending strength value was found to be greater than the control samples. This may be due to the glue used in the lamination technique.

### 3.5 Modulus of elasticity

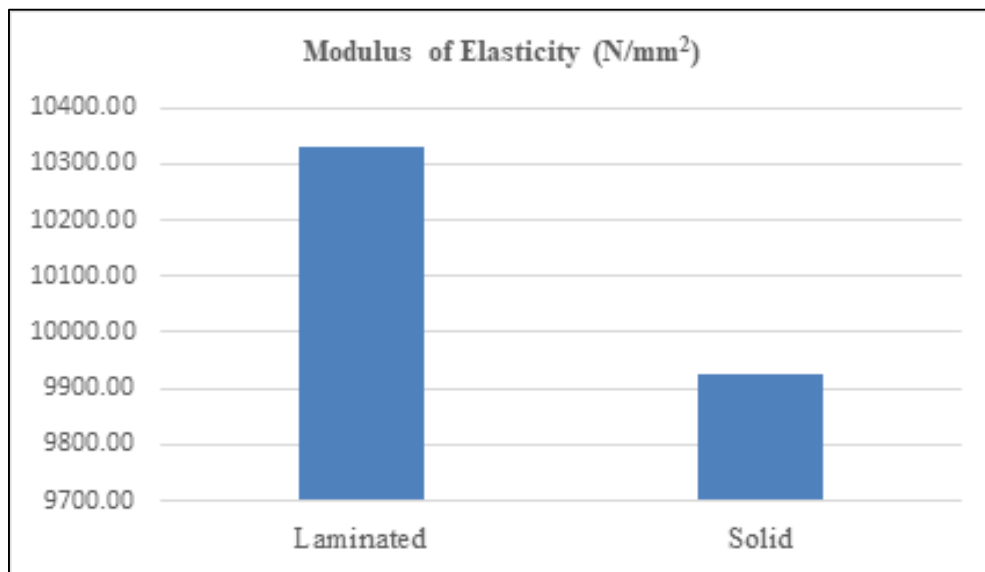
Statistical values of the modulus of elasticity of laminated and solid window profiles obtained as a result of the study are given in Table 7.

**Table 7.** Modulus of elasticity values

Statistical Value	Laminated Black Pine	Solid Black Pine
x(N/mm <sup>2</sup> )	10330.9	9925.426
s(N/mm <sup>2</sup> )	316.36	281.3246
V(s <sup>2</sup> )	100089.65	79143.5375
min (N/mm <sup>2</sup> )	9824.72	9524.36
max (N/mm <sup>2</sup> )	11025.23	10356.02
N	20	10

x=arithmetic mean, v=variance, s=standard deviation, N=number of samples

The modulus of elasticity value of laminated black pine window profile was found to be higher than the solid window profile. Modulus of elasticity test results are shown in Figure 10.



**Figure 10.** Modulus of elasticity histogram graph

In the literature, the elasticity modulus of solid Scots pine is stated as 10200 N/mm<sup>2</sup> (Toker, 1960). The elasticity modulus of the laminated black pine window profile was found to be higher than the modulus of elasticity of Scots pine. This may be due to the adhesive used in the lamination technique.



### 3.6 Determination of shear strength values

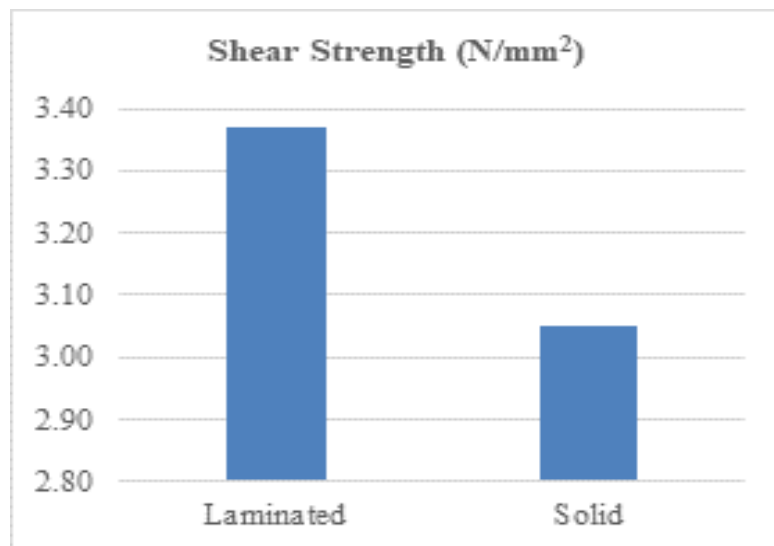
Statistical values of shear strength of laminated and solid window profiles are given in Table 8.

**Table 8.** Shear strength values

Statistical Value	Laminated Black Pine	Solid Black Pine
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.372	3.05
s(N/mm <sup>2</sup> )	0.2068	0.15
v(s <sup>2</sup> )	0.0428	0.0238
min (N/mm <sup>2</sup> )	2.98	2.84
max (N/mm <sup>2</sup> )	3.84	3.28
N	20	10

$\bar{x}$ =arithmetic mean, v=variance, s=standard deviation, N=number of samples

The shear strength value of laminated black pine window profile was found to be higher than that of solid window profile. The shear strength test results are shown in Figure 11.



**Figure 11.** Shear strength histogram graph

The shear strength of the control samples employed in the experiment was lower than that of the laminated black pine window profile. This could be attributed to the adhesive applied in the lamination process which enhances the cohesive strength of the wood.

### 4 Conclusion

As a result of the research and the experiments carried out in the study;

- When the research results are examined, there is a potential for the use of Black pine (*Pinus nigra subsp. pallasiana*) wood in windows which is an integral element of living spaces in facade design. It can be evaluated that the laminated window profile made of black pine wood material is superior to the solid window profile in terms of its physical and mechanical properties, and can be preferred in window production.
- In Gratz and Solar's (1974) studies on window profiles, it was determined that the windows worked in outdoor weather conditions and did not fit into the frame causing them to bend.

Therefore, it can be shown as an advantage that the shrinkage amount of laminated window profiles is less than that of solid window profiles.

- It can be said that laminated profiles can be preferred more than solid materials by considering that laminated window profiles provide advantages over solid materials. In this context, the ability to produce window profiles in the desired colour and texture during lamination depending on the material to be used can provide choice flexibility for the consumer and pave the way for diversification of usage areas in architecture. Moreover, using wood material on window profiles also provides design flexibility depending on the facade type and building structure to the architects.
- In addition to the rational use of wood material, it is deemed beneficial to conduct versatile research on the increased use of laminated window profiles in our country in order to obtain a more durable, flawless, aesthetic and stable material compared to solid wood material. Research on thermal and electrical conductivity, acoustic properties, impregnation possibilities, resistance to various weather conditions, economical adhesives and their properties for laminated window profiles can contribute to our country by shedding light on practitioners.

#### **Acknowledgment**

This article was prepared using some data and results from the Master's Thesis titled Determination of Technological Properties of Laminated Window Profile prepared by Mustafa Kuçuktuvek.

#### **Author Contributions**

**Mustafa Kucuktuvek:** Conceptualization, Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft. **Taner Asci:** Data curation, Formal Analysis, Methodology, Resources, Supervision, Visualization, Writing – review & editing. **Ahmet Şenel:** Conceptualization, Project administration, Resources, Supervision, Writing – review & editing.

#### **Funding statement**

No financial support was received for the study.

#### **Conflict of interest statement**

The authors declare no conflict of interest.

#### **References**

- ASTM D 3110, (1995), Standard specification for adhesives used in laminate joints for nonstructural glued lumber products, USA.
- Ceylan, A., Girgin, Z. C. (2019), Experimental investigation of structural behavior for cross laminated timber (clt) wall-to-floor connection, *Megaron dergisi*, 14 (4), 521-529, DOI: [10.14744/megaron.2019.75508](https://doi.org/10.14744/megaron.2019.75508).
- Dilik, T., (1997), Lamine ağaç malzemedeki pencere profili üretimi ve bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi, *İ. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, İstanbul.
- Çolakoğlu, G., (2001), Tabakalı ağaç malzeme ders kitabı. K.T.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 223s. Trabzon.
- Gratz, A., and Solar, F., (1974), Über das mechanische Verhalten von fensterflügeln mit steifenden eckverbindungen, *Holzforchung und Holzverwertung*, Germany.

- Guler, C. , Çöpür, Y. , Taşcıoğlu, C., Büyüksarı, Ü. (2007), Lamine parke üretiminde lif levha (hdf)'nin kullanılma olanakları. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 3 (2) , 16-32.
- Keskin, H. (2003), Lamine edilmiş doğu ladini (*picea orientalis lipsky*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 4 (1), 138-151.
- Kahraman, N., Altınok, M. (2016), Kavisli lamine ahşap elemanların diyagonal çekme dirençlerinin belirlenmesi .*Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 16 (1) , 84-91, DOI: [doi.org/10.5578/fmbd.10353](https://doi.org/10.5578/fmbd.10353)
- Kahraman, N., Altunok, M., (2017), Determination of form (shape) stability performance on curved laminated wood (LVL) elements. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* , 17(3), 1192-1199.
- Keskin H., Atar M., Kurt R., (2003), Lamine edilmiş sarıçam (*pinus sylvestris* l.) odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 6(1), 75-85.
- Kucuktuvek, M. (2002), Lamine pencere profilinin teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Örs Y., ve Keskin, H., (2001), Ağaç malzeme bilgisi kitabı, G. Ü. Yayın No 2000/352, Atlas, Yayıncılık, Yayın No: 2. Ankara.
- Bozkurt, Y., (1986), Ağaç teknolojisi, *İ. Ü., Orman Fakültesi Yayını*, No: 3403, İstanbul.
- Örs, Y., (1987), Kama dişli birleşmeli ağaç malzemede mekanik özellikler, K. Ü. Orman Fakültesi yayını, No: 112, Fakülte Yayın No: 11 Trabzon.
- Öztürk R. B., Arıoğlu N., (2006), Türk sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri, *İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü*, 34437, Taşkışla, Taksim, İstanbul.
- Perçin, O. ,Özbay, G., Ordu, M. (2009), Farklı tutkullarla lamine edilmiş ahşap malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (019), 109-120.
- Saka, B. D., Kahraman, N. (2020), Trabzon-Akçaabat Orta mahalle'de yer alan geleneksel türk evlerine ait pencerelerin incelenmesi. *Konya Sanat*, (3), 1-13. DOI: [10.51118/konsan.2020.1](https://doi.org/10.51118/konsan.2020.1)
- Toker, R., (1960), Batı Karadeniz sarıçamının teknik özellikleri ve kullanım yerleri hakkında araştırmalar. *Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayını*, Teknik bülten seri no: 10, Ankara.
- TS EN 310, (1999), Wood-Based panels- Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, TSE, Ankara.
- TS 2595, (1977), Wood-Determination of ultimate stress in compression parallel to grain, TSE, Ankara.
- TS 2471, (1976), Wood, Determination of moisture content for physical and mechanical tests TSE, Ankara.
- TS2472, (1976), Wood - Determination of density for physical and mechanical tests, TSE, Ankara.
- TS 2474, (1976), Wood - Determination of ultimate strength in static bending, TSE, Ankara.

TS 2478, (1976), Wood-Determination of modulus of elasticity in static bending TSE, Ankara.

TS 4083, (1983), Wood - Determination of radial and tangential shrinkage, TSE, Ankara.

TS 4084, (1983), Wood- Determination of radial and tangential swelling, TSE, Ankara.

Yüksek, İ. (2005), Kırklareli geleneksel konutlarında pencerelerin karakteristik özelliklerine yönelik bir çalışma, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 17-26.



### E-Ticaret dönüşümünde veri odaklı yaklaşım: Box-Jenkins ARIMA modeli ile mobilya sektörü internet harcamalarının modellenmesi

Rıfat Kurt<sup>1\*</sup>, Selman Karayılmazlar<sup>1</sup>, Yıldız Çabuk<sup>1</sup>

#### Öz

Bu çalışmada, Box-Jenkins ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) modelleri kullanılarak mobilya sektöründeki internet harcamalarının dinamikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda mobilya sektöründe internet üzerinden yapılan kartlı ödeme işlemlerine ait veriler kullanılarak mobilya sektöründe elektronik ticaretin (E-ticaret) değişimi incelenmiş ve gelecekteki trendleri tahmin edilmiştir. Çalışmada, öncelikle verilerin durağan hale getirilmesi için logaritmik dönüşüm yapılmış ve durağanlık testleri uygulanmıştır. Sonrasında en uygun ARIMA modelleri seçilmiş ve bu modeller kullanılarak 2023 ve 2024 yıllarına ait işlem sayısı ve tutarları için tahminler yapılmıştır. Elde edilen tahminlere göre, mobilya sektöründeki işlem sayılarının 2024 yılında %33,4'lük bir artışla 1,2 milyon işlemi aşması ve internet harcamalarının %574'lük bir artışla 32,6 milyar TL'ye ulaşması beklenmektedir. Çalışmanın bulguları, mobilya sektöründe E-ticarete doğru önemli bir kayma olduğunu ve online harcama işlemlerinde kayda değer bir artış yaşandığını net bir şekilde göstermektedir. Karmaşık karar alma süreçleri ve ürünlerin fiziksel olarak deneyimlenememesi gibi mobilya E-ticaretinin doğasında var olan zorluklara rağmen, sektörün yıllar içinde önemli bir büyüme göstermeye hazırlandığı söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Mobilya, E-ticaret, İnternet harcamaları, ARIMA

### Data-driven approach in e-commerce transformation: modeling internet expenditures in the furniture sector using the Box-Jenkins ARIMA model

#### Abstract

In this study, Box-Jenkins ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) models are used to investigate the dynamics of internet spending in the furniture sector. In this context, the change in electronic commerce (E-commerce) in the furniture sector is analyzed and future trends are estimated by using data on card payment transactions made over the internet in the furniture sector. In the study, firstly, logarithmic transformation was made to make the data stationery and stationarity tests were applied. Then, the most appropriate ARIMA models were selected, and forecasts were made for the number and amounts of transactions for the years 2023 and 2024 using these models. According to the forecasts, the number of transactions in the furniture sector is expected to exceed 1.2 million transactions in 2024 with an increase of 33.4% and internet expenditures are expected to reach 32.6 billion TL with an increase of 574%. The findings of the study clearly show that there has been a significant shift towards e-commerce in the furniture industry and a significant increase in online spending transactions. Despite the challenges inherent in furniture E-commerce, such as complex decision-making processes and the inability to physically experience the products, the industry is poised for significant growth over the years.

**Keywords:** Furniture, E-commerce, Internet spending, ARIMA

## **1 Giriş**

Teknolojideki gelişmelerle birlikte işletmeler, rekabet avantajlarını artırmak ve değişen tüketici davranışlarına uyum sağlamak için sürekli olarak yenilikçi stratejiler aramaktadır. Özellikle günümüzde internetin çok geniş kesimlerce yoğun bir şekilde kullanılması ve alışveriş işlemlerinin online olarak gerçekleştirilmesi ile ortaya çıkan E-ticaret (Elektronik ticaret) kavramı, ticaretin en büyük ekonomik göstergelerinden birisi haline gelmiştir (Akçi ve Annaç Göv, 2015; Ülger ve Toksarı, 2020). İnternet erişilebilirliği farklı E-ticaret platformlarının çoğalmasını kolaylaştırmış, her büyüklükteki işletmenin küresel bir kitleye ulaşmasını ve tüketicilerin benzersiz çeşitlilikteki mal ve hizmetlere evlerinden rahatlıkla erişmesini sağlamıştır.

E-ticaret, çevrimiçi perakende işlemlerden elektronik ödemelere, dijital pazarlamaya ve ötesine uzanan, internet üzerinden elektronik olarak yürütülen geniş bir ticari faaliyet yelpazesini kapsamaktadır. E- ticaret ile işletmeler coğrafi sınırları aşarak zamandan ve mekândan bağımsız olarak dünyanın herhangi bir yerinde ve herhangi bir saatinde müşterilere alışveriş imkânı sunabilmektedir (Kurt, 2019). E-ticaret aynı zamanda küçük ve orta ölçekli işletmelerin ürün ve hizmetlerini sergilemeleri için küresel bir pazar sağlayarak girişimciliği daha demokratik hale getirmiştir. Ayrıca, çevrimiçi alışverişin rahatlığı, erişilebilirliği, çeşitlilik ve gerçek zamanlı satın alma deneyimleri sunarak tüketici davranışlarını yeniden tanımlamaktadır.

2021 yılında perakende E-ticaret satışları dünya çapında yaklaşık 5,2 trilyon ABD doları olarak gerçekleşmiş olup bu rakamın önümüzdeki yıllarda %56 artarak 2026 yılına kadar yaklaşık 8,1 trilyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Statista, 2023). Birçok sektörde olduğu gibi mobilya sektöründe de teknolojik gelişmeler ve değişen tüketici tercihlerinin etkisiyle online alışverişe doğru önemli bir kayma yaşanmıştır. Ancak mobilya E-ticaret sitelerinin büyümesi, önemli satışları oluşturan giysi, kitap ve CD gibi birçok ürün türünün aksine daha yavaş olmuştur (Cole vd., 2003). Bunun en önemli sebeplerinden biri karar verme süreci ve E-ticaret sitelerindeki aksaklıklardır. Dayanıklı tüketim malları için yapılan önemli kişisel tüketim harcamaları arasında yer alan mobilya, pahalı, dayanıklı ve uzun ömürlü olması nedeniyle kapsamlı bir karar verme süreci gerektirir ve satın alma sıklığı düşüktür (Perry, 2007).

Mobilya satın almada karar verme bütçe, kullanılabilir alan, zaman yatırımı, mevcut öğelerin elden çıkarılması, mevcut mobilyalarla eşleşme ve yaşam tarzı gibi kısıtlamaların dikkate alınmasını içeren kapsamlı süreçlerden oluşmaktadır. Ayrıca tüketicilerin mobilya kombinasyonlarını gerçek ortamda deneyememelerinden kaynaklanan belirsizlik, tüketicileri mobilya pazarının dışında tutmakta veya satın alma kararlarını geciktirmektedir. Diğer yandan mobilya sitelerindeki konfor testi ve dokunsal deneyim için gerçekçiliğin eksikliği, teslimat ve iade süreçlerindeki uygunsuzluklar ve yüksek maliyetler tüketicilerin fiziksel mağazaları tercih etmelerinde etkili olmaktadır (Oh vd., 2004).

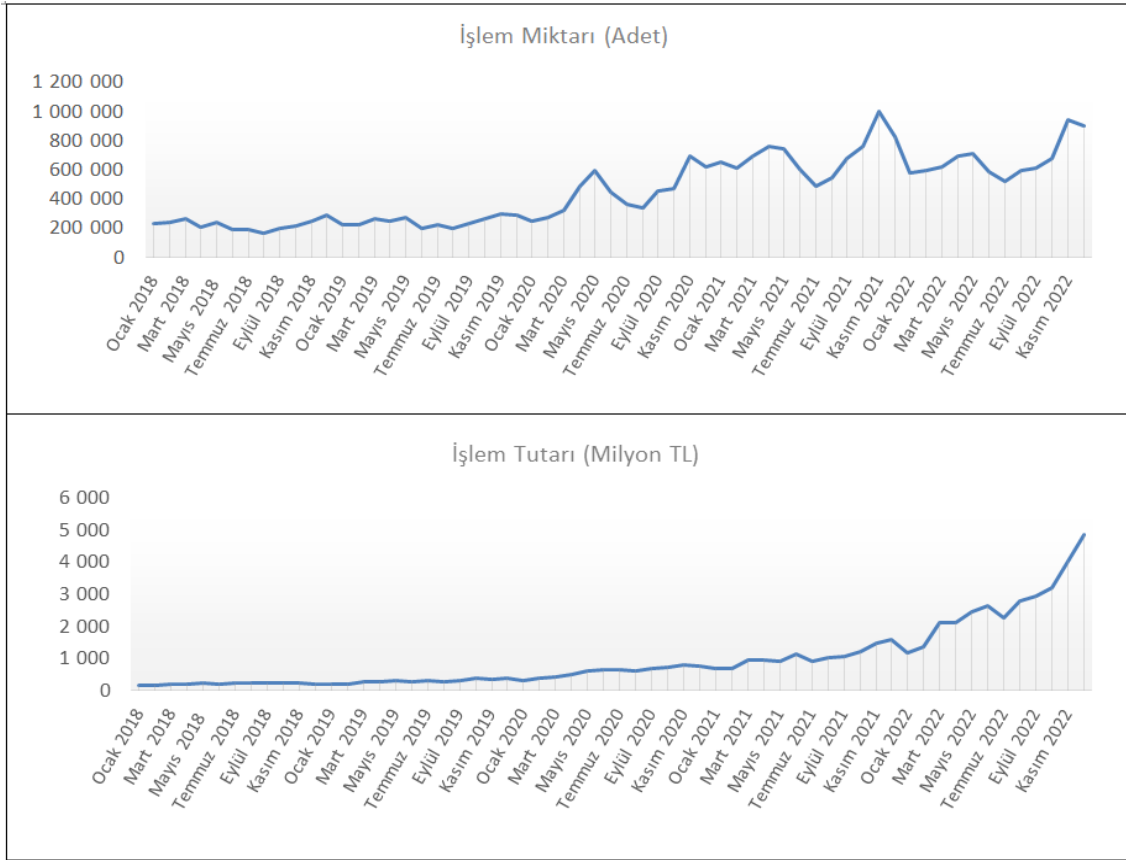
Tüm bunlara rağmen mobilya sektöründe E-ticaret, çevrimiçi mağazaların ortaya çıkması, farklı yeni teknolojinin kullanılması ve internetin daha fazla bölgeye yayılması ile yıllar içinde gelişmiştir. E-ticaret ile mal ve hizmet pazarının yapısı değişmiş, yeni ürünler, yeni dağıtım ve pazarlama teknikleri ve yeni araçlar ortaya çıkmıştır (Akpınar, 2017; Yıldırım vd. 2023). 2018 yılında 2,54 milyar TL olan online mobilya kartlı harcama işlemleri, 2022 yılında %1154 artarak (yaklaşık 12,5 kat) 31,87 milyar TL'ye ulaşmıştır. Aynı şekilde, 2018 yılında 2,67 milyon adet olan işlem miktarları ise %200 artışla (yaklaşık 3 kat) 8,04 milyon adete ulaşmıştır.

Bu çalışmada E-ticaretin temel araçlarından biri olan internet harcamaları mobilya sektörü temel alınarak incelenmiştir. Bu kapsamda mobilya sektöründe E-ticaret dönüşümü için bir araç olarak Box-Jenkins ARIMA (Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama) modeli kullanılmış ve geleceğe yönelik tahminler gerçekleştirilmiştir. Mobilya E-ticaret sektöründe internet harcamalarının modellenmesi ile işletmelerin tüketici harcamalarının zamansal dinamiklerini anlamalarına, mevsimsel kalıpları belirlemelerine ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmelerine olanak tanınması amaçlanmıştır. Ayrıca kurulacak model işletmelerin, tedarik zinciri yönetimini optimize etmek, talep dalgalanmalarını tahmin etmek ve promosyon kampanyalarını stratejik olarak planlamak için yardımcı olacaktır. Şirketler, internet harcamalarının analizi ile tüketici harcama modellerine ilişkin değerli öngörüler elde edebilecek ve böylece stratejilerini ve tekliflerini optimize etmek için bilinçli kararlar alabileceklerdir.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

Çalışma materyalini Bankalararası Kart Merkezi'nden (BKM) alınan mobilya sektörüne ilişkin 2018-2022 yılları arasındaki internette yapılan kartlı ödeme işlemleri oluşturmaktadır. Aylık olarak alınan veriler söz konusu yıllardaki mobilya sektörüne ait internette yapılan işlem miktarları ve işlem tutarlarını kapsamaktadır. İşlem miktar ve tutarlarındaki aylık değişim Şekil-1'de grafiksel olarak verilmiştir. Durağanlık testleri ve en uygun Box-Jenkins ARIMA modellerinin bulunmasında Eviews, modelin kurulması ve tahmin işlemlerinde MINITAB yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 1. 2018-2022 yılları arası aylık internet kartlı ödeme işlemleri (BKM, 2023)

## 2.2 Metot

Mobilya E-ticaret verilerine ilişkin modelin kurulmasında Box-Jenkins ARIMA yönteminden yararlanılmış ve internet harcamalarına ilişkin gelecek 24 aylık işlem miktarı ve tutarları tahmin edilmiştir. Box ve Jenkins (1970) 'in zaman serisi analizi kitaplarında doğrusal stokastik modellerin bir ailesi olarak tanımladığı yöntem, günümüzde Box-Jenkins veya ARIMA olarak bilinmekte ve endüstriyel uygulamalarda kapsamlı bir kullanım alanı bulan önemli lineer istatistiksel model grubunda yer almaktadır (Hansen vd. 1999). Başlıca Box-Jenkins tahmin modelleri otoregresif (autoregressive-AR) entegre (integrative-I) hareketli ortalama (moving average-MA) ve mevsimsel (seasonal-S) otoregresif entegre hareketli ortalama modelleridir. Bu modelin genel yapısı ARIMA  $(p,d,q)*(P,D,Q)_s$  olarak gösterilmektedir. Burada  $p$ ,  $d$  ve  $q$  mevsimsel olmayan birleşenin parametrelerini ifade ederken,  $P$ ,  $D$  ve  $Q$  benzer şekilde mevsimsel birleşenin parametrelerini göstermekte ve  $s$ 'de mevsimsellik periyodunu ifade etmektedir. AR ( $p$ ), MA ( $q$ ) ve bunların birleşimi olan ARMA ( $p, q$ ) modelleri mevsimsel olmayan durağan süreçler için kullanılırken, ARMA ( $p,q$ )\*( $P,Q$ ) $_s$  mevsimsel ve durağan süreçler için kullanılmaktadır. Durağan ve mevsimsel olmayan süreçler ARIMA ( $p,d,q$ ) modelleri ile ifade edilirken, durağan olmayan mevsimsel süreçler ARIMA ( $p,d,q$ )\*( $P,D,Q$ ) $_s$  modelleri ile ifade edilmektedir (Box vd., 2015; Sarıyer, 2018). Genel olarak ARIMA ( $p,d,q$ ) modeli Eşitlik-1'deki gibi ifade edilir (Kurt vd., 2018; Kurt ve Karayılmazlar, 2019);

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1)$$

Burada,  $Y_t$ ;  $d$  dereceden farkı alınmış gözlem değerlerini,  $\varepsilon_t$ ;  $\phi_i$  ( $i = 1,2,3 \dots p$ ) ve  $\theta_j$  ( $j = 1,2,3 \dots q$ ) parametreleri için  $t$  zamandaki hata terimlerini,  $p$  ve  $q$  sırasıyla otoregresif süreci ve hareketli ortalamayı göstermektedir. ARIMA modeli mevsimsel bir değişim gösterdiğinde ise ARIMA ( $p,d,q$ )\*( $P,D,Q$ ) $_s$  veya SARIMA olarak gösterilir. SARIMA modelinin ifadesi Eşitlik 2' de verilmiştir

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^s)Y_t = \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (2)$$

Burada,  $Y_t$  herhangi  $t$  dönemindeki zaman serisi veri grubunu,  $\varepsilon_t$  bir  $t$  döneminde normal dağılım gösteren hata değerlerini,  $B$  geri kaydırma operatörünü,  $s$  mevsimsel dereceyi,  $\phi, \theta$  Mevsimsel olmayan AR ve MA, son olarak  $\Phi, \Theta$  ise Mevsimsel AR ve MA modeli katsayılarını temsil etmektedir (Li vd., 2003; Oruç ve Çelik Eroğlu, 2017).

ARIMA modeli kurulup tahmin aşamasına geçmeden önce veri dağılımında gözlenen çarpıklığı azaltmak ve verilerin sabit mevsimsel değişmeler içeren bir hale gelmesini sağlamak için tüm verilerde logaritmik dönüşüm yapılmıştır. Daha sonra modelin en önemli varsayımlarından biri olan durağanlık koşulu literatürde yaygın olarak kullanılan birim kök testlerinden Genelleştirilmiş Dickey-Fuller (ADF) testi ile sınanmıştır. Ayrıca durağanlık ve verilerin bağımsız olması varsayımı otokorelasyon (corrologram) grafikleri ile de gözlemlenmiştir.



### 3 Bulgular

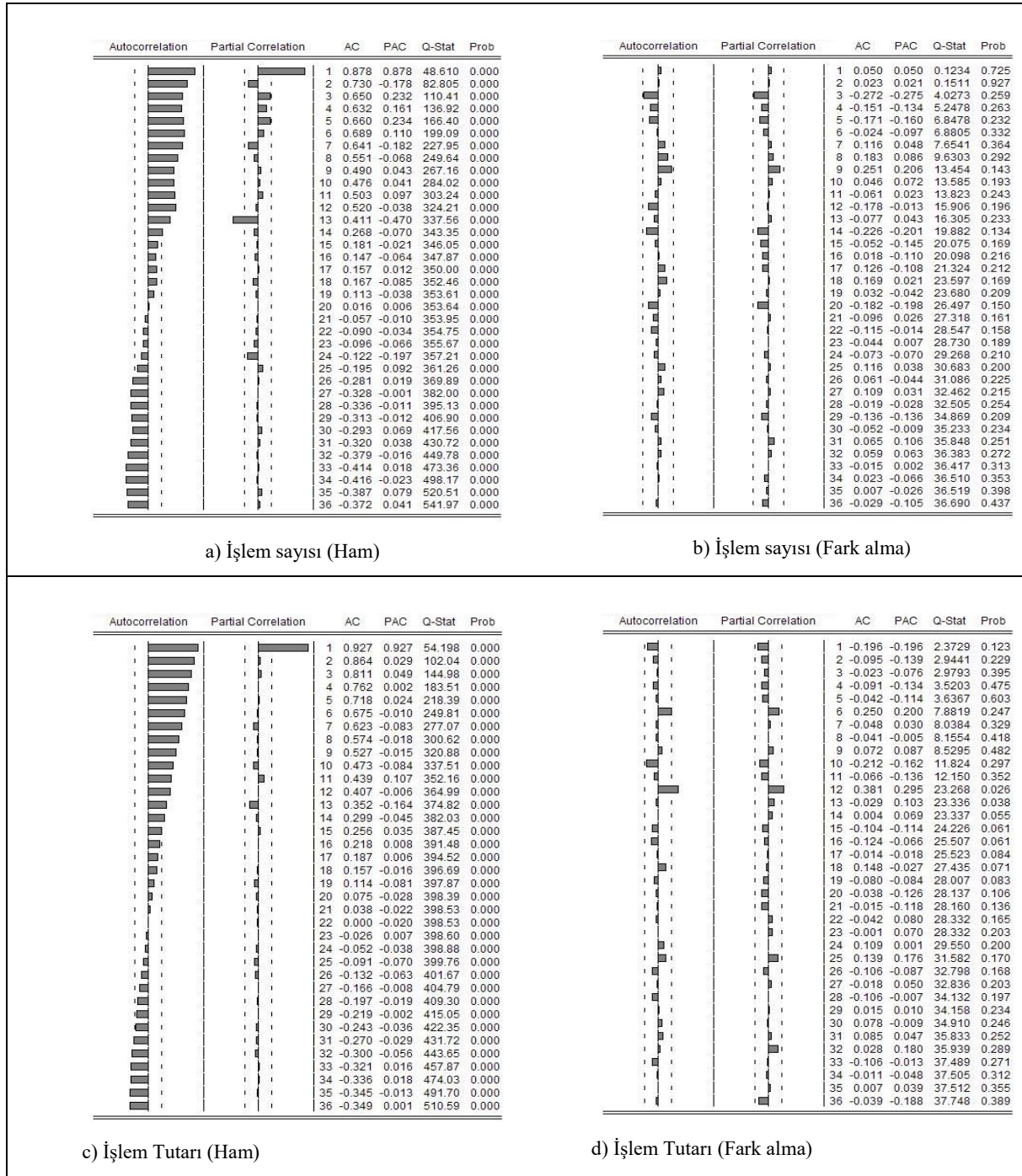
#### 3.1 Durağanlık Testleri

ADF testi, parametrelerin En Küçük Kareler tahmin edicisinin, birim kök varsayımı altındaki dağılımına bağlı olarak geliştirilmiş olan bir yöntemdir. Tablo 1’de internetten yapılan kartlı ödeme işlemlerine ilişkin ADF test sonuçları verilmiştir. Logaritmik işlem sayılarına ilişkin ADF test sonuçları incelendiğinde test istatistiğinin (-1,0909) kritik değerlerden büyük olduğu ve serinin birim kök içerdiği görülmektedir. Aynı şekilde önem derecesi  $0,7139 > 0,05$  olduğu için seri durağan değildir. Bu nedenle işlem sayılarına ait değerlerin birinci derece farkları alınmıştır. Birinci farkları alınan işlem sayılarına ait ADF test sonuçlarına bakıldığında, test istatistiğinin (-6,5988) kritik değerlerden küçük ve önem derecesinin  $0,000 < 0,05$  olduğu, yani serinin birim kök içermediği ve durağan hale geldiği görülmektedir. Aynı şekilde işlem tutarlarına ait ADF test sonuçlarına incelendiğinde ise test istatistiğinin (0,7221) kritik değerlerden büyük ve önem derecesinin (0,9917) anlamsız olduğu görülmüş ve birinci farkları alınmıştır. Birinci farkları alınan işlem tutarlarına ait ADF test istatistiği (-9,0764) kritik değerlerden küçük ve %5 önem düzeyinde anlamlı hale gelmiş ve seri durağanlaşmıştır.

**Tablo 1.** İnternette yapılan kartlı ödeme işlemlerine ilişkin ADF test sonuçları

Logaritmik verilere ait Testler					
İşlem Sayısı	t-istatistiği	Önem Derecesi	İşlem Tutarı	t-istatistiği	Önem Derecesi
Artırılmış Dickey-Fuller Testi	-1,090918	0,7139	Artırılmış Dickey-Fuller Testi	0,722185	0,9917
% 1	-3,546099		% 1	-3,546099	
Test kritik değerleri %5	-2,911730		Test kritik değerleri %5	-2,911730	
%10	-2,593551		%10	-2,593551	
Fark Alma İşleminde Sonraki Testler					
İşlem Sayısı	t-istatistiği	Önem Derecesi	İşlem Tutarı	t-istatistiği	Önem Derecesi
Artırılmış Dickey-Fuller Testi	-6,598754	0,0000	Artırılmış Dickey-Fuller Testi	-9,076437	0,0000
% 1	-3,555023		% 1	-3,548208	
Test kritik değerleri %5	-2,915522		Test kritik değerleri %5	-2,912631	
%10	-2,595565		%10	-2,594027	

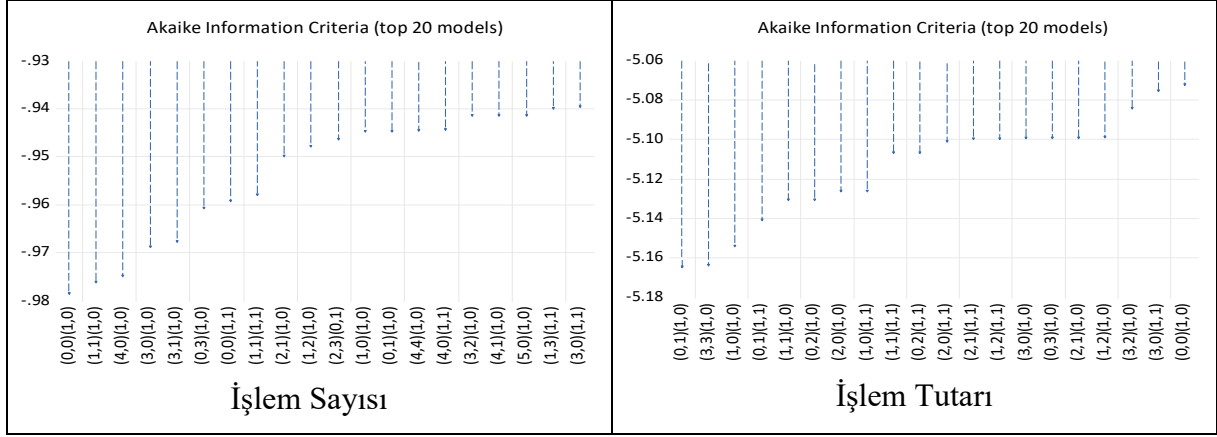
Yine verilere ilişkin korelogram grafikleri incelendiğinde fark alma işlemlerinden önce durağan olmayan serilerin farkları alındıktan sonra durağan hale geldiği AC (autocorrelation: otokorelasyon), PAC (Partial autocorrelation: Kısmi otokorelasyon), Q istatistiği test sonuçlarında görülmektedir (Şekil 2). Grafikler incelendiğinde fark alma işleminden önce hem AC hem de PAC grafiklerinin %95 güven aralığının dışında kaldığı açık şekilde görülmektedir. Aynı şekilde Q istatistiği test sonuçlarına bakıldığında da tüm gecikme değerlerinin 0,05’ten küçük olduğu yani durağanlığın sağlanmadığı görülmektedir. Bu durum hem işlem sayıları hem de işlem tutarlarına ait gözlem değerleri arasında otokorelasyon olduğunu göstermektedir. Serilerin farkları alındıktan sonra ise AC ve PAC katsayıları gecikme değerlerinin sınırlar içerisinde yer aldığı, Q istatistiği test sonuçlarının ise 0,05’ten büyük olduğu ve böylece otokorelasyon sorununun ortadan kalktığı söylenebilir.



Şekil 2. Mobilya internet verilerine ait korelogram grafikleri

### 3.2 Model Kurma ve Tahmin

Veriler durağan hale getirildikten sonra en uygun ARIMA modelleri araştırılmıştır. İşlem miktar ve tutarlarına ait 144'er adet farklı ARIMA modelinin performansları Akaike Bilgi Ölçütü (Akaike Information Criterion- AIC) kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna göre işlem miktarlarına ait en uygun model SARIMA (0,1,0)\*(1,1,0)<sub>12</sub>, işlem tutarlarına ait en uygun model ise SARIMA (0,1,1)\*(1,1,0)<sub>12</sub> olarak belirlenmiştir. Şekil 3'te AIC performanslarına göre en iyi 20 ARIMA modeli verilmiştir.



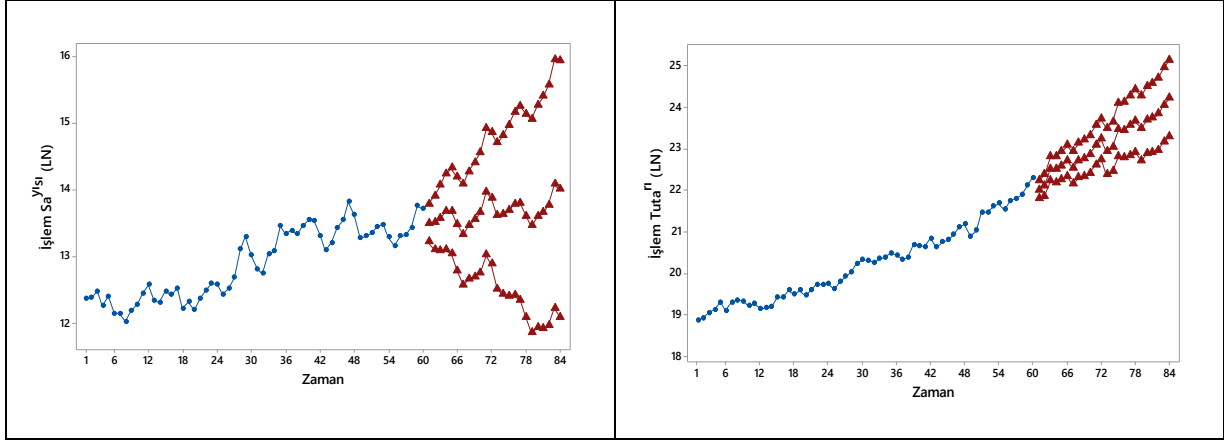
Şekil 3. AIC performanslarına göre en iyi 20 ARIMA modeli

Tablo 2’de kurulan modellere ilişkin test sonuçları verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere her iki model %5 önem düzeyinde anlamlı ( $p < 0,05$ ) ve tahmin için kullanılabilir durumdadır. Yine Ljung box ki-kare istatistikleri bakıldığında da modelin tüm gecikmelerde anlamlı ( $p > 0,05$ ) ve yeterli olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Kurulan modellere ait test sonuçları

İşlem Sayısı: SARIMA (0,1,0)*(1,1,0) <sub>12</sub>				
Tip	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistiği	p (Önem Derecesi)
SAR 12	-0,331	0,162	-2,04	0,047
MSE (Hata Kareleri Ortalaması): 0,0211648		SS (Hata Kareleri Toplamı): 0,973583		
<i>Box-pierce (Ljung box) ki-kare istatistikleri</i>				
Lag (Gecikme)	12	24	36	48
Ki-kare	14,77	27,93	32,78	*
SD	11	23	35	*
P-Değeri	0,193	0,218	0,576	*
İşlem Tutarı: SARIMA (0,1,1)*(1,1,0) <sub>12</sub>				
Tip	Katsayılar	Standart Hata	t-istatistiği	p (Önem Derecesi)
SAR 12	-0,337	0,157	-2,15	0,037
MA 1	0,400	0,145	2,77	0,008
MSE (Hata Kareleri Ortalaması): 0,0126377		SS (Hata Kareleri Toplamı): 0,568695		
<i>Box-pierce (Ljung box) ki-kare istatistikleri</i>				
Lag (Gecikme)	12	24	36	48
Ki-kare	13,12	31,93	41,39	*
SD	10	22	34	*
P-Değeri	0,217	0,079	0,179	*

En uygun ARIMA modelleri belirlendikten sonra 2023 ve 2024 yıllarına ait 24 aylık veriler tahmin edilmiştir. Şekil 4’te internetten yapılan mobilya sektörü işlem sayısı ve tutarlarının logaritmik değerlerine ilişkin tahmin grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde sektördeki işlem sayısı ve tutarlarının kademeli olarak artmaya devam edeceği görülmektedir. Tablo 3’te kurulan modellerle elde edilen 2023-2024 yıllarındaki aylık tahmini rakamsal değerler verilmiştir.



**Şekil 4.** Mobilya sektörü işlem sayısı ve tutarlarına ait tahmin grafikleri

Tablo 3 incelendiğinde 2022 yılında 902 bin adet olan işlem miktarının 2023 yılının ilk aylarında mevsimsel değişimden kaynaklı bir miktar düşeceği ve 2023 yılının aralık ayında 1 milyonu aşacağı görülmektedir. 2024 yılının son ayında ise 2022 yılı aralık ayına göre yaklaşık %33,4 artarak 1,2 milyon adete ulaşacağı öngörülmüştür. 2022 aralık ayında 4,8 milyar TL olan işlem hacminin de işlem miktarına/sayısına benzer şekilde 2023 yılının ilk aylarında düşüş göstereceği, aralık ayında ise 12 milyar TL'ye ulaşacağı öngörülmüştür. 2024 yılının aralık ayında ise 2022 yılına oranla %574 artarak 32,7 milyar TL'ye ulaşacağı öngörülmüştür. İşlem tutarında tahmin edilen bu büyük artış, özellikle son yıllarda Türk lirasındaki değer kaybı göz önüne alındığında tutarlı bulunmuştur.

**Tablo 3.** İşlem sayısı ve tutarlarına ilişkin aylık tahmini rakamsal değerler (2023-2024)

Aylar	İşlem Sayısı (Adet)	İşlem Tutarı (TL)	Aylar	İşlem Sayısı (Adet)	İşlem Tutarı (TL)
Ocak 2023	723.460	3.595.683.733	Ocak 2024	808.148	9.063.307.893
Şubat 2023	727.159	3.986.581.764	Şubat 2024	820.279	10.168.901.221
Mart 2023	778.170	5.942.525.213	Mart 2024	870.132	15.370.255.229
Nisan 2023	858.292	5.870.466.855	Nisan 2024	961.164	15.227.974.486
Mayıs 2023	869.088	6.418.819.120	Mayıs 2024	977.839	16.974.872.512
Haziran 2023	713.901	7.251.687.229	Haziran 2024	806.210	18.893.806.370
Temmuz 2023	610.174	6.074.709.463	Temmuz 2024	695.579	15.946.416.977
Ağustos 2023	697.111	7.275.657.326	Ağustos 2024	797.470	19.283.198.313
Eylül 2023	760.628	7.686.258.799	Eylül 2024	850.092	20.395.905.360
Ekim 2023	848.733	8.506.530.504	Ekim 2024	947.991	22.450.977.693
Kasım 2023	1.156.027	10.530.061.463	Kasım 2024	1.299.773	27.914.162.124
Aralık 2023	1.053.997	12.157.352.892	Aralık 2024	1.204.530	32.688.853.984

#### 4 Sonuç ve Öneriler

- Teknoloji perakende ortamını yeniden şekillendirmeye devam ettikçe, tüketicilerin çevrimiçi platformlarla nasıl etkileşime girdiğini anlamak işletmeler için çok önemli hale gelmiştir. E-ticaret dünyası eşi benzeri görülmemiş bir hızla gelişmekte ve mobilya sektörü de bundan payını almaktadır.
- Çalışmada mobilya sektörüne ait internet harcamaları ve işlem sayıları ARIMA Box Jenkins yöntemi ile tahmin edilmiştir. İşlem sayıları ve harcamalarına ilişkin 144'er adet farklı modelin performansları incelenmiş, işlem sayısı için en uygun model SARIMA (0,1,0)\*(1,1,0)<sub>12</sub> olarak belirlenirken, işlem tutarı için en uygun model ise SARIMA (0,1,1)\*(1,1,0)<sub>12</sub> olarak belirlemiştir. Tahminler mobilya sektörüne ait işlem sayılarının 2024 yılının aralık ayında 2022 yılının aynı ayına göre %33,4 artarak yaklaşık 1,2 milyon adete, internet harcamalarının ise %574 artarak yaklaşık 32,7 milyar TL'ye ulaşacağını göstermektedir.
- Elde edilen bulgular, mobilya E-ticaret sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için önemli sonuçlar oluşturmaktadır. İşlem sayılarını ve harcama eğilimlerini doğru bir şekilde tahmin etme becerisi, şirketleri veriye dayalı kararlar alma konusunda güçlendirecektir. Buna tedarik zinciri yönetiminin optimize edilmesi, pazarlama stratejilerinin uyarlanması, envanter yönetimi ve müşteri deneyimlerinin iyileştirilmesi de dahildir. Dijital ortam gelişmeye devam ettikçe, bu eğilimleri anlamak ve kullanmak, E-ticaretin rekabetçi dünyasında başarılı olmak isteyen işletmeler için çok önemlidir. Mobilya internet harcamalarında öngörülen büyüme, gelişen bir E-ticaret pazarına işaret etmektedir ve işletmeler bu trendden yararlanmak için kendilerini stratejik olarak konumlandırabileceklerdir. İşletmeler, değişen tüketici davranışlarını kapsamlı bir şekilde anlayarak stratejilerini müşterilerine daha iyi hizmet verecek şekilde uyarlayabileceklerdir.
- Mobil uygulama geliştirmeleri veya web sitesi iyileştirmeleri gibi teknolojik yatırımlar çevrimiçi alışveriş deneyimini artırabilir. Özellikle mobilya alışverişinde önemli olan dokunsal deneyimin eksikliğini azaltmak için sanal deneyimler veya artırılmış gerçeklik gibi teknolojilere daha fazla yatırım yapılabilir. Geleceğe yönelik talep ve harcama tahminleri işletmelerin fiyatlandırma stratejilerini belirlemede yardımcı olabilir. Ayrıca artan talebe cevap verebilmek için hangi ürünlerin E-ticaret için daha uygun olduğu belirlenebilir ve yeni ürünler geliştirilebilir. Bu yeni ürünlerin piyasaya sürülmesi veya stok çeşitliliğinin ayarlanması için çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmanın özellikle, mobilya perakende pazarının değişen dinamiklerine ayak uydurmak ve E-ticarette rekabet avantajı sağlamak isteyen şirketler için faydalı bir kaynak niteliğinde olması beklenmektedir.
- İşletmeler için doğru veri analitiği ve tahminler, gelecekteki talepleri öngörmek ve iş stratejilerini şekillendirmek açısından kritik bir öneme sahiptir. ARIMA modelleri ile yapılan tahminlerle kısa dönemlerde tutarlı sonuçlar alınabilmektedir. Uzun vadeli dönemler için farklı tahmin yöntemleri (makine öğrenimi, regresyon analizleri vs.) karşılaştırılmalı olarak kullanılarak gelecekteki trendler ve belirsizlikler için en uygun stratejiler belirlenebilir.

#### Yazar Katkıları

**Rıfat Kurt:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme. **Selman Karayılmazlar:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının

geliştirilmesi), Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme. **Yıldız Çabuk:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme.

### **Finansal destek beyanı**

Yazarlar bu çalışma için finansal destek beyan etmemiştir.

### **Çıkar çatışması**

Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemiştir.

### **Kaynaklar**

- Akçi, Y., Annaç Göv, S. (2015), Tüketicilerin E-ticaret algılarının incelenmesi (Gaziantep ve Adıyaman örneği), *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(13), 413-433.
- Akpınar, E.N. (2017), Elektronik dış ticaret ve istihdam ilişkisi, *The Journal of International Lingual Social and Educational Sciences*, 3(2), 208-217.
- BKM (2023), Bankalararası kart merkezi. *Raporlar ve yayınlar*, Erişim: <https://bkm.com.tr/raporlar-ve-yayinlar/donemsel-bilgiler/> (11.09.2023)
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M. (1970), Time series analysis: Forecasting and control. *Holden-Day Inc.*, San Francisco, California.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C., Ljung, G.M. (2015), Time series analysis: Forecasting and control, *John Wiley & Sons*.
- Cole, J.I., Suman, M., Schramm, P., Lunn, R., Aquino, J. S. (2003), Surveying the digital future-year three, *The UCLA Internet Report*, UCLA Center for Communication Policy, 42-46.
- Hansen, J.V., McDonald, J.B., Nelson, R.D. (1999), Time series prediction with Genetic-Algorithm designed neural networks: An empirical comparison with modern statistical models, *Computational Intelligence*, 15(3), 171-184. DOI: [10.1111/0824-7935.00090](https://doi.org/10.1111/0824-7935.00090)
- Kurt, R. (2019), Mobilya sektöründe E-Ticaret'in GZFT analizi ile değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 616-627. DOI: [10.29130/dubited.485746](https://doi.org/10.29130/dubited.485746)
- Kurt, R., Karayılmazlar, S. (2019), Türkiye mantar üretimi ve ARIMA (Box-Jenkins) ile projeksiyonu, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 6(1), 72-76. DOI: [10.17568/ogmoad.461534](https://doi.org/10.17568/ogmoad.461534)
- Kurt, R., Imren, E., Cabuk, Y., Karayılmazlar, S. (2018), Estimation of global wood pellet production as a renewable energy source by ARIMA method, *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(7), 5147-5152.
- Li, Y., Campbell, E.P., Haswell, D., Sneeuwjagt, R.J., Venables, W.N. (2003), Statistical forecasting of soil dryness index in the southwest of Western Australia, *Forest Ecology and Management*, 183(1-3), 147-157. DOI: [10.1016/S0378-1127\(03\)00103-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00103-8)
- Oh, H., Yoon, S.Y., Hawley, J. (2004), What virtual reality can offer to the furniture industry, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 4(1), 1-17.
- Oruç, K.O., Çelik Eroğlu, Ş. (2017), Isparta ili için doğal gaz talep tahmini, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(1), 31-42.
- Perry, D. (2007), Stir your consumers' emotions, *Furniture Today*, 32(14), 22.



- Sarıyer, G. (2018), Acil Servislerde talebin zaman serileri modelleri ile tahmin edilmesi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 10 (1), 66-77. DOI: [10.29137/umagd.419661](https://doi.org/10.29137/umagd.419661)
- Statista, (2023), The statistics portal. Erişim: <https://www.statista.com/statistics/379046/worldwide-retail-e-commerce/> (10.06.2023)
- Ülger, Y.T., Toksarı, M. (2020), E-Ticaret sitelerinin kullanılabilirliği ve başarısını etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(2), 116-128. DOI: [10.46849/guiibd.823445](https://doi.org/10.46849/guiibd.823445)
- Yıldırım, K., Karakaya, A.F., Tunca, E. (2023), Covid-19 pandemisinin E-Ticaret yoluyla konut mobilyası satışı üzerindeki etkisi, *ISPEC International Journal of Social Sciences & Humanities*, 7(2), 267-284. DOI: [10.5281/zenodo.7981984](https://doi.org/10.5281/zenodo.7981984)





### Effects of bleaching chemicals on some surface characteristics of olon (*Zanthoxylum heitzii*) wood

Hüseyin Peker<sup>1</sup> , Ümit Ayata<sup>2\*</sup> 

#### Abstract

Olon wood is used internationally in plywood, furniture, interior carpentry, and mold making. In this study, the effects of wood bleaching chemicals (oxalic acid and  $H_2O_2+NaOH$ ) on certain surface properties (color, glossiness, and whiteness index:  $WI^*$ ) of olon wood (*Zanthoxylum heitzii*) were investigated. The results of the bleached samples were compared with those of a control group. Based on the results obtained, it was determined that the variance analyses conducted for all tests in the study yielded statistically significant results. Application of both bleaching chemicals led to an increase in the  $h^o$  and  $L^*$  values. The  $\Delta E^*$  values were determined as 2.07 for the single-component and 10.30 for the double-component. In contrast, these parameters increased with the single-component bleach while the  $a^*$ ,  $b^*$  and  $C^*$  values decreased with the double-component wood bleach. The  $WI^*$  values exhibited an increase in both directions when they were exposed to both bleaching chemicals. Both bleaching agents resulted in reductions in glossiness values at 85 degrees in both directions. Furthermore, there were declines with the single-component bleach and rises with the double-component bleach when measuring glossiness at 60 degrees in both directions.

**Keywords:** Bleach, olon, oxalic acid,  $H_2O_2$ , NaOH

### Olon (*Zanthoxylum heitzii*) odununun bazı yüzey özellikleri üzerine ağartıcı kimyasalların etkileri

#### Öz

Olon odunu yurt dışında, kontrplakta, mobilyada, iç marangozlukta ve kalıpcılıkta kullanılmaktadır. Bu çalışmada, olon (*Zanthoxylum heitzii*) ahşabında bazı yüzey özellikleri (renk, parlaklık ve beyazlık indeksi:  $WI^*$ ) üzerine ağartıcı kimyasalların (oksalik asit ve  $H_2O_2+NaOH$ ) etkileri araştırılmıştır. Bir kontrol gurubu ile ağartılmış numunelere ait sonuçlar birbirleri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, çalışmada yapılan bütün testler için varyans analizleri anlamlı olarak tespit edilmiştir.  $\Delta E^*$  değerleri tek komponentli için 2.07 ve çift komponentli için 10.30 olarak bulunmuştur. Her iki ağartma kimyasalı karşısında yapılan uygulamalar ile  $h^o$  ve  $L^*$  değerleri artmıştır. Buna karşılık çift komponentli ahşap ağartıcı ile  $a^*$ ,  $b^*$  ve  $C^*$  değerleri azalırken, tek komponentli ağartıcıda bu parametreler artmıştır. Her iki ağartma kimyasalı karşısında  $WI^*$  değerleri her iki yön için artış değerleri sergilemiştir. Her iki yönde yapılan 85 derece parlaklık değerlerinde her iki ağartma ile azalmalar elde edilmiştir. Buna ek olarak, yine her iki yönde yapılan 60 derece parlaklıkta ise tek komponentlide azalışlar ve çift komponentlide artışlar görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Ağartma, olon, oksalik asit,  $H_2O_2$ , NaOH

## 1 Introduction

While a bleaching pretreatment is commonly employed for wood modification, there have been numerous studies conducted to assess how bleaching impacts the enhancement of wood colour (Liu et al., 2015).

Various chemicals are used in bleaching processes. One of these chemicals is peroxide. The primary benefit of the peroxide process lies in its swift breakdown, generating free radicals that interact with the hydroxyl group of the fiber and the matrix, fostering strong adhesion between the fiber and matrix at the composite interface (Pizzi and Kumar, 2019; Sreekala et al., 2000).

Table 1 presents the studies conducted in the literature on bleaching applications. When examining these studies, it can be observed that various bleaching chemicals applied have altered the colour parameters of different wood species.

**Table 1.** The studies conducted in the literature on bleaching applications

Wood Type	Chemical Type	The change after application					Reference
		L*	a*	b*	C*	h°	
Ilonba	Oxalic acid	↑	↓	↑	↑	↑	Ayata and Bal, (2023)
( <i>Pycnanthus angolensis</i> Exell)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
Linden	Oxalic acid	↓	↑	↑	↑	↓	Çamlıbel and Ayata, (2023a)
( <i>Tilia tomentosa</i> - Moench.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
Ekop	Oxalic acid	↓	↑	↑	↑	↑	Çamlıbel and Ayata, (2023b)
( <i>Tetraberlinia bifoliolata</i> Haum.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↑	↑	↑	
Satinwood ceylon	Oxalic acid	↓	↓	↑	↓	↑	Ayata and Çamlıbel, (2023)
( <i>Chloroxylon swietenia</i> DC)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
Izombé	Oxalic acid	↓	↑	↑	↑	↑	Peker et al., (2023)
( <i>Testulea gabonensis</i> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↑	↑	↑	
Canelo	Oxalic acid	↑	↑	↑	↑	↑	Peker, (2023a)
( <i>Drimys winteri</i> J.R. Forst. & G. Forst.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↑	↑	↑	↑	
Lotofa	Oxalic acid	↑	↓	↑	↑	↑	Peker, (2023b)
( <i>Sterculia rhinopetala</i> )	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↑	
Black locust	Oxalic acid	↑	↓	↑	↓	↑	Peker and Ulusoy, (2023)
( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + NaOH	↑	↓	↓	↓	↓	

The olon tree (*Zanthoxylum heitzii* - syn. *Fagara heitzii* Aubr. et Pellegr.) is found in African forests (Tailfer, 1989; Matig et al., 2006). Commercially known as “olon” *Fagara heitzii* is a member of the *Rutaceae* tree family. This tree species is used for timber although it has low impact resistance. It is used in interior carpentry, furniture, plywood, molding and other applications (Vivien and Faure, 1985; Walker and Sillans, 1995).

When looking at these studies, it can be seen that no bleaching application has been performed on olon wood. The aim of this study is to investigate the changes (colour, glossiness, and whiteness index) caused by the application of different wood bleaching chemicals on olon wood surfaces.

## 2 Material and Method

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Wood material

In this study, olon (*Zanthoxylum heitzii*) wood was used as the experimental material. The test material was obtained in 1st-grade quality with dimensions of 85 x 150 x 20 mm from a commercial facility. Care was taken to ensure that the test samples were free from

cracks, had smooth fibers and were free from knots, resin pockets and any significant variations in colour and density. Subsequently, the samples were prepared according to the TS ISO 13061-1 (2021) standard.

### 2.1.2 Wood bleaching chemicals

In the study, double different bleaching chemicals were used: a water-based single-component bleaching agent [oxalic acid (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>): liquid, colourless, odorless, pH value 2.0±0.5] and a double-component bleaching agent [pH value 7, liquid, odorless, colorless, soluble, with water as the diluent, consisting of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>): component A and sodium hydroxide (NaOH): component B mixed in a 2:1 ratio].

## 2.2 Method

### 2.2.1 The application of bleaching treatment to wood material surfaces

In the study, wood surfaces were sanded with sandpapers of 80, 100, and 150 grit sizes. Subsequently, the surfaces were cleaned by using a compressor. Following that, bleaching chemicals were applied to the cleaned materials' surfaces using a sponge. The application was carried out parallel to the fibers.

### 2.2.2 Determination of color properties

The color change of the samples was measured using a CS-10 (CHN Spec, China) device based on the CIELAB colour system according to the ASTM D 2244-3 (2007) standard. Total color difference results were determined using the following formulas:

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \tag{1}$$

$$h^o = \arctan (b^*/a^*) \tag{2}$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{a sample subjected to a bleaching process}} - C^*_{\text{a sample not subjected to a bleaching process}}) \tag{3}$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{a sample subjected to a bleaching process}} - a^*_{\text{a sample not subjected to a bleaching process}}) \tag{4}$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{a sample subjected to a bleaching process}} - L^*_{\text{a sample not subjected to a bleaching process}}) \tag{5}$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{a sample subjected to a bleaching process}} - b^*_{\text{a sample not subjected to a bleaching process}}) \tag{6}$$

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

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

The comparison criteria for evaluating  $\Delta E^*$  values are presented in Table 2 (Barański et al., 2017).

**Table 2.** Comparison criteria for  $\Delta E^*$  value (Barański et al., 2017)

$\Delta E^*$ value	Colour change criteria
$\Delta E^* < 0.2$	Invisible colour change
$2 > \Delta E^* > 0.2$	Slight change of colour
$3 > \Delta E^* > 2$	Colour change visible in high filter
$6 > \Delta E^* > 3$	A colour change visible with the average quality of the filter
$12 > \Delta E^* > 6$	High colour change
$\Delta E^* > 12$	Different colour

The definitions of  $\Delta C^*$ ,  $\Delta H^*$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  and  $\Delta L^*$  are as follows: A positive value indicates that the sample is more vivid or brighter than the reference while a negative value suggests that the sample is more dull or less vivid than the reference.  $\Delta L^*$  indicates the lightness difference. A positive value means that the sample is lighter than the reference while a negative value implies that the sample is darker than the reference.  $\Delta b^*$  as a positive value indicates that the sample is more yellow than the reference while a negative value suggests

that the sample is more blue than the reference.  $\Delta a^*$  as a positive value means that the sample is more red than the reference while a negative value indicates that the sample is more green than the reference.  $\Delta H^*$  represents the hue difference or shade difference.  $\Delta H^*$  is reported as the tonal difference between the sample and the reference (Lange, 1999).

### 2.2.3 Determination of glossiness properties

Glossiness tests were conducted by using an ETB-0833 model gloss meter device at three different angles (20°, 60°, and 85°) in both perpendicular and parallel directions to the fibers following the ISO 2813 (1994) standard.

### 2.2.4 Determination of whiteness index ( $WI^*$ ) properties

In this study, whiteness index ( $WI^*$ ) values were determined in both perpendicular and parallel directions to the fibers by using the Whiteness Meter BDY-1 device following the ASTM E313-15e1 (2015) standard.

## 2.3 Statistical Analysis

The obtained data were analyzed by using an SPSS program to determine the minimum and maximum values, standard deviations, percentage change rates, homogeneity groups, variance analysis and multiple comparisons. Measurements were taken in sets of 10. In total, 30 samples were prepared.

## 3 Results and Discussion

The results are presented for total color differences in Table 3. According to these results,  $\Delta E^*$  values were found to be 2.07 for single-component and 10.30 for double-component bleaching agents. When compared to the colour change criteria (Barański et al., 2017), the single-component bleaching chemical meets the “Slight change of colour (1.5 to 3.0)” criterion while the double-component bleaching chemical meets the “High colour change (6.0 to 12.0)” criterion.  $\Delta L^*$  and  $\Delta H^*$  values were obtained in the positive direction for both bleaching chemicals. On the other hand,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ , and  $\Delta C^*$  values were observed to have a negative effect in the case of single-component and a positive effect in the case of double-component (Table 3).

In a study conducted by Möttönen et al. (2003), bleaching was applied using a 35% hydrogen peroxide solution according to the Wood-Brite method on wood species such as teak, oak, birch, Norway maple, and European spruce. The  $\Delta E^*$  values for these wood species were found to be 4.63, 7.73, 3.06, 2.49, and 1.03, respectively.

**Table 3.** The results for total color differences

Treatment	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta H^*$	$\Delta E^*$	Color change criteria (Barański et al., 2017)
Single Component	1.53	0.09	1.39	1.38	0.22	2.07	Slight change of color
	Lighter than the reference	Redder than the reference	Yellower than the reference	Clearer, brighter than the reference			← Lange, (1999)
Double Component	9.15	-2.93	-3.70	-4.13	2.30	10.30	High color change
	Lighter than the reference	Greener than the reference	Bluer than the reference	Hazier, duller than the reference			← Lange, (1999)

The results of the multivariate analysis of variance are presented in Table 4. Upon examining these results, it is evident that all tests have been found to be statistically significant for the type of bleaching chemical (Table 4).

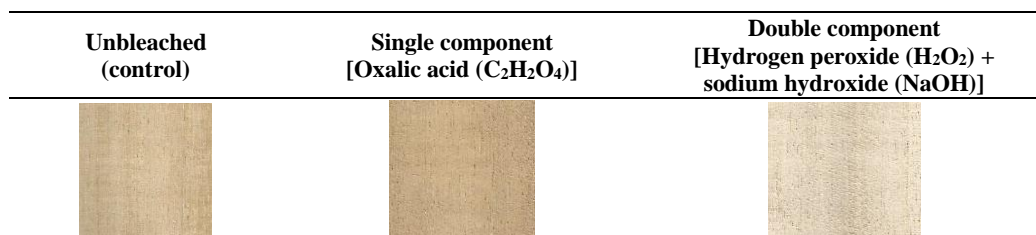
**Table 4.** Multivariate analysis of variance results

Source	Dependent Variable	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Bleaching Chemical	Lightness ( $L^*$ )	480.995	2	240.498	1427.687	0.000*
	Red ( $a^*$ ) colour tone	59.224	2	29.612	452.738	0.000*
	Yellow ( $b^*$ ) colour tone	138.653	2	69.327	812.868	0.000*
	Chroma ( $C^*$ )	164.010	2	82.005	1005.105	0.000*
	Hue ( $h^\circ$ ) angle	323.642	2	161.821	299.120	0.000*
	Glossiness value at $\perp 20^\circ$	0.833	2	0.416	535.286	0.000*
	Glossiness value at $\perp 60^\circ$	0.625	2	0.312	26.857	0.000*
	Glossiness value at $\perp 85^\circ$	0.043	2	0.021	4.235	0.025*
	Glossiness value at $\parallel 20^\circ$	1.014	2	0.507	82.464	0.000*
	Glossiness value at $\parallel 60^\circ$	2.282	2	1.141	24.646	0.000*
	Glossiness value at $\parallel 85^\circ$	2.565	2	1.282	159.553	0.000*
	Whiteness index in the perpendicular ( $\perp$ )	1477.625	2	738.812	991.202	0.000*
	Whiteness index in the parallel ( $\parallel$ )	1544.562	2	772.281	4489.039	0.000*
Error	Lightness ( $L^*$ )	4.548	27	0.168		
	Red ( $a^*$ ) colour tone	1.766	27	0.065		
	Yellow ( $b^*$ ) colour tone	2.303	27	0.085		
	Chroma ( $C^*$ )	2.203	27	0.082		
	Hue ( $h^\circ$ ) angle	14.607	27	0.541		
	Glossiness value at $\perp 20^\circ$	0.021	27	0.001		
	Glossiness value at $\perp 60^\circ$	0.314	27	0.012		
	Glossiness value at $\perp 85^\circ$	0.136	27	0.005		
	Glossiness value at $\parallel 20^\circ$	0.166	27	0.006		
	Glossiness value at $\parallel 60^\circ$	1.250	27	0.046		
	Glossiness value at $\parallel 85^\circ$	0.217	27	0.008		
	Whiteness index in the perpendicular ( $\perp$ )	20.125	27	0.745		
	Whiteness index in the parallel ( $\parallel$ )	4.645	27	0.172		
Total	Lightness ( $L^*$ )	161159.552	30			
	Red ( $a^*$ ) colour tone	415.861	30			
	Yellow ( $b^*$ ) colour tone	12611.480	30			
	Chroma ( $C^*$ )	13018.015	30			
	Hue ( $h^\circ$ ) angle	196373.632	30			
	Glossiness value at $\perp 20^\circ$	14.590	30			
	Glossiness value at $\perp 60^\circ$	145.260	30			
	Glossiness value at $\perp 85^\circ$	0.660	30			
	Glossiness value at $\parallel 20^\circ$	11.980	30			
	Glossiness value at $\parallel 60^\circ$	182.140	30			
	Glossiness value at $\parallel 85^\circ$	5.790	30			
	Whiteness index in the perpendicular ( $\perp$ )	35777.710	30			
	Whiteness index in the parallel ( $\parallel$ )	21348.490	30			
Corrected Total	Lightness ( $L^*$ )	485.543	29			
	Red ( $a^*$ ) colour tone	60.990	29			
	Yellow ( $b^*$ ) colour tone	140.956	29			
	Chroma ( $C^*$ )	166.213	29			
	Hue ( $h^\circ$ ) angle	338.248	29			
	Glossiness value at $\perp 20^\circ$	0.854	29			
	Glossiness value at $\perp 60^\circ$	0.939	29			
	Glossiness value at $\perp 85^\circ$	0.179	29			
	Glossiness value at $\parallel 20^\circ$	1.180	29			
	Glossiness value at $\parallel 60^\circ$	3.532	29			
	Glossiness value at $\parallel 85^\circ$	2.782	29			
	Whiteness index in the perpendicular ( $\perp$ )	1497.750	29			
	Whiteness index in the parallel ( $\parallel$ )	1549.207	29			

\*: Significant

Table 5 contains images of experimental samples subjected to bleaching treatment and those that have not undergone bleaching.

**Table 5.** Images of bleached and unbleached (control) test samples



The measurement results for all tests are presented in Table 6. According to these results, changes were observed in  $L^*$  values with both chemicals. The lowest increase in  $L^*$  value was 2.20% in the single-component while the highest increase was 13.16% in the double-component. The highest  $L^*$  value was observed in the double-component (78.18) while the lowest was found in the control samples (69.62).

In the case of  $b^*$  values, there was a decline in the double-component and an upturn in the single-component. The single-component demonstrated a 6.57% rise in the  $b^*$  value while the double-component showed a decrease of 17.49%. The highest  $b^*$  value was recorded in the single-component (22.55) while the lowest was found in the double-component (17.46).

In  $a^*$  values, an increase was observed in the single-component and a decrease in the double-component. The highest result for  $a^*$  value was determined in the single-component (4.48) while the lowest result was in the double-component (1.45). An increase of 2.20% was obtained in the single-component for the  $a^*$  value while a decrease of 66.97% was observed in the double-component.

In terms of  $C^*$  values, there was an increase in the single-component and a decrease in the double-component. The single-component showed a 3.39% increase in  $C^*$  value while the double-component exhibited a 19.07% decrease. The highest  $C^*$  value was observed in the single-component (22.99) whereas the lowest  $C^*$  value was recorded in the double-component (19.07).

Changes were observed in  $h^o$  values with both chemicals. The lowest increase in  $h^o$  value was 0.61% in the single-component while the highest increase was 9.18% in the double-component. The highest  $h^o$  value was obtained in the double-component (85.47) while the lowest result was seen in the control samples (78.28) (Table 6).

$WI^*$  values showed increases in both directions (perpendicular and parallel to fibers) with both chemicals. The  $WI^*$  values in the double-component were higher than those in the single-component. After the single-component application,  $WI^*$  values were 2.49% for  $\perp$  direction and 12.49% for  $\parallel$  direction while  $WI^*$  values were 53.46% for  $\perp$  direction and 83.75% for  $\parallel$  direction after the double-component application.  $WI^*$  measurements for control samples remained at low values after both bleaching applications (Table 6).

The double-component bleaching chemical has increased the measurements on fibers conducted at 20 degrees both perpendicular and parallel by 80.00% and 82.98% respectively. Decreases in glossiness values were observed at 85 degrees in both types of bleaching for fibers oriented in both perpendicular and parallel directions. Decreases were obtained at 60 degrees for fibers oriented perpendicular in single-component (12.72% and 16.47% respectively) while increases were detected in double-component bleaching (1.32% and 10.44% respectively) for fibers oriented parallel (Table 6).

Surface modification is believed to eliminate chromophores responsible for colour that are linked to functional groups within lignin. It is a well-established fact that the application of  $H_2O_2$  during the bleaching process in thermomechanical pulp production reduces the concentration of wood extracts in the pulp and increases the brightness of the pulp. Quinones, which are components of lignin groups contributing to colour, undergo oxidation during this procedure resulting in the formation of colorless structures. Additionally, the coniferyl aldehyde groups and conjugated double bond structures within lignin are broken down (Lindholm et al., 2009).

**Table 6.** Results for whiteness index ( $WI^*$ ), colour, and glossiness values before and after bleaching

Test	Treatment	Number of Measurements	Mean	Change (%)	Homogeneity Group	Standard Deviation	Coefficient of Variation	Minimum Value	Maximum Value
$L^*$	Unbleached (control)	10	69.62	-	C**	0.23	0.33	69.35	69.97
	Single-Component	10	71.15	↑2.20	B	0.66	0.93	70.26	72.36
	Double-Component	10	78.78	↑13.16	A*	0.13	0.17	78.61	79.02
$a^*$	Unbleached (control)	10	4.39	-	A	0.23	5.14	3.99	4.70
	Single-Component	10	4.48	↑2.05	A*	0.17	3.78	4.18	4.67
	Double-Component	10	1.45	↓66.97	B**	0.34	23.51	1.13	2.17
$b^*$	Unbleached (control)	10	21.16	-	B	0.32	1.51	20.68	21.68
	Single-Component	10	22.55	↑6.57	A*	0.26	1.14	22.17	22.89
	Double-Component	10	17.46	↓17.49	C**	0.30	1.70	17.04	17.97
$C^*$	Unbleached (control)	10	21.61	-	B	0.31	1.46	21.15	22.08
	Single-Component	10	22.99	↑6.39	A*	0.23	1.01	22.62	23.30
	Double-Component	10	17.49	↓19.07	C**	0.30	1.74	17.09	18.03
$h^o$	Unbleached (control)	10	78.28	-	B**	0.61	0.79	77.44	79.23
	Single-Component	10	78.76	↑0.61	B	0.50	0.64	78.24	79.59
	Double-Component	10	85.47	↑9.18	A*	1.00	1.16	82.91	86.27
$\perp 20^o$	Unbleached (control)	10	0.50	-	C**	0.00	0.00	0.50	0.50
	Single-Component	10	0.63	↑26.00	B	0.05	7.67	0.60	0.70
	Double-Component	10	0.90	↑80.00	A*	0.00	0.00	0.90	0.90
$\perp 60^o$	Unbleached (control)	10	2.28	-	A	0.12	5.39	2.20	2.50
	Single-Component	10	1.99	↓12.72	B**	0.11	5.53	1.80	2.10
	Double-Component	10	2.31	↑1.32	A*	0.09	3.79	2.20	2.40
$\perp 85^o$	Unbleached (control)	10	0.18	-	A*	0.12	68.29	0.10	0.40
	Single-Component	10	0.10	↓44.44	B**	0.00	0.00	0.10	0.10
	Double-Component	10	0.10	↓44.44	B**	0.00	0.00	0.10	0.10
$\parallel 20^o$	Unbleached (control)	10	0.47	-	B**	0.05	10.28	0.40	0.50
	Single-Component	10	0.47	0.00	B**	0.05	10.28	0.40	0.50
	Double-Component	10	0.86	↑82.98	A*	0.12	13.65	0.70	1.00
$\parallel 60^o$	Unbleached (control)	10	2.49	-	B	0.23	9.36	2.20	2.80
	Single-Component	10	2.08	↓16.47	C**	0.20	9.83	1.80	2.30
	Double-Component	10	2.75	↑10.44	A*	0.21	7.52	2.50	3.00
$\parallel 85^o$	Unbleached (control)	10	0.73	-	A*	0.15	20.47	0.60	1.00
	Single-Component	10	0.12	↓83.56	B	0.04	35.14	0.10	0.20
	Double-Component	10	0.10	↓86.30	B**	0.00	0.00	0.10	0.10
$WI^*$ ( $\perp$ )	Unbleached (control)	10	28.49	-	B**	1.19	4.16	27.30	29.90
	Single-Component	10	29.20	↑2.49	B	0.36	1.23	28.70	29.70
	Double-Component	10	43.72	↑53.46	A*	0.84	1.91	42.90	44.90
$WI^*$ ( $\parallel$ )	Unbleached (control)	10	19.45	-	C**	0.18	0.91	19.00	19.60
	Single-Component	10	21.88	↑12.49	B	0.65	2.98	21.10	22.60
	Double-Component	10	35.74	↑83.75	A*	0.25	0.69	35.40	36.00

For the Homogeneity Group ▶ \*: Highest value, \*\*: Lowest Value

#### 4 Conclusion

- All variance analyses were found to be significant for all tests conducted in the study.
- $\Delta E^*$  values were found to be 2.07 for single-component and 10.30 for double-component.
- The applications performed against both bleaching chemicals resulted in an increase in the  $h^o$  and  $L^*$  values.
- While the  $a^*$ ,  $b^*$ , and  $C^*$  values increased with the single-component wood bleach, these parameters decreased with the double-component bleach.



### Acknowledgment

None

### Author Contributions

**Hüseyin Peker:** Data curation, formal analysis, research, methodology, **Ümit Ayata:** sources, supervision, validation, visualization, laboratory work, material procurement, writing, review and editing.

### Funding statement

No financial support was received for the study.

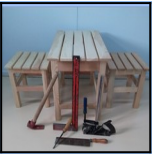
### Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest




### References

- ASTM D 2244-3, (2007), Standard practice for calculation or 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 color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ayata, Ü., Bal, B. C. (2023), Application of various bleaching chemicals on some surface properties of ilomba (*Pycnanthus angolensis* Exell) wood, 2nd International Conference on Health, Engineering and Applied Sciences, August 4-6, 2023, Belgrade, 95-105.
- Ayata, Ü., Çamlıbel, Ç. (2023), İç ve dış mekânda kullanılan Satinwood ceylon (*Chloroxylon swietenia* DC) ahşabında ağartma uygulamasının yapılması üzerine bir çalışma, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2), 273-281. [10.29048/makufebd.1343434](https://doi.org/10.29048/makufebd.1343434).
- Barański, J., Klement, I., Vilková, T., Konopka, A. (2017), High temperature drying process of beech wood (*Fagus sylvatica*) with different zones of sapwood and red false heartwood, *BioResources*, 12(1),1861-1870,DOI: [10.15376/biores.12.1.1861-1870](https://doi.org/10.15376/biores.12.1.1861-1870).
- Çamlıbel, O., Ayata, Ü. (2023a), Ihlamur (*Tilia tomentosa* - Moench.) odununda ağartma uygulaması, Uzakdoğu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 20-22 Ekim 2023, Manila, Filipinler, 107-116.
- Çamlıbel, O., Ayata, Ü. (2023b), Ahşap ağartıcı kimyasallarının ekop (*Tetraberlinia bifoliolata* Haum.) ahşabında uygulanması, Uzakdoğu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 20-22 Ekim 2023, Manila, Filipinler, 125-135.
- 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.
- Lange, D. R. (1999), Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Lindholm, C., Jäkärä, J., Mårtens, H. (2009), Bleaching of mechanical pulps, In Mechanical Pulping (pp. 360-398), Helsinki, Finland: Paper Engineers' Association.

- Liu, Y., Guo, H., Gao, J., Zhang, F., Shao, L., Via, B. K. (2015), Effect of bleach pretreatment on surface discoloration of dyed wood veneer exposed to artificial light irradiation, *BioResources*, 10(3), 5607-5619, DOI: [10.15376/biores.10.3.5607-5619](https://doi.org/10.15376/biores.10.3.5607-5619).
- Matig, O. E., Ndoye, O., Kengueet, J., Awono, A. (2006), Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun, IPGRI, 204 pp.
- Möttönen, V., Asikainen, A., Malvaranta, P., Öykkönen, M. (2003), Peroxide bleaching of parquet blocks and glue lams, *Holzforschung*, 57(1), 75-80. DOI: [10.1515/HF.2003.012](https://doi.org/10.1515/HF.2003.012).
- Peker, H. (2023a), Canelo (*Drimys winteri* J.R. Forst. & G. Forst.) ahşabında ağartma uygulamaları, ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner Ve Eczacılık Bilimleri Kongresi, 10-12 Kasım 2023, Beyrut, Lübnan.
- Peker, H. (2023b), Lotofa (*Sterculia rhinopetala*) odununda tek ve çift bileşenli ağartıcılarının uygulanması, ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner Ve Eczacılık Bilimleri Kongresi, 10-12 Kasım 2023, Beyrut, Lübnan.
- Peker, H., Bilginer, E.H., Ayata, Ü., Gürleyen, L., Çamlıbel, O. (2023), İç ve dış mekânlara ait tasarımlarda kullanılan izombé (*Testulea gabonensis*) ahşabında farklı ahşap ağartıcı kimyasallarının uygulanması, 2. Uluslararası Kültür, Sanat ve İletişim Sempozyumu (UKSANİL 2), Bayburt, 15-17 Aralık 2023.
- Peker, H., Ulusoy, H. (2023), Ahşap ağartıcı kimyasalları uygulanmış yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununda bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi, 8. Asya Pasifik Uluslararası Modern Bilimler Kongresi, 11-12 Eylül 2023, Delhi, India, 464-465.
- Pizzi, A., Kumar, R. N. (2019), Adhesives for wood and lignocellulosic materials, John Wiley & Sons, ISBN: 978-1-119-60543-0.
- Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., Joseph, S., Jacob, M., Thomas, S. (2000), Oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites: Influence of fibre surface modifications on the mechanical performance, *Applied Composite Materials*, 7, 295-329. DOI: [10.1023/A:1026534006291](https://doi.org/10.1023/A:1026534006291).
- Tailfer, Y. (1989), La forêt dense d'Afrique centrale, Identification des principaux arbres, Tome II. Centre Technoque de Cooperation Agricole et Rurale, Wageningen, Pays-Bas: 1271 pp.
- TS ISO 13061-1, (2021), Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Vivien, J., Faure, J. J. (1985), Arbres des forêts denses d'Afrique Centrale, Espèces du Cameroun, République Française, Ministère des relations extérieures, Coopération et Développement, Agence de Coopération Culturelle et Technique. 565 p.
- Walker, R. A., Sillans, R. (1995), Les plantes utiles du Gabon. Ed. Sépia, 614 p.



### Karakavak (*Populus nigra* L.) odununun silindirik yoğunlaştırılmasında sıcaklık ve buharın renk ve parlaklığa etkisi

Hüseyin Yeşil<sup>1</sup> , Zafer Kaya<sup>2\*</sup> , Sait Dündar Sofuoğlu<sup>3</sup> 

#### Öz

Ağaç malzeme kendi yapısına has birçok olumlu özelliklerinden dolayı geniş kullanım alanlarına sahiptir. Özelliklerini iyileştirmek, kullanım alanlarının genişlemesine ve doğal olan bu malzemenin tercih edilmesini sağlayacaktır. Ağaç malzemenin özelliklerinin daha iyi hale getirmek için uygulanan yöntemlerden birisi yüzey yoğunlaştırma işlemidir. Bu çalışmada silindir şeklindeki tornalanmış karakavak (*Populus nigra* L.) odununun yoğunlaştırılması bu amaç için tasarlanarak imalatı yapılmış olan yoğunlaştırma aparatı kullanılarak torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış ve 160 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca ısıl işlem uygulanmış numuneler denemelerde kullanılmıştır. İş mili dönüş hızı 800 dev/dk, yoğunlaştırma derinlikleri 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm ve 2.0 mm olmak üzere 4 farklı derinlik ve ilerleme hızı olarak iş milinin her devrinde 0.02 mm ilerleme sağlanarak yüzey yoğunlaştırma işlemi uygulanmıştır. Yüzey yoğunlaştırma işleminde numune üzerine 3 Barlık sıcak buhar ve 600°C kuru hava uygulanmıştır. Yoğunlaştırma sonrası parlaklık ve renk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem ve yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık teğet ve radyal yüzeylerde parlaklık değerlerinde düşme meydana gelmesine neden olmuştur. Yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık renkte *L* ve *b* değerlerinde düşmeye, *a* değerinde ise yükselmeye yol açmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Isıl işlem, kavak, parlaklık, renk, silindirik yoğunlaştırma

### Effect of heat and steam on color and brightness in cylindrical densification of black poplar (*Populus nigra* L.) wood

#### Abstract

Wood material has a wide range of usage areas due to many positive properties of its structure. Improving their properties will expand their usage areas and ensure this natural material is preferred. Surface densification is one of the methods applied to improve the properties of wood materials. In this study, the densification of cylindrical turned black poplar (*Populus nigra* L.) wood species was carried out on a lathe using a densification apparatus designed and manufactured for this purpose. Specimens without heat treatment and specimens heat treated at 160°C for 3 hours were used in the experiments. The surface densification process was applied with a spindle rotation speed of 800 rpm, densification depths of 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm and 2.0 mm at 4 different depths and a feed rate of 0.02 mm at each spindle revolution. In the surface densification process, 3 Bar hot steam and 600°C dry air were applied to the sample. Brightness and color measurements were performed after densification. The steam and temperature applied during heat treatment and surface densification caused a decrease in tangential and radial surfaces brightness values. Steam and temperature applied during surface densification caused a decrease in (*L*) and (*b*) values and (*a*) increase in the value of color.

**Keywords:** Heat treatment, populus, brightness, color, cylindrical densification

Makale tarihçesi: Geliş: 11.12.2023, Kabul: 24.12.2023, Yayınlanma: 29.12.2023, \*e-posta: zafer.kaya@dpu.edu.tr

<sup>1</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksekokulu, İç Mekan Tasarımı Bölümü, Kütahya/Türkiye

<sup>2</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Bölümü, Kütahya/Türkiye

<sup>3</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kütahya/Türkiye

Atıf: Yeşil, H., Kaya, Z., Sofuoğlu, S.D., (2023), Karakavak (*Populus nigra* L.) odununun silindirik yoğunlaştırılmasında sıcaklık ve buharın renk ve parlaklığa etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (2), 219-232, DOI: [10.33725/mamad.1403532](https://doi.org/10.33725/mamad.1403532)

## 1 Giriş

Genellikle yoğunluğu az olan ahşap malzemeler sertlik, dayanıklılık ve mukavemet açısından yetersizdir. Ahşap malzemedeki bu özellikler istendiğinde ya yüksek yoğunluklu ya da yoğunlaştırma işlemi uygulanmış malzemeler alternatif olarak tercih edilebilir (Sandberg ve ark., 2021). Ahşap malzemenin yoğunluğu, mekanik özelliklerini doğrudan etkiler (Blomberg ve Persson, 2004). Düşük yoğunluklu ahşapta ilave işlemler yapılarak yoğunluk artırılabilir. Bu yöntemlerden, termo-mekanik (TM) olarak bilinen açık sistemde sıcaklık ve basınç kullanarak yoğunlaştırma (Tosun ve Sofuoğlu, 2021; Salca ve ark., 2021; Sofuoğlu, 2022; Sofuoğlu ve ark., 2022) ve termo-higro-mekanik (THM) olarak adlandırılan kapalı sistemde sıcaklık, basınç ve buhar kullanarak yoğunlaştırma (Navi, 2012) gibi yeni çevre dostu yoğunlaştırma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır (Korkut ve Kocaefe, 2009; Şenol ve Budakçı, 2016). Bunların yanı sıra Viscoelastic-Thermal-Compression (VTC) olarak adlandırılan buhar ile ön yumuşatma sonrası sıcaklık ve basınç ile yapılan yoğunlaştırma ve Termo-Vibro-Mekanik (TVM) olarak adlandırılan sıcaklık, basınç ve titreşim kullanılarak yapılan yoğunlaştırma gibi yöntemler de bulunmaktadır (Şenol ve Budakçı, 2016; Bekhta ve ark., 2017; Şenol, 2018). Literatürde yoğunlaştırılmış ahşap malzemelerde çeşitli mekanik özelliklerin incelendiği ve yoğunluk analizlerinin yapıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda genelde elastikiyet modülü (MOE), kopma modülü (MOR), sertlik ve yüzey sertliği (Gao ve ark., 2019; Laskowska, 2017; Şenol ve Budakçı, 2019), MOE, MOR ve Janka sertliği (Pertuzzatti, 2018), MOE, MOR (Wehsener ve ark., 2023) gibi mekanik özelliklerin yoğunlaştırılmış ahşapta arttığı görülmektedir. Yoğunlaştırılmış ahşapta radyal ve teğetsel yönlerdeki sertlik değerleri sıkıştırma oranına bağlı olarak artarken, yoğunlaştırma ve ısı işlem uygulamalarının hücre duvarlarında deformasyonlara neden olduğunu taramalı elektron mikroskopu analiziyle ortaya konulmuştur (Budakci ve ark., 2016). FT-IR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi), yoğunlaştırma sırasında önemli kimyasal değişikliklerin meydana gelmediğini göstermektedir. Yüzeyin ıslanabilirliği, yüzeyi yoğunlaştırılmış ahşabın iyi ıslanma korumasına sahip olduğunu göstermiştir (Rautkari ve ark., 2010). Termo-mekanik olarak yoğunlaştırılmış ahşap örneklerinin yüzeyindeki temas açısındaki artış, yoğunlaştırma sırasında oluşan hidrotermal işlemde kaynaklanmaktadır (Bekhta ve Krystofiak, 2016). Yoğunlaştırma işleminde geri yaylanma ve set geri kazanım miktarını belirlemek ve en aza indirmek için de araştırmalar yapılmıştır (Kariz ve ark., 2017; Neyses ve ark., 2020; Scharf ve ark., 2023). Üst yüzey işlemlerinden sonra elde edilen yüzey özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yoğunlaştırılmış numunelerde yüzey pürüzlülüğü azalmış, yüzey parlaklığı artmıştır (Pelit ve ark., 2015). Yüzey parlaklığı ve sertlik değerleri, yoğunlaştırma ve yoğunlaştırma oranı arttıkça artmıştır (Sofuoğlu, 2022). Termo-mekanik işlemin kayın ve meşe ağacının rengindeki değişim üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur (Laskowska, 2020). Ayrıca, yoğunlaşma analizleri için sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı da görülmektedir (Fleischhauer ve ark., 2019).

Tornalanmış ahşap malzemeler, mobilya parçalarından, alet saplarına, merdiven korkuluklarından, ahşap oyuncaklara kadar pek çok yerde kullanılmaktadır. Tekniğine uygun olarak yapılan tornalama işlemleri ile elde edilen pürüzsüz yüzeyler vernikleme ve boyama işlemlerinin de başarısını arttırmaktadır. Böylece yüzey işlemlerinde daha az malzeme ve işçilik kullanılarak daha ekonomik üretim yapılabilir (Gürleyen, 1998). Yüzey pürüzlülüğü ahşap malzemelerin ekonomik değerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir ve üst yüzey kalitesinin başarısında önemli bir yere sahiptir (Söğütü, 2005). Yoğunlaştırma işlemiyle ahşap malzemelerde porozite azalır ve daha düzgün yüzeyler elde edilebilir. Ayrıca yoğunluğu düşük olan ahşap malzemelerin yüzeyleri yoğunlaştırıldığında sadece yüzeyler yoğunlaştırıldığı için genel yoğunlukta fazla bir azalma olmamakta, üst yüzey işlemlerinin uygulanacağı yüzeyler daha düzgün hale gelmektedir. Yüzey yoğunlaştırma işlemi yukarıda

bahsedilen düşük yoğunluklu ahşap malzemelere uygulanabildiği gibi yüksek yoğunluklu ahşap malzemelere de uygulanabilmektedir. Yüksek yoğunluklu ahşap, fiziksel ve mekanik etkilere karşı oldukça dayanıklıdır ve yüzey işlemlerine uygun bir yapıya sahiptir. Yüzey yoğunlaştırma işlemi ile bu özellikler daha da geliştirilebilir ve daha yüksek bir yüzey kalitesi elde edilebilir.

Silindirik ahşap malzemeler geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen, yüzey yoğunlaştırma ile ilgili bilimsel çalışmaların az ve yetersiz olduğu görülmektedir. Silindirik, tornalanmış ahşap malzemelerin yüzey yoğunlaştırma işlemi ile özellikleri iyileştirildiğinde kullanım alanlarının artacağı ve yüzey özelliklerini kaybetmeden daha uzun süre kullanılabilceği düşünülmektedir. Böylece gün geçtikçe tükenen doğal ahşap malzemeler daha optimum şekilde kullanılabilir.

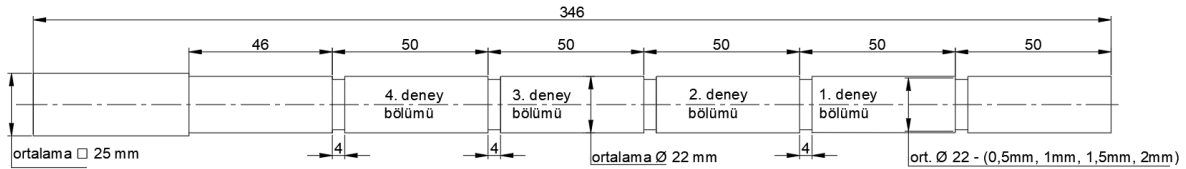
Bu çalışmanın amacı, önceden ısı işlem uygulanmış ve uygulanmamış silindirik karakavak (*Populus nigra* L.) odunundan elde edilen deney numunelerinin, doğrudan ısı ve beraberinde sıcak buhar uygulanarak/uygulanmayarak çeşitli yoğunlaştırma parametreleri değişkenleri ile yüzey yoğunlaştırması işlemine tabi tutulduğunda, yoğunlaştırma sonrası kullanım alanları için önemli olan parlaklık ve renk değişiminin belirlenerek, değerlendirilmesi ile bu malzeme için en uygun yoğunlaştırma koşullarını araştırmaktır.

## 2 Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

Çalışmada ağaç işleri ve mobilya sektöründe yaygın olarak kullanılan ve Türkiye’de doğal olarak yetişen karakavak (*Populus nigra* L.) ağaç türü seçilmiştir. Deney numuneleri başlangıçta 25 × 25 × 400 mm boyutlarında kesilmiştir. Ünlversal torna tezgahında farklı torna kesicileri kullanılarak Şekil 1’de görülen ortalama ölçülere ulaşmaya kadar bütün deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu ölçülerde toplam 12 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Örnekler (12 adet) iklimlendirme dolabında %12 rutubet miktarına (MC= Moisture Content) ulaşması için %65 ± 5 bağıl nemde (RH) 20 ± 2°C’de ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilmiştir. Deney numunelerinin %12 rutubet miktarındaki yoğunluğu ISO 13061-1, (ISO 13061-1, 2014) ve ISO 13061-2 (ISO 13061-2, 2014) standartlarına göre belirlenmiştir.

Deney numunelerinin 6 tanesine ön ısı işlem uygulanmadan, diğer 6 tanesine ise ön ısı işlem uygulandıktan sonra deney parametreleri uygulanmıştır. Ön ısı işlem uygulanan deney numuneleri ısı işleminden önce de sonra da klimatize dolabında muhafaza edilerek deneyler öncesinde %12 rutubetlerini korumaları sağlanmıştır. 12 deney numunesinin tamamı deney esnasında nispi neme ulaşmış durumdayken deneyler yapılmıştır.



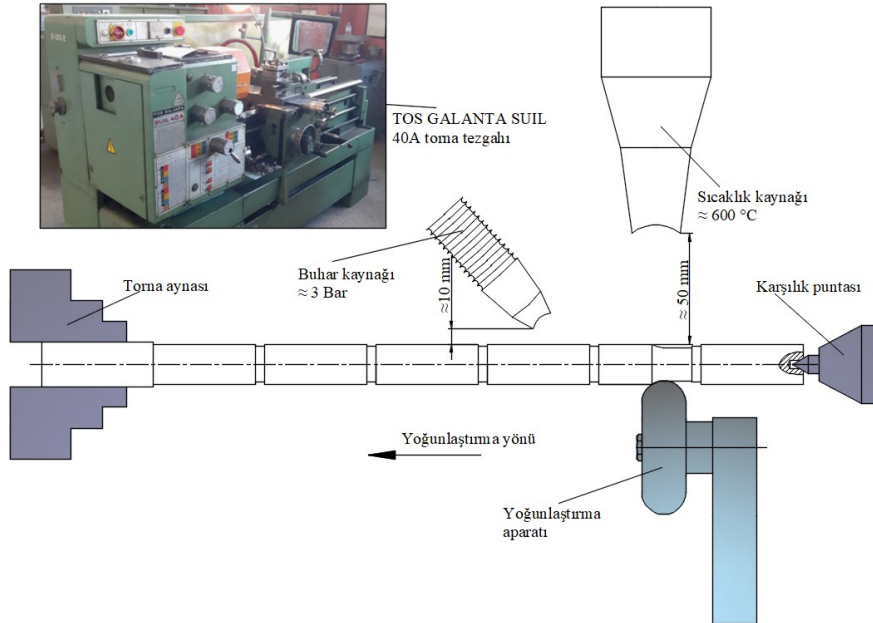
Şekil 1. Deney numunesi teknik resmi ve ölçüleri.

### 2.2 Isıl İşlem

%12 rutubette (MC) klimatize dolabından alınan tornalanmış 6 adet karakavak (*Populus nigra* L.) deney numunesi sıcaklık duyarlılığı ±1°C olan bir etüv kullanılarak atmosferik basınç altında 160 °C sıcaklıkta 3 saat boyunca ısı işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem uygulamasından sonra etüvden alınan örnekler tekrar iklimlendirme dolabında %12 rutubete ulaşması için %65 ± 5 RH (bağıl nemde) 20 ± 2°C’de, ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilmiştir.

### 2.3 Yoğunlaştırma İşlemi

Yüzey yoğunlaştırma işleminde deney setini oluşturan üç ana eleman bulunmaktadır. Bunlardan ilki yoğunlaştırma aparatıdır. Bu aparat, deney numunesine baskı yaparak kendi eksenini etrafında dönen makara, silindirik destek parçası, torna kalemligine bağlantı prizması, yoğunlaşma eksenine dik ve yoğunlaşma eksenini doğrultusunda oluşacak kuvvetleri karşılayabilecek standart konik makaralı rulman ve diğer montaj parçalarının (ön kapak, silindirik destek parçası, arka kapak) bir araya getirilmesiyle yüzey yoğunlaştırma işlemi için özel olarak tasarlanarak imal edilmiştir. Deney setinin ikinci elemanı üzerinde sıcaklık ayar ünitesi bulunan bir ısı üflecedir. Bu sıcaklık kaynağı deneyin yapıldığı torna tezgahında sport bölümüne bağlantı ekipmanlarıyla sabitlenmiştir. Konum olarak deney numunesine yaklaşık 50 mm mesafede sabit kalması sağlanmıştır. Deney öncesinde sıcaklık, stabil olarak 600 °C'e ulaştırıldıktan sonra deneye başlanmıştır. Deney setinin üçüncü elemanı basınçlı sıcak buhar elde edilen buhar kaynağıdır. Buhar çıkış ucu ve deney numunesi arasında yaklaşık 10 mm mesafede olacak şekilde ısı üflecinin bulunduğu torna sportu üzerine konumlandırılan buhar kaynağı sürekli ve sabit bir buhar çıkışı oluşturacak şekilde bağlanmıştır. Cihaz kataloğunda buhar kaynağının haznesi içerisinde yaklaşık 3 barlık basıncın oluştuğu bilinmektedir. Deney başladığı anda yoğunlaştırma aparatı, sıcaklık kaynağı ve buhar kaynağı aynı anda yoğunlaştırma yönünde belirlenen deney parametresi hızında hareket etmektedir. Deney setinin bir şematik resmi ve yoğunlaştırma işlemlerinin yapıldığı TOS GALANTA SUIL 40A torna tezgahı Şekil 2'de görülmektedir. Deneylerde, buhar ve sıcaklığın uygulandığı ve uygulanmadığı parametreler bir arada değerlendirilmiştir. Her bir deney parametresi, 3 farklı deney numunesinin farklı deney bölümlerinde olacak şekilde planlanarak 3'er tekrarlı uygulanmıştır. Deneyler sonucunda, yapılan 3 tekrarlı ölçümlerin ortalamaları kullanılmıştır.



Şekil 2. Deney seti elemanlarının yerleşimi

Deney parametreleri, olarak iş mili dönüş hızı 800 dev/dk, yoğunlaştırma derinlikleri 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm ve 2.0 mm olmak üzere 4 farklı derinlik ve ilerleme hızı olarak iş milinin her devrinde 0.02 mm ilerleme sağlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler, literatürde kullanılan değerlere uygun olarak seçilmiştir (Kaya ve Sofuoğlu, 2023a; Kaya ve Sofuoğlu, 2023b).



## 2.4 Parlaklık ölçümü

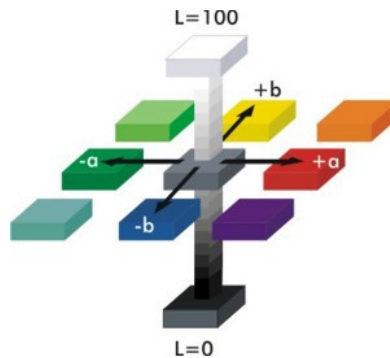
Kusursuz ve parlak yüzeyler üzerine gelen ışın geliş açısına göre aynı ya da benzer açı ile geri yansıtırlar. Parlaklık ölçüm cihazları  $20^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $85^\circ$  ölçüm yaparlar.  $20^\circ$  ölçüm yapan türleri parlak,  $85^\circ$  ölçüm yapan türleri mat yüzeyler için kullanılır (ISO 2813, 2014).  $60^\circ$  ölçüm yapan türleri hem mat hem parlak yüzeylerin ölçümü için kullanıldığından ahşap gibi malzemelerin parlaklık ölçümü için daha kullanışlıdır. Glossmetrede bulunan iki pencerenin birinden yüzeye ışık gönderilir, diğer alıcı penceresinden yüzeyden yansıyan ışık alınarak kaydedilir. Doğal olarak düzgün, pürüzsüz ve parlak yüzeyler gelen ışının tamamını ya da büyük bölümünü geri yansıtacaktır (Özen ve Sönmez, 1990). Şekil 3'te ölçümlerde kullanılan BYK Gardner marka parlaklık ölçüm cihazı görülmektedir. Yapılan çalışmada deney numunelerinin teğet ve radyal yönlerinden eksenli boyunca parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Deney numunelerine yüzey yoğunlaştırma parametreleri uygulanmadan önce kontrol ölçümleri yapılmış, deney parametreleri uygulandıktan sonra da parametrelerin etkilerini gözlemek amacıyla daha önce ölçüm yapılan noktalardan tekrar ölçümleri yapılmıştır. Deney numunesinin teğet ve radyal yüzeylerden ayrı ayrı alınan ölçümler kendileri içerisinde değerlendirilmiştir.



Şekil 3. BYK Gardner parlaklık ölçüm cihazı

## 2.5 Renk ölçümü

Renk ölçümü Colorstriker renk ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz ASTM-D 2244' de belirtilen esaslara göre  $CIE L^* a^* b^*$  renk sistemine göre ölçüm yapabilen özelliğindedir. Cihazın çalışma prensibinde yüzeyden yansıyan ışık, önce bir prizmada, kendisini oluşturan dalga boylarına ayrıştırılır. Ardından, her bir dalga boyundaki ışık kesimini, yansıyan hüzmenden ayırıp algılayıcı üzerine düşüren ayırma düzenekleri kullanılır. Cihazda bulunan bir detektör her bir tek dalga boylu ışığı ayrı ayrı algılayan, bunların birleşiminden oluşan bir yeğinlik-dalga boyu grafiği oluşturur. Aynı veri kullanılarak o rengin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri cihaz tarafından hesaplanır (Berns, 2000).  $CIE L^* a^* b^*$  renk sisteminde, renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada,  $L^*$  siyahtan beyaza doğru renk değişimini temsil eder (siyah için  $L^* = 0$ , beyaz için  $L^* = 100$ ).  $a^*$  kırmızıdan yeşile doğru renk değişimidir (pozitif değer kırmızıya yönelim, negatif değer yeşile yönelim).  $b^*$  ise sarı ile mavi arasındaki renk aralığını verir (pozitif değer sarıya yönelim, negatif değer maviye yönelim). Renkler bu 3 eksenle tanımlanır (Şekil 4) (Sögütü ve Sönmez, 2006).



Şekil 4.  $CIE L^* a^* b^*$  renk düzlemi (Özcan, 2008).



Yapılan çalışmada, deney numunesi üzerinde her bir bölümde deney parametreleri uygulanmadan önce belirlenen noktalardan renk ölçümleri alınarak  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri tespit edilmiştir. Deney parametreleri uygulandıktan sonra da aynı noktalardan tekrar renk ölçümleri alınarak bir önceki durumla karşılaştırmaları yapılmıştır. Bununla birlikte aşağıdaki açıklamalar doğrultusunda deney öncesi ve deney sonrası renk farkları da ( $\Delta E$ ) hesaplanmıştır (Denklem 1).

$CIE L^*a^*b^*$  sistemine göre  $\Delta E$ , iki renk arasındaki farkın ölçümüdür.  $\Delta E$  ne kadar büyükse karşılaştırılan renklerin arasındaki fark da o kadar fazladır (Özcan, 2008).

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (1)$$

Burada;  $\Delta E$  renk farkının miktarını ifade eder.  $L_1$ ,  $a_1$  ve  $b_1$  deney öncesi renk değerini (Kontrol),  $L_2$ ,  $a_2$  ve  $b_2$  ise ölçüm yapılan aynı noktanın deney sonrası renk değerlerini ifade etmektedir.

### 3 Bulgular ve Tartışma

Farklı yoğunlaştırma derinliği, yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklık uygulanması/uygulanmaması (1/0) ve ön ısıtma işlem uygulanmış/uygulanmamış (1/0) deney parametrelerinin uygulanacağı deney numunelerinin deney bölümlerinden, deney öncesinde kontrol ölçümleri sonucunda radyal ve teğet parlaklık ve renk değerleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) Çizelge 1’de deney parametrelerinin uygulanması sonrasında aynı bölümlerden ölçülerek elde edilen değerler ise Çizelge 2’de verilmiştir. Bu gruplardan deney sonrası elde edilen verilere ANOVA yapılmıştır. ANOVA sonuçları Çizelge 3’te verilmiştir.

**Çizelge 1.** Deney parametrelerinin uygulanacağı bölümlerdeki deney öncesi (Kontrol) parlaklık (Teğet), parlaklık (Radyal) ve renk değerleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ )

Yoğunlaştırma derinliği (mm)	Isıl işlem	Buhar ve sıcaklık	Parlaklık (Teğet) (Kontrol)	Parlaklık (Radyal) (Kontrol)	Renk değerleri (Kontrol)		
					$L^*$	$a^*$	$b^*$
0.5	0	0	3.14	3.63	17.47	3.82	11.09
0.5	0	1	3.28	3.76	16.81	3.33	10.58
0.5	1	0	2.96	3.08	16.08	3.79	10.84
0.5	1	1	2.97	3.50	16.29	3.84	11.17
1	0	0	3.07	3.68	20.19	3.56	10.93
1	0	1	3.56	3.84	14.10	3.98	10.58
1	1	0	2.94	3.21	18.24	3.71	11.30
1	1	1	3.09	3.50	13.25	3.92	10.40
1.5	0	0	3.03	3.61	19.46	3.08	10.21
1.5	0	1	3.44	3.96	14.08	3.71	10.05
1.5	1	0	2.89	3.43	17.17	3.92	11.46
1.5	1	1	2.99	3.39	13.84	3.64	10.00
2	0	0	2.91	3.52	20.83	3.31	10.36
2	0	1	3.19	3.54	16.67	3.22	10.76
2	1	0	2.92	3.22	15.42	3.82	10.83
2	1	1	2.90	3.31	15.75	3.43	11.09

**Çizelge 2.** Deney sonrası parlaklık (Teğet), parlaklık (Radyal) ve renk değerleri

Yoğunlaştırma derinliği (mm)	Isıl işlem	Buhar ve sıcaklık	Parlaklık (Teğet)	Parlaklık (Radyal)	$L^*$	Renk değerleri		
						$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
0.5	0	0	4.01	4.19	21.63	2.01	11.25	20.61
0.5	0	1	2.91	3.24	18.20	3.80	13.06	8.30
0.5	1	0	3.66	3.98	20.38	2.96	11.41	19.50
0.5	1	1	3.02	3.00	15.77	3.22	11.11	0.66
1	0	0	4.14	4.19	20.46	2.01	10.70	2.53
1	0	1	3.11	3.08	20.25	3.78	12.72	42.44
1	1	0	3.59	3.71	22.10	2.55	11.04	16.31
1	1	1	2.69	2.71	8.89	2.65	8.98	22.64
1.5	0	0	4.02	4.29	19.69	2.06	10.46	1.16
1.5	0	1	2.92	3.12	17.62	3.37	12.42	18.26
1.5	1	0	3.52	3.92	18.96	2.35	10.67	6.29
1.5	1	1	2.77	2.97	9.14	2.45	9.19	24.16
2	0	0	3.70	3.87	22.38	2.08	10.77	4.08
2	0	1	2.78	2.93	19.28	2.90	12.29	9.26
2	1	0	3.29	3.34	19.30	2.30	10.54	17.45
2	1	1	2.43	2.63	18.12	3.71	12.37	8.38

Çizelge 3'teki varyans analizi sonuçlarına göre teğet ve radyal yüzeylerdeki parlaklık açısından %95 güven düzeyinde yoğunlaştırma derinliği, yüzey yoğunlaştırma öncesi uygulanan ısıl işlem ve yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık açısından anlamlı bulunmuştur ( $P < 0.05$ ). İlerleme miktarının istatistiki anlamda etkisi bulunmamaktadır. Renk değeri ( $L$ ) açısından buhar ve sıcaklık ve ısıl işlemin etkisi ( $P < 0.05$ ) anlamlı gözükmemektedir. Renk değeri ( $a$ ) açısından yoğunlaştırma derinliği ve ısıl işlemin etkisi ( $P < 0.05$ ) anlamlı gözükmemekte ancak buhar ve sıcaklığın etkisi ( $P = 0.03 < 0.05$ ) anlamlı gözükmemektedir. Renk değeri ( $b$ ) açısından tüm faktörlerin etkisi ( $P > 0.05$ ) anlamlı gözükmemektedir.

**Çizelge 3.** Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası elde edilen verilerin ANOVA sonuçları

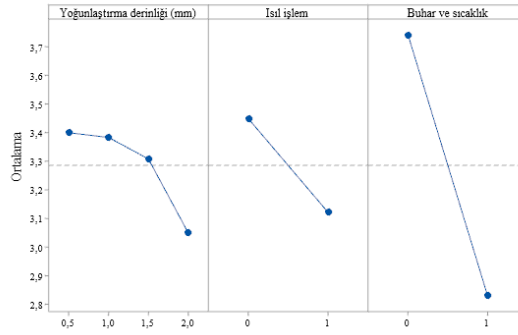
Parametreler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P-Değer
Deney sonuçları (Parlaklık Teğet yön)					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	3	0.3147	0.10488	6.31	0.011
Isıl işlem	1	0.4334	0.43340	26.08	0.000
Buhar ve sıcaklık	1	3.3306	3.33062	200.41	0.000
Hata	10	0.1662	0.01662		
Toplam	15		4.2449		
Deney sonuçları (Parlaklık Radyal yön)					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	2	0.42015	0.14005	14.81	0.001
Isıl işlem	1	0.43707	0.43707	46.22	0.000
Buhar ve sıcaklık	1	3.80250	3.80250	402.09	0.000
Hata	7	0.09457	0.00946		
Toplam	11		4.75429		
Deney sonuçları (Renk. $L$ )					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	2	26.32	8.773	1.11	0.389
Isıl işlem	1	45.11	45.105	5.72	0.038
Buhar ve sıcaklık	1	88.44	88.435	11.22	0.007
Hata	7	78.82	7.882		
Toplam	11		238.69		
Deney sonuçları (Renk. $a$ )					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	2	0.38705	0.12902	0.56	0.654
Isıl işlem	1	0.00178	0.00178	0.01	0.932
Buhar ve sıcaklık	1	3.58551	3.58551	15.53	0.003
Hata	7	5.6697	0.8100		
Toplam	11		6.28278		
Deney sonuçları (Renk. $b$ )					
Yoğunlaştırma derinliği (mm)	2	2.906	0.9687	0.84	0.503
Isıl işlem	1	4.354	4.3539	3.77	0.081
Buhar ve sıcaklık	1	1.767	1.7672	1.53	0.244
Hata	7	11.541	1.1541		
Toplam	11		20.568		

## Parlaklık ölçümü

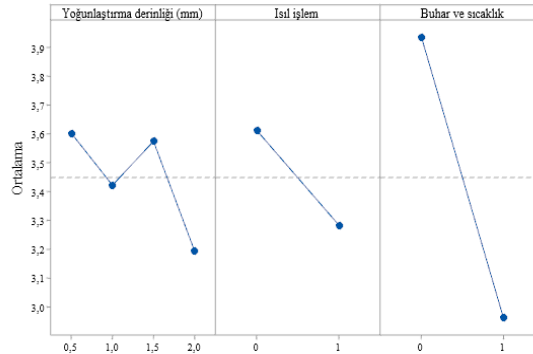
Şekil 5'te yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası teğet yönde parlaklık için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısıl işlem uygulanmış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulandığı işlemlerde daha düşük parlaklık değerleri elde edilmiştir. Yoğunlaştırma derinliği arttıkça teğet yönde parlaklık değerlerinde düşme meydana gelmiştir. En fazla düşme 1.5 ile 2.0 mm yoğunlaştırma derinlik değişiminde meydana gelmiştir.

Şekil 6'da yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası radyal yönde parlaklık için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısıl işlem uygulanmış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulandığı işlemlerde daha düşük parlaklık değerleri elde edilmiştir. Bu durum teğet yönde elde edilen değerlerde benzerlik göstermektedir. Yoğunlaştırma derinliği arttıkça genel olarak değerlendirildiğinde radyal yönde parlaklık değerlerinde düşme meydana gelse de 1.5 mm işleme derinliğinde yükselme meydana gelmiştir.

Benzer çalışmalar incelendiğinde Eyong, Koto ve Jequitiba ağaç türlerinin tümünde ısıl işlem uygulamasından sonra  $L^*$  (ışıklılık),  $b^*$  (sarı renk), değerlerinin beraberinde parlaklık değerlerinin azaldığı görülmüştür (Türk, 2021). Benzer çalışmalar sonucunda da ısıl işlemden sonra parlaklık değerlerinde azalmanın olduğu ortaya konulmuştur (Koç ve Pelit, 2022; Aytin ve ark., 2015). Korkut ve arkadaşları ThermoWood yöntemine göre ısıl işlem uygulanmış yabancı kiraz odununda, sürenin artmasına bağlı olarak  $60^\circ$  açıda yapılan liflere dik ve paralel parlaklığını belirlemiştir (Korkut ve ark. 2013). Bununla beraber karaçam ağaç türünde yoğunlaştırma derinliği 0.5 mm'den 1 mm'ye arttırıldığında parlaklık değerinde artma meydana gelmiştir (Kaya ve Sofuoğlu, 2023a). Yüzey yoğunlaştırma işleminde ön ısıl işlem ve deney esnasında uygulanan ısıl işlemin genelde parlaklık üzerine azalma yönünde etki ettiği, yoğunlaştırma derinliği artışıyla da parlaklığın artma eğilimi gösterme durumu literatürle de benzerlik göstermiştir.



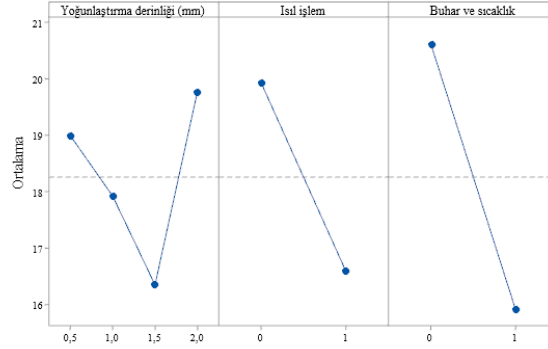
Şekil 5. Teğet yönde yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası parlaklık için ana etki grafiği



Şekil 6. Radyal yönde yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası parlaklık için ana etki grafiği

## Renk ölçümü

Şekil 7’de yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk  $L^*$  değeri için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 1.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısı işlem uygulanmış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulandığı işlemlerde daha düşük  $L^*$  renk değeri elde edilmiştir. Yoğunlaştırma derinliği arttıkça  $L^*$  değerlerinde düşme meydana gelmekte ancak 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde büyük miktarda yükselme meydana gelmekte ve en yüksek  $L^*$  değeri meydana gelmektedir. 1.5 mm yüzey yoğunlaştırma derinliği ile 2.0 mm yoğunlaştırma derinliği arasında fark en yüksek değerdedir.



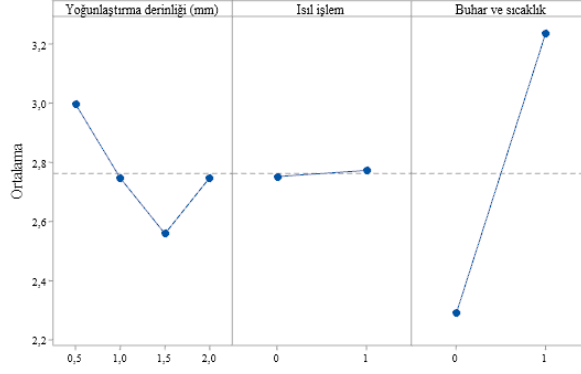
Şekil 7. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk ( $L^*$ ) değeri için ana etki grafiği

Salca ve arkadaşlarının (Salca ve ark., 2016) yaptıkları çalışmada,  $L^*$  değerlerindeki azalmanın ısı işlem sırasında hemiselülozların bozulmasından kaynaklandığı şeklinde bir sonuca ulaşmışlardır. De Moura ve arkadaşları (Maura ve ark., 2014) tarafından yapılan başka bir çalışmada Cedro-marinho ve Cedroarana ağaç türlerine ait deney örnekleri 160 °C ve 220 °C’de sıcaklıkta ısı işlemine tabi tutularak sıcaklık artışıyla  $L^*$  ve  $a^*$  değerlerinde azalmaların olduğunu, bunun yanında uygulanan ısı işlemin renk değişikliğine de neden olduğunu bildirilmişlerdir. Benzer bulgulara yaptıkları çalışmalar ile Ayata ve Çavuş da ulaşmıştır. (Ayata ve Çavuş, 2018).

Şekil 8’de yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk  $a$  değeri için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 1.5 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısı işlem uygulanmamış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulanmadığı işlemlerde en düşük  $a$  renk değeri elde edilmiştir. Yoğunlaştırma derinliği arttıkça  $L$  değerlerinde düşme meydana gelmekte ancak 2.0 yoğunlaştırma derinliğinde bir miktar yükselme meydana gelmektedir. Bu değer 1.0 mm yüzey yoğunlaştırma derinliği ile yakın değerdedir.

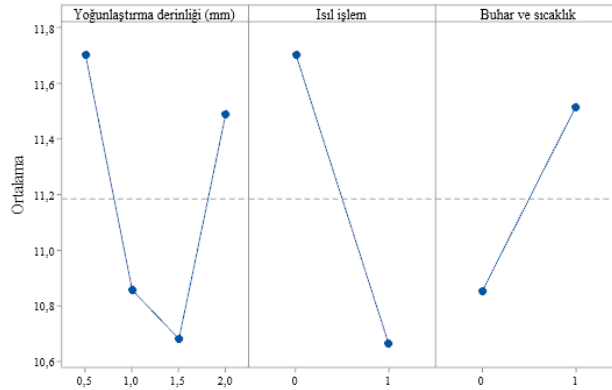
Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, pek çok ahşap elemanın bozunması, yoğunlaşması ve oksidasyonu ile ilgili olarak  $a^*$  değerinin arttığı (Chen ve ark., 2012), termal olarak modifiye edilmiş odunun renk koyulaştırmasına, hemiselülozların bozunma tepkimelerinden ve daha sonra düşük molekül ağırlıklı şekerlerin oluşumunun sebep olduğu şeklinde açıklamalar yapılmıştır (Poncsak ve ark., 2006; Esteves ve ark., 2008).

Şekil 9’da yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk  $b$  değeri için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 1.5 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısı işlem uygulanmış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulanmadığı işlemlerde daha düşük  $b$  renk değeri elde edilmiştir. 0.5 mm ile 1.0 mm yoğunlaştırma derinlikleri için yoğunlaştırma derinliği arttıkça yüksek fark elde edilmiştir. 1.0 mm ile 1.5 mm arasında ise  $b^*$  değeri arasındaki fark düşüktür.  $b$  açısından değerlendirildiğinde, farklı oranlarda olsa da yüzey yoğunlaştırma miktarı arttıkça (0.5’ den 1.5 mm’ye kadar)  $b^*$  değeri düşmekte ancak 2.0 mm yüzey yoğunlaştırma değerinde tekrardan yüksek miktarda artış meydana gelmektedir.



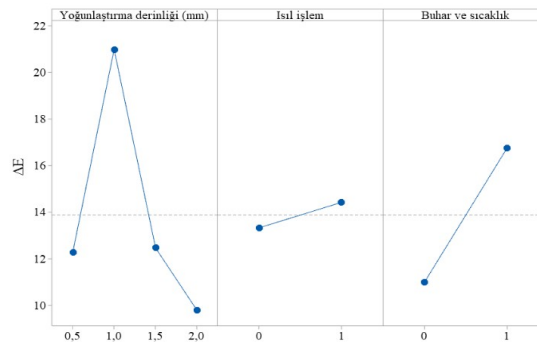
Şekil 8. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk ( $a^*$ ) değeri için ana etki grafiği

Isıl işlem uygulaması sonrası renk parametreleri ile parlaklık değerlerinin değiştiği görülmüştür (Ayata, 2020). Yapılan çalışmalar neticesinde  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  parametreleri açısından ısıl işlem sonrası odun liflerine paralel ve dik parlaklık değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir (Ayata, 2022; Ayata ve Bal, 2021). Yapılan bir diğer çalışma ısıl işlem ile deney numunelerinde kararmalar meydana gelmiş, parlaklık azalmış, sarıya ve kırmızıya çalma oranı artmıştır (Tenorio ve ark., 2021).



Şekil 9. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk ( $b^*$ ) değeri için ana etki grafiği

Şekil 10'da yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk  $\Delta E$  değeri için ana etki grafiği verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısıl işlem uygulanmamış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulanmadığı işlemlerde daha düşük  $\Delta E$  elde edilmiştir. 1.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde yüzey yoğunlaştırma sonrası renk farklılığı daha yüksek elde edilmiştir.



Şekil 10. Yüzey yoğunlaştırma işlemi sonrası renk ( $\Delta E$ ) değeri için ana etki grafiği

#### 4 Sonuçlar ve Öneriler

Elde edilen öz sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Isıl işlem ve yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık teğet ve radyal yöndeki parlaklık değerlerinde düşme meydana gelmesine neden olmuştur.
- Yoğunlaştırma derinliği arttıkça teğet yönde parlaklık değerlerinde düşme meydana gelmektedir. Radyal yönde 1.5 mm yoğunlaştırma derinliğinde bir miktar yükselme meydana gelmiş olsa da genel olarak bakıldığında düşme görülmektedir.
- Yüzey yoğunlaştırma esnasında uygulanan buhar ve sıcaklık renkte L\* ve b\* değerinde düşme, a değerinde yükselmeye yol açmıştır.
- Genel olarak değerlendirildiğinde 2.0 mm yoğunlaştırma derinliğinde, ısıl işlem uygulanmamış numunelerde ve yoğunlaştırma esnasında buhar ve sıcaklığın uygulanmadığı işlemlerde daha düşük  $\Delta E$  elde edilmiştir.
- Yoğunlaştırma aparatı kullanılarak silindirik masif ağaç malzemenin yüzeyinin yoğunlaştırılmasında, optimum noktalar ve sonuçlar değerlendirilerek en uygun parametreler kullanılabilir.

#### Yazar Katkıları

Yazarlar, bu çalışmanın yapılması için gösterilen tüm çabaların ortaklaşa veya gruplar halinde yürütüldüğünü, araştırmacıların her birinin üstlendiği rolü ayırt etmenin mümkün olmadığını beyan etmiştir.

#### Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Kaynaklar

Ayata, U., Cavus, V., (2018), Amerikan ceviz, Amerikan meşesi ve kırmızı Amerikan meşesi odunlarında renk ve parlaklık üzerine ısıl işlemin (ThermoWood® metot) etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(4), 546 – 553. DOI:[10.21923/jesd.383624](https://doi.org/10.21923/jesd.383624).

Ayata, U., (2020), Ayous odununun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi ve ısıl işlem sonrası renk ve parlaklık özellikleri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3 (1), 22-33. DOI:[10.33725/mamad.724596](https://doi.org/10.33725/mamad.724596).

Ayata, U., Bal, B.C. (2021), Kopie, fukadi ve porsuk ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik üzerine ısıl işlemin etkisi, *Hoca Ahmet Yesevi, 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi*, 5-6 Kasım 2021, Nahçıvan Devlet Üniversitesi, Azerbaycan, 166-180.

Ayata, U., (2022), Isıl işlem görmüş Hindistan cevizi odununda bazı yüzey özelliklerinin incelenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 8-16. DOI:[10.33725/mamad.1116999](https://doi.org/10.33725/mamad.1116999).

Aytin, A., Korkut, S., Çakıcıer, N., (2015), Yabani kiraz odununda bazı yüzey karakteristikleri üzerine ThermoWood® yöntemi ile ısıl işlemin etkisi, *Selçuk Üniversitesi Selçuk-Teknik Dergisi, Özel Sayı :1*, UMK 2015, 3. Ulusal Mobilya Kongresi, Konya, 539-554.

Bekhta, P., Krystofiak, T., (2016), The influence of short-term thermo-mechanical densification on the surface wettability of wood veneers, *Maderas Cienc. y Tecnol.*, 18 (1), 79–90. DOI: [10.4067/S0718-221X2016005000008](https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000008).

- Bekhta, P., Proszkyk, S., Krystofiak, T., Sedliacik, J., Novak, I., Mamonova, M., (2017), Effects of short-term thermomechanical densification on the structure and properties of wood veneers, *Wood Material Science and Engineering*, 12 (1), 40–54. DOI:[10.1080/17480272.2015.1009488](https://doi.org/10.1080/17480272.2015.1009488).
- Berns, R.S., (2000), Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology, *John Wiley & Sons*, New York, 3rd Edition, 78-81.
- 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, 307–314. DOI: [10.1007/s10086-003-0566-2](https://doi.org/10.1007/s10086-003-0566-2).
- Budakçi, 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](https://doi.org/10.15376/biores.11.3.7822-7838).
- Chen, Y., Fan, Y.M., Gao, J.M., Stark, N.M., (2012), The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood flour, *BioResources*, 7(1), 1157-1170.
- Esteves, B., Marques, A. V., Domingos, I., Pereira, H., (2008), Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*, 42(5), 369- 384
- Fleischhauer, R., Hartig, J.U., Haller, P., Kaliske, M., (2019), Moisture-dependent thermo-mechanical constitutive modeling of wood, *Engineering Computations*, 36(1), 2–24. DOI:[10.1108/EC-09-2017-0368](https://doi.org/10.1108/EC-09-2017-0368).
- Gao, Z., Huang, R., Chang, J., Li, R., Wu, Y., (2019), Effects of pressurized superheated-steam heat treatment on set recovery and mechanical properties of surface-compressed wood, *BioResources*, 14(1), 1718–1730. DOI: [10.15376/biores.14.1.1718-1730](https://doi.org/10.15376/biores.14.1.1718-1730).
- Gürleyen, L., (1998), Mobilyada kullanılan masif ağaç malzemelerde yüzey düzlüğünün karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi*, Ankara.
- ISO 13061-1 (2014), Physical and mechanical properties of wood Test methods for small clear wood specimens Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO 13061-2 (2014), Wood-determination of Density for Physical and Mechanical Tests, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 2813 (2014): Paints and varnishes - Determination of gloss value at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland
- Kariz, M., Kuzman, M.K., Sernek, M., Hughes, M., Rautkari, L., Kamke, F.A., Kutnar, A., (2017), Influence of temperature of thermal treatment on surface densification of spruce, *European Journal of Wood and Wood Products*, 75, 113–123. DOI:[10.1007/s00107-016-1052-z](https://doi.org/10.1007/s00107-016-1052-z).
- Kaya, Z., Sofuoğlu, S. D., (2023a), 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](https://doi.org/10.33725/mamad.1260723).
- Kaya, Z., Sofuoğlu, S. D., (2023b), Use of spinning roller in cylindrical densification; spring back in black poplar, larch and cedar of Lebanon after densification, *Bilge International*



*Journal of Science and Technology Research*, 7(2), 117-127.  
DOI:[10.30516/bilgesci.1278745](https://doi.org/10.30516/bilgesci.1278745).

- Koç, E., Pelit, H., (2022), Ağaç malzeme yüzeylerine uygulanan poliüretan verniklerin parlaklığına ısı işlem yöntemi ve işlem sıcaklığının etkisi, *Ormancılık Araştırma Dergisi*, Karok 2021, 238-246. DOI: [10.17568/ogmoad.1090092](https://doi.org/10.17568/ogmoad.1090092).
- Korkut, S., Kocaefe, S., (2009), Isıl İşlemin Odun Özellikleri Üzerine Etkisi, Düzce Üniversitesi, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Orman. Dergisi*, 5(2), 11–34.
- Korkut, D.S., Hiziroglu, S., Aytin, A., (2013), Effect of heat treatment on surface characteristics of wild cherry wood, *BioResources*, 8 (2), 1582-1590.
- Laskowska, L., (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](https://doi.org/10.15376/biores.12.3.6011-6023).
- Laskowska, A., (2020), The influence of ultraviolet radiation on the colour of thermo-mechanically modified beech and oak wood, *Maderas Cienc. y Tecnol.* 22(1). DOI:[10.4067/S0718-221X2020005000106](https://doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000106).
- De Moura, L.F., Santos, D.V.B.D., Brito, J.O., (2014), Effect of heat treatment on color, weight loss, specific gravity and equilibrium moisture content of two low market valued tropical woods, *Wood Research*, 59(2), 253-264.
- Neyses, B., Karlsson, O., Sandberg, D., (2020), The effect of ionic liquid and superbase pre-treatment on the spring-back, set-recovery and Brinell hardness of surface-densified Scots pine, *Holzforschung*, 74(3), 303–312. DOI:[10.1515/hf-2019-0158](https://doi.org/10.1515/hf-2019-0158).
- Özcan, A., (2008), Kağıt Yüzey Pürüzlülüğünün L\*a\*b\* Değerleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (14), 53-61.
- Özen, R., Sonmez, A., (1990), Ahşap yüzeyler için hazırlanan verniklerin fiziksel, kimyasal ve mekanik etkilere karşı dayanaklıkları, *Doğa Türk Tarım ve Ormancılık*, 1428-1436.
- Parvis Navi, D.S., (2012), Thermo-Hydro-Mechanical Wood Processing, EPFL Press.
- Pelit, H., Budakçı, M., Sönmez, A., Burdurlu, E., (2015), Surface roughness and brightness of scots pine (*Pinus sylvestris*) applied with water-based varnish after densification and heat treatment, *Journal of Wood Science*, 61, 586–594. DOI:[10.1007/s10086-015-1506-7](https://doi.org/10.1007/s10086-015-1506-7).
- Poncsak, S., Kocaefe, D., Bouazara, M., Pichette, A., (2006), Effect of high-temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*), *Wood Science and Technology*, 40(8), 647-663.
- Pertuzzatti, A., Missio, A.L., de Cademartori, P.H.G., Santini, E.J., Haselein, C.R., Berger, C., Gatto, D.A., Tondi, G., (2018), Effect of process parameters in the thermomechanical densification of pinus elliottii and eucalyptus grandis fast-growing wood, *BioResources*. 13(1), 1576–1590. DOI:[10.15376/biores.13.1.1576-1590](https://doi.org/10.15376/biores.13.1.1576-1590).
- Rautkari, L., Properzi, M., Pichelin, F., Hughes, M., (2010), Properties and set-recovery of surface densified Norway spruce and European beech, *Wood Science and Technology*, 44, 679–691. DOI:[10.1007/s00226-009-0291-0](https://doi.org/10.1007/s00226-009-0291-0).
- 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. DOI: [10.1007/s10086-016-1558-3](https://doi.org/10.1007/s10086-016-1558-3).

- Salca, E., Brasov, U.T., Bekhta, P., (2021), Effects of thermo-mechanical densification applied to veneers of fast-growing species to produce value-added plywood panels, *Cutting-edge Research in Agricultural Sciences*, 9, 161–177. DOI:[10.9734/bpi/cras/v9/8628D](https://doi.org/10.9734/bpi/cras/v9/8628D).
- Sandberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D., (2021), Wood modification technologies : principles, sustainability, and the need for innovation, CRC Press, Taylor and Francis.
- Scharf, A., Lemoine, A., Neyses, B., Sandberg, D., (2023), The effect of the growth ring orientation on spring-back and set-recovery in surface-densified, *Holzforschung*, 77(6), 394-406. DOI:[10.1515/hf-2023-0004](https://doi.org/10.1515/hf-2023-0004).
- Sofuoglu, S.D., (2022), Effect of thermo-mechanical densification on brightness and hardness in wood, *Turkish Journal of Engineering Research and Education*, 1, 15–19.
- Sofuoglu, S.D., Tosun, M., Atilgan, A., (2023), Determination of the machining characteristics of Uludağ fir (*Abies nordmanniana* Mattf.) densified by compressing, *Wood Material Science & Engineering*, 18(3), 841-851. DOI:[10.1080/17480272.2022.2080586](https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2080586).
- Söğütlü, C., (2005), Bazı faktörlerin zımparalanmış ağaç malzeme yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Politeknik*, 8(4), 345–350.
- Söğütlü, C., Sönmez, A., (2006). Color changing effect of UV rays on some local wood species treated with various shielding agents, *Gazi University Journal of the Faculty of Architecture and Engineering*, 21(1), 151-159.
- Şenol, S., Budakci, M., (2016), Nechanical wood modification methods, *Mugla Journal of Science and Technology*, 2(2), 53–59. DOI:[10.22531/muglajsci.283619](https://doi.org/10.22531/muglajsci.283619).
- Şenol, S., (2018), Termo- Vibro - Mekanik (TVM) işlem görmüş bazı ağaç malzemelerin fiziksel, mekanik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*, Düzce.
- Şenol, S., Budakci, M., (2019), Effect of Thermo-Vibro-Mechanic® densification process on the gloss and hardness values of some wood materials, *BioResources*, 14(4), 9611–9627. DOI:[10.15376/biores.14.4.9611-9627](https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9611-9627).
- Tenorio, C., Moya, R., Navarro-Mora, A., (2021), Flooring characteristics of thermomechanical densified wood from three hardwood tropical species in Costa Rica. *Maderas, Ciencia y Tecnología*, 23(16), 1–12. DOI:[10.4067/s0718-221x2021000100416](https://doi.org/10.4067/s0718-221x2021000100416).
- 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](https://doi.org/10.33725/mamad.911947).
- Türk, M., (2021), Eyang, jequtiba ve koto ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik değerleri üzerine ısıtılmanın etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 51-60. DOI: [10.33725/mamad.928381](https://doi.org/10.33725/mamad.928381).
- Wehsener, J., Bremer, M., Haller, P., Fischer, S., (2023), Bending tests of delignified and densified poplar, *Wood Material Science & Engineering*, 18(1), 42–50. DOI:[10.1080/17480272.2022.2134049](https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2134049).



## Some selected properties of composite material produced from plastic furniture waste and wood flour

Bekir Cihad Bal<sup>1\*</sup> , Ertuğrul Altuntaş<sup>2</sup> , Nasır Narlıoğlu<sup>3</sup> 

### Abstract

In this study, composite boards were produced using waste plastic furniture parts and wood flour. Wood flour was used at rates of 0%, 15%, 30% and 45% in the preparation of composite boards. Thus, 1 control and 3 composite groups were created. The boards are produced in dimensions of 3.5x175x175 mm (thickness, width, length). Density, flexural strength, flexural modulus, deformation at break, tensile strength, tensile modulus, elongation at break, hardness tests and thermal gravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimeter (DSC) analysis were performed on the produced composite boards. According to the obtained data, it was determined that as the percentage of wood flour in the composite groups increased compared to the control group, the values of flexural strength, deformation at break, tensile strength and elongation at break decreased whereas the values of density, hardness, flexural modulus and tensile modulus increased. According to the TGA and DSC analysis results, it was understood that the waste plastic furniture parts were composed of linear low density polyethylene (LLDPE) and polypropylene (PP) polymer materials, also the decomposition temperature of the composite materials partially increased with the increase in the percentage of wood flour.

**Keywords:** Waste plastic furniture, composite material, wood flour

## Plastik mobilya atıkları ve odun unu ile üretilen kompozit malzemenin seçili bazı özellikleri

### Öz

Bu çalışmada, atık plastik mobilya parçaları ve odun unu kullanılarak kompozit levhalar üretilmiştir. Kompozit levhaların hazırlanmasında, %0, %15, %30 ve %45 oranlarında odun unu kullanılmıştır. Böylece 1 kontrol ve 3 kompozit grubu oluşturulmuştur. Levhalar 3.5x175x175 mm (kalınlık, genişlik, uzunluk) ölçülerinde üretilmiştir. Üretilen kompozit levhaların yoğunluk, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, kopmada deformasyon, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama ve sertlik testleri ile termo gravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi yapılmıştır. Elde edilen verilere göre; kontrol grubuna göre kompozit gruplarındaki odun unu yüzdesi arttıkça eğilme direnci, kopmada deformasyon, çekme direnci ve kopmada uzama değerlerinin azaldığı, buna karşılık, yoğunluk, sertlik, eğilmede elastikiyet ve çekmede elastikiyet değerlerinin arttığı belirlenmiştir. TGA ve DSC analizi sonuçlarına göre atık plastik mobilya parçalarının doğrusal alçak yoğunluklu polietilen (DAYPE) ve polipropilen (PP) polimer malzemelerden oluştuğu, ayrıca odun unu oranının artmasıyla kompozit malzemelerin bozunma sıcaklığının kısmen arttığı anlaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Atık plastik mobilya, kompozit malzeme, odun unu

Article history, Received: 31.10.2023, Accepted: 18.12.2023, Published: 29.12.2023, \*email:bcbal@hotmail.com

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Vocational School of Technical Sciences, Kahramanmaraş/Türkiye

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Kahramanmaraş/Türkiye

<sup>3</sup>İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, İzmir/Türkiye

To cite: Bal, B.C., Altuntaş E., Narlıoğlu N., (2023), Some selected properties of composite material produced from plastic furniture waste and wood flour, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (2), 233-244,

DOI:[10.33725/mamad.1384214](https://doi.org/10.33725/mamad.1384214)

## **1 Introduction**

Wooden material is a valuable material used in the production of furniture that meets many needs such as sitting, sleeping and resting with the transition of human beings to a settled life. Materials such as wood-based composites, metals, glass and plastic are also widely used in furniture production with the increase in consumption after the Industrial Revolution. Almost all of these materials can be reused. In particular, plastic materials are among the materials that can be recycled and reused. In recent years, total furniture production around the world has increased. One of the important reasons for this is that consumers' furniture renewal times have decreased compared to the past. This has led to an increase in the amount of waste furniture. Today, different methods such as recycling, reuse and incineration are used to eliminate solid wastes.

In furniture production, solid wood, wood-based composite materials, metals, glass, marble, textile products and plastic materials have been widely used from the past to present (Bal and Kılavuz 2015). Metal, glass and plastic are materials that can be recycled and reused among these materials. Plastic material is easier to recycle than other waste materials among these materials and is one of the most collected materials for recycling among solid waste.

Recycled plastic materials are used in different areas. In particular, wood plastic composite (WPC) materials are widely used today as flooring, benches, picnic tables and building exterior cladding (Stark and Matuana 2004; Smith and Wolcott 2006; Klyosov 2007). Scientific studies are carried out on recycled plastic materials. For example, Mengeloğlu and Karakuş (2008) investigated the mechanical properties of recycled high density polyethylene (rHDPE) composites obtained from wastewater pipes filled with eucalyptus wood flour in their study. Miyahara et al., (2018) studied the preparation and characterization of composite materials using plastic waste from hydropulper from paper industries extruded with sugar cane fiber residues. Özkaya et al., (2021) determined the usage possibilities of powder rubbers obtained from waste car tires in the production of laminated veneer lumber (LVL) boards. Hukala et al., (2022) prepared and characterized the wood polymer composites consisting of used polypropylene (PP) bottles and saw dust. Bekhta et al., (2017) manufactured and determined the properties of veneer overlaid flat pressed wood plastic composite panels from recycled low density polyethylene (rLDPE), wood particles and different kinds of veneer using various adhesives. Lyutty et al., (2018) experimented the possibility of manufacture and properties of the lightweight flat pressed WPC using rLDPE, expanded polystyrene and wood particles. Rahman et al., (2018) determined the physical, mechanical and decay resistance of wood plastic composites produced from drinking water bottles (PET bottles). Bal (2022a) produced and tested composite boards using recycled polyethylene mixed with the used Tetra Pak® boxes and pine wood flour as fillers. Bal (2023a) determined some properties of wood plastic composite materials produced with recycled polyethylene, pine wood flour and glass flour.

As can be seen in previous studies, WPC material was produced from recycled plastic materials and its technological properties were investigated. One of the important differences between recycled plastic materials and pure plastic materials is the fillers and additives added during the production stage. Due to these substances, the properties of the plastic change. In this study, waste old plastic chairs and wood flour were mixed and a composite material was obtained. However, during the production of plastic chairs, calcite, talc, stabilizer, pigment etc. are added to the polymer material as a filler and its properties are changed. Therefore, it is not possible to obtain a pure polymer by recycling it. It should be taken into consideration that



calcite, talc, etc. fillers have a significant impact on the quality of products produced from recycled waste polymers.

The aim of this study is to bring plastic chair waste into the economy by investigating the potential of using plastic chair waste, which has completed its service life after long-term use, in thermoplastic composite production. For this purpose, WPCs were produced by mixing wood flour and waste plastic, and then some physical and mechanical properties of WPCs were investigated.

## 2 Material and Method

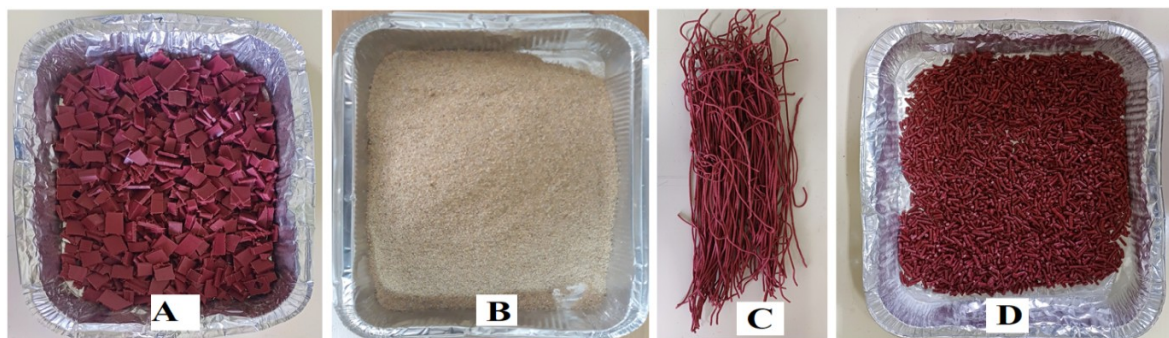
### 2.1 Material

In this study, old and waste plastic chairs obtained from garbage were used as the polymer matrix. According to the differential scanning calorimeter (DSC) analysis performed in this study, it was understood that the polymer matrix contained polypropylene (PP) and linear low density polyethylene (LLDPE). Pine (*Pinus nigra*) wood saw dust was obtained from a timber workshop in Kahramanmaraş city. Saw dust was sifted and 60 mesh size was used as filler. No other additives or fillers are added to the mixture. The compositions of the composites are given in Table 1. A control group and 3 experimental groups were created.

**Table 1.** Composition of the composites (wt%)

Content (%)	Control group		Experimental groups	
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Waste plastic	100	85	70	55
Wood flour	0	15	30	45

Waste chairs were cut into small pieces (Fig 1-A) and mixed with the wood flour filler (Fig 1-B). Then, the blend was mixed with a single screw extruder at temperatures of 150, 165 and 175 °C. The mixture was taken as a thread from a 3 mm diameter nozzle at the exit of the extruder and left to cool on a table (Fig 1-C). Then, this material was crushed and small pellets were obtained (Fig 1-D). In order to obtain a homogeneous mixture, the material was processed twice in the extruder. Then, these pellets were passed through the extruder again, cooled on the table again and broken again to obtain small pellets in Fig. 1. These pellets were placed in a metal mold and transferred between an electrical-heated hot press at a temperature of 180 °C. Non-stick baking paper was used to prevent sticking. The pellets were heated and melted over a period of 12 min. At the end of this duration, the melted composites were removed from the hot press with the metal mold and immediately placed in a cold press. A total of 2.5 kg/cm<sup>2</sup> of pressure was applied in the cold press for 5 min.



**Figure 1.** Waste plastic chair piece (A), Wood flour (B), The compound after extruder process (C), Pellets (D)

After pressing, the composite board was taken from the metal mold and thus a composite board was obtained with the dimension of 3.5×175×175 mm (thickness×width×length). Four composite boards were produced for each group. A total of 16 boards were produced for this present study (Fig. 2-A). 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 shapes of each test sample prepared for the tensile test (Fig. 2-B) were shaped with a CNC router. Flexural test samples were cut using a laboratory band saw in the dimensions of 3.5x20x90 mm (thickness×width×length).

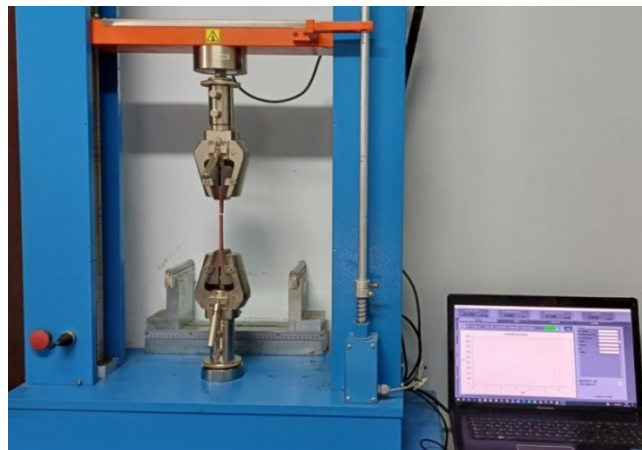


**Figure 2.** Composite boards (A), Tensile test samples (B), Flexural test samples (C)

## 2.2 Method

### 2.2.1 Mechanical properties

Flexural tests were performed according to ASTM D790-15 (2016). Flexural tests were conducted using a three-point bending test procedure on a universal testing machine (UTM) (Fig 3). 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 or test samples were broken. The amount of deformation at the end of the test is called deformation in break or deformation in bending. This value shows the deformation ability of the material against bending.



**Figure 3.** Testing device (UTM) for flexural and tensile tests

Tensile tests were conducted according to ASTM D638-22 (2022) on dog-bone-shaped test samples (Type-I) as described in ASTM D638-22 (2022). The distance between grips was 115 mm and the preload was 50 N. 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 according to ASTM D2240-15 (2021) on a Shore D test device. The density of the test samples was determined according to ASTM 790 (2020) by dividing the weight of the test sample by its volume in water.

### 2.2.2 Thermal properties

Thermogravimetric analysis (TGA) was performed using a Shimadzu TGA-50 in flowing nitrogen gas at a heating rate of 10 °C/min. The examined temperature range was between 40 °C and 600 °C. The weights of all samples were approximately 10 mg. Differential scanning calorimetry (DSC) was performed using a Shimadzu DSC-60 differential scanning calorimeter in flowing nitrogen gas at a heating rate of 10 °C/min. The scanned temperature range was between 30 °C and 200 °C. The weights of all samples were approximately 10 mg.

## 3 Results and Discussion

The results of density obtained from tests are given in Table 2. When the data given in the table is examined, it can be seen that the smallest density value was determined in the control group (983 kg/m<sup>3</sup>) and the largest density value was determined in group 4 (1070 kg/m<sup>3</sup>). The density value of the composite material also increased as the amount of filler increased compared to the control group. Differences between groups are statistically significant. Similar results were found in previous studies (Matuana and Stark 2015; Mengeloğlu et al., 2015; Çavuş 2020; Bal 2022a-b).

**Table 2.** Density values, ANOVA p values and Duncan test results of composite groups

Density (kg/m <sup>3</sup> )	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	p values
x	983A	1002B	1045C	1070D	n < 0.001
ss	8.6	12.4	6.7	10.5	

Flexural test result values, ANOVA p values and Duncan test results were showed in Table 3. As can be seen in the table, the highest flexural strength value was determined in the control group and the smallest flexural strength value was determined in group 4. Differences between groups are statistically significant (p<0.001). As the amount of filler in the composite increased, the bending strength value decreased. Flexural strength is the ability of a composite material to stay together when it is bending. Wood flour used as a filler negatively affects the cohesion strength. In previous studies, it has been determined that bending strength decreases as the amount of filler increases regardless of the polymer material used (Berger and Stark 1997; Mengeloğlu and Karakuş 2008; Özmen et al., 2014; Matuana and Stark 2015; Mengeloğlu et al., 2015; Altuntaş et al., 2017; Narlıoğlu et al., 2018a; Bal 2022a-b).

The flexural modulus of the composites was opposite to the flexural strength values. The smallest flexural modulus value was obtained in the group 1 and the largest value in group 4. As the amount of filler in the composite material increased, the flexural modulus also increased. Differences between groups are statistically significant (p<0.001). Flexural modulus indicates how well a composite material resists the bending deformation. Flexural modulus of wood is higher than polymers. Therefore, flexural modulus of the composite material increases as the wood filler increases. Similar results reported in previous studies (Berger and Stark 1997; Mengeloğlu and Karakuş 2008; Mengeloğlu et al., 2015; Altuntaş et al., 2017; Narlıoğlu et al., 2018b; Bal 2022a-b).



Deformation at break values obtained from the flexural test was also given in Table 3. The highest deformation at break value was determined from group 1 and the smallest values were obtained from group 4. The differences between groups were significant ( $p < 0.001$ ). Deformation at break values shows the deformation ability of the composite material under bending force. High deformation at break values shows that the material is ductile. In contrast, low deformation at break values shows that the material is brittle. Accordingly, group 1 test samples are more ductile compared to other groups. Similar results were reported about deformation at break values by Fiore et al., (2014) and Bal (2022b).

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

Property		Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	p values
Flexural Strength N/mm <sup>2</sup>	x	44.0D	38.4C	33.3B	30.7A	p < 0.001
	ss	2.6	1.9	1.2	0.8	
Flexural Modulus N/mm <sup>2</sup>	x	1487A	1674B	2118C	2298D	p < 0.001
	ss	100	105	87	166	
Deformation at break mm	x	15.4C	9.9B	6.5A	5.2A	p < 0.001
	ss	3.9	1.0	0.7	0.4	

Table 4 shows the tensile strength, tensile modulus and elongation at break values as well as the Duncan test results and ANOVA p values. Tensile strength values decreased as the filler content in the composite material increased as seen in Table 4. The tensile strength of the control group was 17.5 N/mm<sup>2</sup> and that of group 4 was 12.1 N/mm<sup>2</sup>. The differences among groups (group 1, group 2 and group 3) were statistically different ( $p < 0.001$ ). The effect of wood flour as a filler was negative on the tensile strength. Similar results were obtained for elongation at break. On the contrary, the effect of wood flour was positive on the tensile modulus. Tensile modulus increased as the filler content increased. The tensile modulus of group 1 was 451 N/mm<sup>2</sup> and tensile modulus of group 4 was 598 N/mm<sup>2</sup>. The differences between group 4 and other groups were significant. But, there is no difference among group 1, 2 and 3. Similar results were obtained in previous studies on WPC materials filled with wood flour (Mengeloğlu and Karakuş 2008; Atar et al. 2016; Çavuş 2020; Bal 2022a-b).

**Table 4.** Tensile test data, ANOVA p values, Duncan test results

Property		Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	p values
Tensile Strength N/mm <sup>2</sup>	x	17.5C	15.3B	13.2A	12.1A	p < 0.001
	ss	3.0	1.4	0.5	0.9	
Tensile Modulus N/mm <sup>2</sup>	x	451A	455A	472A	598B	p < 0.001
	ss	54	30	93	82	
Elongation at break mm	x	4.7C	4.5C	3.5B	2.6A	n < 0.001
	ss	1.3	0.8	0.6	0.4	

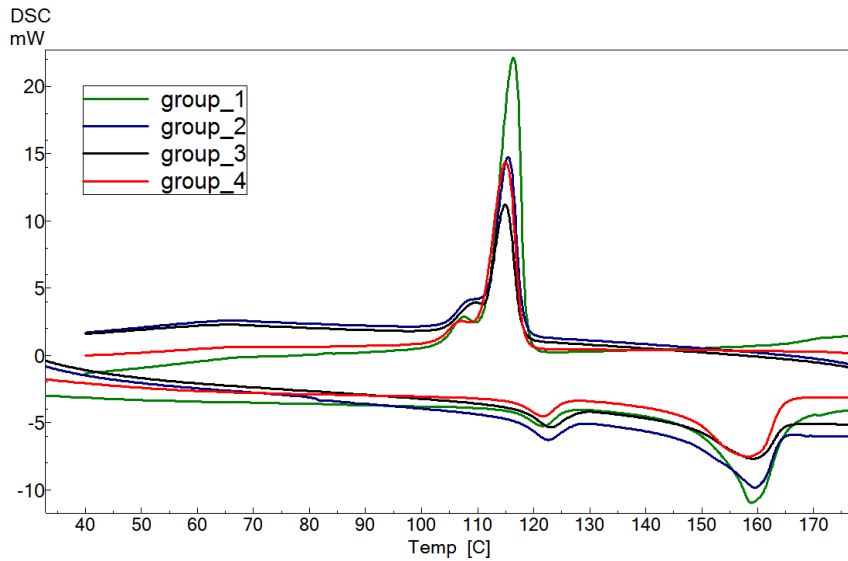
Shore D hardness test values, ANOVA p values and Duncan test results were given in Table 5. When the table was analyzed, it can be seen that hardness increased with increasing

wood flour content. There is a statistically significant ( $p < 0.001$ ) difference between the control group and the experimental groups but the difference between group 3 and group 4 is insignificant. Wood is a harder material than plastic. Therefore, the hardness of the composite material increases as the amount of wood flour in the composite material increases (Çavuş and Mengeloğlu 2017; Çavuş 2020; Bal 2022; Bal 2023a-b; Narlıoğlu 2021).

**Table 5.** Hardness test data, ANOVA p values, Duncan test results

Hardness	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	p values
x	72.82A	75.10B	76.13C	76.34C	$p < 0.001$
ss	1.00	0.56	0.74	0.78	

DSC curves and DSC analysis result values of the composites are given in Figure 4 and Table 6, respectively. According to Table 6 and Figure 4, it is understood that the waste plastic furniture parts are produced from 2 polymer materials. When the melting and enthalpy temperatures of the polymers are examined, it is understood that the material in the polymer is polypropylene (PP) and linear low density polyethylene (LLDPE). When Figure 4 is examined, it is understood that the material that melts at 159 °C is PP. Additionally, it was determined that the material that melts at 121 °C is LLDPE polymer (Li, 2019; Dikobe 2010; Golebiewski 2007).



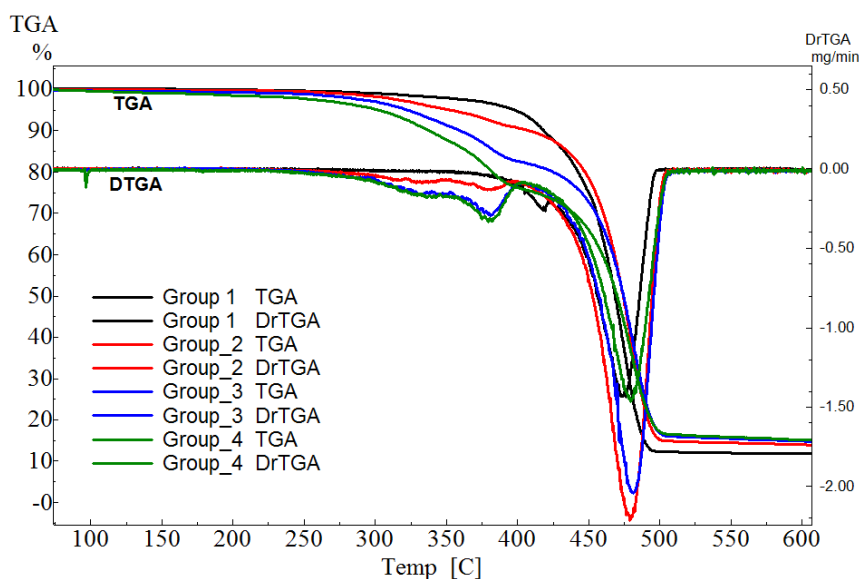
**Figure 4.** DSC curves of composites

It is understood that the melting temperature of LLDPE increases up to 2 °C as the amount of wood in the material increases. When Table 6 is examined, it is understood that the crystallization temperature of LLDPE varies between 107.6-110.2 °C. It has been understood that enthalpy values generally increase as the amount of wood in the composite increases. The enthalpy regions of LLDPE and PP are intertwined in Figure 4. In a study, it was stated that the enthalpies of polymers overlap each other in the DSC curve due to rapid cooling (Fonseca 1998). The DSC cooling curves of the groups are shown in Figure 4. The crystallinity degrees of the polymers are very close to each other in the composites. Therefore, crystallinity levels may be intertwined. The most likely reason for the formation of a single crystallization peak is that the polymer mixture was cooled at a relatively high rate of 10 °C min<sup>-1</sup> (Dikobe ve Luyt, 2010).

**Table 6.** DSC analysis results of composites

Samples	LLDPE Melting Temperature (°C)	PP Melting Temperature (°C)	LLDPE Crystallization Temperature (°C)	PP Crystallization Temperature (°C)	LLDPE Crystallization Enthalpy (J/g)	PP Crystallization Enthalpy (J/g)
Group 1	121.7	159.0	107.60	116.4	1.8	64.6
Group 2	122.7	159.5	110.2	115.5	1.41	51.8
Group 3	123.7	159.3	109.8	115.0	1.41	38.6
Group 4	123.7	159.4	108.2	115.7	1.35	40.4

TGA and derivative thermal gravimetric analysis (DTGA) curves of composites were given in Figure 5. According to the TGA curves, it was understood that the degradation of composite samples with added wood occurred in 3 regions. According to the TGA curve, it was understood that wood first started to decompose at 235°C, PP at 370°C and LLDPE at 448°C. It was concluded that the lignocellulosic material was degraded in the first stage in the TGA curve and the plastic material was degraded in the second and 3rd regions. Based on a comparison with the control group, it appears that there are 2 different polymer materials within the composite material. It has been observed that polymer material decomposes between 350-500°C especially. Wood added to composites is thought to decompose in the temperature range of 200 °C to 350°C. In a study, it was stated that the composites containing PP, LLDPE and wood had two degradation stages. First, it was understood that the wood in the composite had deteriorated. Depolymerization of lignocellulose occurred between 275°C and 350°C (Dikobe and Luyt 2010). When group 1 is examined in the TGA curves, it is understood that the amount of substance remaining at 600 °C is approximately 12%. It is known that calcium carbonate is generally used as a filling material in the production of plastic chairs (Xanthos 2005; Srivabut et al., 2021; Aliev et al., 2023). It can be said that an inorganic substance was added to the production of the plastic chair used in this study. Additionally, the amount of remaining matter also increased at 600 °C when wood was added to the composites.

**Figure 5.** TGA curves of composites.

## 4 Conclusion

In this study, the composite material was successfully produced using waste plastic furniture parts and wood flour, and, some properties of composite material were investigated. According to the obtained data, the following results can be said;

- The density value of the composite material also increased as the amount of filler increased compared to the control group. Differences between groups are statistically significant.
- The flexural strength and deformation at break decreased as the amount of filler in the composite material increased but flexural modulus increased.
- Tensile strength and elongation at break decreased with increasing wood flour but tensile modulus increased.
- Significant increases in the hardness of the composites were observed as a result of adding wood flour to the plastic matrix compared to the control group.
- According to the thermal analysis results, it was seen that the waste plastic furniture parts consisted of two different polymers (LLDPE and PP).
- It was observed that the thermal decomposition temperature of composite materials increased partially due to the increase in the wood flour ratio in the composite.
- It has been observed that the strength values obtained in this study meet the minimum strength values required for the usage areas of polyolefin-based plastic lumber products specified in ASTM D 6662.
- The composite materials produced in this study can be used in some application areas where high rigidity is required (e.g. flooring, automobile trims) in addition to application areas that require low strength (e.g. exterior cladding, door-window frames).

## Acknowledgement

None.

## Author Contributions

**Bekir Cihad Bal:** Conceptualization (Developing research ideas and objectives), Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Resources, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing., **Nasır Narlıoğlu:** Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Resources, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Ertuğrul Altuntaş:** Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Resources, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

## Funding statement

This work wasn't supported by any organization.

## Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest.

## References

- Aliev, S., Egamberdiev, E., Turabdjano, S., Rashidov, S., Juraev, A. (2023). Role of fillers in the production of wood-polymer composites. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 434, p. 02030). EDP Sciences, DOI: [10.1051/e3sconf/202343402030](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343402030)
- Altuntaş, E., Yılmaz, E., Salan, T. (2017), Investigation of the effect of high-fibrous filling material on the mechanical properties of wood plastic composites, *Turkish Journal of Forestry*, 18(3), 258-263, DOI: [10.18182/tjf.308969](https://doi.org/10.18182/tjf.308969)

- 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 792 (2004), Density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1–11s.
- 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.
- ASTM D 6662 (2001) Standard Specification for Polyolefin-Based Plastic Lumber Decking Boards, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1–14s.
- 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.
- Bal, B. C., Kılavuz, M. (2015), İlk mobilya, *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 14(2), 56-69.
- Bal, B. C. (2022a), Mechanical properties of wood-plastic composites produced with recycled polyethylene, used Tetra Pak® boxes, and wood flour, *BioResources*, 17(4). 6569-6577, DOI: [10.15376/biores.17.4.6569-6577](https://doi.org/10.15376/biores.17.4.6569-6577)
- Bal, B.C. (2022b), 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](https://doi.org/10.33725/mamad.1126534)
- Bal, B.C., (2023a), 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](https://doi.org/10.33725/mamad.1301384)
- Bal B.C., (2023b), Some mechanical properties of WPCs with wood flour and walnut shell flour, *Polimeros*, 33 (2)1-8, DOI: [10.1590/0104-1428.20230005](https://doi.org/10.1590/0104-1428.20230005)
- Berger, M. J., Stark, N. M. (1997), Investigations of species effects in an injection-molding-grade, wood-filled polypropylene, In The fourth international conference on woodfiber-plastic composites (pp. 19-25).
- Bekhta, P., Lyutyy, P., Ortynska, G. (2017), Properties of veneered flat pressed wood plastic composites by one-step process pressing, *Journal of Polymers and the Environment*, 25(4), 1288-1295, DOI: [10.1007/s10924-016-0904-2](https://doi.org/10.1007/s10924-016-0904-2)
- 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), 994-999, DOI: [10.5505/pajes.2017.80000](https://doi.org/10.5505/pajes.2017.80000)

- Çavus, V. (2020), Selected properties of mahogany wood flour filled polypropylene composites: The effect of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP), *BioResources* 15(2), 2227-2236, DOI: [10.15376/biores.15.2.2227-2236](https://doi.org/10.15376/biores.15.2.2227-2236)
- Dikobe, D. G., Luyt, A. S. (2010), Comparative study of the morphology and properties of PP/LLDPE/wood powder and MAPP/LLDPE/wood powder polymer blend composites. *Express Polymer Letters*, 4(11), DOI: [10.3144/expresspolymlett.2010.88](https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2010.88)
- Fiore, V., Botta, L., Scaffaro, R., Valenza, A., Pirrotta, A. (2014), PLA based biocomposites reinforced with *Arundo donax* fillers. *Composites Science and Technology*, 105, 110-117, DOI: [10.1016/j.compscitech.2014.10.005](https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.10.005)
- Fonseca, C. A., Harrison, I. R. (1998). An investigation of co-crystallization in LDPE/HDPE blends using DSC and TREF. *Thermochimica Acta*, 313(1), 37-41, DOI: [10.1016/S0040-6031\(97\)00465-6](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(97)00465-6)
- Golebiewski, J., Galeski, A. (2007). Thermal stability of nanoclay polypropylene composites by simultaneous DSC and TGA. *Composites Science and Technology*, 67(15-16), 3442-3447, DOI: [10.1016/j.compscitech.2007.03.007](https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.03.007)
- Klyosov, A.A. 2007. Wood-plastic composites. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 720s, DOI: [10.1002/9780470165935](https://doi.org/10.1002/9780470165935)
- Li, D., Zhou, L., Wang, X., He, L., Yang, X. (2019). Effect of crystallinity of polyethylene with different densities on breakdown strength and conductance property. *Materials*, 12(11), 1746, DOI: [10.3390/ma12111746](https://doi.org/10.3390/ma12111746)
- Lyutyy, P., Bekhta, P., Ortynska, G. (2018). Lightweight flat pressed wood plastic composites: Possibility of manufacture and properties. *Drvna industrija*, 69(1), 55-62, DOI: [10.5552/drind.2018.1746](https://doi.org/10.5552/drind.2018.1746)
- Matuana, L. M., Stark, N. M. (2015). The use of wood fibers as reinforcements in composites, in: *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, Woodhead Publishing, Swaston, UK, pp. 648-688, DOI: [10.1533/9781782421276.5.648](https://doi.org/10.1533/9781782421276.5.648)
- 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.
- Mengelöglu, F., Basboga, İ. H., Aslan, T. (2015). Selected properties of furniture plant waste filled thermoplastic composites, *Pro Ligno*, 11(4), 199-206.
- Miyahara, R. Y., Melquiades, F. L., Ligowski, E., Santos, A. D., Fávoro, S. L., Antunes Junior, O. D. R. (2018). Preparation and characterization of composites from plastic waste and sugar cane fiber. *Polímeros*, 28, 147-154, DOI: [10.1590/0104-1428.12216](https://doi.org/10.1590/0104-1428.12216)
- Narlıoğlu, N., Salan, T., Çetin, N. S., Alma, M. H. (2018a). Evaluation of furniture industry wastes in polymer composite production, *Furniture and Wooden Material Research Journal* 1(2), 78-85, DOI: [10.33725/mamad.492418](https://doi.org/10.33725/mamad.492418)
- Narlıoğlu, N., Çetin, N. S., Alma, M. H. (2018b). Effect of black pine sawdust on the mechanical properties of polypropylene composites, *Furniture and Wooden Material Research Journal* 1(1), 38-45, DOI: [10.33725/mamad.433532](https://doi.org/10.33725/mamad.433532)

- Narlıoğlu, N. (2021). Evaluation of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood sanding dust in thermoplastic composite production. *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 4(1), 9-18, DOI: [10.33725/mamad.1114080](https://doi.org/10.33725/mamad.1114080)
- Nukala, S. G., Kong, I., Kakarla, A. B., Tshai, K. Y., Kong, W. (2022). Preparation and characterisation of wood polymer composites using sustainable raw materials. *Polymers*, 14(15), 3183, DOI: [10.3390/polym14153183](https://doi.org/10.3390/polym14153183)
- Özkaya, K., Dizel, T., Imirzi, H. Ö. (2021). Study of effect of waste tire rubber which is a recycling material in production of laminated veneer lumber (LVL) boards. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 37(4), 412-421, DOI: [10.1177/14777606211019408](https://doi.org/10.1177/14777606211019408)
- 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.
- Rahman, S., Islam, M. N., Ratul, S. B., Dana, N. H., Musa, S. M., Hannan, M. O. (2018). Properties of flat-pressed wood plastic composites as a function of particle size and mixing ratio. *Journal of Wood Science*, 64(3), 279-286, DOI: [10.1007/s10086-018-1702-3](https://doi.org/10.1007/s10086-018-1702-3)
- Srivabut, C., Ratanawilai, T., Hiziroglu, S. (2021). Statistical modeling and response surface optimization on natural weathering of wood–plastic composites with calcium carbonate filler. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(4), 1503-1517, DOI: [10.1007/s10163-021-01230-7](https://doi.org/10.1007/s10163-021-01230-7)
- 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, DOI: [10.1002/app.20996](https://doi.org/10.1002/app.20996)
- Smith, P.M. Wolcott, M.P. 2006. Opportunities for wood/natural fiber-plastic composites in residential and industrial applications. *Forest Products Journal*, 56(3): 4-11.
- Xanthos, M. (2005). Calcium carbonate. *Functional Fillers for Plastics*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 271-284, DOI: [10.1002/3527605096](https://doi.org/10.1002/3527605096)





### N-octadecane /bio-char composite: preparation, characterization and energy storage properties

Gaye Köse Demirel<sup>1\*</sup> 

#### Abstract

Biochar (BC) is a carbonized material rich in functional groups that has many different uses such as soil reclamation, energy storage, anodic material in batteries and electromagnetic emission capture in buildings. The n-octadecane (OD) is a favourable organic phase change material (PCM) for thermal energy storage which can be applied in building energy storage materials due to its proper phase change temperature. In this study, BC was impregnated with the OD in the vacuum oven at 0.08 Mbar at 70 °C for 3h. The weight percentage gain was found to be 50% after impregnation. Leakage of OD from BC after impregnation was detected by leakage test. The physico-chemically characterize of thermally treated wood samples were examined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR). Thermal degradation stability of the samples were analyzed by thermogravimetric analyses (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) analysis. According to results, no leakage was observed after the leakage test in BC samples impregnated with OD. A significant amount of residue was evident in the BC after it was infused with OD indicating that its decomposition commenced only at markedly high temperatures according to TGA results. The FTIR spectrum doesn't show any extra absorbance peaks. According to obtained results, BC/OD exhibits favourable characteristics suitable for energy storage in buildings or similar applications.

**Keywords:** Biochar, n-octadecane, phase change materials

### N-oktadekan / biyokömür kompoziti: hazırlanması, karakterizasyonu ve enerji depolama özellikleri

#### Öz

Biyokömür (BC) toprak ıslahı, enerji depolama, pillerde anodik malzeme olarak, binalarda elektromanyetik emisyon yakalama gibi birçok farklı kullanıma sahip, fonksiyonel gruplar açısından zengin, karbonize bir malzemedir. N-oktadekan (OD), uygun faz değişim sıcaklığı nedeniyle bina enerji depolama malzemelerinde uygulanabilen, termal enerji depolaması için uygun bir organik faz değişim malzemesidir. Bu çalışmada BC, OD ile vakumlu fırında 0,08 Mbar'da 70 °C'de 3 saat süreyle emprenye edildi. Emprenye sonrası ağırlık artışı %50 olarak bulunmuştur. Biyokömürden n-oktadekan sızıntısı, sızıntı testiyle tespit edildi. Isıl işlem görmüş ahşap numunelerinin fiziko-kimyasal olarak karakterizasyonu fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) ile incelenmiştir. Numunelerin termal bozunma stabilitesi, termogravimetrik analizler (TG) ve diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ile analiz edildi. Sonuçlara göre OD emdirilmiş BC numunelerinde sızdırmazlık testi sonrasında herhangi bir sızıntı gözlenmemiştir. Elde edilen sonuçlara göre BC/OD, binalarda veya benzeri uygulamalarda enerji depolamaya uygun olumlu özellikler göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Odun kömürü, n-oktadekan, faz değiştiren maddeler

## **1 Introduction**

The increased demand for energy-saving materials has arisen in response to the worldwide energy crisis (Dincer and Ezan 2018). Therefore, several types of materials have been researched that can contribute to energy conservation. First, aerogels, lightweight and porous, boast exceptional insulation properties and find applications in building insulation and windows (Wakel and Nasir 2023; Yue et al. 2022). Second, PCMs undergo phase transitions to absorb and release heat energy, regulating building temperatures and enhancing solar panel efficiency (Fan et al. 2023; Gencel et al. 2022; Sharaf and Huzayyin 2022). Third, thermoelectric materials convert heat into electricity recovering waste heat from industrial processes (Hasan et al. 2020). Fourth, smart windows adjust transparency and reflectivity to control sunlight influencing building temperature (Oh et al. 2021). Lastly, nanomaterials enhance the efficiency of solar cells, batteries and fuel cells. Among these, PCMs stand out as particularly promising for building applications (Cunha and Aguiar 2020; Wen et al. 2022; Ustaoglu et al. 2021)

Thermal energy storage (TES) is regarded as an innovative method for storing energy by utilizing latent heat PCM. These materials are thoroughly studied for potential use in textiles (Sarier and Onder 2007) and electronics to provide thermal protection for microelectronics (Tan and Tso. 2004). The primary benefit of employing these materials in buildings is their ability to align energy supply and demand, leading to a reduction in energy costs. TES materials that are based on PCM are favoured over sensible heat storage and thermochemical heat storage technologies due to their high heat storage density, smaller temperature fluctuations and nearly isothermal phase change processes (Zalba et al. 2003).

Over the last few decades, researchers have explored different PCMs like paraffin waxes (such as n-octadecane and n-hexadecane), fatty acids, salt hydrates and combinations thereof aiming to create effective latent heat TES materials suitable for diverse applications. Paraffin waxes are particularly favoured for incorporation into building materials with their inherent benefits (Zalba et al. 2003; Yuan et al. 2014; Farid et al. 2004). Nevertheless, the utilization of these materials in construction has been restricted primarily due to two key issues: low thermal conductivity and the occurrence of liquid leakage during their phase change processes.

Solid-liquid PCMs are broadly categorized into paraffins, hydrated salts, fatty acids, fatty alcohols, organic esters and certain polymers (Liang et al. 2018; Can, 2023). The predominant challenges encountered in their practical implementation are the leakage of molten PCM and low thermal conductivity (Ma et al. 2019; Demirel 2023; Amini et al. 2023). Despite considerable efforts to address these issues, it remains a formidable task to create PCMs with the desired operating temperature, high latent heat storage (LHS) capacity, relatively elevated thermal conductivity, excellent cycling thermal and chemical stability and cost-effectiveness (Cheng et al. 2017). One of the most favored approaches for effectively addressing these challenges involves integrating PCMs with porous, lightweight and economical carrier materials (Jeon et al. 2019; Sari et al. 2020; Can and Žigon 2022).

The thermal conductivity of many form-stable composite PCMs is poor in thermal conductivity property leading to the incorporation of carbon-based fillers with enhanced thermal conductivity such as graphene, graphene oxide, carbon nanotubes and carbon nanofibers (Atinafu et al. 2020). Despite this improvement, their widespread use in TES systems is hindered by significant drawbacks like high cost and issues related to agglomeration.

Biochars derived from bio-waste are viable options to substitute the carbon fillers mentioned earlier as they can be produced in a more cost-effective and environmentally friendly manner (Khadiran et al., 2015a; Hekimoğlu et al., 2021). Consequently, they are employed to address leakage challenges and improve the thermal conductivity of PCMs due to their favourable surface textural properties (Gu et al., 2019; Hussein et al., 2015; Hekimoğlu et al., 2023).

PCMs are favoured for solar passive TES applications in a solid-liquid state. Nevertheless, their TES potential is significantly limited by low thermal conductivity and the challenge of molten PCM leakage. In this study, environmentally friendly, abundant and cheap BC was used to prevent the leakage problem, and the use of OD as a PCM was examined.

## **2. Material ve Method**

### **2.1 Material**

The OD was purchased from Sigma-Aldrich Company. It was used as the PCM for TES. The chemical formula of OD is  $C_{18}H_{38}$ ; assay  $\geq 99.0$ ; density  $0.78 \text{ g/cm}^3$ . It is within the alkane group and has a melting temperature of  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ . BC (density:  $0.30\text{-}0.41 \text{ g/cm}^3$ ; purity:  $95\%$ ; particle size  $< 100 \text{ nm}$ ) was purchased from Nanografi Company (Turkey).

### **2.2 Method**

#### **2.2.1 Impregnation process**

BC was dried in an oven at  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  for 7 h to remove moisture. The OD was melted by heating at  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  which was higher than its melting temperature. OD/BC was prepared  $50\%$  (w/w). BC was impregnated with the OD in the vacuum oven at  $0.08 \text{ Mbar}$  at  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  for 3h. The mixtures were mixed every 1 h to ensure homogeneous mixing. The wight percantege gain (WPG) of the BC was found to be approximately  $50\%$  after impregnation.

#### **2.2.2 Leakage test**

This test is referenced from some previous articles (Hekimoglu et al., 2023; Amini et al., 2023). Filter paper Whatman No:2 was used for the PCM leakage test. The OD/BC was placed on the filter paper and then it was placed in an oven at  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  for 30 min. The leakage was determined visually by seeing the leak of OD on the filter paper.

#### **2.2.3 Fourier-transform infrared, diffential scanning calorimetry and thermogravimetric analyses**

FTIR analyses were employed to determine the chemical structures of the components and the physicochemical interactions among them (Perkin Elmer Frontier Model, the USA). The spectrums were recorded with  $4 \text{ cm}^{-1}$  resolution between  $4000$  and  $500 \text{ cm}^{-1}$ .

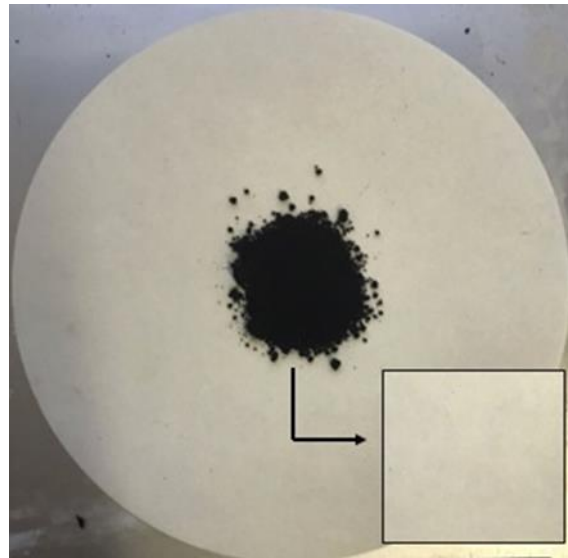
DSC was employed for determining the melting and solidification enthalpy values with phase change temperatures of the OD/BC. DSC was conducted at a heating/cooling rate of  $3^\circ\text{C}/\text{min}$  under nitrogen atmosphere in Hitachi DSC 7020 model DSC instrument. These measurements were repeated for three times and the mean deviation value was determined as  $\pm 0.13^\circ\text{C}$  and  $\pm 1.24 \text{ J/g}$  for the melting and solidification temperatures and latent heat values of the samples

A thermogravimetric analyzer (SDT Q600 TA Instrument) was used in determining the thermal stability of the samples. The samples ( $5\text{-}10 \text{ mg}$ ) were put in platinum pan under nitrogen at a heating rate of  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  above a temperature range of  $30^\circ\text{C}$  to  $600^\circ\text{C}$ .

### **3 Results and Discussion**

#### **3.1 Leakage test results**

The leakage test for a PCM like OD in BC is an essential evaluation to ensure the material's suitability for practical applications particularly in thermal energy storage systems. The test is designed to determine whether the PCM leaks out of its containment material when it transitions from solid to liquid and vice versa. The image of BC/OD powders subjected to leakage test is given in Figure 1.



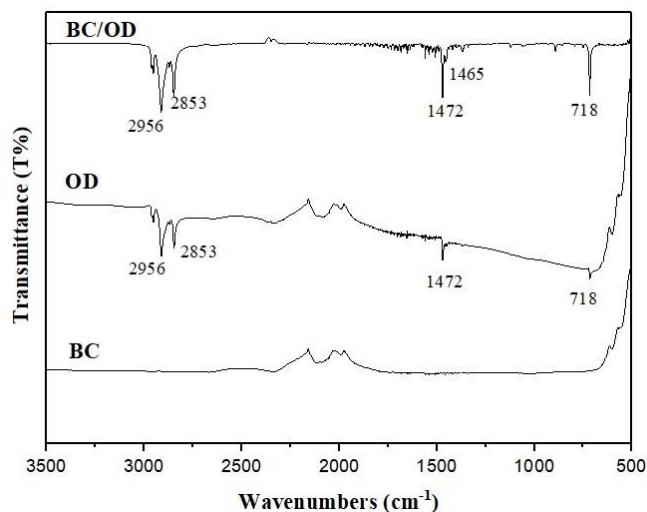
**Figure 1.** The leakage test results of BC/OD

No leakage was observed after the leakage test in BC samples impregnated with OD. As seen in the figure, no leakage is observed in BC/OD powders with OD mass content of 50 wt%. The WPG of the BC was found to be approximately 50% after impregnation. This outcome suggests the effective penetration of OD into the porous structure of BC. Khadiran et al (2015b) obtained similar results in their study and suggested that the porous network of BC may offer extensive capillary and adsorption properties that effectively prevent the leakage of molten OD. The leaching test results aligned well with the findings from the DSC analysis. When the amount of leakage is minimal, DSC results will show stable thermal properties. In our study, DSC results of BC/OD showed more stable thermal properties. A composite featuring a greater loading of OD would be more advantageous for applications involving TES materials. In their study, the leakage test results agreed well with the findings from the DSC analysis. They stated that a composite containing higher OD loading would be more advantageous for applications involving thermal energy storage materials.

The absence of leakage may be due to the sorption and diffusion mechanisms of OD into the BC. The surface area and pore volume of BC can facilitate the diffusion of OD into its internal structure, thus it can reduce the risk of leakage. Moreover, the thermal conductivity and heat capacity of BC could play a role in distributing the thermal energy evenly preventing localized melting that could lead to leakage.

### 3.2. FTIR results

The FTIR spectra of OD/Biochar are shown in Figure 2.



**Figure 2.** The FTIR spectra of the BC/OD, OD and BC

The peaks at 2956 and 2853  $\text{cm}^{-1}$  represent the stretching bands of C–H in OD which are indicative of the long hydrocarbon chains present in OD. These peaks are present in both the OD and BC/OD samples but are absent in the BC sample, which is expected, since BC is primarily composed of aromatic carbon structures and does not contain long aliphatic chains.

The peaks at 1465  $\text{cm}^{-1}$  and 1472  $\text{cm}^{-1}$  can be attributed to the bending vibrations of C–H bonds in both the OD and BC/OD samples. The similarity of the peaks in this region for OD and BC/OD suggests that the octodecane in the composite retains its chemical identity without significant alteration.

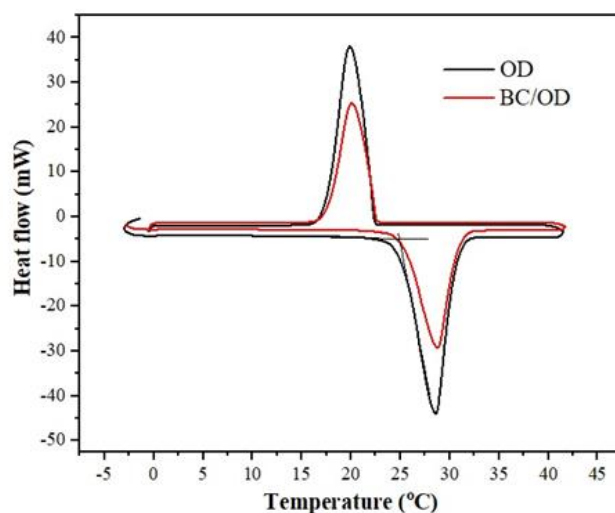
The BC spectrum does not show significant peaks in the region typical for aliphatic C–H stretches suggesting that the material is composed mainly of aromatic or graphitic carbon structures. However, the lack of well-defined peaks in the aromatic C=C stretch region (around 1500–1600  $\text{cm}^{-1}$ ) could indicate that the structure of the BC is highly amorphous or that the aromatic domains are small.

The BC/OD spectrum combines features from both OD and BC, with the aliphatic C–H stretch peaks indicative of octodecane and the lack of distinct aromatic peaks indicative of the BC component. The presence of both sets of peaks suggests that the composite contains both components without significant chemical interaction that would change the fundamental vibrational modes of either component.

There are no new absorption bands evident in the FTIR spectrum. Consequently, the combination of OD with BC occurred through a physical process rather than involving any chemical reaction.

### 3.3 DSC results

The DSC thermograms for OD and BC/OD are shown in Figure 3. Thermal properties of the OD and BC/OD, including enthalpy and peak temperature for melting and solidifying processes are summarized in Table 1.



**Figure 3.** DSC thermograms of OD and BC/OD

**Table 1.** DSC values of the OD and BC/OD

	Melting		Solidifying	
	$T_{\text{peak}}$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)	$T_{\text{peak}}$ (°C)	$\Delta H$ (J/g)
OD	25.11	215.1	22.77	213.4
BC/OD	25.32	106.4	22.79	105.2

The melting temperature of pure octodecane is slightly lower (25.11 °C) compared to the biochar/octodecane composite (25.32 °C). The increase in melting temperature for the composite suggests that the presence of BC may influence the thermal stability of octodecane, possibly due to interactions at the interface between biochar and octodecane or due to a change in the crystalline structure when BC is added.

The enthalpy change ( $\Delta H$ ) for melting is significantly higher for pure octodecane (215.1 J/g) than for the composite (106.4 J/g). This substantial decrease in  $\Delta H$  for the BC/OD composite indicates that less energy is required for the phase transition which may be due to the BC disrupting the crystalline lattice of the octodecane leading to a lower latent heat of fusion.

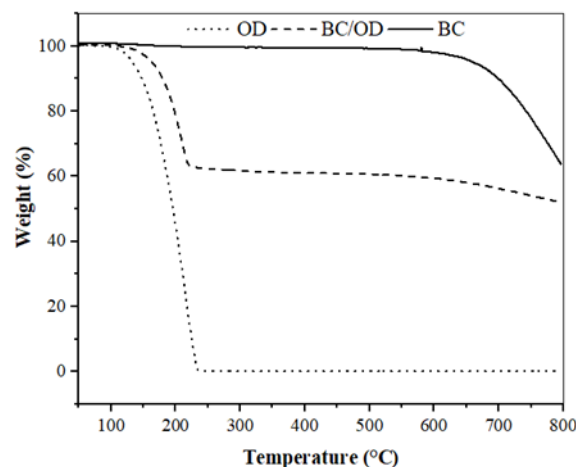
The solidifying temperatures of OD and BC/OD are very close (22.77 °C for OD and 22.79 °C for BC/OD) it suggests that BC has a minimal effect on the initiation of solidification. However, the  $\Delta H$  is also about half for solidification for the composite similar to the melting behaviour (105.2 J/g for BC/OD) compared to pure octodecane (213.4 J/g for OD) which further supports the notion that the composite requires less energy for the phase change.

Hekimoğlu et al. studied active carbon/expanded graphite hybrid for the development of nanodecane-based composite. Pure nanodecane demonstrates its solid-to-solid transition peak at 23.36 °C during the heating cycle with an enthalpy change of 36.12 J/g and at 17.73 °C during the cooling cycle with an enthalpy change of 35.93 J/g.

Lee et al., (2017) investigated the thermal enhancement of n-octadecane/porous nano carbon-based materials (OPNCs) utilizing a three-step filtered vacuum impregnation technique. They employed n-octadecane as the phase change material (PCMs) alongside a variety of carbon-based supports such as C-300, C-500, Activated Carbon (AC), Expanded Graphite (EG) and Exfoliated Graphite Nanoplatelets (xGnP) that are all derived from identical raw materials. Differential Scanning Calorimetry (DSC) analysis was conducted which measured the latent heat capacities of OPNCs ranging between 220 J/g and 393 J/g to assess the thermal efficiency of OPNCs.

### 3.4 TGA results

The weight loss as a function of time and temperature was measured in the TGA as shown in Figure 4. Table 2 lists the temperatures ,at which weight losses (at 10, 20, 30, 40, 45%) were produced, and the amount of residue.



**Figure 4.** TGA curves of the OD, BC/OD and OD

TGA graph for OD, BC and a BC/OD provides valuable data on the thermal stability and decomposition characteristics of these materials.

OD exhibits a single-stage weight loss which is typical for pure hydrocarbons. This weight loss corresponds to the melting and subsequent vaporization of the octadecane as the temperature increases and it leaves no residue indicating complete volatilization.

**Table 2.** TGA data of the OD, BC/OD and OD

	TG/°C					Residue (%)
	10%	20%	30%	40%	45%	
BC	698.68	742.52	776.25	-	-	63.92
BC/OD	179.61	198.07	210.41	559.07	725.34	51.79

BC/OD shows a multi-stage weight loss. The initial weight loss up to about 200°C can be attributed to the loss of octadecane. The fact that the BC/OD curve follows the OD curve initially suggests that the presence of BC does not significantly affect the initial thermal decomposition of octadecane. However, beyond this point, the curve deviates, and the weight loss proceeds at a slower rate compared to pure octadecane suggesting that the BC has a stabilizing effect on the remaining octadecane in the composite or that the BC itself is decomposing at a slower rate.



The BC curve shows that BC is thermally stable over a wide temperature range and begins to decompose significantly only at high temperatures. This is consistent with the nature of BC which is a carbon-rich material and generally exhibits high thermal stability.

In terms of residue percentage, biochar leaves a substantial amount of residue (63.92%) which is characteristic of carbonaceous materials that do not completely decompose until very high temperatures. The BC/OD composite leaves a smaller percentage of residue (51.79%) compared to pure BC which suggests that a portion of the BC has been consumed or transformed during the thermal process potentially due to interactions with the octadecane.

Khadiran et al. (2015b) studied on the preparation of a shape-stabilized n-octadecane/AC nanocomposite, intended for thermal energy storage (TES) in building applications, employing a singular impregnation technique. The TES materials devised during this research were examined using a variety of methods including FTIR, RAMAN, DSC, FESEM, nitrogen adsorption-desorption and leaching tests. Thermograms from TGA/DTG of the unaltered n-octadecane showed a single degradation phase from 125.0 °C to 174.3 °C attributed to the vaporization of n-octadecane. Conversely, the AC sample exhibited no signs of decomposition so it suggests that the AC, selected for this study, possesses thermal stability and is suitable as a structural support material.

Chen et al. (2012) utilized activated carbon (AC) to fabricate shape-stabilized composites of lauric acid and AC. Findings showed that lauric acid readily infiltrated the porous structure of the AC resulting in improved thermal conductivity within the composites.

#### **4 Conclusion**

As a result of this study, the following outputs were obtained.

- Weight percentage gain was found to be 50% as a result of the impregnation of BC with OD as a PCM by vacuum process.
- No leakage was observed in BC/OD which was subjected to leakage testing at 50 °C for 3 hours. This shows that OD is effectively retained in the porous BC.
- No additional absorbance peaks are present in the FTIR spectrum so it indicates that the integration of OD into BC was achieved via a physical method rather than through chemical interactions.
- Regarding the residue percentage, BC retains a considerable portion of its amount of residue, a trait typical of carbon-based substances that fully decompose at extremely elevated temperatures. As a result, a notable residue was observed in the BC that had been combined with OD which only began to break down at significantly high temperatures.
- BC/OD provide promising property for use in energy storage applications in buildings or other similar applications. BC/OD appears to be highly appropriate for thermal energy storage objectives by taking into account the entire range of DSC data.

#### **Acknowledgement**

None.

#### **Author Contributions**

**Gaye Köse Demirel:** Conceptualization (Developing research ideas and objectives), Formal Analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Resources, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

### Funding statement

No financial support was received for the study.

### Conflict of interest statement

The author declare no conflict of interest.

### References

- Amini, M. H. M., Temiz, A., Zuraik, M. A., Hermawan, A., Sulaiman, N. S. (2023), Shape stabilized phase change material by pine wood absorption. *Materials Today: Proceedings*. DOI: [10.1016/j.matpr.2023.10.079](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.10.079)
- Atinafu, D. G., Ok, Y. S., Kua, H. W., Kim, S. (2020), Thermal properties of composite organic phase change materials (PCMs): A critical review on their engineering chemistry, *Applied thermal engineering*, 181, 115960. DOI: [10.1016/j.applthermaleng.2020.115960](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115960)
- Can, A. (2023), Thermal characterization of phase-changing materials as stabilized thermal energy storage materials in impregnated wood, *Energy Storage*, 5(1), e397. DOI: [10.1002/est.2.397](https://doi.org/10.1002/est.2.397)
- Can, A., Žigon, J. (2022), n-Heptadecane-impregnated wood as a potential material for energy-saving buildings, *Forests*, 13(12), 2137. DOI: [10.3390/f13122137](https://doi.org/10.3390/f13122137)
- Chen, Z., Shan, F., Cao, L., Fang, G. (2012), Synthesis and thermal properties of shape-stabilized lauric acid/activated carbon composites as phase change materials for thermal energy storage, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 102, 131-136, DOI: [10.1016/j.solmat.2012.03.013](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2012.03.013)
- Cheng, X., Li, G., Yu, G., Li, Y., Han, J. (2017), Effect of expanded graphite and carbon nanotubes on the thermal performance of stearic acid phase change materials, *Journal of Materials Science*, 52(20), 12370-12379, DOI: [10.1007/s10853-017-1350-9](https://doi.org/10.1007/s10853-017-1350-9)
- Cunha da , S. R. L., de Aguiar, J. L. B. (2020), Phase change materials and energy efficiency of buildings: A review of knowledge, *Journal of Energy Storage*, 27, DOI: [10.1016/j.est.2019.101083](https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101083)
- Demirel, G.K., (2023), Evaluation of lauric-myristic acid as phase change material in thermally modified wood for thermal energy storage, *BioResources*, 18(4). DOI: [10.15376/biores.18.4.7186-7201](https://doi.org/10.15376/biores.18.4.7186-7201)
- Dincer, I., & Ezan, M. A. (2018), *Heat storage: a unique solution for energy systems*, Springer.
- Fan, Z., Zhao, Y., Shi, Y., Liu, X., Jiang, D. (2023), Thermal performance evaluation of a novel building wall for lightweight building containing phase change materials and interlayer ventilation: An experimental study, *Energy and Buildings*, 278, DOI: [10.1016/j.enbuild.2022.112677](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112677)
- Farid, M. M., Khudhair, A. M., Razack, S. A. K., Al-Hallaj, S. (2004), A review on phase change energy storage: materials and applications, *Energy conversion and management*, 45(9-10), 1597-1615. DOI: [10.1016/j.enconman.2003.09.015](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.09.015)
- Gencel, O., Harja, M., Sarı, A., Hekimoğlu, G., Ustaoglu, A., Sutcu, M., Bayraktar, O. Y. (2022), Development, characterization, and performance analysis of shape-stabilized

- phase change material included-geopolymer for passive thermal management of buildings, *International Journal of Energy Research*, 46(15), DOI: [10.1002/er.8735](https://doi.org/10.1002/er.8735)
- Gu, X., Liu, P., Liu, C., Peng, L., He, H. (2019), A novel form-stable phase change material of palmitic acid-carbonized pepper straw for thermal energy storage, *Materials Letters*, 248, 12-15. DOI: [10.1016/j.matlet.2019.03.130](https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.03.130)
- Hasan, M. N., Wahid, H., Nayan, N., Mohamed Ali, M. S. (2020), Inorganic thermoelectric materials: A review, *International Journal of Energy Research*, 44(8), 6170-6222. DOI: [10.1002/er.5313](https://doi.org/10.1002/er.5313)
- Hekimoğlu, G., Sarı, A., Arunachalam, S., Arslanoğlu, H., Gencel, O. (2021), Porous biochar/heptadecane composite phase change material with leak-proof, high thermal energy storage capacity and enhanced thermal conductivity, *Powder Technology*, 394, 1017-1025. DOI: [10.1016/j.powtec.2021.09.030](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.09.030)
- Hekimoğlu, G., Sarı, A., Gencel, O., Tyagi, V. V., Sharma, R. K. (2023), Activated carbon/expanded graphite hybrid structure for development of nonadecane based composite PCM with excellent shape stability, enhanced thermal conductivity and heat charging-discharging performance, *Thermal Science and Engineering Progress*, 44, 102081. DOI: [10.1016/j.tsep.2023.102081](https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102081)
- Hussein, M. Z., Khadiran, T., Zainal, Z., Rusli, R. (2015), Properties of n-octadecaneencapsulated activated carbon nanocomposite for energy storage medium: the effect of surface area and pore structure, *Aust. J. Basic Appl. Sci*, 9(8), 82-88.
- Jeon, J., Park, J. H., Wi, S., Yang, S., Ok, Y. S., Kim, S. (2019), Latent heat storage biocomposites of phase change material-biochar as feasible eco-friendly building materials, *Environmental research*, 172, 637-648, DOI: [10.1016/j.envres.2019.01.058](https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.058)
- Khadiran, T., Hussein, M. Z., Zainal, Z., Rusli, R. (2015a), Activated carbon derived from peat soil as a framework for the preparation of shape-stabilized phase change material, *Energy*, 82, 468-478. DOI: [10.1016/j.energy.2015.01.057](https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.057)
- Khadiran, T., Hussein, M. Z., Zainal, Z., Rusli, R. (2015b), Shape-stabilised n-octadecane/activated carbon nanocomposite phase change material for thermal energy storage, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 55, 189-197. DOI: [10.1016/j.jtice.2015.03.028](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.03.028)
- Lee, J., Wi, S., Jeong, S. G., Chang, S. J., Kim, S. (2017), Development of thermal enhanced n-octadecane/porous nano carbon-based materials using 3-step filtered vacuum impregnation method, *Thermochimica Acta*, 655, 194-201. DOI: [10.1016/j.tca.2017.06.013](https://doi.org/10.1016/j.tca.2017.06.013)
- Li, C., Wen, X., Cai, W., Yu, H., Liu, D. (2022), Phase change material for passive cooling in building envelopes: A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*, 105763, DOI: [10.1016/j.jobe.2022.105763](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105763)
- Liang, K., Shi, L., Zhang, J., Cheng, J., Wang, X. (2018), Fabrication of shape-stable composite phase change materials based on lauric acid and graphene/graphene oxide complex aerogels for enhancement of thermal energy storage and electrical conduction. *Thermochimica acta*, 664, 1-15. DOI: [10.1016/j.tca.2018.04.002](https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.04.002)
- Ma, G., Sun, J., Zhang, Y., Jing, Y., Jia, Y. (2019), Preparation and thermal properties of stearic acid-benzamide eutectic mixture/expanded graphite composites as phase change

- materials for thermal energy storage, *Powder Technology*, 342, 131-140. DOI: [10.1016/j.powtec.2018.09.074](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.074)
- Oh, S. W., Nam, S. M., Kim, S. H., Yoon, T. H., Kim, W. S. (2021), Self-regulation of infrared using a liquid crystal mixture doped with push-pull azobenzene for energy-saving smart windows. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(4), 5028-5033. DOI: [10.1021/acsami.0c19015](https://doi.org/10.1021/acsami.0c19015)
- Sari, A., Saleh, T. A., Hekimoğlu, G., Tuzen, M., Tyagi, V. V. (2020), Evaluation of carbonized waste tire for development of novel shape stabilized composite phase change material for thermal energy storage, *Waste Management*, 103, 352-360. DOI: [10.1016/j.wasman.2019.12.051](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.051)
- Sarier, N., Onder, E. (2007), The manufacture of microencapsulated phase change materials suitable for the design of thermally enhanced fabrics, *Thermochimica acta*, 452(2), 149-160. DOI: [10.1016/j.tca.2006.08.002](https://doi.org/10.1016/j.tca.2006.08.002)
- Sharaf, M., Huzayyin, A. S., Yousef, M. S. (2022), Performance enhancement of photovoltaic cells using phase change material (PCM) in winter, *Alexandria Engineering Journal*, 61(6), 4229-4239. DOI: [10.1016/j.aej.2021.09.044](https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.09.044)
- Tan, F. L., & Tso, C. P. (2004), Cooling of mobile electronic devices using phase change materials. *Applied thermal engineering*, 24(2-3), 159-169. DOI: [10.1016/j.applthermaleng.2003.09.005](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2003.09.005)
- Ustaoglu, A., Yaras, A., Sutcu, M., Gencel, O. (2021), Investigation of the residential building having novel environment-friendly construction materials with enhanced energy performance in diverse climate regions: Cost-efficient, low-energy and low-carbon emission, *Journal of Building Engineering*, 43. DOI: [10.1016/j.jobbe.2021.102617](https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102617)
- Wakeel, A., Nasir, M. A. (2023), A review article on the synthesis of Silica Aerogels and their Insulation Properties, *International Journal of Emerging Multidisciplinaries: Physical Sciences*, 1(1). DOI: 10.54938/ijemd-ps.2023.01.1.11
- Yuan, Y., Zhang, N., Tao, W., Cao, X., He, Y. (2014), Fatty acids as phase change materials: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 482-498. DOI: [10.1016/j.rser.2013.08.107](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.107)
- Yue, X., Wu, H., Zhang, T., Yang, D., Qiu, F. (2022), Superhydrophobic waste paper-based aerogel as a thermal insulating cooler for building, *Energy*, 245. DOI: [10.1016/j.energy.2022.123287](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123287)
- Zalba, B., Marín, J. M., Cabeza, L. F., Mehling, H. (2003), Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied thermal engineering*, 23(3), 251-283. DOI: [10.1016/S1359-4311\(02\)00192-8](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00192-8)



### Investigation of the usability of laurel waste in thermoplastic composite production

Nasır Narlıoğlu<sup>1\*</sup>  Hüseyin Onur Sever<sup>2</sup> 

#### Abstract

In this study, the usability of laurel waste in thermoplastic composite production was investigated. After the laurel branch waste and leaf waste were ground and sieved, they were added to high-density polyethylene (HDPE) at a rate of 0-10-20-40% by weight and mixed in an extruder. Then, boards with dimensions of 250x250x3 mm were produced from the mixtures according to the hot press molding technique. As a result of adding branch and leaf flour to neat HDPE, tensile strength decreased. The tensile strength was determined as 22.28 MPa in the HDPE board and 8.6 MPa in the 40% leaf flour added board. As a result of adding branch and leaf flour to neat HDPE, bending strength first increased and then decreased. The highest flexural strength was determined as 30.3 MPa with 10% leaf flour additive, and the lowest bending strength was determined as 21.68 MPa with 40% leaf flour additive. According to Shore D test results, branch flour and leaf flour increased the hardness of neat HDPE. According to the thermal analysis results, it was seen that the effect of branch flour and leaf flour on the thermal properties of HDPE was limited. In addition, scanning electron microscope (SEM) images showed that HDPE and branch flour mixed better.

**Keywords:** Laurel, Branch and leaf waste, Thermoplastic composite, Mechanical properties

### Defne atıklarının termoplastik kompozit üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması

#### Öz

Bu çalışmada, defne atıklarının termoplastik kompozit üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Defne dal atığı ve yaprak atığı öğütülüp elendikten sonra, ağırlıkça %0-10-20-40 oranında yüksek yoğunluklu polietilen'e (YYPE) eklenerek ekstruderde karıştırıldı. Daha sonra, karışımlardan sıcak pres kalıplama tekniğine göre 250x250x3 mm ebatlarında levhalar üretildi. Saf YYPE'ye dal ve yaprak unu eklenmesi sonucunda çekme direnci azaldı. Çekme direnci YYPE levhada 22,28 MPa, %40 yaprak unu katkılı levhada 8,6 MPa olarak belirlendi. Saf YYPE'ye dal ve yaprak ununun eklenmesi sonucunda eğilme dirençleri önce arttı, sonra azaldı. En yüksek eğilme direnci %10 yaprak unu katkılısı ile 30.3 MPa, en düşük eğilme direnci %40 yaprak unu katkılısı ile 21.68 MPa olarak belirlendi. Shore D testi sonuçlarına göre dal unu ve yaprak unu saf YYPE'nin sertliğini arttırdı. Termal analiz sonuçlarına göre dal unu ve yaprak ununun YYPE'nin termal özelliklerine etkisinin sınırlı olduğu görüldü. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri YYPE ile dal ununun daha iyi karıştığını gösterdi.

**Anahtar kelimeler:** Defne, Dal ve yaprak atığı, Termoplastik kompozit, Mekanik özellikler

## 1 Introduction

Population growth and industrialization have increased the use of petroleum-based plastics day by day, and plastic and its derivatives are used extensively in many areas such as packaging, construction and automotive. The waste produced after the use of plastic and its derivatives poses a threat to the environment and living health. The disadvantage of petroleum-based plastics and their derivatives is that they take longer to decompose in nature than natural polymers such as cellulose and starch. Polymers can be mixed with organic and inorganic fillers to reduce plastic usage and improve material properties (Klyosov 2007; Saxena et al. 2008; Kuan et al. 2021; Ramesh et al. 2022; Xu et al. 2022; Acharjee et al. 2023). Thermoplastics are the most used polymers in the production of composite materials. Thermoplastic polymers are preferred because they can be processed at low temperatures to prevent the degradation of lignocellulosic materials at high temperatures (Matuana and Heiden 2004). Thermoplastic composites are materials obtained by mixing petroleum-based polymers such as polyethylene, polypropylene and polyvinyl chloride with organic (lignocellulosic, carbon, etc.) and inorganic (silica, talc, etc.) filler/reinforcement materials and have different properties than other materials. Natural fibers used for filling or reinforcement purposes are obtained from renewable resources and are cheaper than synthetic fibers. It is known that these fibers provide good reinforcement ability to composites (Jayaraman and Bhattacharyya 2004). Wood is a material with excellent properties for many applications because it is abundant in nature, a renewable resource, and a low-cost material. (Hosseinihashemi and Arwinfar 2023). Different wood flour, annual plants and some minerals are used as fillers in the production of wood plastic composite (WPC) (Bal 2023).

Several studies have been carried out to date on the production of composites by mixing waste materials with thermoplastic polymers. Özmen et al. (2014) aimed to potentially use fiberboard wastes released during production in furniture factories instead of wood flour in the production of WPC. Çetin et al. (2014) investigated the mechanical properties of the composites that they produced by adding high-density polyethylene (HDPE) to Turkish pine (*Pinus brutia*) bark waste. Altuntaş et al. (2017) evaluated the strength properties of the composites that they obtained from a mixture of Scots pine (*Pinus sylvestris*) wood flour and HDPE. Narlıoğlu et al. (2018b) stated that polyvinylchloride (PVC) composites containing black pine wood flour and medium-density fiberboard (MDF) powder can be used in structural applications that require low mechanical properties such as wall cladding, exterior cladding, and door-window frames. Bal (2023) examined the effects of filler on the properties of composite materials produced by adding wood flour and glass flour to recycled low-density polyethylene.

Laurel, whose leaves are used as spices and whose oil is used as soap, perfume and body lotion, is also used as a food preservative thanks to its antifungal and antimicrobial properties (Yılmaz and Çiftçi 2021). The waste remaining after processing the laurel is generally disposed of by throwing it in the trash or burning it. Converting waste into high value-added products instead of burning or throwing it away is an important issue in terms of recycling and sustainability. Zakaria et al. (2022a) reported that Sentang (*Azadirachta excelsa*) leaf, branch, and stem waste improved the mechanical properties of high-density polyethylene (HDPE). In this study, it was aimed to evaluate laurel wastes in thermoplastic composite production. For this purpose, composites were produced by mixing laurel branch and leaf wastes with HDPE and the mechanical, thermal and morphological properties of the produced materials were determined.

## 2 Materials and Methods

### 2.1 Materials

Laurel wastes were provided from laurel processing factories in Hatay province, and high density polyethylene (HDPE) was provided from Petkim co. İzmir, Turkey.

### 2.2 Methods

#### 2.2.1 Preparing composites

The mixed laurel wastes were classified as branches and leaves and then, ground in a laboratory type grinder. The ground branch flour and leaf flour were screened by a vibrating sieve. The flour with particle sizes between 60-80 mesh was dried at  $103\pm 2$  °C. The branch flour and leaf flour 0-10-20-40% by weight was added to the neat HDPE and mixed by a twin-screw extruder set at the barrel temperature between 60-90-120-140-150-160-170-175 °C. The mixtures were compressed in a 250x250x3 mm mold at 9 tons of pressure and 180 °C for 15 minutes by a hydraulic press. Composite boards were obtained from the pellets according to the ASTM D4703. The boards were climatized at  $60\pm 5\%$  relative humidity and  $22\pm 3$  °C for one week. The formulation of the samples is given in Table 1.

**Table 1.** Sample formulations

Sample	Branch flour (%)	Leaf flour (%)	HDPE (%)
G1	0	0	100
G2	10	0	90
G3	20	0	80
G4	40	0	60
G5	0	10	90
G6	0	20	80
G7	0	40	60

#### 2.2.2 Determination of mechanical properties

Tensile and flexural strength tests were performed according to ASTM D638 and ASTM D790, respectively, using an electromechanical universal testing machine. Six different samples were tested for each group in order to determine the tensile and bending properties of the boards. Shore D hardness test was performed according to ASTM D2240 to determine the hardness of the boards. Shore D tests were performed by measuring 5 different points of 6 different samples.

#### 2.2.3 Statistical analysis

The values of mechanical test results were examined with one-way analysis of variance (ANOVA) using the SPSS Statistics 22.0 program and then subjected to the Duncan test. According to the Duncan test results, statistical differences (at 0.001 significance level) are shown in lowercase letters on the graphs where the mechanical test results are presented.

#### 2.2.4 Determination of thermal properties

Thermo gravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) analysis were performed to determine the thermal properties of the boards. TGA analysis was performed using the Shimadzu TGA-50 device set to 600 °C, and DSC analysis was



performed using the Shimadzu DSC-60 device set to 300 °C. In thermal analysis, the heating rate was set as 10 °C/min and the nitrogen gas flow rate was set as 50 mL/min.

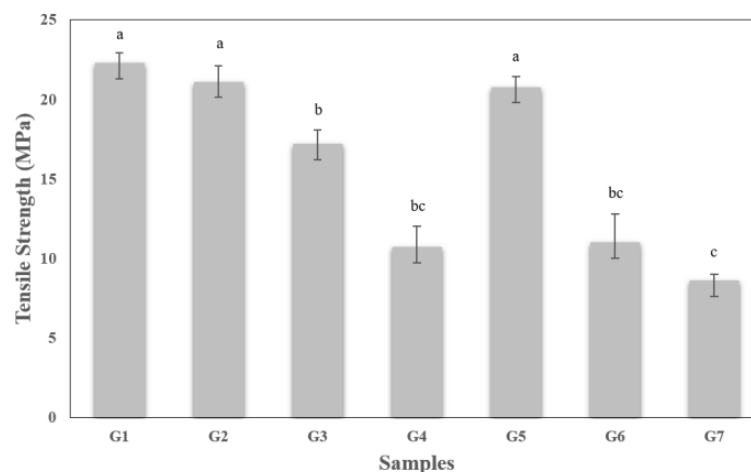
### 2.2.5 Determination of morphological properties

The cross sections of the composites were imaged using scanning electron microscopy (SEM) to examine the filler distribution in the polymer matrix and the physical relationship between the polymer matrix and the filler. The cross sections were gold coated under a high vacuum with a special device (Q150R Plus) before images were taken from the SEM device (ZEISS Sigma 300 VP).

## 3 Results and Discussions

### 3.1 Mechanical properties of samples

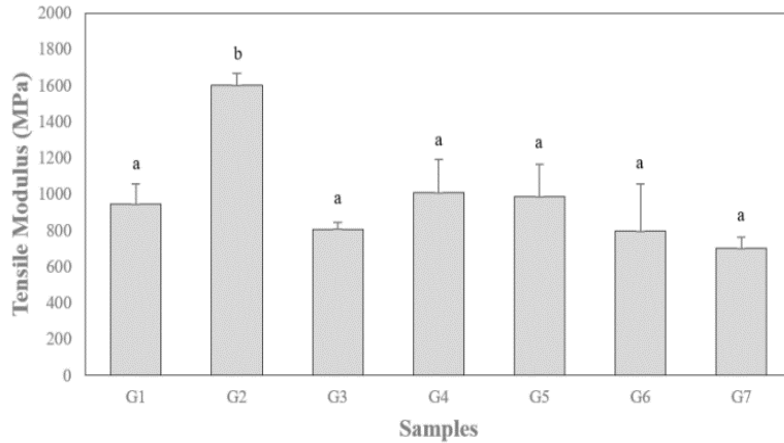
The tensile strengths of the test samples are shown in Figure 1. The tensile strength of the HDPE board was measured as 22.28 MPa. The tensile strength (21.12 MPa) was determined in the boards with 10% branch flour added (G1). The lowest tensile strength value (8.6 MPa) was determined in boards containing 40% leaf flour. The tensile strength of boards containing branch flour is higher than that of boards containing the same amount of leaf flour by weight, and this is attributed to the fact that the branch has a more fibrous structure than the leaf. When the results were analyzed statistically, it was seen that there was no statistically significant difference between the tensile strength value of the HDPE board and the tensile strength values of the composites containing 10% branch flour and 10% leaf flour. There was no statistical difference observed between the tensile strengths of samples with 40% branch flour and 20% leaf flour. In addition, the sample containing 20% branch flour and 40% leaf flour showed statistically different results from the other samples. In a study, it has been reported that the values of tensile strength decrease with the addition of filler in low-density polyethylene composites with wood flour and glass flour additives (Bal 2023). In another study, it was observed that the tensile strength decreased when medium-density fiberboard (MDF) flour was added to the polymer matrix (Özmen et al. 2014).



**Figure 1.** Tensile strengths of the samples

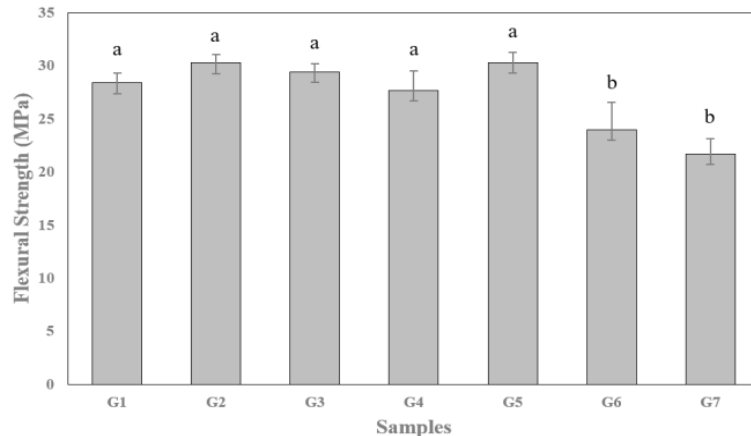
The modulus of elasticity of the samples is given in Figure 2. The highest tensile modulus (1599 MPa) was determined in boards containing 10% branch flour (G1). Also, the tensile modulus of samples (G5) containing 10% leaf flour was determined as 987 MPa. The lowest tensile modulus (701 MPa) was determined in the samples containing 40% leaf flour. According to the statistical analysis results, there is no significant difference between the

other samples except the composite sample containing 10% branch flour. It has been stated that increasing the fiber ratio in composites produced by mixing rice straw components (rice husk, rice straw leaf, rice straw stalk and whole rice straw) and wood fiber with HDPE leads to a decrease in tensile strength and an increase in modulus (Yao et al. 2008). In this study, exhibiting different tensile strength properties depending on the sample type was attributed to the modulus of the fillers.



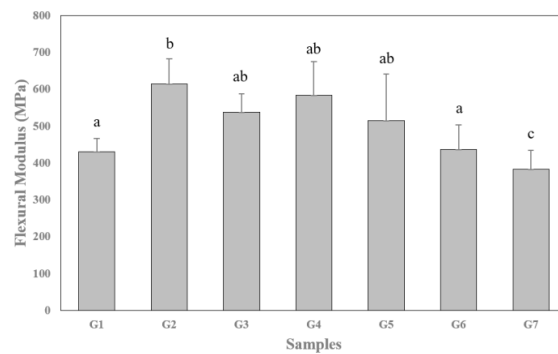
**Figure 2.** Tensile modulus of the samples

The flexural strength of HDPE board (G1), branch flour and leaf flour-added composites (G1-G7) are shown in Figure 3. The bending strength of the HDPE board was determined as 28.37 MPa. The flexural strengths of the samples (G2-G3-G4) containing 10-20-40% branch flour by weight were determined as 30.26 MPa, 29.42 MPa and 27.66 MPa, respectively. The highest flexural strength was determined as 30.3 MPa in the sample containing 10% leaf flour. The lowest flexural strength was determined as 21.68 MPa in the sample containing 40% leaf flour. It was seen that there was no statistically significant difference between the flexural strength of the HDPE board and the other composites except for 20-40% leaf flour-added composites. The changes in the strength of boards containing filler at the same weight ratio are attributed to the different chemical compositions of the filler (holocellulose, lignin and extractives). Lignocellulosic materials provide stress point concentrations in composites. In contrast, extractives weaken the bond with lignocellulosic fibers (Ashori and Nourbakhsh, 2010). Mu et al. (2021) reported in their study that adding agricultural waste fibers to HDPE increased the bending strength.



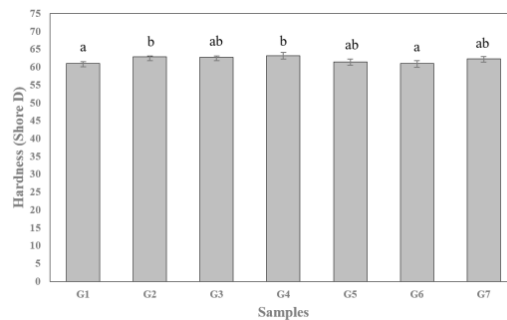
**Figure 3.** Flexural strengths of the samples

Figure 4 shows the flexural modulus of the samples. The flexural modulus of the HDPE board was determined as 430 MPa. The highest flexural modulus was determined as 614 MPa in the sample containing 10% branch flour. The lowest flexural modulus was determined as 382 MPa in the 40% leaf flour added sample. It has been observed that adding branch flour to the neat HDPE improves the flexural modulus compared to adding leaf flour. It was seen that there was no statistically significant difference between the 20% leaf flour added sample and the HDPE board. Also, it was observed that the samples containing 20% and 40% branch flour and the 10% leaf flour added sample were statistically similar. Bal (2022) reported that the flexural strength and modulus of elasticity increased when adding pine sawdust to linear low-density polyethylene (LLDPE). In a study, it was stated that adding black pine (*Pinus nigra*) sawdust into the polymer matrix improved the bending strength properties (Narlıoğlu et al. 2018a). Another study reported that Turkish pine (*Pinus brutia*) bark flour significantly improved the flexural strength properties of HDPE composites (Çetin et al. 2014).



**Figure 4.** Flexural modulus of the samples

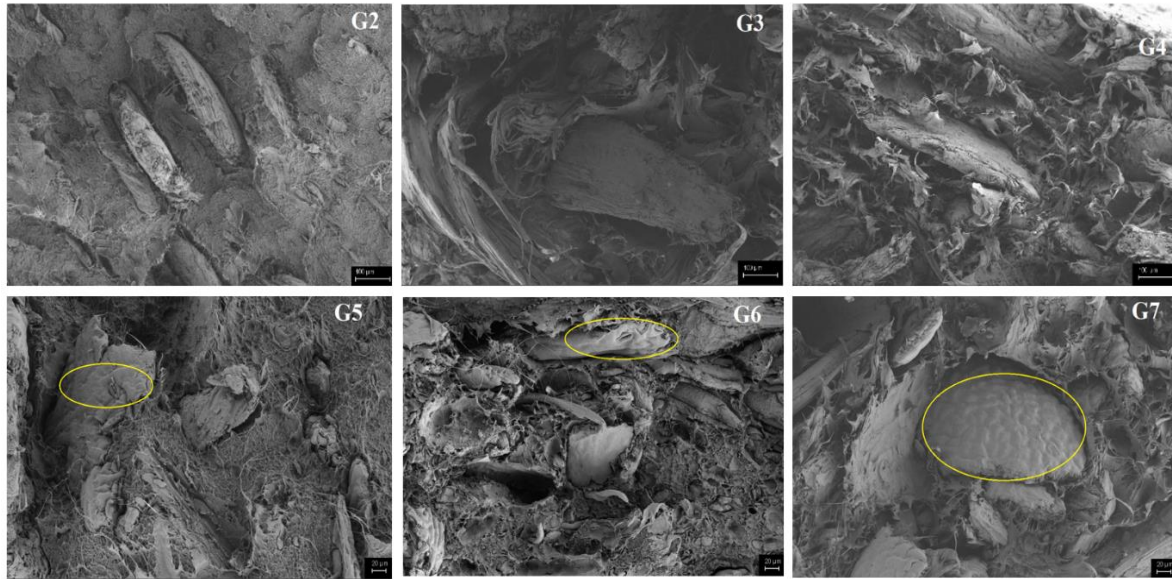
The Shore D hardness of the samples is given in Figure 5. The hardness of the HDPE without fillers was measured as 60.96. It has been observed that adding branch flour and leaf flour to the neat HDPE increases the hardness of the samples. The highest Shore D hardness value was determined as 63.18 in the sample containing 40% branch flour. The Shore D hardness value of the sample containing 40% leaf flour was determined as 62.28. It was seen that there was no statistical difference between the Shore D hardness of the HDPE board and the 20% leaf flour added board. Also, Shore D hardness of samples containing 20% branch flour, 10% and 40% leaf flour was found to be statistically similar. In addition, it was observed that there was no statistical difference between the hardness of boards containing 10% and 40% branch flour. In a study, the addition of wood flour and glass flour into low-density polyethylene (LDPE) increased the hardness of the composites (Bal 2023). Narlıoğlu (2021) reported that wood sanding dust waste increased the hardness of HDPE in a study evaluating hornbeam wood sanding dust waste in thermoplastic composite production.



**Figure 5.** Shore D hardness of the samples

### 3.2 Morphological properties of samples

SEM images of the cross section of samples containing branch flour (G2-G3-G4) and leaf flour (G5-G6-G7) are given in Figure 6. In the cross sectional images of the branch flour added composites, it is seen that the branch flour filling and the HDPE are well mixed with each other and there are polymer extensions in the cross section. In addition, there are fewer gaps in the cross sectional images of composites containing branch flour than those containing leaf flour. Since the leaf surfaces (areas circled) seen in the cross section of leaf flour added composites are smoother, the polymer matrix adheres poorly to these surfaces.



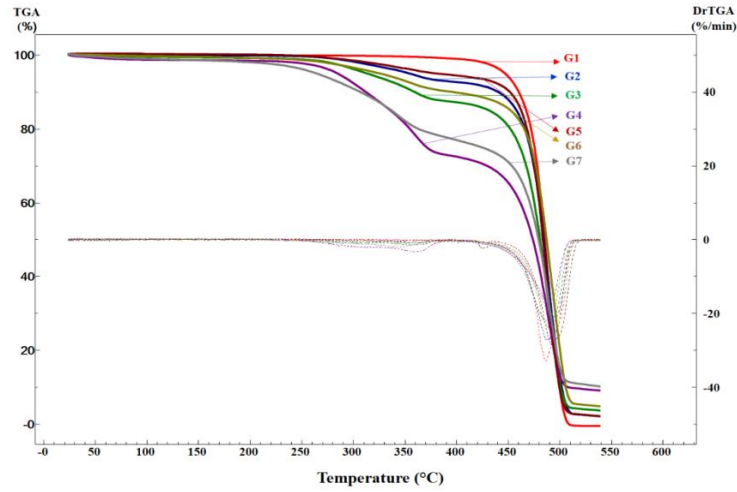
**Figure 6.** SEM images of samples (G2: 10% branch flour added sample, G3: 20% branch flour added sample, G4: 40% branch flour added sample, G5: 10% leaf flour added sample, G6: 20% leaf flour added sample, G7: 40% leaf flour added sample)

It can be seen that there are gaps in the cross section images (G5-G6-G7) of leaf flour added composites. It is thought that the lower mechanical properties of composites containing leaf flour compared to those containing branch flour are due to the low interfacial bond with the polymer matrix due to the leathery structure of the leaf surface. When SEM images are examined, it is seen that the cross sectional structure of the composites supports the mechanical test results.

### 3.3 Thermal properties of samples

TGA curves of neat HDPE, branch flour and leaf flour added HDPE composites are given in Figure 7. As can be seen from the TGA curves, the degradation curve of neat HDPE is single-stage. The average decomposition temperature of neat HDPE is at 487 °C, and the decomposition started at 472 °C and continued until 502 °C. The degradation of branch flour and leaf flour filled composites occurred in two stages. The 1st stage decomposition temperatures of branch flour added samples were determined as 337 °C, 342 °C and 331 °C for G2, G3 and G4 samples, respectively. Altuntaş and Arıkan (2022) reported that the first decomposition temperatures of composites are very close to each other and the first material to decompose is lignocellulosics. The 2nd stage decomposition temperatures of branch flour added samples were observed between 483-486 °C. The 1st stage decomposition temperatures of leaf flour added samples (G5, G6 and G7) were determined as 299 °C, 271 °C and 324 °C, respectively. It can be seen that the 1st stage decomposition temperatures of leaf flour added

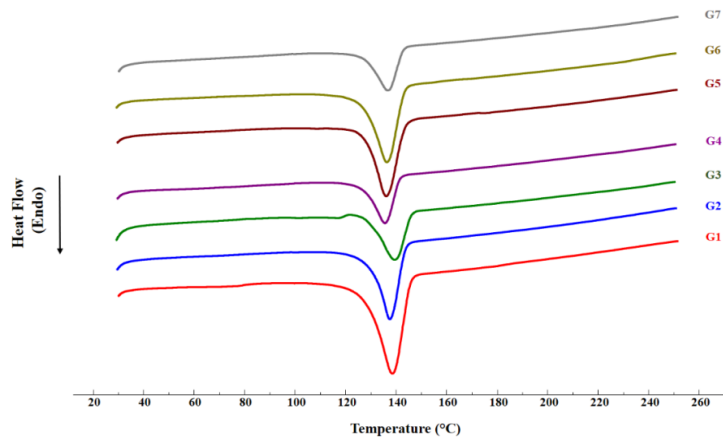
samples are significantly different from each other due to the chemical composition of the leaf which is less homogeneous than the branch. The 2nd stage decomposition temperatures of branch flour added samples between 487-492 °C.



**Figure 7.** TGA curves of neat HDPE (G1), branch flour (G2-G3-G4) and leaf flour (G4-G5-G6) added samples

As can be seen from the TGA curves, it was observed that the addition of branch flour and leaf flour to the HDPE did not cause a significant change in the degradation temperatures. The use of wood waste particles obtained from leaves, branches and stems as fillers in the production of wood plastic composite (WPC) is preferred due to the environmental advantages and good thermal properties of the composite (Zakaria et al. 2022b).

DSC curves of neat HDPE, branch flour and leaf flour added samples are given in Figure 8. The melting temperature of neat HDPE is determined 139 °C and the melting enthalpy is 230 j/g. Adding branch flour and leaf flour to HDPE slightly changed the melting temperatures.



**Figure 8.** DSC curves of neat HDPE (G1), branch flour (G2-G3-G4) and leaf flour (G4-G5-G6) added samples

As a result of adding 10-20-40% by weight branch flour to neat HDPE, the melting temperatures were determined as 138 °C, 141 °C and 137 °C, respectively. When 10-20-40% by weight leaf flour was added to neat HDPE, the melting temperatures were determined as

136 °C, 137 °C and 137 °C, respectively. In addition, it was observed that the addition of branch flour and leaf flour to neat HDPE reduced the melting enthalpies. Similarly, Altuntaş and Arıkan (2022) reported that the melting enthalpy decreases with the increase in the amount of filler in the polymer matrix. The melting enthalpies of G2, G3 and G4 samples containing branch flour were determined as 150 j/g, 113 j/g and 97 j/g, respectively. In addition, the melting enthalpies of G5, G6 and G7 samples containing leaf flour were determined as 150 j/g, 156 j/g and 95 j/g, respectively.

#### 4. Conclusion

In this study, boards were produced without any problems by mixing laurel branch and leaf wastes with HDPE. The results and recommendations are listed below:

- Adding branch flour and leaf flour to HDPE reduced the tensile strength. On the other hand, there was an increase in flexural strength at low filling rates.
- An increase and decrease in the elasticity modulus was observed depending on the amount of filler added to HDPE. In addition, adding branch flour and leaf flour to HDPE generally increased the hardness of the boards.
- Adding branch flour and leaf flour to HDPE did not change much in the thermal decomposition temperatures. In addition, no significant change was observed in the melting temperatures of the boards.
- In the cross sectional images of the boards examined by SEM, it was seen that the branch flour mixed well with HDPE. In addition, it was seen that there were more gaps in the cross-sectional images of leaf flour added composites and that HDPE did not mix well with leaf flour.
- The synergistic effect created by mixing branch flour and leaf flour in different ratios may be interesting. In addition, investigating the compatibility of laurel waste with different petroleum-based polymers and biodegradable polymers will contribute to the literature.

#### Acknowledgement

This study is derived from the master's thesis titled "Evaluation of laurel leaf and branch waste in biocomposite production" by a graduate student named Hüseyin Onur Sever.

#### Author Contributions

**Nasır Narlıoğlu:** Conceptualization (Developing research ideas and objectives), Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

**Hüseyin Onur Sever:** Formal Analysis, Investigation, Methodology.

#### Funding statement

This study was supported by İzmir Katip Çelebi University Scientific Research Projects Coordination unit. Project Number: 2023-TYL-FEBE-0010

#### Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest.

#### References

Acharjee, S. A., Bharali, P., Gogoi, B., Sorhie, V., Walling, B., Alemtoshi. (2023), PHA-based bioplastic: A potential alternative to address microplastic pollution, *Water Air Soil Pollut*, 234(1), 21, DOI: [10.1007/s11270-022-06029-2](https://doi.org/10.1007/s11270-022-06029-2)

- Altuntaş, E., Arıkan, A. K. (2022), Investigation of expanded perlite usage in wood-plastic composite materials, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 5(2), 142-154, DOI: [10.33725/mamad.1208112](https://doi.org/10.33725/mamad.1208112)
- Altuntaş, E., Yılmaz, E., Salan, T. (2017), Investigation of the effect of high-fibrous filling material on the mechanical properties of wood plastic composites, *Turkish Journal of Forestry*, 18(3), 258-263, DOI: [10.18182/tjf.308969](https://doi.org/10.18182/tjf.308969)
- Ashori, A., Nourbakhsh, A. (2010), Reinforced polypropylene composites: Effects of chemical compositions and particle size, *Bioresour. Technol.* 101, 2515–2519. DOI: [10.1016/j.biortech.2009.11.022](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.022)
- ASTM D2240, (2015), Standard test method for rubber property—durometer hardness, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D4703-16 (2016), Standard practice for compression molding thermoplastic materials into test specimens, plaques, or sheets, ASTM, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D638-14 (2014), Standard test method for tensile properties of plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D790-17 (2017), Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Bal, B. C. (2022), A research on some mechanical properties of composite material produced with linear low density polyethylene (LLDPE) and wood flour, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 5(1), 40-49, DOI: [10.33725/mamad.1126534](https://doi.org/10.33725/mamad.1126534)
- 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](https://doi.org/10.33725/mamad.1301384)
- Çetin, N. S., Özmen, N., Narlıoğlu, N., Çavuş, V. (2014), Effect of bark flour on the mechanical properties of HDPE composites, *Usak University Journal of Material Sciences*, 3(1), 23-32, DOI: [10.12748/uujms.201416497](https://doi.org/10.12748/uujms.201416497)
- 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](https://doi.org/10.33725/mamad.1300208)
- Jayaraman, K., Bhattacharyya, D. (2004), Mechanical performance of woodfibre–waste plastic composite materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(4), 307-319, DOI: [10.1016/j.resconrec.2003.12.001](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2003.12.001)
- Klyosov, A. A. (2007), *Wood-plastic composites*, John Wiley & Sons, DOI: [10.1002/9780470165935](https://doi.org/10.1002/9780470165935)
- Kuan, H. T. N., Tan, M. Y., Shen, Y., Yahya, M. Y. (2021), Mechanical properties of particulate organic natural filler-reinforced polymer composite: A review, *Composites and Advanced Materials*, 30, DOI: [10.1177/26349833211007502](https://doi.org/10.1177/26349833211007502)



- Matuana, L. M., Heiden, P. A. (2004), Wood Composites, *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 12, 521-546, DOI: [10.1002/0471440264.pst474](https://doi.org/10.1002/0471440264.pst474)
- Mu, B., Tang, W., Liu, T., Hao, X., Wang, Q., Ou, R. (2021), Comparative study of high-density polyethylene-based biocomposites reinforced with various agricultural residue fibers, *Industrial Crops and Products*, 172, 114053
- Narlıoğlu, N. (2021), Evaluation of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood sanding dust in thermoplastic composite produc, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 4 (1), 9-18, DOI: [10.33725/mamad.927157](https://doi.org/10.33725/mamad.927157)
- Narlıoğlu, N., Çetin, N. S., Alma, M. H. (2018a), Effect of black pine sawdust on the mechanical properties of polypropylene composites, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 1(1), 38-45, DOI: [10.33725/mamad.433532](https://doi.org/10.33725/mamad.433532)
- Narlıoğlu, N., Salan, T., Çetin, N. S., Alma, M. H. (2018b), Evaluation of furniture industry wastes in polymer composite production, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 1(2), 78-85, DOI: [10.33725/mamad.492418](https://doi.org/10.33725/mamad.492418)
- Özmen, N., Çetin, N., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., Altuntaş, E. (2014). Utilisation of MDF waste for wood plastic composites production, *Turkish Journal of Forestry*, 15(1), 65-71, DOI: [10.18182/tjf.64025](https://doi.org/10.18182/tjf.64025)
- Ramesh, M., Rajeshkumar, L. N., Srinivasan, N., Kumar, D. V., Balaji, D. (2022), Influence of filler material on properties of fiber-reinforced polymer composites, *e-Polymers*, 22(1), 898-916, DOI: [10.1515/epoly-2022-0080](https://doi.org/10.1515/epoly-2022-0080)
- Saxena, M., Morchhale, R. K., Asokan, P., Prasad, B. K. (2008), Plant fiber—industrial waste reinforced polymer composites as a potential wood substitute material, *Journal of composite materials*, 42(4), 367-384, DOI: [10.1177/0021998307087014](https://doi.org/10.1177/0021998307087014)
- Xu, H., Cheng, H., McClements, D. J., Chen, L., Long, J., Jin, Z. (2022), Enhancing the physicochemical properties and functional performance of starch-based films using inorganic carbon materials, *Carbohydrate Polymers*, 295, 119743, DOI: [10.1016/j.carbpol.2022.119743](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119743)
- Yao, F., Wu, Q., Lei, Y., Xu, Y. (2008), Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading, *Industrial crops and products*, 28(1), 63-72, DOI: [10.1016/j.indcrop.2008.01.007](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.01.007)
- Yılmaz, A., Çiftçi, V. (2021), Status of Laurel Plant (*Laurus nobilis* L.) in Turkey, *European Journal of Science and Technology*, (22), 325-330, DOI: [10.31590/ejosat.856195](https://doi.org/10.31590/ejosat.856195)
- Zakaria, A. M., Jamaludin, M. A., Zakaria, M. N., Hassan, R., Bahari, S. A. (2022a), High Density Polyethylene (HDPE) composite mixed with *Azadirachta excelsa* (Sentang) tree waste flour: Mechanical and physical properties, *Earth and Environmental Science*, (951), 1, p.012045, DOI: [10.1088/1755-1315/951/1/012045](https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012045)
- Zakaria, A. M., Jamaludin, M. A., Zakaria, M. Z., Hassan, R., Bahari, S. A. (2022b), Effect of incorporating different types of Sentang tree waste particle on the thermal stability of wood Polymer Composite (WPC), *Earth and Environmental Science*, (951), 1, p.012077.



## Testing of waste vegetable oils as color modifiers in American walnut (*Juglans nigra* L.) wood

Hüseyin Peker<sup>1</sup> , Bruno Esteves<sup>2\*</sup> , Ümit Ayata<sup>3</sup> 

### Abstract

American walnut (*Juglans nigra* L.) wood is used for veneer due to its beautifully grained and dark-colored wood. This study was conducted to test the use of plant waste oils as color modifiers on American walnut wood. As waste vegetable oils, discarded walnut, olive, corn, and sunflower oils were employed. After applying waste oils to the wooden surfaces, several surface properties (brightness, color, and whiteness index:  $WI^*$ ) were determined. It was observed that multivariate analysis of variance tests conducted for  $WI^*$  values and color parameters were found to be statistically significant. For all vegetable waste oils, decreases were identified in  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^0$ , and  $b^*$  parameters, as well as in  $WI^*$  values and glossiness values (for all degrees and orientations). The  $\Delta E^*$  values were measured at 19.18 for sunflower, 22.02 for walnut, 22.65 for corn, and 19.49 for olive. Each of the discarded vegetable oils had an impact on the color of the wooden surface.

**Keywords:** Colour, *Juglans nigra* L., American walnut, whiteness index, waste vegetable oil

## Amerikan ceviz (*Juglans nigra* L.) odununda renk değiştirici olarak bitkisel atık yağların denenmesi

### Öz

Amerikan ceviz (*Juglans nigra* L.) ahşabı, güzel damarlı ve koyu renkte ahşabı sayesinde kaplama olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma, Amerikan ceviz odununda renk değiştirici olarak bitkisel atık yağların denenmesi üzerine yapılmıştır. Atık bitkisel yağlar olarak, hizmet ömrünü tamamlamış olan ceviz, zeytin, mısır ve ayçiçeği yağları kullanılmıştır. Atık yağların ahşap malzeme yüzeylerine uygulanması sonrasında çeşitli yüzey özellikleri (parlaklık, renk ve beyazlık indeksi:  $WI^*$ ) belirlenmiştir. Araştırma bulguları incelendiğinde,  $WI^*$  değerlerine ve renk parametrelerine ait testler için yapılan çok değişkenli varyans analizlerinin anlamlı olarak tespit edildiği görülmüştür. Bütün bitkisel atık yağlar tarafından  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^0$  ve  $b^*$  parametreleri,  $WI^*$  değerleri ve parlaklık değerlerinde (bütün derece ve yönler için) azalmalar belirlenmiştir.  $\Delta E^*$  değerleri ise ayçiçeğinde 19.18, cevizde 22.02, mısırdaki 22.65 ve zeytinde 19.49 olarak elde edilmiştir. Bütün bitkisel atık yağlar ahşap malzeme yüzeyine ait rengi değiştirici etkide bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Renk, *Juglans nigra* L., Amerikan ceviz, beyazlık indeksi, atık bitkisel yağ

## 1 Introduction

Wood can be attacked by several types of pathogenic organisms, such as white, brown, and soft rot, or mold and stain fungi leading to the degradation of structural polymers of wood (Goodell et al., 2020). The most common materials used to create protective and decorative coatings for wood structures are coating materials based on drying oils and alkyd resins. However, oil-based materials have many advantages for woodworking and construction structures. These include protection against blue mold and other fungi. They also protect wood structures from insects, bark beetles, and other pests. Furthermore, they offer UV protection. They also have high adhesion strength. Additionally, they resist changes caused by weather conditions, temperature, and condensation (Yaremchuk et al., 2011).

All vegetable oils contain mixed unsaturated fatty acid chains and mixed triglycerides as their main components. Vegetable oils also typically include non-glyceride components that are often undesirable for edible and chemical products. These non-glyceride components include phospholipids, sterols, tocopherols, fatty alcohols, hydrocarbons, and coloring materials (Ikeiensikimama, 1991; Udoye and Nwabuonu, 2021).

Black walnut (*Juglans nigra* L.) is one of the rarest and most coveted native hardwoods. Also known as eastern walnut and American walnut.. Small natural groves that are often found in moist alluvial soils have been extensively harvested (Williams, 1990). Immature fruits can be pickled (Facciola, 1990). The seeds are found singly or in pairs and are approximately 3-4 cm in diameter (Elias, 1980; Sargent, 1965). Boiling the green fruit husks can yield a yellow dye. The woody husks of the fruits have been used in jewelry making (Duke, 1983). Brown dye can be obtained from the leaves and stems, and it does not require mordants (Grae, 1974). Depending on the latitude, black walnut flowers typically begin to appear in the South in mid-April and gradually extend into early June in the northern part of its range. Flowering and leaf drop occur at approximately the same time and always occur early enough for potential damage from late spring frosts (Lamb, 1915; Funk, 1979; Williams, 1990). The allelopathic effects of black walnut (*Juglans nigra* L.), a tree that has toxic effects on other plants, have been noted since the 1st century AD (Gries, 1943).

Black walnut is found in various areas, but it thrives in deep, well-drained, moist, and fertile neutral soils (Williams, 1990). Its wood is typically straight-grained, easily worked with hand tools, and possesses excellent machining properties. In surface treatments, the wood acquires a smooth velvety surface and a pleasing grain pattern (Anonymous, 1953; Rink, 1988). The wood of this tree, with its dark-colored, beautiful grain, is well-suited for fine cabinet work and interior paneling, both as solid wood and as veneer. It has long been the standard wood for gunstocks (Betts, 1954).

In *Juglans nigra* L. wood, the air-dried density is 796 kg/m<sup>3</sup>. The Janka hardness values are 89.38 N/mm<sup>2</sup> in the tangential surface. They are 85.53 N/mm<sup>2</sup> in the radial surface, and 101.94 N/mm<sup>2</sup> in the transverse surface. The nail's holding resistance is 15.33 N/mm<sup>2</sup> on the tangential surface. On the radial surface, it's 18.65 N/mm<sup>2</sup> and on the transverse surface, it's 13.92 N/mm<sup>2</sup> (Ayata and Bal, 2019). Holocellulose is 76.40%, cellulose is 43.00%, and lignin is 21.80%. Ethanol solubility is 5.90%. Hemicellulose is 33.40%, pentosans are 17.40%, and hexosans are 16.00% (Waliszewska et al., 2015).

In this study, some waste oils (walnut, sunflower, corn, and olive) were tested as color modifiers in American walnut (*Juglans nigra* L.) wood. According to the literature, it has been observed that there hasn't been any application of waste vegetable oil related to this tree

species. This study has been considered to address this gap. The aim is to provide valuable information regarding the potential uses of this wood type based on the obtained results.

## **2 Material and Method**

### **2.1 Material**

#### **2.1.1 Wood material**

This research used American walnut (*Juglans nigra* L.) wood in experiments. The experimental wood material was obtained from a commercial source, meeting the first-grade quality criteria, and had dimensions of 100 mm x 100 mm x 20 mm. Particular attention was given to selecting samples that were devoid of cracks, had uniform and smooth fibers, and were free from knots, resin pockets, and noticeable color or density discrepancies. Following this, the specimens were prepared in accordance with the TS ISO 13061-1 (2021) standard.

#### **2.1.2 Waste vegetable oils**

Walnut, sunflower, corn, and olive oils, which have reached the end of their service life as waste products after use in various restaurants, were used in this study. The packaging specifications of these waste oils in their pre-utilization state are presented in Table 1.

**Table 1.** Some properties of the waste bio-oils used

<b>Feature (per 100 g)</b>	<b>Olive</b>	<b>Corn</b>	<b>Walnut</b>	<b>Sunflower</b>
Saturated fatty acid	15.15	12.00	9.10	10.00
Monounsaturated fatty acid	74.00	28.00	-	33.00
Polyunsaturated fatty acid	10.50	51.00	-	57.00

### **2.2 Method**

#### **2.2.1 Application of vegetable waste oils to wooden material surfaces**

Wood material surfaces were sanded with 80, 100, and 150 grit sandpapers. Subsequently, the sanded surfaces were cleaned using a compressor. Waste oils were then applied to the prepared materials using a brush in a single layer. The samples were allowed to dry for at least 3 weeks.

#### **2.2.2 Determination of whiteness index ( $WI^*$ ) properties**

Whiteness index ( $WI^*$ ) values were assessed in both perpendicular and parallel directions to the fibers utilizing the Whiteness Meter BDY-1 instrument, adhering to the ASTM E313-15e1 (2015) standard.

#### **2.2.3 Determination of glossiness properties**

Glossiness measurements were carried out using an ETB-0833 model gloss meter device at three distinct angles (20°, 60°, and 85°) in both perpendicular and parallel orientations to the fibers, by the ISO 2813 (1994) standard.

#### **2.2.4 Determination of color properties**

The alteration in color of the samples was quantified using a CS-10 device (CHN Spec, China) based on the CIELAB color system, in accordance with the ASTM D 2244-3 (2007) standard. The overall color difference results were calculated using the following formulas.

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

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

$$\Delta b^{*} = (b^{*}_{\text{test sample with oil treatment}} - b^{*}_{\text{test sample without oil treatment}}) \tag{3}$$

$$\Delta C^{*} = (C^{*}_{\text{test sample with oil treatment}} - C^{*}_{\text{test sample without oil treatment}}) \tag{4}$$

$$\Delta a^{*} = (a^{*}_{\text{test sample with oil treatment}} - a^{*}_{\text{test sample without oil treatment}}) \tag{5}$$

$$\Delta L^{*} = (L^{*}_{\text{test sample with oil treatment}} - L^{*}_{\text{test sample without oil treatment}}) \tag{6}$$

$$\Delta E^{*} = [(\Delta L^{*})^2 + (\Delta a^{*})^2 + (\Delta b^{*})^2]^{0.5} \tag{7}$$

$$\Delta H^{*} = [(\Delta E^{*})^2 - (\Delta L^{*})^2 - (\Delta C^{*})^2]^{0.5} \tag{8}$$

The standards for assessing  $\Delta E^{*}$  values can be found in Table 2, as detailed by Barański et al. (2017).

**Table 2.** Comparison criteria for  $\Delta E^{*}$  value (Barański et al., 2017)

Color change criteria	$\Delta E^{*}$ value
Invisible color change	$\Delta E^{*} < 0.2$
Slight change of color	$2 > \Delta E^{*} > 0.2$
Color change visible in high filter	$3 > \Delta E^{*} > 2$
A color change visible with the average quality of the filter	$6 > \Delta E^{*} > 3$
High color change	$12 > \Delta E^{*} > 6$
Different color	$\Delta E^{*} > 12$

In accordance with the definitions of  $\Delta C^{*}$ ,  $\Delta H^{*}$ ,  $\Delta b^{*}$ ,  $\Delta a^{*}$ , and  $\Delta L^{*}$ :  $\Delta L^{*}$  indicates a difference in lightness. A positive value suggests that the sample is lighter than the reference, whereas a negative value implies that the sample is darker than the reference.  $\Delta C^{*}$ , denotes the difference in chroma or saturation. A positive value indicates that the sample is more vibrant or saturated than the reference, while a negative value suggests that the sample is less vibrant or saturated than the reference. In relation to  $\Delta b^{*}$ , a positive value indicates that the sample is more yellow than the reference, whereas a negative value suggests that the sample is bluer than the reference.  $\Delta H^{*}$  represents the difference in hue or shade.  $\Delta H^{*}$  is reported as the tonal disparity between the sample and the reference.  $\Delta a^{*}$ , the variation of  $a^{*}$  parameter a positive value means that the sample is redder than the reference, while a negative value indicates that the sample is greener (Lange, 1999).

### 2.3 Statistical Analysis

The collected data underwent analysis using an SPSS program to ascertain the minimum and maximum values, homogeneity groups, standard deviations, percentage change rates, variance analysis, and multiple comparisons.

### 3 Results and Discussion

Table 3 presents the results of the multivariate analysis of variance. The glossiness test at 20 degrees in the perpendicular direction to the fibers was inconclusive in terms of statistical significance, whereas all other tests yielded significant results (Table 3).

**Table 3.** Multivariate analysis of variance results

Test	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Lightness ( $L^*$ ) value	2933.275	4	733.319	1496.021	0.000*
Red ( $a^*$ ) color tone value	89.827	4	22.457	35.838	0.000*
Yellow ( $b^*$ ) color tone value	651.104	4	162.776	223.580	0.000*
Chroma ( $C^*$ ) value	583.491	4	145.873	114.437	0.000*
Hue ( $h^\circ$ ) angle value	2104.488	4	526.122	355.919	0.000*
Glossiness value at $\perp 20^\circ$	0.320	4	0.080	.	.
Glossiness value at $\perp 60^\circ$	16.949	4	4.237	520.980	0.000*
Glossiness value at $\perp 85^\circ$	93.087	4	23.272	239.477	0.000*
Glossiness value at $\parallel 20^\circ$	0.303	4	0.076	162.429	0.000*
Glossiness value at $\parallel 60^\circ$	14.514	4	3.628	207.739	0.000*
Glossiness value at $\parallel 85^\circ$	141.237	4	35.309	192.619	0.000*
Whiteness index in the perpendicular ( $\perp$ ) direction	194.321	4	48.580	555.273	0.000*
Whiteness index in the parallel ( $\parallel$ ) direction	147.962	4	36.991	1940.061	0.000*

\*: Significant

The outcomes concerning the overall color variations are displayed in Table 4. The treatment with all waste oils on wooden surfaces resulted in negative  $\Delta L^*$  (darker than the reference),  $\Delta b^*$  (bluer than the reference), and  $\Delta C^*$  (duller, more turbid than the reference) values. In the case of  $\Delta a^*$  values, applications related to waste sunflower and olive oils resulted in positive (redder) values, while applications associated with waste corn and walnut oils were found to be negative (greener). In addition, when looking at the  $\Delta E^*$  values, they were found to be 19.18 for sunflower, 22.02 for walnut, 22.65 for corn, and 19.49 for olive. When comparing the  $\Delta E^*$  results obtained in this study with the color change table provided by Barański et al., 2017, it was observed that all vegetable waste oils were categorized under the 'Different color' category (Table 4).

**Table 4.** The results for total color differences

Waste Oil Type	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta C^*$	$\Delta H^*$	$\Delta E^*$	Color change criteria (Barański et al., 2017)
Sunflower	-18.05	0.65	-6.46	-5.26	3.81	19.18	Different color ( $\Delta E^* > 12$ )
Walnut	-20.02	-1.69	-9.00	-8.69	2.87	22.02	
Corn	-20.00	-1.42	-10.53	-9.73	4.26	22.65	
Olive	-18.00	1.93	-7.21	-5.01	5.53	19.49	

The color, glossiness, and whiteness index ( $WI^*$ ) results determined before and after the application of vegetable waste oils are presented in Table 5. According to these results,  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $b^*$ , and  $h^0$  parameters decreased with all vegetable waste oils. The highest result for the  $L^*$  value was obtained in the control test samples (49.60), while the lowest was observed in the experiment samples treated with waste walnut oil (29.58).

The samples treated with waste walnut oil exhibited the most significant decrease in the  $L^*$  value, recording a reduction rate of 40.36%. On the contrary, the samples treated with waste olive oil showed the least decrease, with only a 36.29% reduction. For the  $a^*$  value, the lowest result was determined in the samples treated with waste olive oil (6.53), while the highest was obtained in the experiment samples treated with waste olive oil (10.15). When looking at the  $a^*$  parameter, increases were observed after the application of waste sunflower oil (7.91%) and olive oil (23.48%), while decreases were determined following the application of waste corn oil (17.27%) and walnut oil (20.56%).

As for the  $b^*$  value, the highest result was found in the control test samples (18.28), while the lowest was determined in the experiment samples treated with waste corn oil (7.75). The highest reduction rate for  $b^*$  was achieved in the samples treated with waste corn oil, with a percentage decrease of 57.60%, while the lowest reduction rate was determined in the samples treated with waste sunflower oil, with a decrease of only 35.34%.

$C^*$  values were higher for control test samples with 20.05, whereas the experiment samples treated with waste corn oil exhibited the lowest value at 10.31. The samples treated with waste olive oil exhibited the least pronounced reduction rate, indicating a decline of 25.04%. The samples that underwent waste corn oil treatment had the most prominent reduction rate. They had a substantial drop of 48.58%.

Regarding the  $h^0$  values, the highest outcome was observed in the control test samples, registering at 65.78, while the lowest value was recorded in the experiment samples treated with waste corn oil, which amounted to 47.51. The samples treated with waste olive oil exhibited the most substantial reduction rate for  $h^0$ , registering a percentage decrease of 27.77%, while the experiment samples treated with waste walnut oil showed the smallest reduction rate, experiencing only a 16.51% decrease (Table 5).

There were decreases observed in  $WI^*$  values and glossiness values in all degrees and directions as a result of the application of all waste oils. The highest results for glossiness values were found in the control samples for all angles and fiber orientations. In general, the lowest glossiness values were observed on surfaces treated with waste olive oil. When  $WI^*$  values were examined, decreases were obtained in both perpendicular and parallel directions for all vegetable waste oils. The highest  $WI^*$  values were detected in the control experimental group samples for both fiber directions. Measurement results in the perpendicular direction to the fibers in  $WI^*$  values were found to be higher than those in the parallel direction. When looking at the reduction rates in  $WI^*$  values, it was determined that the reduction rates in the parallel direction to the fibers were higher than those in the perpendicular direction (Table 5).

Table 6 illustrates the comparison between studies conducted on waste vegetable oils in the literature and the results obtained in this study. From the given table, it's evident that applying various oils to different wood species resulted in different outcomes in the same color parameters. This variability can be attributed to the inherent structure of the wood material.



**Table 5.** Results for whiteness index ( $WI^*$ ), color, and glossiness values

Test	Waste Oil Type	N	Mean	Change (%)	Homogeneity Group	Standard Deviation	Coefficient of Variation	Minimum	Maximum
$L^*$	Control	10	49.60	-	A*	0.24	0.49	49.22	49.91
	Sunflower	10	31.55	↓36.39	B	1.07	3.38	30.27	33.01
	Walnut	10	29.58	↓40.36	C**	0.91	3.09	28.77	31.44
	Corn	10	29.60	↓40.32	C	0.40	1.36	29.14	30.38
	Olive	10	31.60	↓36.29	B	0.51	1.61	30.39	32.05
$a^*$	Control	10	8.22	-	B	0.15	1.88	8.02	8.55
	Sunflower	10	8.87	↑7.91	B	1.23	13.83	7.51	10.87
	Walnut	10	6.53	↓20.56	C**	0.92	14.08	5.33	8.08
	Corn	10	6.80	↓17.27	C	0.54	7.95	6.05	7.76
	Olive	10	10.15	↑23.48	A*	0.68	6.73	8.78	11.25
$b^*$	Control	10	18.28	-	A*	0.31	1.68	17.80	18.63
	Sunflower	10	11.82	↓35.34	B	1.25	10.59	10.27	13.41
	Walnut	10	9.28	↓49.23	C	1.14	12.31	8.08	11.53
	Corn	10	7.75	↓57.60	D*	0.65	8.38	6.85	9.06
	Olive	10	11.07	↓39.44	B	0.50	4.54	9.90	11.59
$C^*$	Control	10	20.05	-	A*	0.33	1.63	19.53	20.38
	Sunflower	10	14.78	↓26.28	B	1.72	11.61	12.73	17.09
	Walnut	10	11.35	↓43.39	C	1.43	12.61	9.68	14.08
	Corn	10	10.31	↓48.58	D**	0.82	7.99	9.14	11.93
	Olive	10	15.03	↓25.04	B	0.77	5.12	13.24	15.85
$h^*$	Control	10	65.78	-	A*	0.29	0.44	65.15	66.14
	Sunflower	10	53.19	↓19.14	C	1.35	2.55	50.48	55.50
	Walnut	10	54.92	↓16.51	B	1.60	2.91	52.32	56.79
	Corn	10	48.71	↓25.95	D	1.07	2.20	46.80	50.62
	Olive	10	47.51	↓27.77	E**	1.33	2.79	44.78	49.22
$\perp 20^\circ$	Control	10	0.30	-	A*	0.00	0.00	0.30	0.30
	Sunflower	10	0.10	↓66.67	B**	0.00	0.00	0.10	0.10
	Walnut	10	0.10	↓66.67	B**	0.00	0.00	0.10	0.10
	Corn	10	0.10	↓66.67	B**	0.00	0.00	0.10	0.10
	Olive	10	0.10	↓66.67	B**	0.00	0.00	0.10	0.10
$\perp 60^\circ$	Control	10	2.50	-	A*	0.12	4.62	2.30	2.60
	Sunflower	10	1.26	↓49.60	B	0.13	10.04	1.10	1.40
	Walnut	10	0.95	↓62.00	C	0.05	5.55	0.90	1.00
	Corn	10	1.18	↓52.80	B	0.08	6.68	1.10	1.30
	Olive	10	0.93	↓62.80	C**	0.05	5.19	0.90	1.00
$\perp 85^\circ$	Control	10	5.86	-	A*	0.54	9.21	5.10	6.50
	Sunflower	10	3.32	↓43.34	B	0.17	5.08	3.10	3.50
	Walnut	10	2.59	↓55.80	C	0.24	9.36	2.30	2.90
	Corn	10	2.76	↓52.90	C	0.29	10.42	2.40	3.20
	Olive	10	1.90	↓67.58	D**	0.16	8.23	1.70	2.10
$\parallel 20^\circ$	Control	10	0.30	-	A*	0.00	0.00	0.30	0.30
	Sunflower	10	0.13	↓56.67	B	0.05	37.16	0.10	0.20
	Walnut	10	0.10	↓66.67	C**	0.00	0.00	0.10	0.10
	Corn	10	0.10	↓66.67	C**	0.00	0.00	0.10	0.10
	Olive	10	0.10	↓66.67	C**	0.00	0.00	0.10	0.10
$\parallel 60^\circ$	Control	10	2.64	-	A*	0.17	6.49	2.40	2.80
	Sunflower	10	1.77	↓32.95	B	0.16	9.25	1.60	2.00
	Walnut	10	1.28	↓51.52	CD	0.10	8.07	1.20	1.40
	Corn	10	1.32	↓50.00	C	0.08	5.98	1.20	1.40
	Olive	10	1.19	↓54.92	D**	0.12	10.06	1.10	1.40
$\parallel 85^\circ$	Control	10	6.86	-	A*	0.20	2.85	6.70	7.20
	Sunflower	10	5.99	↓12.68	B	0.75	12.55	5.20	6.70
	Walnut	10	3.58	↓47.81	C	0.49	13.73	2.70	3.90
	Corn	10	3.96	↓42.27	C	0.26	6.65	3.70	4.30
	Olive	10	2.22	↓67.64	D**	0.04	1.90	2.20	2.30
$WI^*$ ( $\perp$ )	Control	10	8.78	-	A*	0.61	7.00	8.00	9.70
	Sunflower	10	4.12	↓53.08	B	0.08	1.91	4.00	4.20
	Walnut	10	3.55	↓59.57	C**	0.19	5.35	3.30	3.80
	Corn	10	4.12	↓53.08	B	0.10	2.51	4.00	4.20
	Olive	10	3.74	↓57.40	C	0.08	2.25	3.70	3.90
$WI^*$ ( $\parallel$ )	Control	10	4.50	-	A*	0.29	6.46	4.10	4.90
	Sunflower	10	0.25	↓94.44	B	0.05	21.08	0.20	0.30
	Walnut	10	0.20	↓95.56	B	0.00	0.00	0.20	0.20
	Corn	10	0.19	↓95.78	B	0.07	38.83	0.10	0.30
	Olive	10	0.16	↓96.44	B**	0.05	32.27	0.10	0.20

N: Number of Measurements, \*: Highest, \*\*: Lowest Value

**Table 6.** Comparison of studies conducted on waste vegetable oils

Wood Type	Oil type	Change after Application					Reference
		<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i> <sup>o</sup>	
American walnut ( <i>Juglans nigra</i> L.)	Sunflower	↓	↑	↓	↓	↓	This study
	Walnut	↓	↓	↓	↓	↓	
	Corn	↓	↓	↓	↓	↓	
	Olive	↓	↑	↓	↓	↓	
European larch ( <i>Larix decidua</i> Mill.)	Olive	↑	↓	↓	↓	↑	Ayata ve Bal, (2023)
	Walnut	↑	↓	↓	↓	↑	
	Corn	↑	↓	↓	↓	↑	
	Sunflower	↓	↑	↑	↑	↓	
Bamboo ( <i>Phyllostachys</i> spp.)	Walnut	↓	↑	↑	↑	↓	Peker, (2023b)
	Corn	↓	↑	↑	↑	↓	
	Olive	↓	↑	↑	↑	↓	
	Walnut	↓	↑	↑	↑	↑	
Scots pine ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	Corn	↓	↑	↑	↑	↑	Peker, (2023a)
	Olive	↓	↑	↑	↑	↑	
	Sunflower	↓	↑	↑	↑	↓	
	Walnut	↓	↑	↑	↑	↓	
Common pear ( <i>Pyrus communis</i> L.)	Corn	↓	↑	↑	↑	↓	Çamlıbel and Ayata, (2023a)
	Olive	↓	↑	↑	↑	↓	
	Sunflower	↓	↓	↓	↓	↓	
	Walnut	↓	↓	↓	↓	↓	
Tiama ( <i>Entandrophragma angolense</i> )	Corn	↓	↓	↓	↓	↓	Çamlıbel and Ayata, (2023b)
	Olive	↓	↓	↓	↓	↓	
	Walnut	↓	↓	↓	↓	↓	
	Sunflower	↓	↓	↓	↓	↓	
Black locust ( <i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	Corn	↓	↑	↑	↑	↓	Çamlıbel and Ayata, (2023c)
	Olive	↓	↑	↑	↑	↓	
	Walnut	↓	↑	↑	↑	↓	
	Sunflower	↓	↑	↑	↑	↓	
Anatolian chestnut ( <i>Castanea sativa</i> Mill.)	Corn	↓	↑	↑	↑	↓	Peker and Ulusoy, (2023)
	Olive	↓	↑	↑	↑	↓	
	Walnut	↓	↑	↑	↑	↓	
	Sunflower	↓	↑	↑	↑	↓	

#### 4. Conclusion

- Upon reviewing the research findings, it became evident that the multivariate analysis of variance tests conducted for *WI*\* values and color parameters yielded statistically significant results.
- A decrease in *L*\*, *C*\*, *h*<sup>o</sup>, and *b*\* parameters, *WI*\* values, and glossiness values for all degrees and orientations were identified as a result of all vegetable waste oils.
- The  $\Delta E^*$  values were recorded as 19.18 for sunflower, 22.02 for walnut, 22.65 for corn, and 19.49 for olive.
- It was noticeable that each of the discarded vegetable oils influenced the color changes of the wooden surface.
- It is suggested that wood treated with waste vegetable oils would be suitable for outdoor use.

#### Acknowledgement

None

#### Author Contributions

**Hüseyin Peker:** Conceptualization (Developing research ideas and objectives), Data curation, **Bruno Esteves:** Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing, **Ümit**

**Ayata:** Formal Analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, and Validation.

### **Funding statement**

This project wasn't supported by any organization

### **Conflict of interest statement**

The authors declare no conflict of interest.

### **References**

- Anonymous, (1953), *Ontario Department of Lands and Forests, Forest tree planting*. 2d ed. Bull. No. R 1. Toronto, Canada: Ontario Department of Lands and Forests, Division of Reforestation. 68 p.
- ASTM D 2244-3, (2007), Standard practice for calculation or 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 color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Ayata, Ü., and Bal, B. C. (2019), Amerikan ceviz odununda yüzey pürüzlülüğü, janka sertlik değeri ve çivi tutma direncinin belirlenmesi, Çukurova 3. Uluslararası Yenilikçi Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 3-6 Ekim, Adana, Türkiye, 440-448.
- Ayata, Ü., Bal, B. C. (2023), Atık zeytin, ceviz ve mısır yağları uygulanmış Avrupa melezi (*Larix decidua* Mill.) odununda bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi, European Conferences 2. Uluslararası Sağlık, Mühendislik Ve Uygulamalı Bilimler Kongresi, 4-6 Ağustos 2023, Belgrad, Sırbistan, 115-125.
- Barański, J., Klement, I., Vilkovská, T., Konopka, A. (2017), High temperature drying process of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) with different zones of sapwood and red false heartwood, *BioResources*, 12(1), 1861-1870. DOI: [10.15376/biores.12.1.1861-1870](https://doi.org/10.15376/biores.12.1.1861-1870).
- Betts, H. S. (1954), Black walnut (*Juglans nigra*), Forest Service, US Department of Agriculture.
- Çamlıbel, O., Ayata, Ü. (2023a), Yabani armut (*Pyrus communis* L.) ahşabında yüzey özelliklerine atık bitkisel yağlarının etkileri, Uzakdoğu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 20-22 Ekim 2023, Manila, Filipinler, 97-106.
- Çamlıbel, O., Ayata, Ü. (2023b), Bazı atık bitkisel yağlar uygulanmış tiama (*Entandrophragma angolense* (Welw.) C DC.) ahşabında renk parametrelerinin, beyazlık indeksinin ve parlaklık değerlerinin incelenmesi, Avrasya 9. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 24-26 Kasım 2023, Tiflis, Gürcistan.
- Çamlıbel, O., Ayata, Ü. (2023c), Bazı bitkisel atık yağlar uygulanmış yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) ahşabında renk, beyazlık indeksi ve parlaklık değerlerinin belirlenmesi, *Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, yayın sürecinde.
- Duke, J. (1983), Handbook of Energy Crops.

- Elias, T. (1980), The Complete Trees of N. America. Field Guide and Natural History. Van Nostrand Reinhold Co. ISBN: 0442238622.
- Facciola, S. (1990), Cornucopia - A Source Book of Edible Plants. Kampong Publications. ISBN: 0-9628087-0-9.
- Funk, D. T. (1979), Black walnuts for nuts and timber. In Nut tree culture in North America. p. 51-73. Northern Nut Growers Association, Hamden, CT.
- Goodell, B., Winandy, J. E., and Morrell, J. J. (2020), Fungal degradation of wood: Emerging data, new insights and changing perceptions, *Coatings*, 10(12), 1210. DOI: [10.3390/coatings10121210](https://doi.org/10.3390/coatings10121210).
- Grae, I. (1974), Nature's Colors - Dyes from Plants. MacMillan Publishing Co. New York. ISBN: 0-02-544950-8.
- Gries, G. A. (1943), Juglone, the active agent in walnut toxicity. North. Nut Grow. Assoc. Annu. Rep. 32: 52-55.
- Ikeiensikimama, S. S. (1991), Analysis of drying oil blends for industrial application: A BENG Thesis of University of Port Harcourt pp. 3, 4 & 36.
- 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.
- Lamb, G.N. (1915), A calendar of the leafing, flowering and seeding of the common trees of the eastern United States. Monthly Weather Review, Suppl. 2, Pt 1. 19 p.
- Lange, D. R. (1999), Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.
- Peker, H. (2023a), Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ahşabına uygulanmış bazı atık yağlar üzerinde parlaklık, beyazlık indeksi değerlerinin ve renk parametrelerinin incelenmesi, ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner Ve Eczacılık Bilimleri Kongresi, 10-12 Kasım 2023, Beyrut, Lübnan.
- Peker, H. (2023b), Bambu malzemesinde renk değiştirici bir uygulama olarak hizmet ömrünü tamamlamış atık bitkisel yağlarının kullanımı, ICAFVP 3. Uluslararası Tarım, Gıda, Veteriner ve Eczacılık Bilimleri Kongresi, 10-12 Kasım 2023, Beyrut, Lübnan.
- Peker, H., Ulusoy, H. (2023), Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine atık bitkisel yağlarının etkileri, 8. Asya Pasifik Uluslararası Modern Bilimler Kongresi, 11-12 Eylül 2023, Delhi, India, 463.
- Rink, G. (1988), Black Walnut an American wood. FS-270. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 7 p.
- Sargent, C. S. (1965), Manual of the Trees of N. America. Dover Publications Inc. New York. ISBN: 0-486-20278-X.
- TS ISO 13061-1, (2021), Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Udoye, B. O., Nwabuonu, O. C. (2021), Analysis of drying oil and local oil blends for production of wood varnish, *International Journal of Applied Science Research*, 1:1-10.

- Waliszewska, B., Pradzynski, W., Zborowska, M., Stachowiak-Wencek, A., Waliszewska, H., Malysko, E. (2015), Chemical composition of black walnut wood. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, 91: 179-181.
- Williams, R. D. (1990), *Juglans nigra* L. black walnut. In: Burns, Russell M., Honkala, Barbara H., technical coordinators. *Silvics of North America. Vol. 2. Hardwoods. Agric. Handb. 654.* Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 391-399.
- Yaremchuk, L. A., Yakuba, M. M., and Turlai, Y. I. (2011), Research of quality properties of coatings based on oil finishing materials, *Forestry, forest, paper and woodworking industry: Scientific and technical collection*, Lviv: NUFT of Ukraine, 37(1), 160-164.



### Characterization of 1-tetradecanol's performance as a phase change material in thermally modified ash wood

Gaye Köse Demirel<sup>1\*</sup> 

#### Abstract

The use of phase change materials in thermally modified wood presents an innovative way to enhance the thermal properties of wood, contributing to energy efficiency and thermal comfort in various applications. However, careful consideration of the materials and methods used is essential to ensure the effectiveness and practicality of this technology. Phase change materials (PCM) can be integrated into thermally modified wood through various methods. One common method is impregnation, where the PCM is infused into the wood structure. Another method could be the application of PCM in coatings or finishes applied to the wood surface. In this study, 1-tetradecanol (TD) was used as a PCM and its effectiveness on thermally modified ash wood (TMA) was investigated. TMA has better thermal insulation properties, which are essential in energy storage applications to minimize heat loss. For this purpose, the leaching of TD from TMA was examined. Differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetric analyses (TGA), fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) were examined. According to the results, there was a small amount of leakage in the leakage test. TGA analysis showed that TD/TMA left a lower residue of 16.30% at 800°C compared to the residue of 18.20% left by untreated thermally modified wood (TMA).

**Keywords:** Thermal energy storage, wood, vacuum impregnation, leakage test.

### Termal olarak modifiye edilmiş dışbudak odunda faz değiştiren bir malzeme olarak 1-tetradekanolün performansı

#### Öz

Isıl işlemli odunda faz değiştiren malzemelerin kullanımı, odunun termal özelliklerini geliştirmek için yenilikçi bir yol sunarak çeşitli uygulamalarda enerji verimliliğine ve termal konfora katkıda bulunur. Bununla birlikte, kullanılan malzeme ve yöntemlerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi, bu teknolojinin etkinliğini ve pratikliğini sağlamak için esastır. Faz değiştiren malzemeler (FDM), çeşitli yöntemlerle ısıl işlem uygulanmış oduna entegre edilebilir. Bunun için birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden biri FDM'nin oduna empenyesidir. Diğer yöntem ise FDM'nin odun yüzeyinde üst yüzey işlemi veya cila olarak uygulanması. Bu çalışmada faz değiştiren malzeme olarak 1-tetradekanol (TD) kullanılmış ve termal olarak modifiye edilmiş dışbudak ağacı (TMA) üzerindeki etkinliği araştırılmıştır. TMA, enerji depolama uygulamalarında ısı kaybını en aza indirmek için gerekli olan daha iyi ısı yalıtım özelliklerine sahiptir. Bu amaçla, termal olarak modifiye edilmiş dışbudak odundan (TMA) TD sızıntısı, sızıntı testi ile test edilmiştir. Örnekler diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), termogravimetrik analiz (TGA), fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile incelendi. Sonuçlara göre sızıntı testinde az miktarda sızıntı vardı. TGA analizi, TD/TMA'nın, empenyesiz ısıl işlemli odunda (TMA) 800°C'de bıraktığı %18.20'lik kalıntıya kıyasla %16.30'luk daha düşük bir kalıntı bıraktığını gösterdi.

**Anahtar kelimeler:** Termal enerji depolama, odun, vakum empenyesi, sızıntı testi

Article history: Submitted:14.12.2023, Accepted:02.12.2023, Published:29.12.2023, \*e-mail: gkose@ktu.edu.tr.

<sup>1</sup>Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Trabzon/Türkiye

To cite: Demirel G.K. (2023), Characterization of 1-tetradecanol's performance as a phase change material in thermally modified ash wood, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6 (2), 278-288, DOI:[10.33725/mamad.1390888](https://doi.org/10.33725/mamad.1390888)

## **1 Introduction**

Building-related sectors, responsible for approximately 40% of global energy consumption and 30% of CO<sub>2</sub> emissions, are the largest energy consumers (Najjar et al., 2019; Temiz et al. 2020; Amini et al. 2022). Hence, the advancement of eco-friendly buildings is crucial in shifting national energy frameworks towards sustainable energy sources, with the goal of decreasing reliance on fossil fuels and cutting CO<sub>2</sub> emissions. Numerous recent studies have explored and detailed the design and outlook of sustainable buildings, encompassing ideas such as net zero emission structures and plus energy homes (Lund, 2010; Li et al. 2023). Wood is regaining popularity as a sustainable construction material for large buildings due to its environmental benefits and strong physical properties. Despite historical concerns about fire safety, modern engineering has improved wood's viability, and several tall wood buildings around the world showcase its potential. The trend towards eco-friendly construction and advances in prefabrication techniques support wood's comeback. However, broader adoption of wood in construction requires updates in building codes to encourage better insulation and energy efficiency, as well as advancements in fire safety and connection technology. As the industry embraces digitalization and automation, role of wood in construction is set to grow, helping to reduce the environmental impact of new building (Wimmers, 2017). In recent years, many nations worldwide have observed a growing trend in the construction of multi-story timber buildings, thanks to advancements in engineering science and the technology behind building with wood (Žegarac Lescovar and Premrov, 2021; Antonini and Gaspari, 2022). Since ancient times, timber cladding has served as an accessible and economical means of weatherproofing. Presently, there is a resurgence of interest in timber cladding for its environmental benefits and natural aesthetics. There is considerable enthusiasm for employing timber cladding systems to enhance energy efficiency through the retrofitting and refurbishing of existing structures (Hill et al. 2022). Contemporary exterior wood coatings frequently utilize formulations such as water-based acrylic dispersions, water-borne alkyd emulsions, or high solids alkyd systems with low volatile organic compound (VOC) content, alongside traditional oil-based paints (Hill et al. 2022).

Thermal modification is one method employed to protect wood materials used in cladding. The process of heat treatment is a method for modifying wood that boosts its dimensional stability, resistance to water, and durability against biological threats, and it achieves this without relying on noxious chemicals (Yildiz et al. 2013; Temiz et al. 2013; Jirouš-Rajković and Miklečić, 2019). Thermal modification remains the leading process for producing modified wood in Europe in terms of volume, with thermally modified timber (TMT) seeing significant use in cladding applications (Hill et al. 2022; Herrera et al. 2018). While TMT is chosen for cladding because of its enhanced dimensional stability and decreased moisture absorption, it has also been observed to exhibit better performance in fire situations and increased resistance to mold (Hill et al. 2022).

Phase change materials (PCMs) are adept at absorbing and releasing substantial quantities of thermal energy through a phase transition process. They enhance energy efficiency in buildings and help to cut down on energy consumption derived from fossil fuels (Temiz et al. 2020). Wood and wood-based materials can serve as excellent matrices for PCMs due to wood properties such as inherent porous nature of wood, cost-effectiveness, abundant availability, non-toxicity, and high chemical stability. The interest in leveraging the wood framework as a support for PCM is increasing, with possibilities for integration into diverse wood forms including solid lumber, composite wood, delignified wood, and transparent wood (Can and Zigon, 2022; Hekimoğlu et al. 2021; Demirel, 2023).



Demirel (2023) conducted research on Scots pine samples that were thermally treated and then impregnated with Lauric Acid (LA) and Myristic Acid (MA) as a phase change material (PCM) using a vacuum process. The findings showed that the PCM significantly reduced water absorption and enhanced the dimensional stability of the wood samples. Additionally, the impregnation with LA-MA altered the mechanical properties of the thermally modified wood, which is notable because thermal modification usually diminishes mechanical properties.

The strategy of using thermally modified wood integrated with phase change materials (PCM) presents an innovative method to enhance the thermal characteristics of wood products. This approach offers energy-efficient solutions and elevates comfort in diverse applications. Ongoing research and advancements in this field have opened avenues for experimenting with novel PCM compositions, impregnation methods, and uses, aiming to boost thermal efficiency.

Due to its high melting point, 1-tetradecanol (TD) can be used particularly in building insulation, energy efficient technologies, passive solar space heating, saunas, and agricultural heating applications where temperature ranges beyond typical human comfort conditions are relevant. The key advantage of using high melting point PCMs in these applications is their ability to store thermal energy when it is available in excess and release it when needed. This leads to a more efficient use of energy, reduces the need for external energy sources, and helps in maintaining a more consistent temperature, which is vital in applications like underfloor heating, saunas, solar space heating, and greenhouse heating.

In this study, TD was used as a PCM and thermally modified ash wood (TMA) impregnated with 1-tetradecanol. TD is chosen for its suitable melting point and latent heat properties, which are crucial for efficient thermal energy storage. The aim of this study was to determine the characterization of thermally modified wood with TD to employ these wood materials in applications such as passive solar space heating and agricultural heating. The impregnation of thermally treated wood with 1-tetradecanol is not just a technical endeavor but a step towards creating more sustainable, energy-efficient, and environmentally friendly building materials that cater to the modern needs of energy conservation and climate control in architecture and construction.

## **2. Material ve Method**

### **2.1 Material**

Ash wood (*Fraxinus excelsior* L.) samples subjected to thermal treatment were provided by Novawood, a heat treatment company located in Bolu, Turkey. The heat treatment process comprised three key phases: preparation for heat, the heat treatment itself, and cooling-conditioning. The initial stage involved two steps. The first step commenced at 25 °C and progressed to 120 °C over 14 hours for ash wood. The second step started at 120 °C, reaching 212 °C within 13 hours. Ash wood exposed to a 2 hours heat treatment at 212 °C. Following the heat treatment, the wood materials exposed to a cooling process, consisting of cooling and conditioning stages. The cooling phase lasted 14 hours, cooling the wood materials to 120 °C. Subsequently, a 7-hour conditioning stage followed. At a temperature of 60 °C, the wood materials were removed from the boiler, marking the conclusion of the heat treatment procedure.

TMA was first fragmented into smaller pieces and then pulverized into a powder. The wood samples, which were cut into small pieces, were ground in an IKA MF 10 Basic

microfine grinder drive. Subsequently, the wood powder exposed to sieving with a mesh number 40 sieve to eliminate fine particles. Wood powder (4 gr) filtered through a 40 mesh sieve was used.

The TD was purchased from Sigma- Aldrich Company. It was used as the phase change material for thermal energy storage. The chemical formula of TD is  $C_{14}H_{30}O$  (assay  $\leq 100.0$ ; melting point:  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; molecular weight: 214.39).

## 2.2 Method

### 2.2.1 Impregnation process

The TD was melted by heating at  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  that was higher than its melting temperature. Moisture content of wood particles are 12%. TD/ TMA were prepared 50% (w/w). Milled TMA was impregnated with the TD in the vacuum oven at 0.08 Mbar at  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  for 3h. The mixtures were mixed every 1 h (vacuum was stopped and restarted) to ensure homogeneous mixing. This process was conducted considering the study of Hekimoğlu et al (2023). The weight percentage gain (WPG) was calculated using Eq. 1.

$$WPG (\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Where,  $W_2$  is the weight after impregnation,  $W_1$  is the weight before impregnation.

### 2.2.2 Leakage test

The TD/TMA mixture was pressed after impregnation with Panavise 502 Precision PanaPress (Figure 1) and subjected to the leakage test. The TD/TMA composite was positioned on filter paper and subsequently placed inside an oven set at  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  for a duration of 30 minutes. This test was conducted considering the study of Hekimoğlu et al. (2023). The amount of leakage remaining on the filter paper was calculated using Eq. 2.

$$Leak\ rate (\%) = ((W_2 - W_1) / W_1) \times 100 \quad (2)$$

Where,  $W_1$  is the weight of filter paper before test;  $W_2$  is the weight of filter paper after test.



Figure 1. Pressing of TD/TMA after impregnation.

### 2.2.3 Characterizations

FTIR spectroscopy was utilized to identify the chemical structures of the substances and to explore the physicochemical interactions between them, using a Perkin Elmer Frontier Model from the USA. Spectra were captured at a resolution of  $4\text{ cm}^{-1}$  in the range of  $4000$  to  $500\text{ cm}^{-1}$

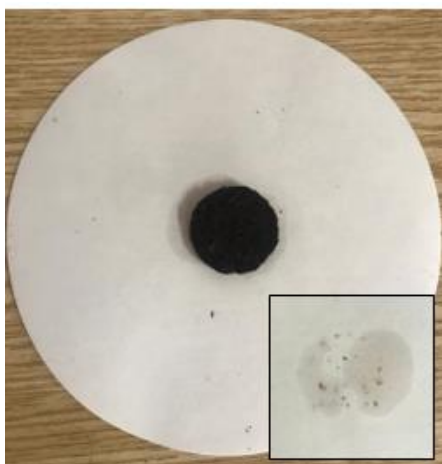
DSC was utilized to ascertain the enthalpy of melting and solidification along with the phase transition temperatures of the TD/TMA composite. The DSC analysis was performed using a Hitachi DSC 7020 model at a rate of  $3^\circ\text{C}/\text{min}$  in a nitrogen environment.

Thermal stability of the samples was assessed using a thermogravimetric analyzer (SDT Q600 TA Instrument). Samples weighing between  $5$  and  $10\text{ mg}$  were placed in a platinum pan and heated under a nitrogen atmosphere. The heating rate was set at  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  across a temperature from  $30^\circ\text{C}$  to  $600^\circ\text{C}$ .

## 3 Results and Discussion

### 3.1 Leakage test results

Leakage test for PCMs is a critical assessment to determine the containment reliability of the PCM during its phase transition, especially when it shifts from a solid to a liquid state. The objective is to ensure that the material does not escape from its encapsulation or containment system, which is essential for practical applications like thermal energy storage, where the PCM must remain contained over numerous cycles of melting and solidifying. The weight percentage gain was found  $48\%$ . The image of TD/TMA subjected to leakage test is given in Figure 2.



**Figure 2.** The leakage test results of TD/TMA after 1.cycle

The leakage rate (%) was determined along 4 cycles of heating/cooling (Table 1). After the 3th cycle, the leakage amounts reached similar values. That's why only the first 3 cycle values are given.

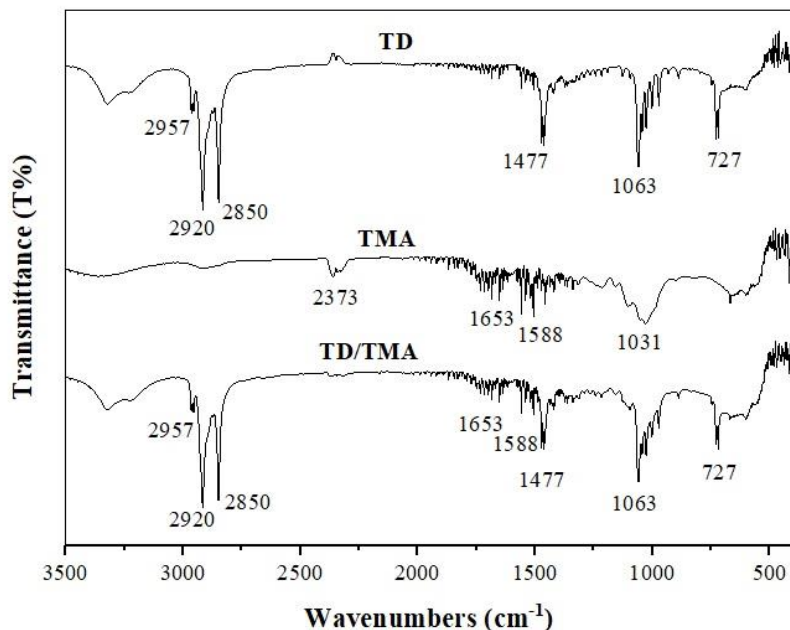
**Table 1.** The leakage rate (%) of TD/TMA

	<b>1.cycle</b>	<b>2.cycle</b>	<b>3.cycle</b>
Leakage rate (%)	0.95	1.86	0.91

According to the leakage test result, a small amount of tetradecane leaked onto the filter paper. This shows the ability of TMA to retain tetradecane in the liquid phase. During the leakage test, it was observed that a minor quantity of TD permeated through the containment material, evidenced by its presence on the filter paper. This suggests that while the containment largely maintains structural integrity, there are pathways through which the TD can migrate in its liquid state.

### 3.2. FTIR results

The FTIR spectra of TD, TD/TMA and TMA are shown in Figure 3.



**Figure 3.** The FTIR spectra of the TD, TD/TMA and TMA

The spectrum of TD shows characteristic peaks at  $2957\text{ cm}^{-1}$  and  $2850\text{ cm}^{-1}$ , which are typical of the C-H stretching vibrations in the aliphatic hydrocarbon chains. The peak at  $1477\text{ cm}^{-1}$  corresponds to the bending vibrations of C-H, and the peaks around  $1063\text{ cm}^{-1}$  and  $727\text{ cm}^{-1}$  could be attributed to C-O stretching and C-H rocking vibrations, respectively, which are consistent with the alcohol functional group in TD.

The TMA spectrum lacks the prominent peaks seen in the TD spectrum, indicating the absence of long aliphatic chains or alcohol functional groups in the untreated wood. Instead, the TMA shows broader and less defined peaks, which might indicate the presence of various oxygen-containing functional groups, such as those found in lignin and cellulose, which are common in wood.

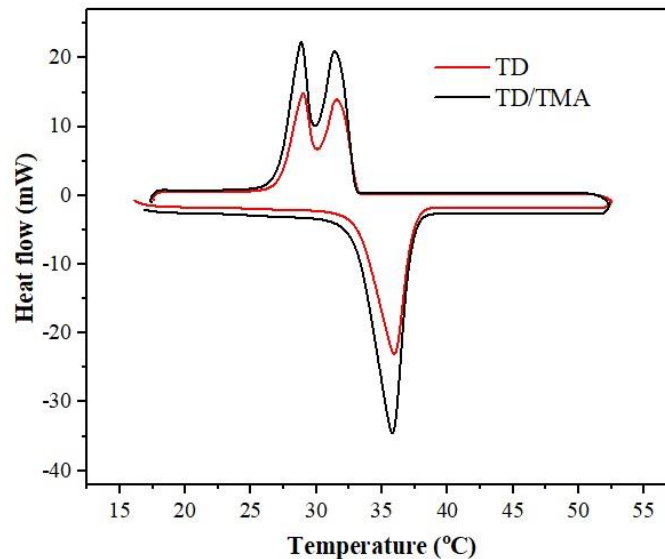
The spectrum for the TD/TMA composite shows the characteristic peaks of TD, suggesting that the TD has been successfully impregnated into the thermally modified wood. The retention of distinct peaks for TD in the composite indicates that the compound is physically present within the wood structure without significant chemical modification.

When comparing the spectra, it is evident that the composite (TD/TMA) retains the chemical signature of TD, while also displaying the underlying absorbance pattern of the thermally modified wood. This suggests that there is no chemical reaction between the TMA

and TD, as no new peaks have emerged, and all major peaks from both components are present in the composite spectrum.

### 3.3 DSC results

The DSC thermograms for TD and TD/TMA are shown in Figure 4. Thermal properties of the TD and TD/TMA, including enthalpy and peak temperature for melting and solidifying processes are summarized in Table 2.



**Figure 4.** DSC thermograms of TD and TD/TMA

**Table 2.** DSC values of the TD and TD/TMA

	Melting		Solidifying	
	T <sub>peak</sub> (°C)	ΔH (J/g)	T <sub>peak</sub> (°C)	ΔH (J/g)
TD	33.2	208.4	33.07	207.6
TD/TMA	33.3	103.1	33.10	102.9

Both TD and TD/TMA showed very similar melting and solidification points (TD: 33.2°C and 33.07°C; TD/TMA: 33.3°C and 33.10°C respectively). This indicates that the thermal modification of the wood and the addition of TD do not significantly alter the phase change temperature of TD.

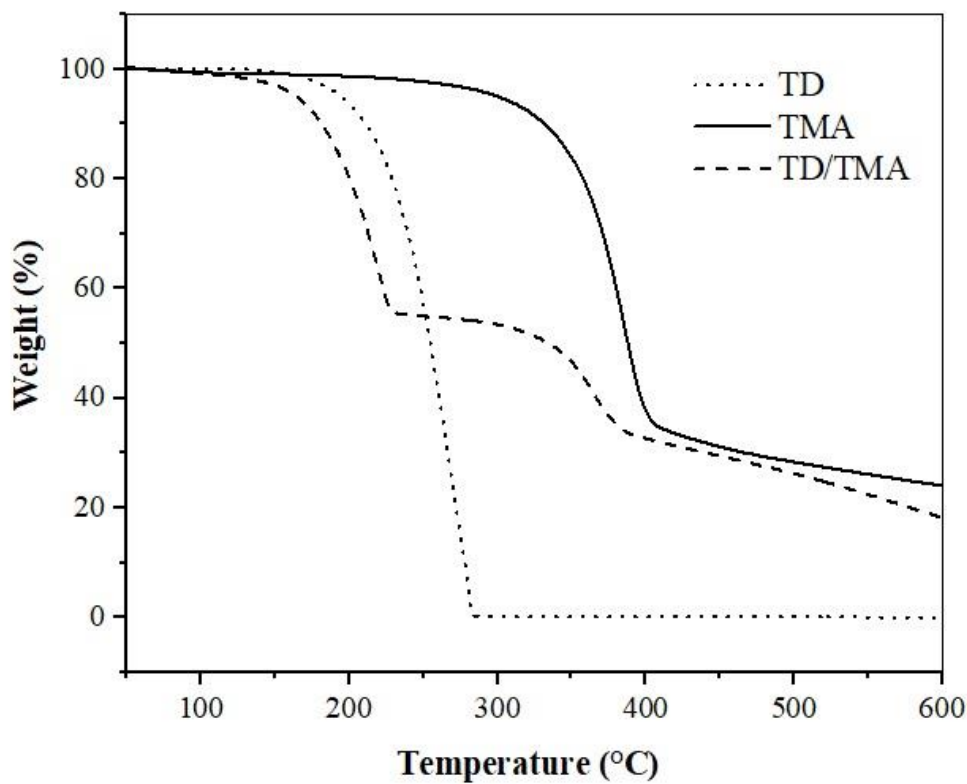
There is a noticeable difference in the melting and solidification enthalpies between pure TD and the composite. The pure TD shows higher enthalpy changes (208.4 J/g for melting and 207.6 J/g for solidification) compared to the composite (103.1 J/g for melting and 102.9 J/g for solidification). This reduction in the enthalpy change suggested that the interaction with the thermally treated wood affected the energy required for the phase transition of TD. Ayaz et al. (2023) investigated TD as PCM with functionalized multi-walled carbon nanotubes for high-density thermal energy storage. TGA data for TD yielded similar results.

The similar phase change temperatures imply that the composite material could be used in the same applications as pure TD in terms of operating temperature range (Tripathi et al. 2023). However, the lower enthalpy values for the composite suggest that it would store less thermal energy per unit mass compared to pure TD.

The DSC graph shows that the thermal behavior of the composite closely tracks that of the pure TD, suggesting that the thermal properties of TD are preserved in the composite. This is an important consideration for applications where the phase change properties of the material are critical.

### 3.4 TGA results

The weight loss as a function of time and temperature was measured in the TGA, as shown in Figure 5. Table 3 lists the temperatures at which weight losses (at 10, 20, 30, 40, 45%) were produced and the amount of residue.



**Figure 5.** TGA curves of the TD, TD/TMA and TMA

**Table 3.** TGA data of the TD, TD/TMA and TMA

	TG/°C				Residue (%)
	10%	30%	50%	75%	
TD	211.11	239.71	254.65	269.03	0.00
TD/TMA	181.11	212.92	333.64	516.37	16.30
TMA	326.46	370.9	387.9	567.7	18.20

TMA shows a high degree of thermal stability up to 326.46°C, which was where it begins to lose 10% of its weight. It continued to degrade gradually, with a 50% weight loss at 387.9°C, and leaved a residue of 18.20% at the end of the TGA run. This indicated that TMA retained much of its structure until a relatively high temperature, which is characteristic of the thermal modification process that enhances the resistance to thermal degradation of wood.

The composite began to lose weight at a significantly lower temperature (181.11°C for 10% weight loss) compared to TMA alone. This early weight loss is likely due to the volatilization or degradation of TD, which has a lower thermal stability than TMA. The composite continued to degrade, with a 50% weight loss observed at 333.64°C, which is significantly lower than TMA alone. The residue left at the end of the TGA run for the composite is notably higher (16.30%), likely due to the combined residue from TMA and the non-volatile components of TD.

The TGA curves showed that the presence of TD in the composite lowers the initial degradation temperature, reflecting the thermal properties of TD. The weight loss pattern suggests that the TD is released from the composite at lower temperatures, followed by the degradation of the thermally modified wood component at higher temperatures.

The differences in thermal degradation profiles between TMA and TD/TMA suggested that the composite material may have applications where controlled release of TD is desired at lower temperatures, while still benefiting from the enhanced thermal properties of TMA at higher temperatures. The high residue content in the composite could be advantageous in applications requiring high carbon content materials. It is also important to potential applications of these materials in the context of their thermal degradation properties, such as in building materials, thermal energy storage systems, or other areas where thermally stable or PCMs are utilized.

The temperatures at which wood components begin to decompose are as follows. Hemicellulose starts to degrade at the lowest temperatures among the major components of wood, typically beginning around 150°C to 260°C. The degradation of cellulose usually starts at temperatures above 260°C and progresses rapidly beyond 350°C. Lignin is the most thermally stable component of wood. Its degradation begins at around 280°C but continues over a wide range of temperatures, even beyond 500°C (Rowel, 2005).

#### **4 Conclusion**

In this study, TMA was treated with TD as a PCM. Since the melting point of TD (36 C) is high, the resulting product is especially targeted for use in places such as underfloor heating systems, saunas, solar space heating and greenhouse heating. The data and recommendations obtained as a result of the experiments are listed below.

- The leakage of TD was minimal. However, to better bond PCM to wood, additional processes can be performed in the impregnation, the rate of TD can be reduced or a combination with PCM with a lower melting point can be created.
- The resulting DSC data can be used to discuss the suitability of the TD/TMA composite for thermal energy storage and its advantages, such as containment of the material during phase change. Additionally, the reduction in enthalpy of the composite can be further investigated to understand the interaction between TD and thermally treated wood at the microscopic level, which may reveal insights into the structure-property relationships of the composite.
- The TGA analysis indicates that the elevated residue levels in TD/TMA could be beneficial for uses that demand materials rich in carbon content. Moreover, the



significance of these materials lies in their possible applications relating to their thermal degradation characteristics. This includes their use in building materials, thermal energy storage systems, and various other domains where materials that are thermally robust or capable of phase transitions are required.

### **Acknowledgment**

None

### **Author Contributions**

**Gaye Köse Demirel:** Conceptualization (Developing research ideas and objectives), Data curation, Formal Analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Resources, Supervision, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

### **Funding statement**

No financial support was received for the study.

### **Conflict of interest statement**

The author declare no conflict of interest.

### **References**

- Amini, M. H., Temiz, A., Hekimoğlu, G., Köse Demirel, G., Sari, A. (2022), Properties of Scots pine wood impregnated with capric acid for potential energy saving building material, *Holzforschung*, 76(8), 744-753. DOI: [10.1515/hf-2022-0007](https://doi.org/10.1515/hf-2022-0007)
- Antonini, E., Gaspari, J. (2022), *Architectures for Next Generation EU Cities: Challenges, Key Drivers, and Research Trends* (p. 290). Franco Angeli.
- Ayaz, H., Chinnasamy, V., Shin, M., Cho, H. (2023), Investigation of 1-tetradecanol with functionalized multi-walled carbon nanotubes as PCM for high-density thermal energy storage, *Journal of Materials Research and Technology*, DOI: [10.1016/j.jmrt.2023.10.226](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.10.226).
- Can, J. Žigon, (2022), n-Heptadecane-impregnated wood as a potential material for energy-saving buildings, *Forests*, 13 (2022) 1–10. DOI: [10.3390/f13122137](https://doi.org/10.3390/f13122137)
- Demirel, G.K. (2023), Evaluation of lauric-myristic acid as phase change material in thermally modified wood for thermal energy storage, *BioResources*, 18(4),7186-7201, DOI: [10.15376/biores.18.4.7186-7201](https://doi.org/10.15376/biores.18.4.7186-7201)
- Hekimoğlu, G., Sari, A., Kar, T., Keleş, S., Kaygusuz, K., Yıldırım, N., Saleh, T. A. (2021), Carbonized waste hazelnut wood-based shape-stable composite phase change materials for thermal management implementations, *International Journal of Energy Research*, 45(7), 10271-10284. DOI: [10.1002/er.6514](https://doi.org/10.1002/er.6514)
- Hekimoğlu, G., Sari, A., Gencel, O., Tyagi, V. V., Sharma, R. K. (2023), Activated carbon/expanded graphite hybrid structure for development of nonadecane based composite PCM with excellent shape stability, enhanced thermal conductivity and heat charging-discharging performance, *Thermal Science and Engineering Progress*, 44, 102081. DOI: [10.1016/j.tsep.2023.102081](https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102081)
- Herrera, R., Sandak, J., Robles, E., Krystofiak, T., Labidi, J. (2018), Weathering resistance of thermally modified wood finished with coatings of diverse formulations, *Progress in Organic Coatings*, 119, 145-154. DOI: [10.1016/j.porgcoat.2018.02.015](https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.02.015)

- Hill, C., Kymäläinen, M., Rautkari, L. (2022), Review of the use of solid wood as an external cladding material in the built environment, *Journal of Materials Science*, 57(20), 9031-9076. DOI: [10.1007/s10853-022-07211-x](https://doi.org/10.1007/s10853-022-07211-x)
- 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, 1-9. DOI: [10.1155/2019/8621486](https://doi.org/10.1155/2019/8621486)
- Li, M., Luo, F., Liang, X., Wang, S., Gao, X., Zhang, Z., Fang, Y. (2023), Myristic acid-tetradecanol-capric acid ternary eutectic/SiO<sub>2</sub>/MIL-100 (Fe) as phase change humidity control material for indoor temperature and humidity control, *Journal of Energy Storage*, 74, 109437. DOI: [10.1016/j.est.2023.109437](https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109437)
- Lund, H. (2010), The role of sustainable buildings in 100% renewable energy systems, In *e-nova-Internationaler Kongress 2010: Nachhaltige Gebäude* (pp. 1-8). Fachhochschulstudiengänge Burgenland.
- Najjar, M., Figueiredo, K., Hammad, A. W., Haddad, A. (2019), Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings, *Applied Energy*, 250, 1366-1382, DOI: [10.1016/j.apenergy.2019.05.101](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.101)
- Rowell, R. M. (2005), *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC press.
- Temiz, A., Kose, G., Panov, D., Terziev, N., Alma, M. H., Palanti, S., Akbas, S. (2013), Effect of bio-oil and epoxidized linseed oil on physical, mechanical, and biological properties of treated wood, *Journal of Applied Polymer Science*, 130(3), 1562-1569. DOI: [10.1002/app.39334](https://doi.org/10.1002/app.39334)
- Temiz, A., Hekimoğlu, G., Köse Demirel, G., Sarı, A., Mohamad Amini, M. H. (2020), Phase change material impregnated wood for passive thermal management of timber buildings, *International Journal of Energy Research*, 44(13), 10495-10505. DOI: [10.1002/er.5679](https://doi.org/10.1002/er.5679)
- Tripathi, B. M., Shukla, S. K., Rathore, P. K. S. (2023), A comprehensive review on solar to thermal energy conversion and storage using phase change materials, *Journal of Energy Storage*, 72, 108280, DOI: [10.1016/j.est.2023.108280](https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108280)
- Wimmers, G. (2017), Wood: a construction material for tall buildings. *Nature Reviews Materials*, 2(12), 1-2. DOI: [10.1038/natrevmats.2017.51](https://doi.org/10.1038/natrevmats.2017.51)
- Yildiz, S., Tomak, E. D., Yildiz, U. C., Ustaomer, D. (2013), Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood, *Polymer degradation and stability*, 98(8), 1419-1427, DOI: [10.1016/j.polymdegradstab.2013.05.004](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.05.004)
- Žegarac Leskovar, V., Premrov, M. (2021), A review of architectural and structural design typologies of multi-storey timber buildings in Europe, *Forests*, 12(6), 757, DOI: [10.3390/f12060757](https://doi.org/10.3390/f12060757).



### Kabriyal ayağın mobilya tarihindeki yeri

Alım Selin Mutdoğan<sup>1\*</sup>, Gülçin Cankız Elibol<sup>1</sup>

#### Öz

Mobilya en yalın tanımıyla, kullanıcıların oturma, yatma, yemek yeme, depolama, çalışma ve benzeri eylemlerini rahat, verimli ve sağlıklı şekilde yerine getirebilmelerini sağlayan, çeşitli malzemelerden üretilmiş donatılardır. Mobilyanın belgeli tarihine bakıldığında, taş ve toprak bazlı sabit donatıların tarihinin MÖ 6500'li yıllara kadar dayandığı görülmekle birlikte, günümüzdeki anlamıyla mobilyanın, kabaca 4 000 ila 4 500 yıllık bir geçmişinin olduğunu ifade etmek mümkündür. Bu çalışmada, klasik dönem mobilya tarihinin önemli bir ögesi olan Kabriyal ayağın tarihsel süreçte ortaya çıkışı, biçimsel ve anlamsal özellikleri ile birlikte araştırılmış; bu iki unsorda yaşanan değişiklikler analiz edilmiş ve Kabriyal ayağın, günümüze kadar uzanan etkisi aktarılmaya çalışılmıştır. Çalışma, nitel bir araştırmadır ve doküman taraması ve analizi üzerine kurulmuştur. Tarihsel süreci yansıtan dokümanlar, bilgi ve görsel belge şeklinde taranarak analiz edilmiş; yapılan analizler üzerinden mevcut durum tespiti yapılarak ve mobilya tasarımı tarihinin bu vazgeçilmez ögesine yönelik gelecek çıkarımları sunulmuştur. Çalışmanın, özellikle mobilya tarihi alanına yönelik literatüre katkı sağlaması ve tarihsel öğelerin biçim ve içeriklerinin bir arada ele alınması konusundaki farkındalığın artırılması yönünden, araştırmacılara ve tasarımcılara fayda sağlaması öngörülmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Mobilya, Mobilya Tarihi, Kabriyal Ayak, Mobilya Tasarımı

### Cabriole legs throughout the history of furniture

#### Abstract

In its simplest definition, furniture can be defined as equipment made of various materials that enable users to perform their sitting, lying, eating, storage, working, and similar actions in a comfortable, efficient, and healthy way. Looking at the documented history of furniture, it is seen that the history of stone and earth-based fixed equipment dates back to 6500 BC, but it can be said that furniture in its current sense has a history of roughly 4 thousand to 4 thousand five hundred years. In this study, the emergence of the Cabriole leg, which is an important element of the history of furniture in the classical period, is investigated together with its formal and semantic features; the changes in these two elements are analyzed and the impact of the Cabriole leg extending to the present day is tried to be conveyed. The study is qualitative research and is based on document scanning, and analysis. Documents reflecting the historical process were scanned and analyzed in the form of information and visual documents; the current situation was determined through the analysis and future implications for this indispensable element of furniture design history were presented. It is envisaged that the study will benefit researchers, and designers, especially in terms of contributing to the literature in the field of furniture history and raising awareness about the form and content of historical elements.

**Keywords:** Furniture, History of Furniture, Cabriole Leg, Furniture Design

## 1 Giriş

Mobilya tarihi ile ilgili yapılan araştırmalarda genel olarak, mobilya sanatının ilk dönemleri ilkçağ mobilya (Antik dönem) sanatı olarak görülmekte ve M.Ö. 2700 ile M.S. 450 yılları arasında kalan dönemi ifade etmektedir. Bu dönem, Mısır, Mezopotamya, Anadolu, Yunan ve Roma mobilya sanatı olarak alt dönemlere ayrılmaktadır. Bu dönemin ilk örnekleri ise birçok kaynaktan Mısır mobilyası olarak kabul edilmektedir. Bu tarihlerden önceki dönemlerde insanoğlunun mobilya yaptığı veya mobilya olarak kullandığı nesnelere dair bilgiye yönelik somut deliller görülememektedir. Ancak, ilk mobilya örneklerinin Mısırlılardan önce, ağaç malzemedeki değil, topraktan yapıldığı ve tarih olarak M.Ö. 6500-5700'lü yıllarda yapıldığı literatürde yer almaktadır (Bal ve Kılavuz, 2015: 59, 67).

Ancak bu çalışmada, mobilya tarihi genel sürecine, çalışmanın odağına altyapı oluşturmak ve tarihsel akışı mümkün olduğunca toparlayıcı şekilde göz önüne sermek amacıyla değinilmiştir. Bu sürecin literatüre dayalı aktarımı, ilkçağdan başlatılmıştır. Dönemler ve stiller, mobilyaların özelliklerinin aktarılmasından ziyade, genel akışı sunmayı amaçlamaktadır. Bu sebeple, dönemlerde ve stillerde ayrıntılı açıklamalara girmekten kaçınılmıştır. Hedef, Kabriyal ayağın, tarihsel süreçte hangi dönem ve stillerde görüldüğünün aktarılması, değişimlerin veya değişmeyen unsurların incelenmesidir.

İlkçağ sanatı, yaklaşık M.Ö. 4000 yıllarında başlamış ve Batı Roma İmparatorluğunun çöküş tarihi olan MS. 476 yılına kadar sürmüştür. Mısır, Mezopotamya, Anadolu, Yunan ve Roma uygarlıklarının eserlerini simgeleyen bu çağ Antik dönem olarak da adlandırılmaktadır (Kurtoğlu, 1986: 71).

Mobilya tasarımının yaklaşık olarak M.Ö. 1350lerde Mısır'da üstün bir düzeyde olduğu bilinmektedir. Mısır'ın etkisi Demir çağında Yunan ve Roma mobilyasında görülmüştür (Boyla, 2012). İlkçağ dönemini Mısır (M.Ö. 2700-1075), Mezopotamya (M.Ö. 4000-7000), Anadolu (M.Ö. 700-500), Yunan (M.Ö. 450-192) ve Roma (M.Ö. 500-M.S. 450) olarak özetlemek mümkündür. Ortaçağ dönemi ise Bizans (M.S. 527-1025), Roma döneminin etkisi altında olduğu kabul edilebilen Roman (M.S. 1000-1250) ve Gotik (M.S. 1250-1550) dönemlerini kapsar (Kurtoğlu, 1986).

Ortaçağ başlarında Akdeniz çevresinde İlkçağ kültürünün kısmen devam ettiği, ancak Avrupa'nın diğer bölgelerinde eski çağların birikiminin unutulmuş olduğu görülür (Boyla, 2012). Ortaçağ dönemini Rönesans dönemi (M.S. 1500-1600) takip etmiştir. Rönesans'ın etkileri neredeyse tüm Avrupa'da görülmüştür. Rönesans Dönemi'ni Klasik dönem izlemiştir. Barok (XIV. Louis Dönemi) (1600-1720) ile başlayan bu dönem, Queen Anne (1665-1714), ve Rokoko (XV. Louis Dönemi) (1729-1780) ile devam etmiştir. Barok ve Rokoko dönemleri arasında da, bir geçiş niteliği taşıyan Régence dönemi yer almıştır. Yeniçağa gelindiğinde ise yeni bir dönem başlamıştır: Neoklasik. XVI. Louis Dönemi (1774-1798), Directoire (1750-1830), Georgian (1714-1820) ve Dört Büyükler (1718-1806) (Thomas Chippendale, George Hepplewhite, Robert Adam, Thomas Sheraton stilleri) dönemleri, bu zaman aralığındaki önemli stillerin görüldüğü dönemler olarak nitelendirilebilir (Kurtoğlu, 1986). Stiller zaman içinde birbirini izleyen küçük değişimlerle oluşmakta idi. Bir stilin etkileri zayıflarken bir sonraki başlamış olurdu ve bir süre ikisinin de etkisi devam ederdi. Böyle geçiş dönemlerinden bazıları, örneğin Régence ve Directoire, birer stil kadar özgün karakterler de yansıtabiliyordu. Bir ülkede yüksek döneminde olan bir stil, aynı sıralarda bir başka ülkede daha yeni başlıyor olabiliyor veyahut hiç tutunamayabiliyordu (Boyla, 2012).

Bu dönemi, Empire (1801-1814) ve sonrasında Biedermeier (1815-1850) dönemleri izlemiştir. Yakınçağa (1789-1900) geldiğinde ise Art Nouveau akımı etkili olmuş ve devamında Modern dönem (yaklaşık 1900 ve sonrası) başlamıştır (Kurtoğlu, 1986).

19. yüzyıl el sanatlarından endüstrileşmeye geçiş dönemi olarak görülmektedir. Bu dönem hem eski dönemlerin geleneksel tavrını hem de geleceğe yönelik birikimi taşımaktadır. Günümüz tasarımının öncü modelleri de çoğunlukla bu dönemde gelişmiştir (Boyla, 2012).

Çalışma, bu tarihsel süreç içerisinde Kabriyal ayakların hangi dönemlerde kullanılmaya başladığı, hangi dönem ve stillerde yaygın olarak kullanıldığı ve hangi dönem(ler)in simgesi haline geldiği konularına odaklanmaktadır. Zaman içerisinde birçok dönemde kendine yer bulan bu eşsiz ayak tipinin, dönemlere göre değişen ve sabit kalan fiziksel özelliklerinin incelenmesi de bu çalışmanın, ilerleyen başlıklar altında ele alınacak bir başka hedefidir.

## 2 Kabriyal Ayağın Tarihsel Süreçteki Yeri

“Cabriole” veya “Cabriolé” terimi, Türkçe literatürde “kabriyal”, “kabriol” gibi farklı kullanımlara sahiptir. Bu sebeple, bu çalışmada, nispeten yaygın bir kullanıma sahip olan “Kabriyal” ayak terimi benimsenmiş ve tüm kullanımlar bu sayede kapsanmıştır.

Kabriyal ayaklar, “S” biçimindeki yapıları ve hayvan bacağına benzerlikleri ile karakterize mobilya ayaklarıdır. Özellikle 18. yüzyılda popüler hale gelen bu ayak tipi, 18. Yüzyılın ortalarında popülerliğinin doruklarına ulaşmıştır. “Cabriole/Cabriolé” sözcüğü Fransızcadır ve “sıçrama, sıçrayış, zıplama, muziplik, kaprisli” gibi anlamları bulunmaktadır. Boyla (2012: 149) Kabriyal ayağı, “*Kabriol ayak: Bir hayvanın arka ayağının uzatılmış “S” gibi stilize edilmiş biçimindeki mobilya ayağı*” olarak tanımlamıştır.

İki eğime -üstteki yay dışbükey, alttaki yay içbükey- sahip bu ayakların, bazı dört ayaklı hayvanların bacaklarından esinlenilerek ortaya çıktığı bilgisi mevcuttur. Antik Çin ve Antik Yunan dönemlerinde biliniyor olmakla birlikte, Avrupa’da bilinir hale gelmesi 17. yüzyılın sonlarında olmuştur (Britannica, 2023). Özellikle Fransa, İngiltere gibi ülkelerde hızla yaygın hale gelen bu ayak tipi, daha sonra diğer Avrupa ülkelerine ve hatta Amerika’ya yayılmış ve çeşitli mobilya stillerinde kullanılır hale gelmiştir. İngiltere’de Queen Anne ve Chippendale, Fransa’da Rokoko stillerinde sıklıkla kullanılan bu ayak tipi Amerika kıtasında da kendini göstermiştir. Bu anlamda, tarihsel süreçte yapılarda ve iç mekanlarda hakim olan mimari akımların, mobilyaya da yansdığı görülmektedir.

Erken formları, çapraz kayıtlarla birleştirilmiş bir kullanım sunarken, zaman içinde bu tür gergilere olan ihtiyacın ortadan kalkması ile birlikte Kabriyal ayakların çapraz kayıtsız kullanımı başlamıştır. 18. yüzyılın sonlarına doğru popülerliğini kaybetmeye başlayan bu ayak tipi, yerini, Neoklasik dönemin düz ayaklarına bırakmıştır. Ancak, bu ayak tipi ve bu ayağın karakteristik özelliği olan “S” kıvrımı hiçbir zaman tamamen unutulmamış; günümüze kadar kullanımı devam etmiştir (Boyla, 2012). Günümüzde, özellikle ülkemizde, pek çok mobilyada kimi zaman aslına uygun olarak, kimi zamansa, farklı kombinasyonlar içinde ve farklı adlar altında kullanılabilir (Elibol vd., 2014).

Kabriyal, kavisli çizginin özü olarak nitelendirilmektedir. Doğru ele alındığında ve anlaşıldığında, tabandan zirveye uzanan, yanlara doğru yayılan ve üstünlüğü altında her öğeyi ve köşeyi koordine eden, ister ana çizgide ister küçük ayrıntılarda olsun, süreklilik ve tatlılık sergileyen, kendi kendine yeterli ve kapsayıcı bir bütünlük içindeki çizgiyi ifade eder. Barok coşkusunun, Rokoko ruhuna büründüğü bir döneme ait olarak, düz çizgiyi reddeden, çekingen bir öğe olmuştur; ancak gösteriş ya da eksantriklik istenildiğinde, taşkınlık, çizgisini karıştırmış ve savurganlık, süslerini artırmıştır (Tipping, 1920).

Kabriyal ayağın “ilk” kullanımının nerede ve ne zaman gerçekleştiği yönünde, kaynaklara dayalı net bir bilgi bulunmamakla birlikte; tasarımdaki gelişmelerin çoğu zaman tedrici değişimler ile ilerlediği kabul edilerek, Antik dönem ve Ortaçağ’daki arketip kullanımlar (Şekil 1, 2 ve 3.) harici, yani gerçek anlamıyla Kabriyal ayak formunun ilk örneklerinin yer ve zamanları ele alınmıştır. Ancak, Şekil 1, 2 ve 3’teki Antik dönem ve Ortaçağ’a ait görsellerde yer alan mobilyalarda da hayvan ayaklarının ikili kıvrım ile kullanıldığı görülmektedir.



**Şekil 1.** Antik Mısır, Tutankhamun dönemine ait bir mobilya. Arka ayaklarda hayvan bacağı formu kullanımı – M.Ö. 1347-1337 (URL-1, 2023)



**Şekil 2.** Tutankhamun’un tahtı. Arka ayaklarda eğimli hayvan bacağı kullanımı (Burton, 1923)



**Şekil 3.** Dagobert’in Tahtı. Ayaklarda leopar başı ve ayak kullanımı (c. 603-639) (Library of Congress, 2023)

Kral I. Dagobert (603-639), Ortaçağ’da hüküm süren Frank Krallığı’nın Merovenj Hanedanı’ndan bir hükümdarıdır. Şekil 3’te görülen, I. Dagobert’in bronz tahtında, leopar başlı ve bacak/pençe bitişli ayakların kullanıldığı görülmektedir. S kıvrımlı leopar gövdelerini, düz, ancak geriye doğru çok hafif eğimli ayaklar izler (Library of Congress, 2023).



Tam anlamıyla Kabriyal ayağın ilk örneklerinin, yükselişinin ve gelişiminin Jacobean, Queen Anne ve erken Georgian dönemleri ile Chippendale stilinde görüldüğü bilgisi mevcuttur. Jacobean Dönemi, adını, Latin karşılığı olan James'ten almıştır. İngiliz Stuart Hanedanı'ndan James I'in adıdır. Bu dönem, tüm Stuart Hanedanı dönemine uzamıştır. Bu dönemin başlarında, mobilyada Rönesans akımının etkileri görülmektedir. 1500ler civarında İtalya'da ortaya çıkan Rönesans etkisini İngiltere'ye tanıtan VIII. Henry olmuştur. Elizabeth dönemi boyunca da İtalyan Rönesans etkisi, değişerek ve ulusal düzene uyumlanarak devam etmiştir (Thompson, 1937).

Rönesans dönemi mobilyalarda Kabriyal ayağa fazla rastlanmasa da 1600'lerin sonlarında İngiltere hükümdarlığında bulunan III. William (1689-1702) ve II. Mary'ye (1689-1694) ithaf edilen bir stil olan William and Mary stilinde, yaygın olmamak ve stilin karakterize ögesi olan tornalı ve sarmal tornalı ayaklardan çok farklı olmakla birlikte, kimi mobilyalarda Kabriyal ayaklar görülmeye başlamıştır (Şekil 4).



**Şekil 4.** William and Mary stili bir sandalye (Hunter. 1913)

Yakın zamanlarda, 1643-1715 yılları arasında Fransa'da hüküm süren XIV. Louis'nin dönemi, Barok stilinin doruğu olarak bilinmektedir. Bu dönemde ayaklar çoğu zaman düzdür ancak geç dönemlerinde, Régence stili etkisini göstermeye başlamış ve ayaklarda çapraz kayıtlar ile birlikte Kabriyal kullanımı (Şekil 5) da başlamıştır.

Barok ve Rokoko dönemleri arasında bir geçiş olarak nitelendirilebilecek olan Régence stilinde ayaklar Barok'a göre uzun ve bir hayvanın arka bacağını andırır şekilde hafif kıvrımlı olmaya başlamış ve yine Kabriyal ayak kullanımları görülmüştür. Bu ayaklarda yere basan kısım aslan ya da keçi ayağı biçimlidir. Ayaklar arasındaki çapraz kayıtlar henüz ortadan kalkmamış, ancak incelmış ve dalgalı bir hal almıştır (Boyla, 2012)



**Şekil 5.** Régence stili oturma mobilyası – c. 1725-1735 (Histoire du Mobilier, 2023)





**Şekil 6.** Oymalı, yüksek arkalıklı, Pied-de-Biche tipi Kabriyal ayaklı sandalye – c. 1695 (Tipping, 1918)

Pied-de-Biche yani keçi ayağı, Régence ve XV. Louis dönemi mobilyalarında kullanılan keçi ayağı şeklindeki bitişi ifade etmektedir (French Accents, 2023) (Şekil 6).

Rokoko'nun öncülü niteliğinde olan ve XIV. Louis dönemine ait Barok stilinde, bölgelere göre farklılık gösteren ayak biçimleri kullanılmıştır. Burgu biçimli ayaklar ve onları çoğunlukla H biçiminde birbirine bağlayan kayıtlar yer almıştır. Daha sonraki dönemlerde ise tornada biçimlendirilen ters şişe biçimli 4 yüzü düzleştirilmiş ve baş aşağı konmuş gibi duran ayak biçiminin, bu formun üstüne ve altına konan küre veya küp biçimleri ve çapraz bir kayıt ile kullanıldığı görülmektedir. 17.yüzyılın sonlarına doğru ayak biçimlerinde kullanılan “S” ve “C” biçimlerin yumuşadığı; hayvanların arka ayaklarına benzeyen biçimlerin oluşmaya başladığı ve hayvan pençelerinin kullanıldığı görülmektedir (Özel, 2020).

1700'lerin başlarında, İngiltere'de, Queen Anne (egemenlik 1702-1714) döneminde ise; aynı dönemlerde özellikle Fransa'da hakim olmaya başlayan Rokoko stiline özgü kıvrımlar görülmüştür. Daha önceki yüzyıllarda Felemenk ülkelerine yakın bir tarz benimsemiş olan İngiltere, bu dönemde de aynı tutumu sürdürmüştür. Sandalye arkalıkları Fransa'dakilere göre daha yüksektir ve çerçevenin ortasında kumaş döşeme yerine biçimi kemanı anımsatan genişçe, dikey bir ahşap levha yer alır. Kabriyal ayaklar Queen Anne döneminde biraz daha geniştir; yere değen kısımlar ise yayvandır. Önceleri sade olan ayak uçları giderek aslan, sonra da top tutan kuş pençesi biçimini almıştır (Boyla, 2012).

Erken Georgian ve geçiş dönemlerine ait İngiliz mobilyaları ise Queen Anne stilindeki Hollanda etkilerini tamamen bırakma eğilimi göstermektedir. Sandalye arkalıkları kısalmış ve dış hatları daha çeşitli hale gelmiştir. Yeni mobilya türleri de ortaya çıkmıştır. Kabriyal ayak varlığını sürdürmüştür ancak top tutan pençe ayak, yuvarlak Felemenk ayağının yerini almıştır (Dyer, 1917) (Şekil 7).

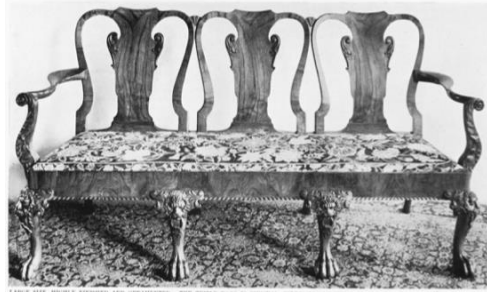


**Şekil 7.** Kısalmış arkalıklı, çapraz kayıtsız, tipik Queen Anne stili sandalye – c. 1714 (Tipping, 1918)

Tipik Queen Anne stili oturma mobilyalarında tekli kullanımların yanında, ikili ve üçlü arkalık kullanımları da görülmektedir. Bu tür mobilyalarda kimi zaman daha az işlemeli ve sade oymalı (örneğin, Kabriyal ayağın üst kıvrımında yani diz kısmında tekli deniz kabuğu oyması bulunan) versiyonlar kullanılırken (Şekil 8); kimi zaman ayakların daha kısa ve kalın kullanıldığı ve üzerlerinin derin oymalarla ve yoğun işlemlerle kaplı olduğu görülür (Şekil 9)



**Şekil 8.** Küçük boyutlu, az oymalı, konut tipi, Queen Anne stili oturma mobilyası – c. 1710 (Tipping, 1918).



**Şekil 9.** Büyük boyutlu, üçlü arkalığa sahip (ceviz), derin oymalı ayaklı Queen Anne stili mobilya - c. 1730 (Tipping,1918)

Fransa'da 1715-1774 yılları arasında XV. Louis dönemi hakim olmuştur ve bu dönemde de Kabriyal ayaklı pek çok mobilya türü kullanılmıştır (Şekil 10).

XV. Louis stili, Rokoko olarak da adlandırılmaktadır. Mobilyalarda oyma ve süslemelere geniş yer verilmiştir. XV. Louis dönem mobilyalarında düz hatlara rastlamak neredeyse imkansızdır. Kabriyal ayak, bu dönemde sandalye ve koltuklarda genellikle uygulanan ayak şeklidir. Ayakların yere değen kısımlarında genellikle koç boynuzu veya dışa doğru çıkıntılı kıvrımlarla beraber üzerinde fitil ve genellikle bitkisel şekilli oymalar görülür. Ön ayakların alın kısmında çeşitli yaprak, stilize edilmiş çiçek oymaları uygulandığı gibi sade bırakılanlarda fitil ve oluklar da bulunabilmektedir (Aras ve Uzun, 2010: 132). Rokoko mobilyanın en önemli özelliklerinden biri, özellikle Régence döneminde ayaklar arasında yer alan çapraz kayıtların ortadan kalkmasıdır. Ayakların gövdeye yan bağlantılarla birleştirilmesiyle bu dönemde daha sağlam çatkılar elde edilmeye başlamıştır ve gergilere gerek kalmamıştır. Kabriyal ayaklar eskisine göre bazı biçimsel değişikliklerle neredeyse bütün mobilyalarda görülmüştür. Daha ince yapılarıdır ve kıvrımları daha belirgindir. Kimi örneklerde, dışa kıvrımlı bölümün üzerinde oyma ile yapılmış bitkisel motifler de bulunmaktadır. Yere gelen uçta ise hayvan pençesi yerine ruloya benzer bir kıvrım yer almıştır (Boyla, 2012).



**Şekil 10.** XV. Louis dönemi yazı masası - Bernard II van Risenburgh – c. 1755 (The Met Museum, 2023)



**Şekil 11.** Rokoko stili oturma mobilyası ve Kabriyal ayak kullanımı – c. 1754-1756 (The Met Museum, 2023)

Simetrik olarak yerleştirilmiş Rokoko süslemeleri, çiçek buketleri, palmiye dalları ve tepe tacının ortasında yer alan büyük bir deniz kabuğu figürüyle zenginleştirilen sandalyenin dalgalı hatları dikkat çekmektedir (Met Museum, 2023) (Şekil 11).

Rokoko stili oturma mobilyalarında, özellikle döşemeli mobilyalarda kullanılan kısa Kabriyal ayakların, uzun Kabriyal ayaklara göre daha kalın ve işlemeli olarak tasarlandığı görülmektedir. Boyun ve bilek kısımlarının kesit kalınlıkları arasındaki fark, kısa ayaklarda çoğu zaman daha azdır. Bir başka anlatımla, kısa ayaklarda yukarıdan inişte kalınlık azalması daha azdır. Uzun Kabriyal ayaklar, ince ve zarif inmekte, ayak ucunda yani zemine temas eden noktada küçük bir kıvrımla sonlanmaktadır. Benzer yaklaşımlar, yüksek ayaklı depolama ünitelerinde de kullanılmıştır.



**Şekil 12.** Gotik süslemeli, İtalyan stili, Fransız ayaklı depolama ünitesinde Kabriyal ayak kullanımı – c.1745 (Tipping, 1920:82)

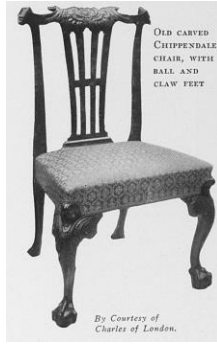
Şekil 12.'de yer alan ve Gotik süslemelere sahip depolama ünitesinde kullanılan Kabriyal ayaklarda, İtalyan kökenli Akantus yaprağı işlemesinin bulunduğu görülmektedir (Tipping, 1920:82). Depolamaya yönelik mobilyalarda ve masalarda kullanılan Kabriyal ayakların, uzun, ince ve zarif yapıda olduğu görülmektedir. İşleme ve oymalar ise genellikle üst kıvrımda yani diz kısmındadır ve ayak boyunca devam edebilen fitil hatları da görülebilmektedir.

Bu dönemde, Kabriyal formun, çoğu zaman tüm ayaklara uygulandığı görülmektedir. Ancak kimi zaman cesur hamlelerin de yapıldığı; Kabriyal ayakların, tüm ayaklar hatta sadece ön ayaklar yerine, sadece arka ayaklara uygulandığı nadir örnekler de görülmektedir. Dönemin tavrının bir sembolü olmamakla birlikte, farklı kullanımlara örnek teşkil etmesi bakımından aşağıda bu tür bir mobilya görseline yer verilmiştir (Şekil 13).



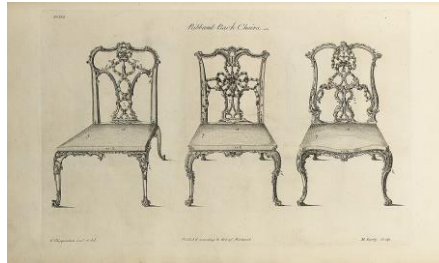
Şekil 13. Thomas How'a atfedilmiş bir sandalye – c.1724-1736 (The Met Museum, 2023)

Neoklasik dönemde ise Dört Büyüklerden (1718-1806), Thomas Chippendale, Kabriyal ayak kullanımı ile dikkat çekmektedir. Chippendale, tasarımlarında, temelde, Çin, Gotik ve Rokoko stillerinin etkileri görülmektedir. Her zaman bu ayak türünü kullanmasa da Chippendale, Kabriyal ayak biçimini kendi tarzıyla birçok mobilyasında kullanmış ve geliştirmiştir (Şekil 14) (Dyer, 1917: 473).



Şekil 14. Top tutan pençe figürlü ayağı ile bir Chippendale sandalyesi (Dyer, 1917).

Chippendale tasarımlarında, Kabriyal ayakların kıvrımlarını oluşturan yayların kimi zaman daha geniş (yani eğimin daha belirsiz), kimi zaman ise daha dar (yani eğimin daha belirgin) olduğu görülmektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Chippendale'in üç farklı yaklaşım ile Kabriyal ayak kullanımı (Chippendale, 1754)

Sonraları Rokoko, Felemenk ve Çin etkileri terk edilmiş; 1785 sonrasında Kabriyal ayak yerini düz ayaklara bırakmış ve hafif konstrüksiyon neredeyse bir kural haline gelmiştir. Örneğin yine Dört Büyüklerden Robert Adam stili mobilyalarda, düz ve ince ayaklar kullanılmış; Kabriyal ayağa neredeyse hiç yer verilmemiştir (Dyer, 1917: 474).

Georgian döneminde diğer marangozlar tarafından yapılmış olan, özellikle masalar, Secretary tipi dolaplar ve saat kasaları gibi dikkate değer mobilya parçaları yer almıştır. Secretary tipi depolama ve yazı masaları benzer şekilde gelişmiş; önce topuz ayaklara, ardından yine top tutan pençe figürlü kısa Kabriyal ayaklara ve son olarak Adam ve Sheraton stillerinin ayaklarına sahip olmuşlardır (Dyer, 1917: 475). Bu eğilim Amerika'ya da yayılmış; Colonial dönemdeki birçok mobilyaya yansımıştır. Özellikle Dört Büyükler etkisindeki mobilyalar ve Chippendale etkisi başta olmak üzere bu stilde üretilen mobilyalarda kullanılan farklı tiplerdeki Kabriyal ayaklar dikkat çekmektedir (Şekil 16, Şekil 17).



**Şekil 16.** Secretary tipi mobilya – Amerika – c. 1775 (Recent Accessions in American Art, 1967)



**Şekil 17.** Chippendale stili kart masası – Amerika – c. 1775 (Recent Accessions in American Art, 1967)

Şekil 17'de yer alan maun masa, beş adet Kabriyal ayak ile desteklenmektedir. Dördü, diz bölgesinde Akantus figürü oymalıdır ve tamamı, top tutan pençe figürü ile sonlanmaktadır. Ayaklardan beşincisi olan kapı ayağı (gate-leg) ise küçük bir çekmeceyi desteklemektedir (Recent Accessions in American Art, 1967).

18. yüzyıl, farklı mobilya türlerinin de görüldüğü bir dönem olarak karşımıza çıkmaktadır. Lowboy ve Highboy tipi depolama üniteleri, dönemin popüler mobilyaları arasındadır. Bu tür mobilyalarda kısa veya uzun Kabriyal ayak kullanımı yaygındır (Şekil 18., Şekil 19.). Kısa Kabriyal ayaklar daha kalın iken, uzun Kabriyal ayaklar genellikle daha ince ve zarif yapılıdır.



**Şekil 18.** Lowboy tipi mobilya – William Savery - c. 1760-1775 (Halsey, 1918)



**Şekil 19.** Highboy tipi mobilya – William Savery - c. 1760-1775 (Halsey, 1918)

Bu dönemden sonra, yeniçağ ile birlikte ayaklar neredeyse tamamen düzleşmiştir. XVI. Louis (1774-1798) döneminde ve Directoire stilinde, ayaklarda Kabriyal kullanımı yok denecek kadar azdır.

19. yüzyılın başlarında, yani erken 1800lerde görülen Empire stili mobilyada da çeşitli biçimlerde kıvrımlandırılmış ayaklar görülmüştür; ancak bu kıvrımlı ayaklar lire benzer “U” şeklinde veya Klismos’taki gibi dışa dönük, ya da hafif Kabriyal olarak şekillenmiştir (Boyla, 2012: 73). Empire stili, kökenini Antik dönemden, özellikle Mısır’dan alan bir stildir. Bu sebeple, Antik dönemde görülen kimi öğelerin, bu dönem mobilyalarında da kullanıldığı görülmektedir. Güç sembolü bazı figürlerin, tam olarak Kabriyal ayak biçiminde olmasa da, Antik dönemdeki kullanımlara benzer bir yapıda kullanılabildiği görülmektedir (Şekil 20).



**Şekil 20.** Empire stili bir masa - c.1805-10 (URL-2, 2023)

Biedermeier (1815-1848) döneminde ise, mobilyaların belirgin şekilde sadeleştiği görülür. Kabriyal ayak kullanımı yok denecek kadar azdır. Soyut formlardaki arkalıkları ile dikkat çeken bu dönem oturma mobilyaları, genellikle düz veya hafif tek eğimli (iç bükey) ayaklara sahip olmuştur. 19. yüzyılın ikinci yarısında Büyük Britanya’da hüküm süren Kraliçe Victoria döneminde (1837-1901) ise mobilyaların Rokoko stiline benzer şekilde eğmeçli, oymalı, işlemeli bir hal aldığı görülür. Kabriyal ayak kullanımı mevcuttur. Özellikle döşemeli oturma mobilyalarında kısa Kabriyal ayaklar kullanılmıştır. Ayak bitişlerindeki ruloların devamında kimi zaman ek bir uç da bulunabilmektedir (Şekil 21).



**Şekil 21.** Victorian dönemine ait bir koltuk (Belter, 1855)

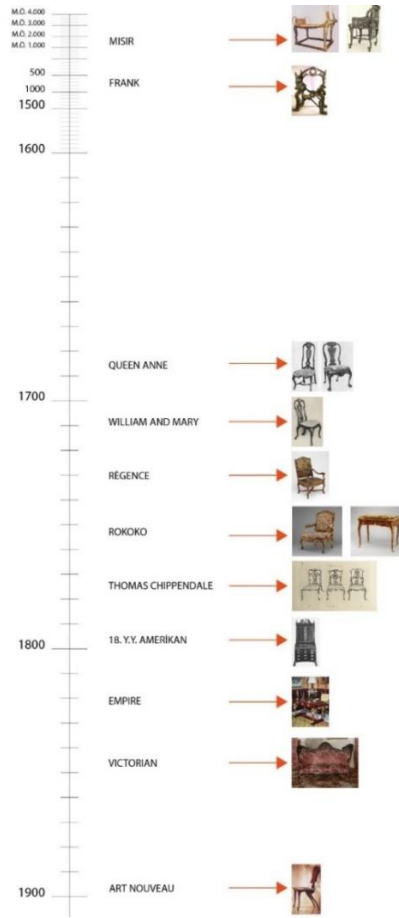
19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyıl, birçok konuda olduğu gibi mobilya konusunda da büyük bir dönüm noktası olmuştur. Endüstrileşme ile birlikte gelen teknik gelişmeler, el ile üretimden seri üretime geçilmesi, mobilya tasarımlarında geçmişten gelen öğelerin devam ettirilmesi yaklaşımının yerine doğadan ilham alınması ve sonrasında soyutlamanın ön plana çıkması gibi pek çok faktör; Arts and Crafts, Art Deco, Art Nouveau ve en nihayetinde Modernizm gibi akımları, stilleri ve yaklaşımları doğurmuştur. Kabriyal ayak, yavaş yavaş, yerini, düz eksenli veya çok hafif tek eğimli ayaklara bırakmıştır. Antoni Gaudi (1852-1926) gibi kimi tasarımcıların mobilyalarında, soyutlanmış halde kullanımlar görülse de (Şekil 22), bu dönemin sembol ayağı değildir artık Kabriyal.



**Şekil 22.** Antoni Gaudi'ye ait Art Nouveau stili sandalye (Gaudi, 1898-9)

Tabiidir ki tekil kullanımlar, uygulamalar her dönemde bulunabilmektedir; ancak bu çalışmada belirtmek istenen, dönemlere özgü tipi yaklaşımların ortaya konmasıdır. Yakın dönemlere gelindiğinde, tasarımcı bazında kullanımların mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 23).





Şekil 23. Tarihsel süreçte Kabriyal ayağın muhtemel kökenleri ve versiyonlarının yeri

### 3 Sonuç ve Öneriler

Çalışmanın sonuçları ve bu yönde sunulan öneriler aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır:

- Kabriyal ayağın aslını oluşturan iki önemli unsur bulunmaktadır: S kıvrımı ve hayvan bacağına referans veren detaylar. Hayvan bacağı ve ayağını yansıtan kullanımların Antik dönemde, özellikle Mısır'da kullanıldığı bilgisi literatürde yer almaktadır. Sonraları Roma döneminde ve Ortaçağ'da da bazı uygarlıklara ait mobilyalarda çeşitli hayvanlara yönelik kısmi figürlerin kullanıldığı da görülmektedir. Bu ayak tipleri incelendiğinde, Kabriyal ayağın iki önemli unsuru olan hayvan detayları (özellikle ayak, pençe vb.) ve ikili, yani S kıvrımının, bu örneklerde de yer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla Antik dönemdeki ve Ortaçağ'daki bu örneklerin, formal anlamda Kabriyal ayaklar için bir arketip niteliği taşıyabileceği düşünülmüştür.

Kabriyal ayağın, tam anlamıyla yani yerleşik tipoloji dahilinde kullanımının ise tarihsel süreçte, 17. yüzyılın sonlarına dayandığı görülmüştür. Kabriyal ayağın ilk örneklerine bu zaman diliminde rastlamak mümkündür.

- 18. yüzyılın başlarında, İngiltere'de Queen Anne dönemiyle birlikte, mobilya tasarımlarında Kabriyal ayaklar yaygın olarak görülmeye başlamıştır. Eşzamanlı denebilecek Fransız etkisi ile Kabriyal yaygınlaşmış, yüzyılın ortalarında, tam anlamıyla karakterize olmuş Kabriyal ayak ortaya çıkmıştır. XV. Louis döneminde etkili olan Rokoko stilinde üretilen mobilyalarda S kıvrımları benimsenmiş ve tipik Kabriyal ayak oluşmuştur. Bu döneme ait mobilyalarda ayak üstlerindeki oymalar da dikkat çekmektedir.

Bu döneme ait sandalye, masa ve depolama gibi pek çok mobilya türünde bu ayakların kullanıldığı görülmektedir.

- 18. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, İngiliz etkisi tekrar ağır başmış ve Dört Büyükler döneminin önemli temsilcisi Thomas Chippendale tarafından da Kabriyal ayakların kullanılması ile bu ayakların popülerliği daha da artmıştır. Döneminde oldukça önemli ve etkili bir İngiliz mobilya üreticisi olan Thomas Chippendale, Kabriyal ayaklarını tasarımlarına genellikle oyma detaylarıyla dahil etmiştir. Rokoko stilinde bu kullanım doruğa ulaşmıştır.
- Kabriyal ayaklar 18. yüzyılda Amerika’da da benimsenmeye başlamıştır. Amerikalı mobilya üreticileri, Kabriyal ayakları yerli malzeme ve tekniklerle birleştiren parçalar tasarlamış; bu ayakları yerel zevklere uyacak şekilde uyarlamışlardır.
- Kabriyal ayağının popüleritesinin doruğu 18. yüzyılda yaşanmışsa da etkisi sonraki dönemlerde de devam etmiştir. 19. ve 20. yüzyılda dahi mobilya tasarımcıları Kabriyal ayağı yeniden ele alıp yorumlayarak, onu çeşitli canlandırma tarzlarına ve modern tasarımlara entegre etmişlerdir.
- Kabriyal ayak, tarihsel süreçte kimi versiyonlarıyla gücü, kimi versiyonlarıyla ise zarafeti simgelemiştir. Yalnızca biçimsel bir öğe olmanın ötesinde, anlamsal değer taşıyan, mobilya tarihine damgasını vuran bir ayak tipi olmuştur. Üzerinde taşıdığı elemanı (örneğin oturma yüzeyi, depolama birimi, masa yüzeyi) nazikçe ön plana çıkaran, zarif fakat dirençli bir forma sahip olması, Kabriyal ayağı yüzyıllar boyu vazgeçilmez kılmıştır. Kısa versiyonları, çoğu zaman güçlü bir yapı sergilerken, uzun versiyonlar daha çok, kullandıkları mobilyaların inceliğine katkı sağlamıştır.
- Gotik dönem, Rönesans ve Barok dönemlerinde fazla yer bulamayan bu ayak tipinin, Régence ve Rokoko dönemlerinde yükseldiği; Queen Anne döneminde özellikle kalın Kabriyal ayakların tipik örneklerinin yer aldığı; Rokoko sonrasında, XVI. Louis döneminde, Kabriyal ayakların yerini tekrar düz ayakların aldığı; bu dönemi takip eden Directoire, Empire ve Biedermeier dönemlerinde de Kabriyal ayağa fazlaca yer verilmediği görülmektedir.
- Ülkemizdeki kullanımları ise Osmanlı İmparatorluğu dönemine uzanan Kabriyal ayaklı mobilyaların, özellikle Avrupa’daki kullanımları takiben coğrafyamızdaki saraylara dahil olduğu bilinmektedir.
- Günümüzde ise, klasik mobilya ile Kabriyal ayak neredeyse özdeşleşmiş durumdadır. Hatta, ülkemizde, tamamen modern bir yaklaşımla tasarlanmış mobilyalara Kabriyal ayak eklenmesi ile tarihsel veriler yönünden tutarlı veya tutarsız hibrit bazı mobilyalar ortaya konmaktadır. Burada önemli olan, kullanılan öğenin neyi temsil ettiğinin ve hangi döneme ait olduğunun bilinmesi gerektiği konusundaki farkındalıktır. Bu sayede, kullanılacak olan öğeyi biçimsel olarak ortaya çıkaran anlamsal altyapı, yani, bu öğenin görüldüğü dönem(ler)in sosyo-politik ve ekonomik yapısı, kültürel yapı, gündelik yaşam, kullanılan detayların temsil ettiği kavramlar gibi birçok veriden faydalanılmış olacaktır. Bu yaklaşım, mobilya tarihinin verilerini okuma ve gelecek tasarımlara yön verebilme konusunda kilit bir husus konumundadır.
- Kabriyal ayağın, yükselişte olduğu ve olmadığı dönemlerin koşullarının incelenmesi ve bu koşullar ile mobilya tasarımları ve daha da özelde, ayak tercihleri arasındaki bağlantının kurulması da ileri bir çalışmanın konusu olabilecektir.

### **Yazar Katkıları**

**Alım Selin Mutdoğan:** Araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, kaynaklar, denetleme, doğrulama, makale taslak oluşturma, makale yazma, inceleme ve düzenleme. **Gülçin Cankız**

**Elibol:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), metodolojinin belirlenmesi, araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, kaynaklar, denetleme, doğrulama, görselleştirme, makale taslak oluşturma, makale yazma, inceleme ve düzenleme.

### **Finansal destek beyanı**

Yazarlar bu çalışma için finansal destek beyan etmemiştir.

### **Çıkar çatışması**

Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemiştir.

### **Kaynaklar**

- Aras, R., Uzun, O. (2010), XV. Louis stili mobilyaların genel özellikleri ve günümüzdeki uygulamaları, *Politeknik Dergisi*, 13 (2), 131-141.
- Bal, B.C., (2018), The effects of some tool paths adjustments of CNC machines on surface roughness and processing time of fiberboards, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 1(1), 21-30.
- Bal, B. C., Kılavuz, M., (2015), İlk mobilya. *Selçuk University Journal of Engineering Sciences*, 3. Ulusal Mobilya Kongresi Özel Sayısı, 56-69.
- Belter, J. H., 1804-1863. (ca. 1855.), *Settee* [Wood (plant material); Hardwood.; Rosewood.]. Chicago Historical Society. <https://jstor.org/stable/community.14621281> (Son erişim: 03.09.2023)
- Boyla, O., (2012), *Mobilya Tarihi*, E-kitap. İstanbul
- Britannica, (2023), <https://www.britannica.com/topic/cabriole-leg> (Son erişim: 30.08.2023)
- Burton, H., (1923), *Tutankhamun tomb photographs: a photographic record in 5 albums containing 490 original photographic prints; representing the excavations of the tomb of Tutankhamun and its contents.* Vol. 3, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tutankhamun\\_tomb\\_photographs\\_3\\_160.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tutankhamun_tomb_photographs_3_160.jpg)
- Chippendale, T., (1754), The Gentleman and Cabinet-maker's Director: Being a Large Collection of Designs of Household Furniture in the Gothic, Chinese and Modern Taste. <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/591840> (Son erişim: 30.08.2023)
- Dyer, W. A., (1917), The english furniture styles III. The Georgian Period, *The Art World*, August, 472-475.
- Elibol, G. C. ve ark., (2014), How do we use the "past" for "future": an exemplary study regarding furniture designs, *SGEM 2014 International Multidisciplinary Scientific Conferences on Social Sciences and Arts, Proceedings Book - Arts, Performing Arts, Architecture and Design*, Bulgaria, 723-730.
- French Accents, (2023), <http://www.faccents.com/searchresults.php> (Son erişim: 30.08.2023)
- Gaudí, A., 1852-1926. (1898-9), *Chair: side view.* <https://jstor.org/stable/community.18123539> (Son erişim: 03.09.2023)
- Halsey, R. T. H., (1918), William Savery, the Colonial Cabinet-Maker, and His Furniture, *The Metropolitan Museum of Art Bulletin*, 13 (12), 254-267. <https://www.jstor.org/stable/3253628> (Son erişim: 03.09.2023)
- Histoire du Mobilier., (2023), <https://histoire dumobilier.com/style-regence/fauteuil-regence/> (Son erişim: 03.09.2023)

- Hunter, G. L., (1913), The Styles Of Charles II, William and Mary And Queen Anne: As Illustrated By Examples of Furniture in The Metropolitan Museum, *Arts & Decoration (1910-1918)*, 4 (2), 66-69. <https://www.jstor.org/stable/43807240> (Son erişim: 03.09.2023)
- Kurtoğlu, A., (1986), Mobilya Stillerinin Tarihi Gelişimi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, B 36 (3), 70-91.
- Library of Congress, (2023), <https://www.loc.gov/item/2021669235> (Son erişim: 05.09.2023)
- O'Donnell, R., (1996), Curly cherry highboy: combine hand and machine techniques to produce an American furniture classic. *Fine Woodworking*, March/April, 80-85.
- Özel, Y., (2020), Berjer koltuğun hikâyesi. *International Journal of Social and Humanities Sciences (IJSHS)*, 4(2), 137-164.
- Piranesi, G. B., European, Southern European, Italian, & Roman, 1720 - 1778, (artist), (about 1768), *Side Table* [Gilt oak, limewood, marble]. The Minneapolis Institute of Art; Minneapolis, Minnesota, USA; The Ethel Morrison Van Derlip Fund; 64.70; <http://www.artsmia.org/>. <https://jstor.org/stable/community.15647730> (Son erişim: 03.09.2023)
- Recent Accessions in American Art., (1967), *Bulletin of the Detroit Institute of Arts*, 46 (2) (1967), 34-39 Published by: The University of Chicago Press on behalf of the Detroit Institute of Arts, <https://www.jstor.org/stable/41504424> (Son erişim: 03.09.2023)
- The Met Museum., (2023), <https://www.metmuseum.org> (Son erişim: 03.09.2023)
- Tipping, A., (1920), English furniture of the cabriole period. VII.-Concluding Remarks, *The Burlington Magazine for Connoisseurs*, 36 (203), 78-79+82-83. <https://www.jstor.org/stable/860951> (Son erişim: 03.09.2023)
- Tipping, H. A., (1918), English furniture of the cabriole period: II-Seat Furniture. *The Burlington Magazine for Connoisseurs*, 33(187), 134-140. <http://www.jstor.org/stable/860750> (Son erişim: 03.09.2023)
- Thompson, C. H., (1937). *A Study of Design in Period Furniture as Exemplified by Chair Legs*. Master of Science Thesis, Oregon State Agricultural College.
- URL-1., (2023) Unknown. (Reign of Tutankhamun Nebkheperure (ca. 1347-1337 B.C.)), *Cow-bier* [Furniture: wood, gessoed, painted, and gilded]. Egypt: Cairo, Egyptian Museum, Tutankhamun catalogue no. 521; Egypt: Thebes, West Bank necropolis, tomb of Tutankhamun, KV 62, antechamber. <https://jstor.org/stable/community.11652750> (Son Erişim: 03.09.2023)
- URL-2., (2023), Desk: Empire. (c.1805-10), *JSTOR*, <https://jstor.org/stable/community.13756007> (Son Erişim: 30.09.2023)