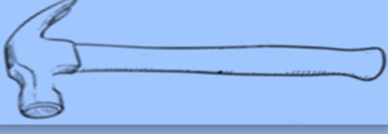
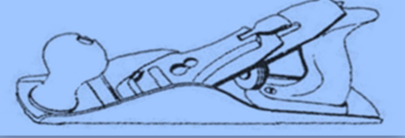


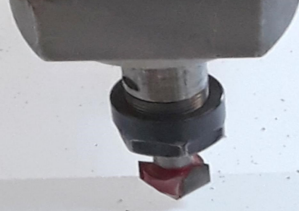
MOBİLYA ve AHŞAP MALZEME ARAŞTIRMALARI DERGİSİ



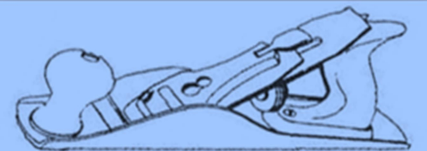
-MAMAD-



2024 - 7(2), 136- 298



**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

- Döviz kurunun ağaç ve ağaç ürünleri sektöründe seçilmiş göstergeler üzerindeki etkisi: Türkiye örneği**
The effect of exchange rate on selected indicators in the wood and wood products sector: the case of Türkiye 136-149
Mustafa Çayır , Nadir Ersen
- Some printing parameters affecting the screw withdrawal strength of materials used in joints developed in 3D printers for furniture**
Mobilyalar için 3B yazıcılarda geliştirilen birleştirmelerde kullanılan malzemenin vida tutma kapasitesini etkileyen bazı baskı parametreleri 150-162
Mesut Uysal
- Termo-vakum işlem görmüş sarıçamın boyutsal kararlılığının incelenmesi**
Dimension stability of thermo-vacuum treated scots pine wood 163-171
Hızır Volkan Görgün , Öner Ünsal
- Ahşap ve ahşap esaslı levhalara uygulanan boyaların yanmada ışık yoğunluğuna etkisi**
Effect of paints applied to wood and wood-based boards on light intensity in combustion 172-187
Hanife Kara , Cansu Özder , Hakan Keskin Musa Atar , Beyza Nur Karabal
- Çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmeleri için tasarlanan auksetik kavelaların sarıçam (Pinus sylvestris L.) ve kavak (Populus nigra L.) kontrplak ile tutma mukavemeti**
Holding strength of auxetic dowels designed for frame furniture joints in scotch pine (Pinus sylvestris L.) and poplar (Populus nigra L.) plywood 188-203
Erkan Ceylan , Ali Kasal , Jerzy Smardzewski Mehmet Yüksel Tolga Kuşkun
- Göz izleme teknolojisi ile ölçülen görsel ilginin mobilya satın alma tercihleri ile ilişkisinin belirlenerek talep tahmini yöntemi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi**
Determining the relationship between visual interest measured with eye tracking technology and furniture purchasing preferences and examining its usability as a demand forecasting method 204-219
Osman Göktaş , Engin Ergin , Kadir Cem Tuğcu
- Ergonomic risk analysis with OWAS method on some machines used by students taking training on furniture in vocational high schools**
Meslek liselerinde mobilya eğitimi alan öğrencilerin kullandıkları bazı makinelerde OWAS yöntemi ile ergonomik risk analizi 220-233
Ahmet Çakıcı , Abdurrahman Karaman , Sait Dündar Sofuoğlu
- Physiological and psychological effects of wooden materials used in sustainable alternative living spaces on human health**
Sürdürülebilir alternatif yaşam alanlarında kullanılan ahşap malzemelerin insan sağlığı üzerine fizyolojik ve psikolojik etkileri 234-249
İsmail Derda Güler , Önder Tor
- Sustainability management practices in the furniture sector: an analytical study**
Mobilya sektöründe sürdürülebilirlik yönetimi uygulamaları: analitik bir çalışma 250-265
M. Paşa Gültaş
- Effects of utilizing olive pits and waste melamine-impregnated paper in particleboard manufacturing on board properties**
Yongalevha üretiminde zeytin çekirdeği ve atık melamin emdirilmiş kağıt kullanımının levha özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi 266-280
İbrahim Halil Başboğa , Sefer Budak , Emre Karatağ , Doğan Memiş
- Palmiye ağacı yaprak kınlarının kompozit levha üretiminde değerlendirilmesi**
Evaluation of palm tree leaf sheats in composite panel production 281-292
Derya Ustaömer , Elif Topaloğlu , Murat Öztürk
- Effect of ethanol concentration as drying agent to the mechanical properties of oil palm lumber**
Yağ palmyesi kerestesinin mekanik özelliklerine kurutma maddesi olarak etanol konsantrasyonunun etkisi 293-298
Ahmad Fauzi Awang Othman , Mohd Fadzil Arshad , Junaiza Ahmad Zaki , Nik Hazlan Nik Hashim , Nur Hannani Abdul Latif , Amran Shafie



Döviz kurunun ağaç ve ağaç ürünleri sektöründe seçilmiş göstergeler üzerindeki etkisi: Türkiye örneği

Mustafa Çayır¹ , Nadir Ersen^{2*} 

ÖZ: Bu çalışmada, efektif döviz kurunun ağaç ürünleri sektörüne ait sanayi üretim endeksi, kapasite kullanım oranı, ithalat ve ihracat üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası'nın Veri Dağıtım Sisteminden ve TradeMap web adresinden elde edilmiştir. Analiz 2007-2023 arasındaki dönemi kapsamakta olup veriler aylık gözlemlerden oluşmaktadır. Tüm analizler kapasite kullanım oranı hariç bütün verilerin doğal logaritması alınarak gerçekleştirilmiştir. Walds doğrusallık testi ile serilerin doğrusal olup olmadığı tespit edilirken, Artırılmış Dickey-Fuller ve Philipps-Perron testleri ile serilerin durağan olup olmadığı ve kaçınıcı dereceden durağan oldukları tespit edilmiştir. Serilerin bazılarının doğrusal olmadığı ve söz konusu serilerin aynı düzeyde durağan olmadığı için yöntem olarak asimetrik etkileri hesaba katan doğrusal olmayan otoregresif gecikmesi dağıtılmış sınır testi (NARDL) kullanılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, efektif döviz kurundaki değişimler kısa ve uzun dönemde ağaç ürünlerine ait kapasite kullanım oranını, sanayi üretim endeksini, ihracatı ve ithalatı anlamlı düzeyde etkilemektedir. Sonuçlar ağaç ürünleri sektöründeki sektör temsilciler ve politika yapıcılar için bir yol haritası oluşturabilir.

Anahtar kelimeler: Efektif döviz kuru, Kapasite kullanım oranı, Sanayi üretim endeksi

The effect of exchange rate on selected indicators in the wood and wood products sector: the case of Türkiye

ABSTRACT: In this study, the effect of the effective exchange rate on the industrial production index, capacity utilization rate, import and export of the wood products sector was investigated. The data used in the study were obtained from the Data Distribution System of the Central Bank of the Republic of Türkiye and the TradeMap web address. The analysis covers the period from 2007 to 2023, and the data consists of month observations. All analyses were performed by taking the natural logarithm of all data except the capacity utilization rate. The Walds linearity test was used to determine whether the series were linear, while the stationarity of the series was determined with the Augmented Dickey-Fuller and Philipps-Perron tests. Since some of the series are non-linear and not stationary at the same level, non-linear autoregressive distributed lag limit test (NARDL), which takes into account asymmetric effects, was used as a method. According to the results of the research, changes in the effective exchange rate significantly affect the capacity utilization rate, industrial production index, export and import of wood products in the short and long term. The results can provide guidance for industry representatives and policy makers in the wood products industry.

Keywords: Effective exchange rate, Capacity utilization rate, Industrial production index

Makale tarihçesi: Geliş:22.05.2024, Kabul:01.10.2024, Yayınlanma:30.12.2024 *e-posta: nadirersen20@artvin.edu.tr.

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Finans ve Bankacılık Bölümü, Artvin/Türkiye,

²Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin MYO, Ormanlık Bölümü, Artvin/Türkiye.

Atf: Çayır, M., ve Ersen, N., (2023), Döviz kurunun ağaç ve e ağaç ürünleri sektöründe seçilmiş göstergeler üzerindeki etkisi: Türkiye örneği, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7 (2), 136-149, DOI: [10.33725/mamad.1488255](https://doi.org/10.33725/mamad.1488255)

1 Giriş

İmalat sektörü modern bir ekonomide katalitik bir rol oynamaktadır ve ekonomik dönüşüm için hayati önem taşıyan birçok dinamik faydaya sahiptir. İmalat sektörü, ticaretin genişlemesi için bir yoldur, hayati bir yenilik ve rekabet gücü kaynağıdır ve ihracata ve üretkenlik artışına çok büyük katkılar sağlar. İmalat sektörü, katma değeri, ekonominin üretim sektörlerine (madencilik ve tarım) ve alt hizmet sektörlerine olan bağlantıları nedeniyle en yüksek ekonomik çarpanlara da sahiptir (Mlambo ve McMillan, 2020). İmalat sektörlerinden biri olan ağaç ve ağaç ürünleri ülkemizin ekonomik kalkınması ve kırsal istihdam için önemli sektörlerinden biridir (Kara ve ark., 2019). Üretim değeri büyüklüğü bakımından, 2022 yılında 150,9 milyar TL üretim değeri ile ağaç ürünleri sektörü imalat sanayi içinde on beşinci yer almaktadır (TÜİK, 2022). Kapasite kullanım oranı açısından ise 2023 yılında ağaç ürünleri sektörü imalat sanayinin 4 puan üzerinde gerçekleşmiştir (TCMB, 2023). Bu sektör 2019 yılından itibaren dış ticaret fazlalığı veren sektörlerden biri de olmuştur (TradeMap, 2024).

İmalat sektörünün performansını etkileyebilecek çeşitli makroekonomik faktörler bulunmakta olup, bu faktörlerden biride döviz kurudur (Mlambo ve McMillan, 2020). Döviz kuru, bir ülkenin parasal rekabet gücünü ölçmenin bir yoludur. Döviz kurundaki genel değişikliklerin makroekonomik değişkenler üzerinde çarpan etkisi yaratma eğiliminde olması nedeniyle, bir ekonominin performans düzeyinin belirlenmesinde kullanılan önemli makroekonomik göstergelerden biridir. Önemli ekonomik değişken olan döviz kurunun değer kaybı veya değer kazanması, imalat sektörü başta olmak üzere ekonominin tüm sektörlerinin performansını etkilemektedir (Omolola ve ark., 2023). Döviz kurunun azalışı (bir ülkenin para biriminin değerinin artması), o ülkenin ihracatının azalmasına ve yabancı ülkelere daha fazla ithalat çekilmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda ise, yurt içi ekonomiden fon çıkışı olmakta ve yerli firmaların yatırım yapmak ve büyümek için kullanabileceği kaynak miktarı azalmaktadır. Öte yandan döviz kurunun artışı (para biriminin değerinin düşmesi) ise, ülkeyi yabancı yatırımlar için daha çekici hale getirmekte ve ürünlerini uluslararası pazarda daha rekabetçi hale getirmektedir. Sonuç olarak, yabancı şirketler ülkeye daha fazla yatırım yapma ve yerel mal ve hizmet talebini artırma eğiliminde olmaktadır. Bu da yerli endüstrilerin büyümesini teşvik etmekte ve ekonomik kalkınmayı hızlandırmaktadır (El Aboudi ve ark., 2023).

Araştırmanın amacı efektif döviz kurundaki artış ve azalışlarının ağaç ürünleri sektörünün kapasite kullanım oranı, sanayi üretim endeksi ve dış ticareti üzerindeki etkileri incelemektir. Bu amaçla 2007:01-2023:11 dönemine ait aylık veriler yardımıyla dört adet Doğrusal Olmayan Otoresif Gecikmesi Dağıtılmış (NARDL) modeli kurulmuştur.

1.1 Literatür Taraması

Bu kısımda ilk olarak Türkiye özelinde ve küresel boyutta ARDL ve NARDL yaklaşımları yardımıyla döviz kurunun ve efektif döviz kurunun dış ticaret, kapasite kullanım oranı ve sanayi üretim endeksi üzerine etkisine yönelik literatürde yer alan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra ise aynı konu üzerinde sektörel bazda yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Hançer (2019) ARDL sınır testini kullanarak 9 ülke (Malezya, Şili, Türkiye, Tayland, Filipinler, Endonezya, Meksika, Brezilya ve Güney Afrika) kapsamında döviz kuru değişikliğinin ihracat üzerindeki etkisini incelemiştir. İnceleme sonuçlarına göre, Tayland özelinde uzun dönemde efektif döviz kuru artışı ile ihracat arasında anlamlı ve negatif bir ilişki bulunurken Türkiye ve Meksika özelinde efektif döviz kuru artışı ile ihracat arasında anlamlı ve pozitif bir ilişki bulunmuştur. Çalışma kapsamındaki diğer ülkelerde ise uzun

dönemde döviz kurundaki değişikliklerin ihracat üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Longe ve ark. (2019) Nijerya özelinde reel efektif döviz kurunun ticaret üzerinde etkisi araştırılmıştır. Çalışmada verileri analiz etmek için hem ARDL hem de NARDL tekniği kullanılmıştır. ARDL sonuçlarına göre, reel efektif döviz kurunun Nijerya'daki ticaret hizmetleri üzerinde önemli bir olumsuz etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. NARDL bulguları ise, reel efektif döviz kurundaki hem negatif hem de pozitif değişimlerin Nijerya'daki ticaret üzerinde önemsiz bir olumsuz etkisinin olduğunu göstermiştir.

Dağlı (2021) Türkiye özelinde yaptığı çalışmada döviz kurunun ihracat ve ithalat üzerine etkisi araştırılmış olup, ARDL eş bütünleşme test sonuçlarına göre ulusal paranın değer kazanmasının ithalatı pozitif yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Akçağlayan (2022) tarafından yapılan ve NARDL modeli ile Türkiye özelinde ithalat ve ihracat üzerinde efektif döviz kurunun etkisinin incelendiği çalışmada, döviz kurundaki azalışın ihracatı negatif yönde etkilediği bulunurken, döviz kurundaki artışın ise ithalatı pozitif yönde etkilediği bulunmuştur.

Kayani ve ark. (2023) hem doğrusal hem de doğrusal olmayan Otoregresif Gecikmesi Dağıtılmış modelleri kullanarak Asya ülkeleri özelinde asimetrik döviz kurlarının ticaret akışları üzerindeki etkisini incelemiştir ve artan döviz kuru oynaklığının ihracat ve ithalat üzerindeki etkilerinin Pakistan, Malezya, Japonya ve Kore arasında farklılık gösterdiğini ortaya çıkarmaya çalışmışlardır.

Joshi ve ark. (2023) yaptığı çalışmada, Nepal'in ihracatında döviz kurunun kısa ve uzun vadeli eş-bütünleşmesi incelenmiştir. Eş-bütünleşmeyi test etmek için ARDL Sınır testi uygulanmıştır. Sonuçlar döviz kurunun Nepal'in ihracatı üzerindeki uzun vadeli ve kısa vadeli etkisinin olduğunu göstermektedir.

Sektörel bazda yapılan çalışmalar incelendiğinde ise, Eren Sarioğlu (2013) sınır testi ve ARDL yaklaşımı ile reel döviz kuru değişikliğinin kimya, otomotiv, elektrik-elektronik ve demir-çelik sektörlerinin ihracatlarına etkisini belirlemeye çalışmıştır. Döviz kuru değişikliğinin çalışma kapsamındaki sektörlerin ihracatı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı bulgusuna varılmıştır.

Tutueanu (2015) Romanya özelinde döviz kurunun orman ürünlerinin (lif levha, yonga levha ve kâğıt hamuru) ticaret dengesi üzerindeki dinamik etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, 1990'dan 2014'e kadar Romanya'nın yıllık orman ürünleri ticaret dengesini tahmin etmek için ARDL eşbütünleşme yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, döviz kurunun kısa dönemde Romanya'nın kâğıt hamuru ticaret dengesini etkileyeceği ve döviz kurunun hem kısa hem de uzun dönemde lif levha ve yonga levha ticaret dengesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamadığı gözlemlenmiştir.

Saraçoğlu ve diğerleri (2018) sektörel bazda Türkiye ile Almanya arasındaki dış ticarete döviz kuru ve döviz kurundaki belirsizliklerinin nasıl bir etkiye sahip olduğu analiz etmişlerdir. Döviz kuru ve döviz kurundaki belirsizliklerin ihracata ve ithalata etkisi sektöre göre farklılık gösterdiği ve reel döviz kuru ile kurlardaki belirsizliklerin Almanya ile dış ticarete payı yüksek olan sektörlerde daha belirleyici olduğu bulunmuştur.

Altı farklı sektörde faaliyet gösteren 68 işletmenin verileri ile yapılan çalışmada, Yaşar ve Küpçü (2020) Türk lirasında meydana gelen artış ile ihracat arasında negatif bir ilişki bulmuşlardır.

Yenigün ve Azizi (2022) döviz kurundaki değişikliklerinin imalat sektörüne ait istihdam, kapasite kullanım oranı ve gayri safi yurtiçi hasıla üzerindeki etkisini incelemişlerdir. ARDL yaklaşımı ile elde edilen bulgularına göre, döviz kurunun kapasite kullanım oranını pozitif yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Özen ve Yıldırım (2023) tarafından reel efektif döviz kuru ile deri ve deri mamulleri sektörünün ihracatı arasında ilişkiyi ARDL yaklaşımı ile belirlemeye yönelik yapılan çalışmada, sadece kısa dönemde döviz kurunun deri ve deri mamulleri ihracatına etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Bitrak (2023) ARDL tekniği kullanarak bazı makro ekonomik değişkenlerin selüloz (kâğıt hamuru) ithalatına etkisini incelemiştir. İnceleme bulgularına göre, döviz kurunda meydana gelen artışların selüloz ithalatını uzun dönemde negatif yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Sylvanus ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ARDL tekniği yardımıyla Nijerya özelinde döviz kurunun tarım endüstrisi üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Araştırmada döviz kurlarının tarım hacmi ve katma değer performansı üzerinde negatif ve önemsiz bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Döviz kurlarının tarımsal kapasite kullanımını etkilediği de tespit edilmiştir.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Efektif döviz kuru ile ağaç ve ağaç ürünleri sektöründe seçilmiş göstergeler arasındaki ilişki analiz amacıyla seçilmiş göstergeler olarak kapasite kullanım oranı, sanayi üretim endeksi, ithalat ve ihracat değerleri kullanılmıştır. Çizelge 1’de görüldüğü üzere, efektif döviz kuru, kapasite kullanım oranı ve sanayi üretim endeksi verileri Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası (TCMB) Veri Dağıtım Sisteminden (EVDS) elde edilirken, ağaç ve ağaç ürünleri sektörüne ait ihracat ve ithalat değerleri TradeMap web adresinden elde edilmiştir. Analiz, 2007’den 2023’e kadar olan aylık verileri kapsamaktadır. Tüm analizler kapasite kullanım oranı hariç bütün verilerin doğal logaritması alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan değişkenler

Değişken	Kısaltması	Veri Kaynağı
Efektif Döviz Kuru	EDK	TCMB
Kapasite Kullanım Oranı	KKO	TCMB
Sanayi Üretim Endeksi	SÜE	TCMB
İthalat	İth	TradeMap
İhracat	İhr	TradeMap

2.2 Metot

Efektif döviz kuru ile ağaç ve ağaç ürünleri sektöründe faaliyet gösteren firmaların kapasite kullanım oranları, sanayi üretim endeksleri ve dış ticaret (ithalat ve ihracat) değerleri arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla dört ayrı model kurulmuştur.

$$\text{Model 1: } KKO = \beta_1 * \ln EDK + \varepsilon$$

$$\text{Model 2: } SÜE = \beta_2 * \ln EDK + \varepsilon$$

$$\text{Model 3: } İth = \beta_3 * \ln EDK + \beta_4 * \text{Kukla değişkeni} + \varepsilon$$

$$\text{Model 4: } İhr = \beta_5 * \ln EDK + \beta_6 * \text{Kukla değişkeni} + \varepsilon$$

Modellerin kurulmasının ardından öncelikle analizde kullanılan serilerin doğrusal olup olmadığını belirlemek amacıyla Walds doğrusallık testi yapılmıştır. Değişkenlerin doğrusallığına ilişkin sonuçlar ise bulgular ve tartışma kısmında detaylı olarak bahsedilmiştir. Ayrıca bu değişkenler arasındaki kısa ve uzun dönemli ilişkilerin incelenmesi ve bu ilişkilerde asimetrik etkilerin tespit edilmesi de çalışmanın amaçlarından biridir. Belirlenen hedefler ve doğrusallık testlerinin sonuçları göz önüne alındığında, NARDL testi en uygun analiz yöntemi olarak seçilmiştir. NARDL tekniği, değişkenler arasındaki asimetrik ve doğrusal olmayan ilişkileri eş zamanlı olarak test etmemizi sağlayan dinamik bir çerçeve sunmaktadır (Shin ve ark., 2014). Bu teknikte eş bütünleşme için bütün değişkenlerin aynı düzeyde durağan olması gerekmemektedir. Örneğin, değişkenlerden bir I(0) diğeri I(1) düzeyde durağan olabilir. Bu tekniğin diğeri bir avantajı ise kısa ve uzun dönem katsayıları aynı anda modellenmektedir (Uçar ve Alsu, 2024). NARDL testi ve NARDL tabanlı hata düzeltme modeli (ECM) şu şekilde ifade edilebilir:

$$y_t = \sum_{j=1}^p \varphi_j y_{t-j} + \sum_{j=0}^q (\theta_j^+ X_{t-j}^+ + \theta_j^- X_{t-j}^-) + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$\Delta y_t = \rho \xi_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{q-1} (\pi_j^+ \Delta X_{t-j}^+ + \pi_j^- \Delta X_{t-j}^-) + e_t \quad (2)$$

Burada Y, hem NARDL modeli hem de NARDL tabanlı ECM için bağımlı değişken ve X bağımsız değişkendir. φ ve β otoregresif parametreleri temsil ederken, ξ doğrusal olmayan hata düzeltme terimini simgelemektedir. Ek olarak θ ve π sırasıyla NARDL modeli ve NARDL tabanlı ECM için gecikme parametrelerini belirtir ve ρ uzun vadeli parametreyi temsil eder. Son olarak, ε ve e sırasıyla NARDL modeli ve NARDL tabanlı ECM için hata terimlerini temsil etmektedir (Shin ve ark., 2014).

3 Bulgular

Çizelge 2'deki Walds doğrusallık test sonuçları incelendiğinde, ağaç ve ağaç ürünleri sektörüne ait kapasite kullanım oranı, sanayi üretim endeksi ve ihracat serilerinin doğrusal olduğu, efektif döviz kuru ve ağaç ve ağaç ürünleri ithalatı serilerinin ise doğrusal olmadığı tespit edilmiştir. Değişkenlerin doğrusallıklarına ilişkin elde edilen bulgulara göre, analizde yer alacak bazı değişkenlerin doğrusal olmaması nedeniyle, çalışmada doğrusal olmayan serilerin de analizine izin veren bir ekonometrik yöntem tercih edilmiştir.

Çizelge 2.Walds doğrusallık test sonuçları

Efektif Döviz Kuru		Kapasite Kullanım Oranı		Sanayi Üretim Endeksi		İthalat		İhracat	
Sabit	39,4*	Sabit	0,62	Sabit	13,02	Sabit	672*	Sabit	252
EDK(-1)	- 25,7*	KKO(-1)	- 1,11	SÜE(-1)	- 8,08	İth(-1)	- 180*	İhr(-1)	- 65,7
EDK ² (-1)	6,02*	KKO ² (-1)	2,51	SÜE ² (-1)	2,09	İth ² (-1)	16,3*	İhr ² (-1)	5,88
EDK ³ (-1)	- 0,45*	KKO ³ (-1)	- 1,05	SÜE ³ (-1)	- 0,16	İth ³ (-1)	- 0,48*	İhr ³ (-1)	- 0,17

Katsayıların yanında bulunan *, **, *** işaretleri, sırasıyla, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Serilerin durağan olup olmadığı ve kaçınıcı dereceden durağan olduklarının bilinmesi de analizde kullanılacak yöntemin seçiminde oldukça önemlidir. Bu çerçevede, analizde

kullanılan serilerin durağanlıkları Artırılmış Dickey-Fuller (ADF) ve Philipps-Perron (PP) testleri ile araştırılmıştır. Durağanlık testlerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 3'te yer almaktadır.

Çizelge 3. Durağanlık test sonuçları

	ADF		PP	
	Seviye	Birinci Fark	Seviye	Birinci Fark
InEDK	0,299	- 9,389*	0,375	- 11,27*
KKO	- 4,414*	-	- 4,01*	-
InSÜE	-1,119	- 5,445*	- 2,878**	- 32,37*
Inİth	-2,000	- 20,03*	-2,465	- 19,89*
Inİhr	- 0,499	- 12,48*	-1,665	- 34,88*

Test istatistik değerlerinin yanında bulunan *, **, *** işaretleri, sırasıyla, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Yapılan durağanlık testlerinden elde edilen sonuçlara göre, efektif döviz kuru hem ADF hem de PP testi için düzeyde durağan değilken, birinci dereceden farkı alındığında durağan hale gelmektedir. Kapasite kullanım oranı, iki teste göre de düzeyde durağandır. Sanayi üretim endeksi ADF testine göre düzeyde durağan değilken, birinci farkında durağan hale gelmektedir. Sanayi üretim endeksi değişkeni PP testine göre düzeyde % 5 anlam düzeyinde durağanken, birinci farkında % 1 anlam düzeyinde durağan hale gelmektedir. İthalat değişkeni, iki test için de düzeyde durağan değilken, birinci farkında durağan hale gelmektedir. İhracat değişkeni ise hem ADF hem de PP testine göre düzeyde birim kök içermekteyken, birinci farkında birim kök içermemektedir. Değişkenlerin ya düzeyde ya da birinci farklarında durağan oldukları görülmekte ve hiçbir değişkenin durağan hale gelmesi ilgili değişkenlerin birinci farkının üzerindeki mertebeleri bulmamaktadır.

Analizde kullanılacak serilerin bazılarının doğrusal, bazılarının ise doğrusal olmadığı, diğer yandan, yine söz konusu serilerin bazılarının düzeyde, bazılarının ise birinci farklarında durağan olduğu ancak hiçbir değişkenin ikinci ve daha yüksek mertebeden durağan olmadığı göz önüne alınarak, ekonometrik analiz için en uygun yöntemin doğrusal olmayan otoregresif gecikmesi dağıtılmış sınır testi olduğuna karar verilmiştir. Bu çerçevede, Türkiye’de efektif döviz kurunun ağaç ve ağaç ürünleri sektörüne ait kapasite kullanım oranı, sanayi üretim endeksi, ithalatı ve ihracatı üzerindeki etkilerini ortaya koymak üzere kurulan dört model NARDL yöntemi ile tahmin edilmiştir. Modellerin NARDL tahmin sonuçları Çizelge 4’te yer almaktadır.

Model-1 tahminine göre efektif döviz kurundaki değişmeler, uzun dönemde, ağaç ve ağaç ürünleri endüstrisinde faaliyet gösteren firmaların kapasite kullanım oranını anlamlı düzeyde etkilememektedir. Kısa dönemde, efektif döviz kurunda meydana gelen artış yönlü hareketlerin de sektörde kapasite kullanım oranını anlamlı düzeyde etkilemediği görülürken, efektif döviz kurundaki düşüş yönlü hareketlerin kapasite kullanım oranını düşürdüğü, % 10 anlam düzeyinde anlamlılıkla, saptanmıştır. Ağaç ve ağaç ürünleri üretimi yapan firmaların kapasite kullanım oranı, kendisinin bir dönem gecikmeli değerleriyle aynı yönde etkilendiği de, % 1 anlam düzeyinde, tespit edilmiştir. KKO’nun bir dönem önceki değişiminin negatif olması cari KKO’nu negatif etkilerken, bir dönem öncesinin pozitif olması ise içinde bulunulan dönemi pozitif etkilemektedir. Ağaç ve ağaç ürünleri alanında faaliyet gösteren firmaların kapasite kullanım oranına ilişkin herhangi bir dışsal şokun, her dönemde ‘- 0,171’ katsayısıyla bu şokun ortadan kalktığıda belirlenmiştir.

Çizelge 4. NARDL tahmin sonuçları

Modeller	Kısa Dönem Katsayıları (Standart Hata)	Uzun Dönem Katsayıları (Standart Hata)	NARDL Sınır Testi
Model-1	$\Delta \ln \text{EDK (+)}$	- 0,01 (0,03)	$\Delta \ln \text{EDK (+)}$ - 0,061 (0,175)
	$\Delta \ln \text{EDK (-)}$	- 0,117*** (0,07)	$\Delta \ln \text{EDK (-)}$ - 0,042 (0,12)
	KKO (-1)	0,189* (0,068)	
	ECT (-1)	- 0,171* (0,036)	
Model-2	$\Delta \ln \text{EDK (+)}$	-1,025** (0,474)	$\Delta \ln \text{EDK (+)}$ 1,048* (0,358)
	$\Delta \ln \text{EDK (-)}$	0,127 (0,092)	$\Delta \ln \text{EDK (-)}$ 0,348 (0,241)
	$\Delta \ln \text{SÜE (-1)}$	0,633* (0,055)	
	ECT (-1)	- 0,366* (0,054)	
Model-3	$\Delta \ln \text{EDK (+)}$	- 1,605** (0,688)	$\Delta \ln \text{EDK (+)}$ 1,877 (-1,442)
	$\Delta \ln \text{EDK (-)}$	0,509* (0,158)	$\Delta \ln \text{EDK (-)}$ 2,306* (0,589)
	$\Delta \ln \text{ith (-1)}$	0,779* (0,04)	Kukla - 0,853* (0,188)
	ECT (-1)	- 0,221* (0,039)	
Model-4	$\Delta \ln \text{EDK (+)}$	- 0,168 (0,153)	$\Delta \ln \text{EDK (+)}$ - 0,552 (0,493)
	$\Delta \ln \text{EDK (-)}$	- 0,261** (0,114)	$\Delta \ln \text{EDK (-)}$ - (0,337)
	$\Delta \ln \text{Ihr (-1)}$	- 0,235* (0,068)	Kukla 0,103 (0,076)
	ECT (-1)	- 0,305* (0,061)	

Test istatistik değerlerinin yanında bulunan *, **, *** işaretleri, sırasıyla, %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Yapılan Model-2 tahmininden elde edilen sonuçlara göre, uzun dönemde, efektif döviz kurunda meydana gelen pozitif değişmelerin ağaç ve ağaç ürünleri sanayi üretim endeksini, % 1 anlam düzeyinde anlamlılıkla, pozitif etkilediği görülmektedirken, EDK’da meydana gelen negatif değişmelerin sektörün sanayi üretim endeksi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığı anlaşılmaktadır. Kısa dönemde ise, EDK’da meydana gelen pozitif değişmelerin sektörel sanayi üretim endeksi üzerinde, % 5 anlam düzeyinde anlamlılıkla, negatif etkisi olduğu belirlenirken, EDK’daki negatif değişmelerin ise, endüstrinin SÜE üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Endüstriyel SÜE’i, kendisinin bir dönem gecikmeli değerleri tarafından, % 1 anlam düzeyinde anlamlılıkla aynı yönde etkilenmektedir. Diğer bir ifadeyle, sektörde bir dönem önceki SÜE’in meydana gelen pozitif değişmeler cari SÜE’ni pozitif etkilerken, bir dönem önce meydana gelen negatif değişmeler cari SÜE’ni negatif etkilemektedir. Ağaç ve ağaç ürünleri sanayi üretim endeksinde herhangi bir nedenle meydana gelen dışsal şokların ‘- 0,366’ katsayısıyla bu şokun ortadan kalktığıda tespit edilmiştir.

Üçüncü modelimizin tahmininden elde ettiğimiz bulgulara geçmeden önce belirtmemiz gerekir ki, ağaç ürünleri ithalatı serisi 2016 yılı temmuz ayında ülkemizde meydana gelen darbe olayı kaynaklı olarak bir kırılma yaşamıştır. Bu çerçevede, söz konusu kırılmayı açıklayabilmek ve düzeltmek amacıyla modele bir kukla değişken eklenmiştir. Bu bilgilerin ışığı altında, Model-3 tahminimizden elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, uzun dönemde, efektif döviz kurunda meydana gelen düşüş yönlü hareketler, ağaç ürünleri ithalatını % 1 anlam düzeyinde anlamlılıkla, pozitif etkilemekteyken, efektif döviz kurunda meydana gelen yükseliş yönlü hareketler ithalatı, anlamlı düzeyde etkilememektedir. Modele eklediğimiz kukla değişkenin de ithalatı % 1 anlam düzeyinde negatif etkilediği tespit edilmiştir. Özellikle darbe olayı ülkemizde ağaç ürünleri ithalatında aksamalara neden olmuştur. Söz konusu etki 2016 yılı temmuz ayında başlamış olup, yaklaşık 5 yıl sürerek, 2021 yılı temmuz ayına kadar sürmüştür.

Model-3 tahmininden elde edilen kısa dönem sonuçlarına göre ise, efektif döviz kurunda meydana gelen yükseliş yönlü hareketler ithalatı % 5 anlam düzeyinde anlamlılıkla negatif etkilerken, düşüş yönünde meydana gelen değişiklikler % 1 anlam düzeyinde anlamlılıkla pozitif etkilemektedir. Cari ağaç ve ağaç ürünleri ithalatı ise, kendisinin bir dönem önceki değerleriyle % 1 anlam düzeyinde anlamlılıkla aynı yönde bir ilişki içerisindedir. Ağaç ürünleri ithalatında herhangi bir nedenle meydana gelen dışsal bir şokun $-0,221$ katsayısıyla ortadan kalktığı saptanmıştır.

Dördüncü modelin tahmininden elde edilen sonuçları ifade etmeden önce, ağaç ürünleri ihracatı serisinde 2011 yılı mayıs ayında bir kırılma olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda, söz konusu kırılmayı açıklayabilmek ve düzeltmek amacıyla modele bir kukla değişken eklenmiştir. Bu bilgilerin ışığı altında, Model-4 tahminimizden elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, uzun dönemde, efektif döviz kurunda meydana gelen negatif yönlü hareketler, teorik beklentimize uygun olarak, ağaç ürünleri ihracatını % 5 anlam düzeyinde anlamlılıkla ve olumsuz etkilemekteyken, efektif döviz kurunda meydana gelen pozitif yönlü hareketlerin ve kırılma nedeniyle modele eklediğimiz kukla değişkenin ihracat üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamaktadır.

Son modelimiz olan Model-4'ün tahmininden elde edilen kısa dönem bulgularına göre ise, efektif döviz kurunda meydana gelen düşüş yönlü hareketler ağaç ve ağaç ürünleri ihracatını % 5 anlam düzeyinde anlamlılıkla negatif etkilerken, yükseliş yönlü hareketler ihracatı anlamlı düzeyde etkilememektedir. Cari ihracat, kendisinin bir dönem önceki değerleriyle % 1 anlam düzeyinde anlamlılıkla ters yönde bir ilişki içerisindedir. Ağaç ürünleri ihracatında herhangi bir nedenle meydana gelen dışsal bir şokun $-0,305$ katsayısıyla ortadan kalktığı belirlenmiştir.

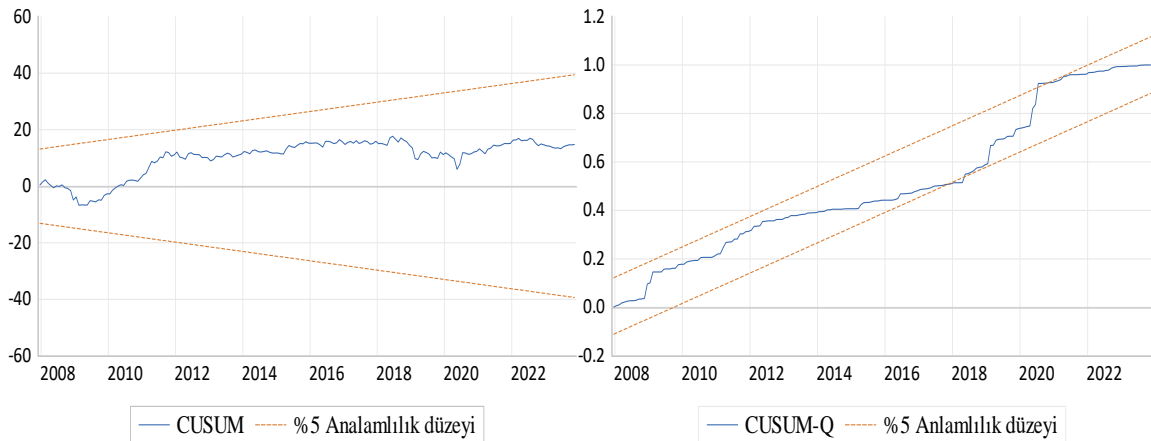
Modellerin tahmininin yapılmasının ardından, tahminlerin dirençliliğini ölçmeye yönelik tanı testleri yapılmıştır. Çizelge 5'te Cusum ve Cusum - q testleri haricindeki tanı testlerinin sonuçları yer almaktadır.

Tahminlerin geçerliliğine ve istikrarlılığına ilişkin yapılan F testleri ve RamseyReset testleri NARDL yöntemiyle yapılan dört tahminin de geçerli ve istikrarlı tahminler olduğunu göstermektedir. Breusch Godfrey Lagrange Çarpanı (BG LM) ve Breusch Pagan Godfrey (BPG) testlerinden elde edilen sonuçlara göre, Model-1 tahmininde değişen varyans ve otokorelasyon problemi olduğu görüşmüş olup, değişen varyansa ve otokorelasyona dirençli (HAC) varyans-kovaryans matrisi kullanılmıştır. Model-1 tahmini dışındaki diğer üç modelde Breusch Godfrey Lagrange Çarpanı ve Breusch Pagan Godfrey testlerine göre değişen varyans ve otokorelasyon problemi olmadığı tespit edilmiştir.

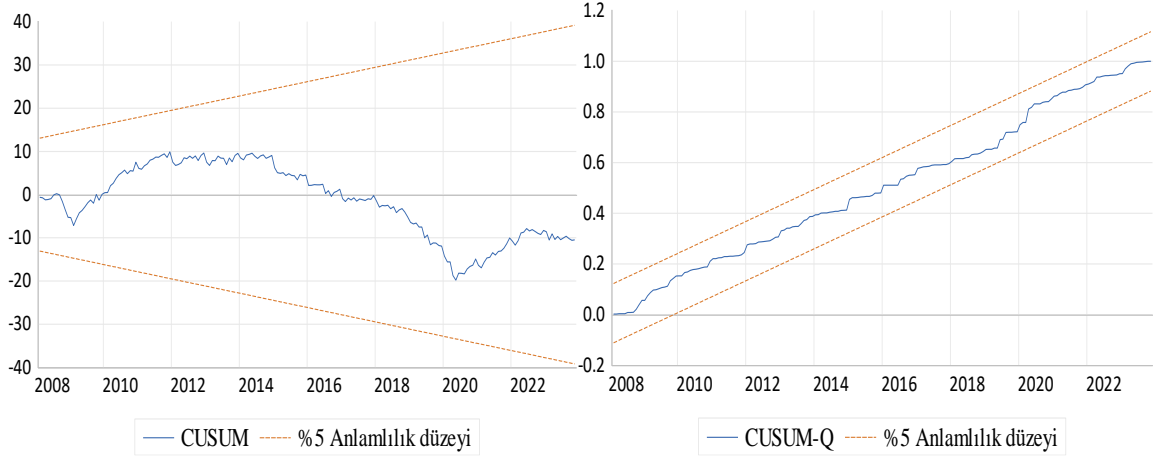
Çizelge 5. Tanı testleri

	Model-1	Model-2	Model-3	Model-4
R ²	0,7804	0,8695	0,8807	0,9007
Düzeltilmiş R ²	0,7724	0,8647	0,875	0,8981
F - İstatistiği	97,47 (0,0000)	180,87 (0,0000)	154,19 (0,0000)	353,84 (0,0000)
Log Olabilirlik	470,63	148,85	73,38	125,64
RamseyReset	0,081 (0,9353)	0,551 (0,5821)	1,443 (0,1507)	1,717 (0,1824)
BG LM	0,425 (0,65) HAC	1,187 (0,3174)	0,993 (0,5298)	1,133 (0,3242)
BPG	5,87 (0,00) HAC	0,749 (0,6304)	0,492 (0,8787)	0,863 (0,5489)
Jarque - Bera	197,73 (0,00) HAC	20,644 (0,0000)	42,945 (0,0000)	10,814 (0,0045)

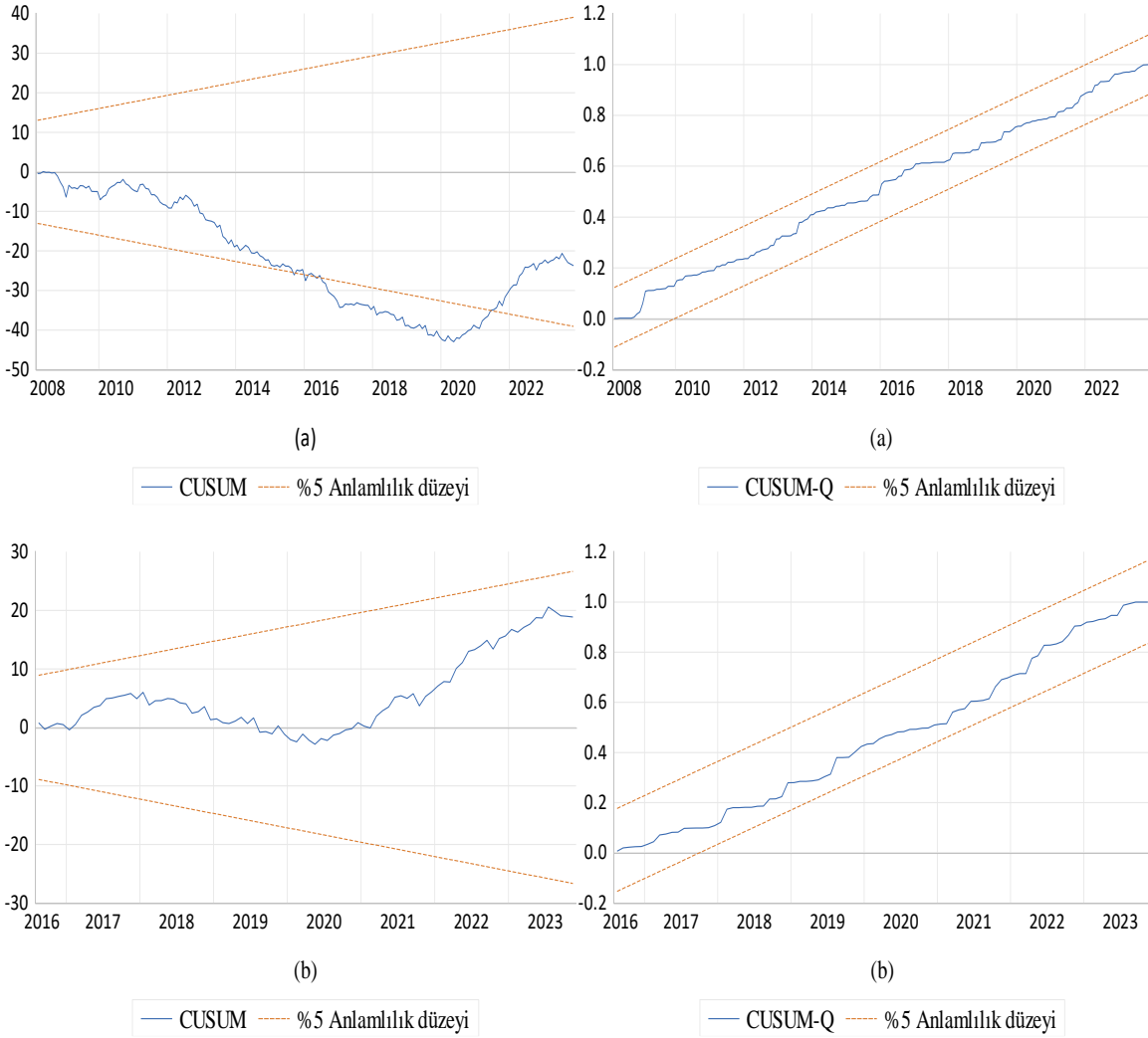
ARDL modellerinin istikrarlılığını tespit etmek için geri dönüşlü hata terimlerinin kullanarak değişkenlere ait yapısal kırılmaları inceleyen Cusum ve Cusum-Q grafikleri kullanılmıştır (Brown ve ark., 1975). Şekil 1 ve 2 incelendiğinde, ARDL modellerindeki değişkenlere ait uzun dönem katsayılarının kritik değerler arasında hareket ettiği görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, modellerde kukla bir değişkenin kullanılmadığı ve değişkenlere ait uzun dönem katsayılarının istikrarlı olduğu görülmektedir. Şekil 3'teki Cusum test sonucu incelendiğinde ise ARDL modelindeki değişkenlere ait uzun dönem katsayılarının 2016 ile 2021 yılları arasında kritik değerler arasında hareket etmediği görülmektedir. Kukla bir değişken kullanıldığında modeldeki değişkenlere ait uzun dönem katsayılarının kritik değerler arasında hareket ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 4 incelendiğinde görüleceği üzere Cusum-Q testi sonucuna göre %5 anlamlılık düzeyinde değişkenlerde yapısal kırılma olduğu görülmektedir. Kukla bir değişken eklendiğinde yapısal kırılmanın ortadan kalktığı görülmektedir.



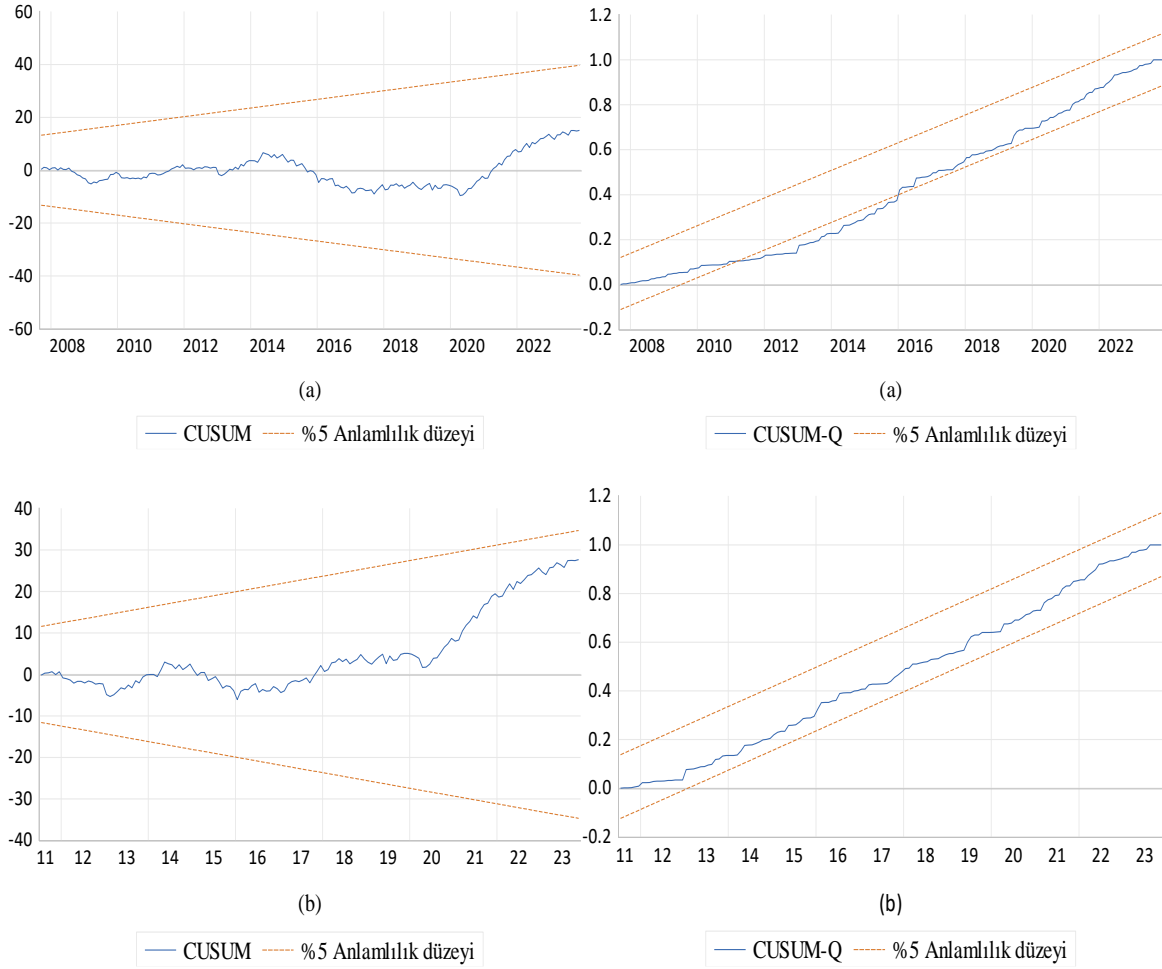
Şekil 1. Model-1 için Cusum ve Cusum-Q sonuçları



Şekil 2. Model-2 için Cusum ve Cusum-Q sonuçları



Şekil 3. Model-3 için kukla değişkensiz (a) ve kukla değişkenli (b) Cusum ve Cusum-Q sonuçları



Şekil 4. Model-4 için kukla değişkensiz (a) ve kukla değişkenli (b) Cusum ve Cusum-Q sonuçları

4 Sonuçlar ve Öneriler

- Hem uzun dönemde hem de kısa dönemde efektif döviz kurunda meydana gelen artışlar ile ağaç ürünleri sektörünün kapasite kullanım oranı arasında anlamlı bir ilişkinin olmadığı açıkça görülmektedir. Kısa dönemde ise efektif döviz kurunun azalışı ile kapasite kullanım oranı arasında doğru orantı bulunmaktadır.
- Efektif döviz kuru ile ağaç ürünleri sektörünün sanayi üretim endeksi ilişkisi dikkate alındığında, uzun dönemde efektif döviz kuru arttıkça sanayi üretim endeksinin de arttığı ve kısa dönemde ise döviz kurunun artması ile sanayi üretim endeksinin azaldığı gözlemlenmiştir.
- Efektif döviz kuru ile ağaç ürünlerinin dış ticareti arasındaki ilişki incelendiğinde, ağaç ürünleri ithalatında ve ihracatında yapısal bir kırılmanın olduğu saptanmıştır. İthalattaki kırılma 2016 yılının temmuz ayında başlamışken, ihracattaki kırılma ise 2011 yılının mayıs ayında başlamıştır. Bu kırılmadan dolayı hem ithalata hem de ihracata kukla değişkeni eklenmiştir. Bu kukla değişkeni ağaç ürünleri ithalatını negatif yönde etkilemektedir.
- Hem uzun dönemde hem de kısa dönemde efektif döviz kuru azalışı ağaç ürünleri ithalatını anlamlı düzeyde etkilenmektedir. Uzun dönemde ise efektif döviz kurunun artışı ağaç ürünleri ithalatı üzerinde önemli bir etkisi bulunmamaktadır.

- Türk liranın değer kaybetmesinin ihracatı her iki dönemde de anlamlı düzeyde etkilememesi teorik beklentilerimizle örtüşmemektedir. Bu durum, Marshall – Lerner koşulundan hareketle, ağaç ürünleri ihracatının reel döviz kuru esnekliğinin tek taraflı, yani sadece Türk Lirasının değer kazanması durumunda çalıştığı anlamına gelmektedir. Türk Lirasının değer kaybetmesi durumunda ise, ağaç ürünleri ihracatı sıfır ya da sıfıra çok yakın bir esneklik katsayısıyla söz konusu olguya kayıtsız kalmaktadır. Elde edilen bu sonuç ağaç ve ahşap tüketicisinin karakteristik yapısından kaynaklanabileceği gibi, iç ticaret haddi başta olmak üzere, iç ve dış ticaret hadlerinden de kaynaklanabilir.
- Ağaç ürünlerinin ihracatını arttırabilmek için uluslararası fuar katılımlarının artırılması, ülkemizde ağaç ürünleri üretiminin yoğun olduğu bölgelerde uluslararası fuarlar düzenlenmesi, dünyanın farklı yerlerinde sektöre ilişkin yeni iş ilişkilerinin kurulması, ülkemizde üretilen ağaç ürünlerinin kalitesinin artırılması gibi döviz kuru dışında kalan etkenlere önem verilmesi ve bu tip faaliyetlerin politika yapıcılar tarafından teşvik edilmesi daha isabetli olacaktır.
- İthalatın döviz kuruna duyarlı olması, döviz kurundaki artışların uzun dönemde sektörün sanayi üretim endeksini artırıyor olması ve Türk lirasının değerlenmesinin kısa dönemde kapasite kullanım oranı üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında, döviz kurunda meydana gelen düşüşlerin ağaç ürünleri üretim sektörünü açıkça olumsuz etkilediği söylenebilir. Söz konusu sektörde üretim faaliyetinde bulunan sektör temsilcilerinin ve politika yapıcıların elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda bir yol haritası oluşturması sektörün geleceği ve devamı bakımında faydalı olacaktır.
- Literatürde döviz kuru ve döviz kuru oynaklığının dış ticaret üzerine etkisine yönelik birçok çalışma bulunmakta olup, hem döviz kurun sektörel bazda dış ticaret hem de döviz kurunun kapasite kullanım oranı ve sanayi üretim endeksi üzerine etkisine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Özellikle ağaç ve ağaç ürünleri özelinde ise böyle bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çerçevede, bu çalışma ile literatüre katkı sağlanmış olacaktır.

Yazar Katkıları

Nadir Ersen: Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), proje yönetimi, metodolojinin belirlenmesi, araştırmanın yapılması, kaynaklar, makale taslak oluşturma, makale yazma, inceleme ve düzenleme. **Mustafa Çayır:** kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), proje yönetimi, metodolojinin belirlenmesi, analizlerin yapılması, veri iyileştirme, görselleştirme, makale yazma, inceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Akçağlayan, A., (2022). Döviz kuru değişikliklerinin ihracat ve ithalat üzerindeki asimetrik etkileri, dünden bugüne iktisadi ve finansal konular üzerine tartışmalar, Eren, AA., Güneşer Bozda, E, (Eds.), Gazi Yayın Dağıtım, Ankara, ss. 223-235.

Bıtrak, O.O., (2023). Türkiye kâğıt sanayisinde selüloz ithalatı: eş bütünleşme için artırılmış otoregresif dağıtılmış gecikmeli (ARDL) model ile sınır testi yaklaşımı, *Alanya Akademik Bakış Dergisi*, 7(3), 1043-1061, DOI: [10.29023/alanyaakademik.1191253](https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.1191253)

- Dağlı, Ö., (2021). Döviz kurundaki değişikliğin Türkiye dış ticaretine etkisi, *Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Hatay, Türkiye.
- El Aboudi, S., Allam, I., & El Bakkouchi, M., (2023). ARDL modeling and analysis of the impact of the interaction between the exchange rate and inflation on economic growth in Morocco, *Revue Française d'Economie et de Gestion*, 4(6), 168 - 187.
- Eren Sarıoğlu, S., (2013). Reel döviz kuru belirsizliğinin Türkiye'nin ihracatına etkisi: farklı sektörler üzerine bir analiz, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(1), 77-92.
- Hançer, S., (2019). Yükselen piyasa ekonomilerindeki döviz kuru oynaklığının ihracata etkisi, *Gebze Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Gebze, Türkiye.
- Joshi, UL., Poudel, KP., Neupane, R., & Pathak, P., (2023). An impact of exchange rate on export in Nepal. *International Research Journal of MMC (IRJMMC)*, 4(1), 99–108. DOI: [10.3126/irjmmc.v4i1.51867](https://doi.org/10.3126/irjmmc.v4i1.51867)
- Kara, O., Şahin, Ö., Bekar, İ., ve Kayacan, B., (2019). Endüstriyel ağaç ve ahşap ürünleri sektörünün uluslararası rekabet gücü analizi: Türkiye örneği, *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 15(1), 15-32.
- Kayani, UN., Aysan, AF., Gul, A., Haider, SA, & Ahmad, S., (2023). Unpacking the asymmetric impact of exchange rate volatility on trade flows: a study of selected developed and developing Asian economies, *PLoS ONE*, 18(10), e0291261, DOI: [10.1371/journal.pone.0291261](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291261)
- Longe, AE., Adenola, F., Balogun, AM., & Muhammad, S., (2019). Asymmetric and non-asymmetric impact of real effective exchange rate on trade in Nigeria, *Izvestiya Journal of Varna University of Economics*, 63(4), 259-274, DOI: http://journal.ue-varna.bg/uploads/20200306074117_3121170615e61fe9d84f70.pdf
- Mlambo, C., & McMillan, D., (2020). Exchange rate and manufacturing sector performance in SACU states, *Cogent Business & Management*, 7(1), 1-16, DOI: [10.1080/23311975.2020.1787735](https://doi.org/10.1080/23311975.2020.1787735)
- Omolola, O.E., Rasaki, G.M., & Addo, G.O., (2023). The Effect of exchange rate fluctuation on the performance of the manufacturing sector in Nigeria (1990-2020), *Journal of Stock & Forex Trading*, 10(3), 235, DOI: [10.21203/rs.3.rs-2462504/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2462504/v1).
- Özen, E., & Yıldırım, A.E., (2023). Türkiye'de reel efektif döviz kurunun deri ve deri mamulleri ihracatı üzerinde etkisi var mı?, *Mali Çözüm*, 33(175), 65-81.
- Saraçoğlu, B., Açıkgöz, Ş., & Çatalbaş, K.G., (2018). Döviz kuru oynaklığının Türkiye'nin Almanya ile mal ticareti üzerine etkileri, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18, 39-58. DOI: [10.18037/ausbd.552677](https://doi.org/10.18037/ausbd.552677).
- Shin, Y., Yu, B., & Greenwood-Nimmo, M., (2014). Modelling asymmetric cointegration and dynamic multipliers in a nonlinear ARDL Framework, In: *Festschrift in Honor of Peter Schmidt Sickles, R., Horrace, W. (Eds.), Springer, New York*, pp. 281-314, DOI: [10.1007/978-1-4899-8008-3_9](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8008-3_9)
- Sylvanus, U.F., Edet, IV., & Lynda, I.D., (2023). Foreign exchange fluctuations on the performance of agricultural export in Nigeria, *Economy*, 10(1), 10-18, DOI: [10.20448/economy.v10i1.4703](https://doi.org/10.20448/economy.v10i1.4703)
- TCMB, (2023). İmalat sanayi kapasite kullanım oranı, <https://www.tcmb.gov.tr> (Erişim tarihi: 01.05.2024)

- TradeMap, (2023). List of supplying markets for a product imported and exported by Türkiye, Product: 44 Wood and Articles of Wood; Wood Charcoal, <https://www.trademap.org> (Erişim tarihi: 01.05.2024)
- Tutueanu, G., (2015). Measuring the influence of the j-curve effect on trade in Romanian forest products. *Theoretical and Applied Economics*, 22(4), 75-84. DOI: <http://store.ectap.ro/articole/1132.pdf>
- TÜİK, (2022). Yıllık sanayi ve hizmet istatistikleri, <https://biruni.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi: 01.05.2024)
- Uçar, İH., & Alsu, E., (2024). Döviz kuru dış ticaret ilişkisi: Türkiye örneği, *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 24, 78-93, DOI: [10.58724/assam.1453212](https://doi.org/10.58724/assam.1453212)
- Yaşar, E., & Küpcü, O., (2020). Reel döviz kurunun firmaların ihracat performansına etkisi: farklı sektörlerdeki firmalar üzerine ampirik bir inceleme, *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences*, 6(3), 67-78.
- Yenigün, B., & Azazi, H., (2022). Döviz kurundaki değişikliklerin imalat sanayi istihdamı üzerine etkisi: Türkiye için ampirik bir uygulama, *Troyacademy*, 7(3), 426-454, DOI: [10.31454/troyacademy.1166349](https://doi.org/10.31454/troyacademy.1166349)



Some printing parameters affecting the screw withdrawal strength of materials used in joints developed in 3D printers for furniture

Mesut Uysal^{1*} 

ABSTRACT: This study examined to benchmark the screw withdrawal strength (SWS) of the 3D-printed PLA materials considering various infill patterns and ratios. SWS is one of the critical material properties for furniture joints. For this purpose, dimensions of $10 \times 50 \times 50$ mm specimens made of PLA+ were printed according to ASTM D 6117-18. Three infill patterns (line, grid, and concentric) and four infill ratios (25%, 50%, 75%, and 100%) were used as printing parameters to construct a complete 3×4 factorial experiment. According to the results, line infill patterns had the highest density compared to the grid and concentric patterns for all infill ratios. Concentric infill patterns with an infill ratio of 100% (108.41 MPa) had the greatest SWS. Grid infill patterns provided higher strength at the lower infill ratios than line and concentric infill patterns. Here, diffusion for interfaces of strands affected the SWSs of the 3D-printed materials. This study would provide insight into the 3D-printed joints in the field of furniture mechanics.

Keywords: Polylactic acid, 3D printing, Furniture joint, Screw withdrawal strength

Mobilyalar için 3B yazıcılarda geliştirilen birleştirmelerde kullanılan malzemenin vida tutma kapasitesini etkileyen bazı baskı parametreleri

ÖZ: Bu çalışma, çeşitli dolgu desenleri ve oranları dikkate alınarak 3D baskı ile üretilen PLA malzemelerinin vida çekme dayanımını (VÇD) karşılaştırılmasını incelemiştir. VÇD mobilya birleştirmeleri için önemli bir malzeme özelliğidir. Bu amaçla, ASTM D 6117-18 standardına göre $10 \times 50 \times 50$ mm boyutlarında numuneler basılmıştır. 3×4 faktörel deney için üretim parametreleri olarak üç dolgu deseni (çizgi, ızgara ve konsantrik) ve dört dolgu oranı (%25, %50, %75 ve %100) kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, çizgi dolgu desenleri, tüm dolgu oranlarında ızgara ve konsantrik desenlere kıyasla en yüksek yoğunluğa sahip olmuştur. %100 dolgu oranına sahip konsantrik dolgu desen en yüksek VCD'na sahiptir (108,01 MPa). Düşük dolgu oranlarında ise ızgara dolgu desenleri, çizgi ve konsantrik dolgu desenlerine göre daha yüksek dayanım sağlamıştır. Burada, ipliklerin arayüzleri için oluşan difüzyon 3B baskılanan malzemelerin VDC'lerini etkilemektedir. Bu çalışma, mobilya mekaniği alanında 3B baskı ile üretilen birleştirmelere dair öngörüler sunacaktır.

Anahtar kelimeler: Polilaktik asit, 3B yazdırma, Mobilya birleştirme, Vida tutma kapasitesi

Article history: Recieved:25.09.2024, Accepted:23.11.2024, Published:30.12.2024. *e-mail: mesut.uysal@btu.edu.tr, Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Bursa/Türkiye.

To Cite: Uysal M. (2024), Some printing parameters affecting the screw withdrawal strength of materials used in joints developed in 3D printers for furniture, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 7 (2), 150-162, DOI: [10.33725/mamad.1555655](https://doi.org/10.33725/mamad.1555655)

1 Introduction

3D printing, also called additive manufacturing (AM), has brought recent opportunities to produce parts/products with high precision in digital design manufacturing. Initially used for rapid prototyping, it now encompasses various applications from aerospace to medical devices. Manufactured parts/products are easy to operate and assemble in their final products. Likewise, the popularity of 3D printing technology has evolved significantly in the manufacture of plastic-based furniture joints in the furniture industry.

3D-printed joints for furniture have recently been interesting in examining their strength. Aiman et al. (2020) developed a joint for modular furniture and stated that PETG provided a higher strength joint than ABS, and the design geometry of the joint was effective on joint strength. Nicolau et al. (2022) compared the strength of wooden mortise, tenon (MT) and 3D-printed three-dimensional joints. MT joints had higher strength by 47% and 133% than 3D-printed joints in tension and compression, respectively. Changes in joint design and raster orientation in 3D printing were suggested for higher strength. Nicolau and Çoşeranu (2024) changed the design of joints, and 3D-printed joint strength in tension was higher by 30% than MT joints made of beech wood, but those of compression were lower by 23%. Development of L- or T-shaped joint design in additive manufacturing via fused deposition modeling (FDM) method may not provide intended strength because raster orientation for strands is $90^\circ/90^\circ$ in the transition from horizontal to the vertical stipe. Hajdarevic et al. (2023) showed that failure occurred at the transition from vertical to horizontal stripe with discontinuities in the layers. Therefore, a single-direction furniture joint with $0^\circ/0^\circ$ raster orientation (through the length of the joint) and developing its self-locking system may provide sufficient strength. Smardzewski et al. (2016) developed dual-conical joints for modular furniture. Demirel et al. (2024) compared the strength of the 3D-printed dowel joints with different surface patterns and found that joint strength with 3D-printed was not significantly different from that of wood dowels. In order to increase joint strength with dowels, auxetic dowels for furniture joints were developed and their experimental and numerical results were discussed (Kasal et al., 2020, Kuşkun et al., 2021 & Kasal et al., 2023). Newly developed invisible and self-locking system joints were developed by Krzyaniak and Smardzewski (2019), Podskarbi and Smardzewski (2019) and Krzyaniak et al. (2021). The studies mentioned above showed that 3D-printed joints could provide sufficient strength for the furniture. However, in some cases, FDM method may not provide high-precision printing for models such as fine-threaded fasteners. Hence, using metal fasteners for joint-to-joint and joint-to-member assembly could be an intermediate method.

Feng et al. (2020) developed bistable joints and used connectors with short-treated bolts to fasten joints and plastic pipe furniture elements. Even though material strength for 3D-printed furniture joints has been investigated, such as tensile and bending properties, their screw withdrawal strength (SWS) has not been investigated since screws play a critical role in self-locking systems in furniture joints. However, it was discussed for wood plastic composite materials (Haftkhani et al., 2011 & Ghanbari et al., 2014). In order to provide sufficient strength in furniture joints, the properties of materials such as wood-plastic composites, wood-based composites and solid wood come to the fore. The performance and quality of 3D-printed parts are highly dependent on the optimization of several printing parameters. Layer height or the thickness of each printed layer and width are crucial parameters in determining the printed resolution of an object and surface finish. The higher layer thickness results in lower material strength owing to the greater distance between the nozzle and deposited material during extrusion, correspondingly, it causes lower pressure. Besides, greater layer thickness reduces the cooling time of the material, so layers adhere inadequately to each other

(Wang et al., 2020). Optimization of layer height involves balancing the desired resolution with practical constraints such as print speed and material properties. While the layer height can be assigned in the slicing of the 3D model, layer width is regarding to nozzle die and diameters for material flow. Sharma et al. (2021) stated that nozzle dies with various shapes (circular, rectangular, etc.) provide faster prototyping and printing of plant-based materials for large-scale and complex products.

The infill ratio refers to the amount of material used inside the printed part. Higher infill ratios increase the strength and durability of the part and increase material consumption and print time. Lower infill ratios reduce material usage and printing time but may compromise the structural integrity of the parts (Alvarez et al., 2016). The choice of infill ratio depends on the application requirements and the desired balance between strength and material efficiency. Bardiya et al. (2021) highlighted that the highest flexural strength was obtained for the parameters of 0,3 mm layer thickness, 30° raster orientation, and 80% infill ratio while those of tensile were 0.2 mm, 30°, and 80%, respectively. Evlen et al. (2019) stated that increasing the infill ratio from 10% to 30% enhanced material strength by 38% while those of 30% to 50% were 32%. In a tensile test, the increase in the infill ratio from 15% to 50% and 50% to 100% were 18.53% and 59.80%, respectively. Those of ABS were 28.05% and 45.73% (Öz et al., 2018). It can be said that an increase in the infill ratio does not result in a linearly proportional increase in material strength. Infill ratio was the most particular parameter compared to the infill pattern and nozzle temperature (Zurnacı, 2023). Kam et al. (2019) examined the effects of the infill patterns on the tensile strength of the 3D-printed PETG and concluded that the rectilinear pattern had the highest strength followed by triangular, grid, and honeycomb.

Temperature control is vital in 3D printing affecting material flow and adhesion. Different materials require different extrusion temperatures to achieve optimal performance. For example, PLA typically prints at lower temperatures compared to ABS. Inconsistent temperature can lead to issues such as warping, poor layer adhesion or stringing. On the other hand, the material is almost liquid and partially thermally degraded if the nozzle temperature is too high (Sin et al., 2013 & Re et al., 2014). If applicable, proper calibration of the hot end and heated bed is essential for optimal print quality. Wang et al. (2020) stated that an increase in temperature from 195 °C to 210 °C improved the material strength. Still, an increase in temperature from 210 °C to 220 °C slightly changed them. However, there was a dramatic reduction in elongation at the break because fragility was increased due to thermal degradation. Similarly, Premphet et al. (2023) observed a dramatic decrease in compression strength of 3D-printed PLA with an increase in the nozzle temperature from 215 °C to 235 °C. In PLA, yield strength in the tensile test was the highest at the temperature of 215°C followed by 210 °C and 190 °C, and the lowest at 200 °C. Aydın et al. (2019) observed that the tensile strength of 3D-printed PLA was greater with the increase in temperature from 190 °C to 220 °C, but lower with the increase in printing speed from 30 mm/s to 70 mm/s.

The choice of material significantly impacts the final properties of the products. Common materials include PLA, ABS, PETG, and more advanced composites. Each material has its own set of printing parameters and characteristics such as melting temperature, flexibility, and strength. The material selection should align with the desired mechanical properties and functionality of the printed part. Kamer et al. (2021) observed that nozzle and bed temperatures affected the flexural strength of 3D-printed ABS by 15% but did not significantly affect the results. Besides, changes in bed temperatures did not significantly affect the material strength of 3D-printed PLA. Still, a decrease in nozzle temperature dramatically decreased its flexural strength due to low ductility/higher fragility. Filament

color significantly affected the percent crystallinity of material due to ingredients in their color pigment (Wang et al., 2020).

This study aims to investigate various infill patterns and ratios on the SWS of the 3D-printed materials. In doing so, three infill patterns; namely, line, grid and concentric, and four infill ratios (25%, 50%, 75% and 100%) were examined. In doing so, it would be provided an insight the selection of infill ratio to reduce material cost and printing time, and infill pattern to provide sufficient strength in the case of the use of screws in the furniture joint.

2 Material and Method

2.1 Material

In this study, PLA+ filament was used. PLA is the most preferable material in furniture joints and bioplastic/biodegradable polymer to print in the FDM, a renewable resource derived from corn sugar, potato, and sugar cane (Drumright et al., 2000). Some properties of the filament used in the study are given in Table 1. A DIN 45 3.5 × 45 mm particleboard screws were used.

Table 1. Some properties of the PLA+ filaments (URL – 1)

Density	Tensile Strength	Flexural Strength	Flexural Modulus	Heat Distortion Temperature	Melt Flow Index
1.23 g/cm ³	63 MPa	74 MPa	1973 MPa	53°C	5 (190 °C/2.16 kg)

2.2 Method

2.2.1 3D printing

All samples were modeled on AutoCAD 2025 with dimensions of 10 × 50 × 50 mm according to ASTM D6117 18 (2016). Sample thickness was selected as 10 mm because samples depart from the platform at 100% infill ratio due to thermal conductivity. The models were sliced on Creality Slicer 4.8 software to establish printing parameters. Printing parameters are given in Table 2. The infill ratios and patterns are given in Figure 1. All samples were printed on a Creality Ender-3 V2 Neo 3D printer (Figure 2).

Table 2. Printing parameters used in slicing of the specimen

Parameters	Description
Nozzle temperature	220 °C
Bed temperature	60 °C
Nozzle diameter	0.4 mm
Layer thickness	0.3 mm
Flow rate	100%
Printing speed	50 mm/min
Raster orientation	0°/0°
Number of wall layers	2
Number of top/bottom layers	2

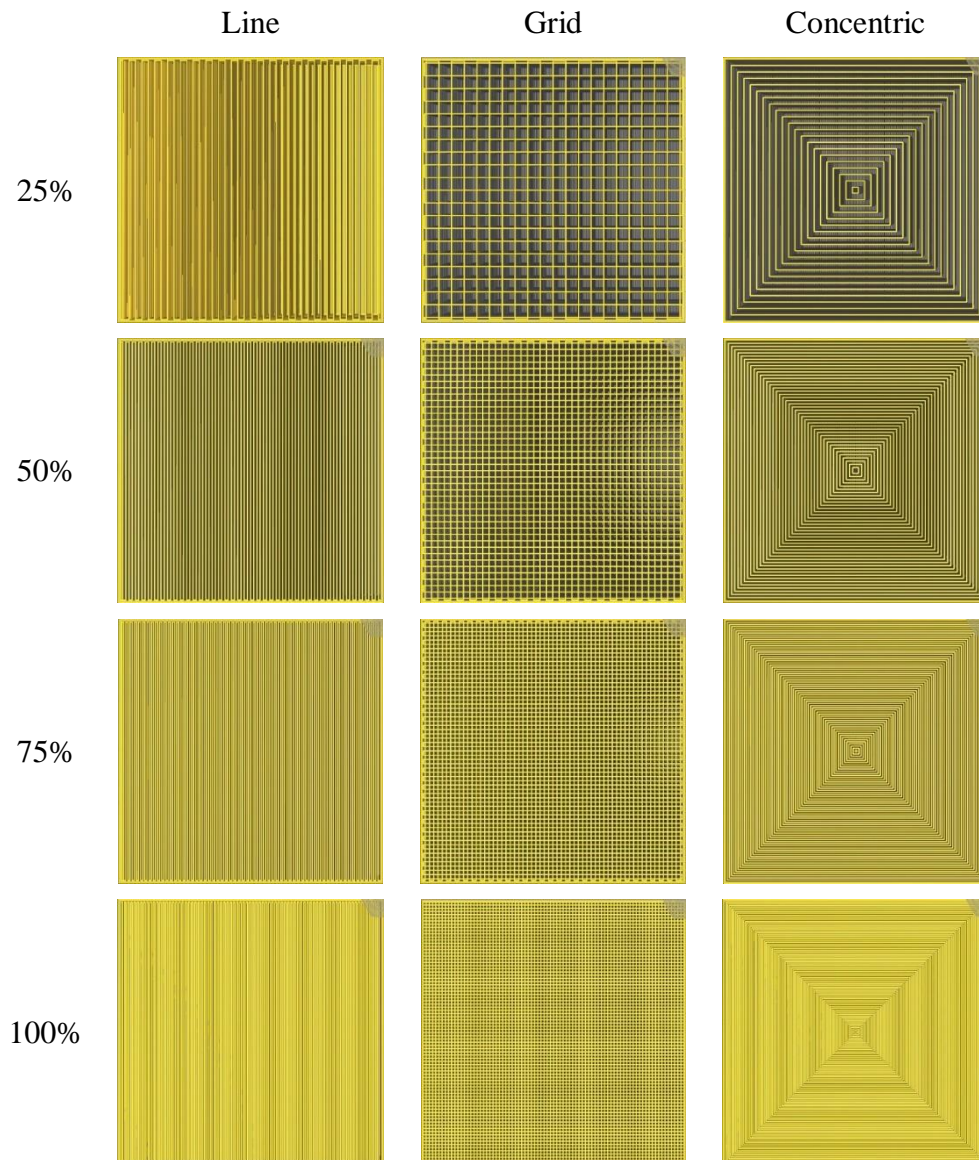


Figure 1. Infill ratio and patterns used in the study

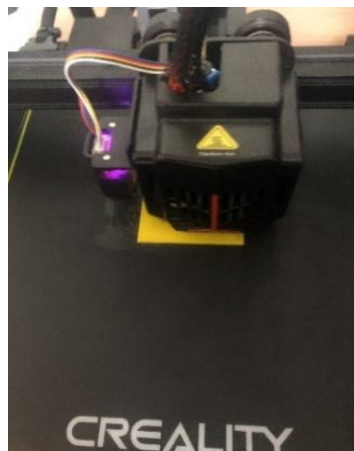


Figure 2. 3D printing for specimens.

2.2.2 Sample Preparation

All samples were drilled for a pilot hole with a diameter of 2.80 mm at the center of the specimens (Figure 3a). Then, 3.5 × 45 mm screws were screwed until at least three teeth protruded to ensure that the full-diameter of the screws was embedded in the pilot hole (Figure 3b). This study examines three infill patterns and four infill ratios, correspondingly, twelve sample groups. Five specimens were replicated in each sample group.

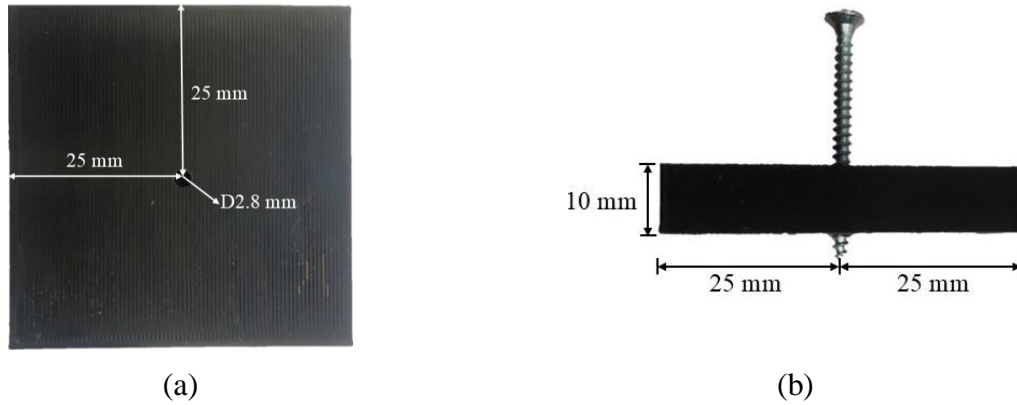


Figure 3. Pilot hole diameter and position (a) and configuration of drilled specimen (b)

2.2.3 Density

A total of five test specimens for each sample group with dimensions of 10 x 50 x 50 were used to measure the density of the 3D-printed specimens. All specimens were weighed with a 0.01 gr precision scale. Its dimensions were measured with a 0.01 precision caliper. The density (ρ , kg/m³) of the 3D-printed specimens was calculated by using Equation 1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

where, m is the weight of the specimen (kg), and V is the volume of the specimen (m³).

2.2.4 Screw withdrawal strength

All tests were conducted on the SHIMADZU universal test machine with a rate of 2.5 mm/min according to ASTM D6117 18 (2016) (Figure 4). All tests were continued until non-recoverable failure occurred. Load-deformation curves were obtained, and the SWS (f , MPa) of the specimens was calculated by using Equation 2.

$$f = \frac{F_{ult}}{d \times l_p} \quad (2)$$

where, F_{ult} is the ultimate failure load (N), d is the screw diameter (mm), and l_p is the depth of penetration (mm).

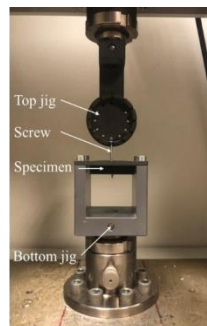


Figure 4. Screw withdrawal test configuration.

2.2.5 Statistical analysis

Data collected for the presence of statistical significance among all sample groups through two-way ANOVA and Tukey pair-wise comparisons were examined in SPSS (22, New York, USA).

3 Results and Discussion

3.1. Density of 3D-printed materials

Results for densities of 3D printed specimens with various infill ratios and patterns were given in Table 3. According to the results, an increase in infill ratios is expected to increase the density of the specimens. The average densities of the specimens with the infill ratios of 25%, 50%, and 75% were approximately 39%, 60%, and 81% of those of 100%, respectively. Besides, although the density of the PLA+ filament is 1230 kg/m³, the average densities of specimens for all infill patterns with infill ratios of 100% were lower due to porosity in 3D printing. The ratios between them were 93.07%, 92.31%, and 92.15% for the line, grid, and concentric infill patterns, respectively. It can be said that infill patterns slightly changed the porosity in 3D printing. Besides, Table 3 shows the Tukey-pairwise mean comparisons considering infill patterns and ratios for densities. According to the results, average densities of 3D-printed specimens with an infill ratio of 100% were not significantly different from each other regardless of infill patterns. The same situation was valid for those of 75%. Moreover, average densities were not significantly different in line and grid infill patterns with an infill ratio of 25% and 50%. Here, needless to say that the densities did not change depending on infill patterns in the case of printing with infill ratios of 75% and 100%. Besides, it did not matter on densities with decreasing infill ratios which infill patterns were used for line and grid.

Table 3. Sample statistics for densities of 3D-printed specimens (kg/m³)

Infill Ratios	Infill Patterns								
	Line			Grid			Concentric		
	Mean	SD	CoV	Mean	SD	CoV	Mean	SD	CoV
25%	452.90 (B)	3.40	0.75%	453.00 (B)	3.17	0.70%	425.98 (A)	2.31	0.54%
50%	697.35 (D)	3.26	0.47%	697.47 (D)	2.40	0.34%	682.03 (C)	5.66	0.83%
75%	937.67 (E)	2.79	0.30%	929.56 (E)	5.46	0.59%	930.97 (E)	10.04	1.08%
100%	1144.88 (F)	4.20	0.37%	1135.47 (F)	4.57	0.40%	1133.46 (F)	11.10	0.98%

* SD: Standard deviation and CoV: Coefficient of variation

** Letters in parenthesis show that means significantly different from each other when letters are not same.

Table 4 shows the results of two-way ANOVA. According to the results, infill pattern, infill ratio, and their interaction were significant in the density of 3D-printed specimens. Besides, variations in infill patterns and ratios explained 100% of changes in the density of the specimens.

Table 4. ANOVA for densities of 3D-printed specimens

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	Sig.
Corrected Model	4056400.75	11	368763.70	11788.15	.000
Intercept	38565971.44	1	38565971.44	1232825.92	.000
Infill Pattern (A)	2414.86	2	1207.43	38.60	.000
Infill Ratio (B)	4052628.85	3	1350876.28	43183.02	.000
A * B	1357.04	6	226.17	7.23	.000
Error	1501.56	48	31.28		
Total	42623873.75	60			
Corrected Total	4057902.31	59			

R-Squared = 1.000 (Adjusted R-Squared = 1.000)

3.2. Screw withdrawal strength of 3D-printed materials

Figure 5 gives the ultimate load capacity of 3D-printed PLA specimens and deformations at ultimate load in the screw withdrawal test. According to the results, no matter which infill pattern is used in the specimens, deformations at the ultimate load were scattered for the infill ratios of 25%. This scattered pattern was observed for concentric infill patterns with an infill ratio of 50%. It was evitable that the effective areas of the screw in the withdrawal test were not dense but had a holding capacity. Hence, the specimens failed at the earlier load levels but reached their ultimate load level at greater deformations. The grid infill patterns showed a ladder effect with increases in the infill ratio which was more expected to be observed.

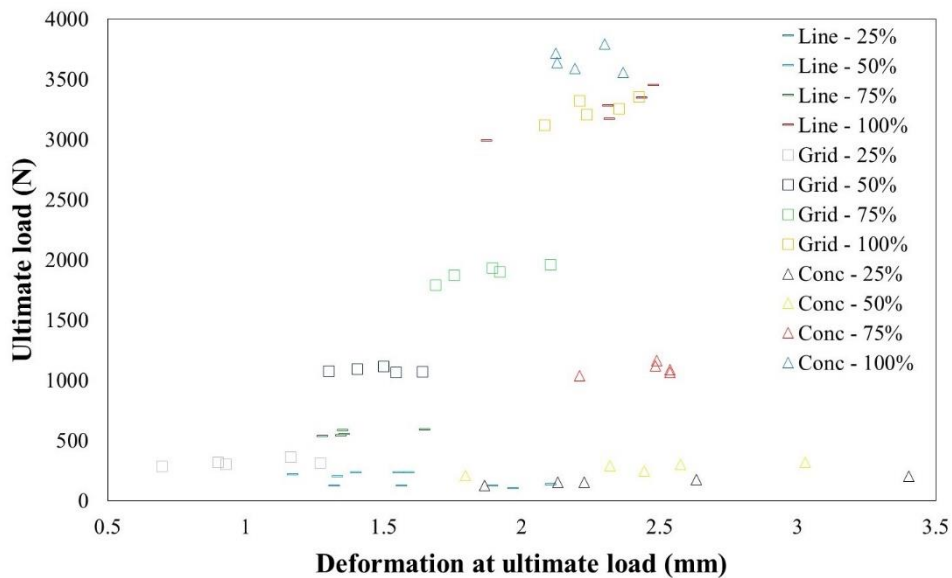
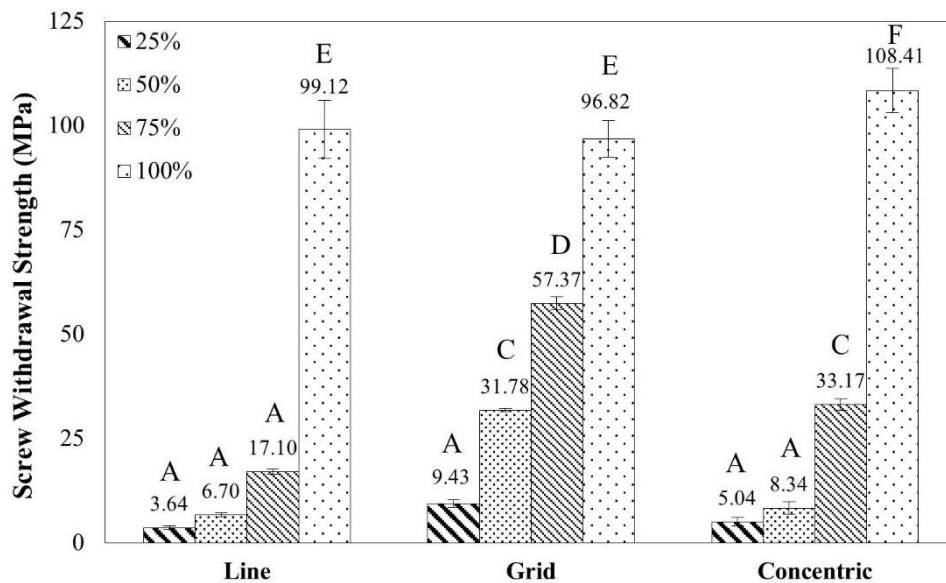


Figure 5. Ultimate screw withdrawal load vs. deformation

Results for SWS of 3D-printed PLA specimens are given in Figure 6. According to the results, the highest SWS (108.41 MPa) was obtained for the sample group of concentric infill patterns with a 100% infill ratio followed by line (99.12 MPa) and grid (96.82MPa) infill patterns. On the contrary, grid infill patterns with ratios of 25%, 50%, and 75% had higher strength compared to those of line and concentric. In the infill ratios with 100%, the difference between densities for each infill pattern is close to each other. However, the density in the center of specimens for concentric infill patterns would be higher than those of line and

grid due to the printing path. In the concentric infill patterns, the printing path was from outside to inside, so printers extruded the strand in the shape of smaller squares through the inner section, and these squares caused denser (or less porosity) in the inner part of specimens owing to overlapping strands. On the other hand, grid infill patterns with an infill ratio of 100% had a higher porosity compared to others due to the meshing arrangement in the patterns (Figure 1). On the other hand, this meshing arrangement provided higher SWS in the infill ratios of 25%, 50%, and 75% than those of the line and grid. The dramatic increase in material strength with an infill ratio of 100% was observed by 92% with an increase from 80% to 100% infill ratios (Wang et al., 2020).

Increases in withdrawal resistance of 3D-printed PLA with line infill pattern were approximately twice for 25% to 50% and 50% to 75 % infill ratios while those of 75% to 100% were fifth times. In the case of grid patterns, these increases were about a third, one-and-half, and one-and-three-quarter time, respectively. Those of concentric infill patterns were one-and-half, fourth, and three-and-one-quarter time. Here, it can be said that the increase in the infill ratios did not influence the SWS proportionally. As shown in Figure 1, strands were printed in one (x) direction for line infill patterns, but those of grid and concentric were in two (x and y) directions. In the lower infill ratios, screws were surrounded by strands in the grid and concentric infill patterns, so their SWS were higher than the line infill patterns. Similarly, grid infill patterns were higher in strength compared to those of concentric because strands were printed in a meshing arrangement in grid infills, whereas interfaces of the adjacent strands did not diffuse each other in the lower infill ratios. At the higher infill ratios, the interfaces of the strands diffused vastly, so the SWS of the specimen was dramatically increased. Therefore, the SWS of the specimens with grid infill ratios linearly increased with the higher infill ratios. However, voids in 3D printing observationally had a higher ratio for grid infill patterns compared to those of line and concentric with an infill ratio of 100% (Figure 1). Also, grid infill patterns showed higher material strength owing to linear structure compared to other infill patterns such as triangular and gyroid (Ambati and Ambatipudi, 2022), honeycomb and gyroid (Birosz et al., 2022), and hexagonal and triangular (Khalid et al., 2023) with infill patterns lower than 100%.



* Letters above bars show that means significantly different from each other when letters are not same.

Figure 6. Screw withdrawal strength of the 3D-printed specimens

Moreover, Figure 6 also shows the Tukey-pairwise mean comparisons considering infill patterns and ratios for the SWS. According to the results, the SWS of the 3D-printed specimen with concentric infill patterns and an infill ratio of 100% were significantly different from others. In addition, those of grid and line were not significantly different from each other. The grid infill patterns were significantly different from those of line and concentric in the 50% and 75% infill ratios. The results also indicated that the SWS of the specimen with a grid infill pattern and an infill ratio of 50% was not significantly different from those of concentric and 75%. Here, it can be said that grid infill patterns showed better performance than line and concentric with lower infill ratios than 100%.

Table 5 shows variance analysis for SWS of the 3D-printed specimens. According to the results, (i) infill pattern, (ii) infill ratio, and (iii) interaction of infill pattern and ratio were significant on the SWS of the specimens. Besides, variations in infill patterns and ration explained 99.4% of changes in the SWS of the specimens.

Table 5. ANOVA for screw withdrawal strength of the 3D-printed specimens

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	Sig.
Corrected Model	89669.65	11	8151.79	928.41	.000
Intercept	94770.97	1	94770.97	10793.49	.000
Infill pattern (A)	2992.53	2	1496.27	170.41	.000
Infill ratio (B)	83122.85	3	27707.62	3155.63	.000
A * B	3554.26	6	592.38	67.47	.000
Error	421.46	48	8.78		
Total	184862.07	60			
Corrected Total	90091.11	59			

R-Squared = .995 (Adjusted R-Squared = .994)

4 Conclusion

This study examined to benchmark the SWS of the 3D printed PLA materials considering various infill patterns and ratios. Results showed that infill patterns and ratios significantly affected the SWS of the 3D-printed PLA. According to the study results,

- Infill ratio was a more effective 3D-printing parameter than infill patterns because it provided denser materials which were a significant variable for the SWS of materials.
- In the lower infill ratios (i.e. 25% and 50%), grid infill patterns provided greater strength compared to line and concentric infill patterns because of mesh arrangement during 3D printing extrusion on the path. Therefore, grid infill patterns should be used unless an infill ratio of 100% is preferred in 3D printing.
- The SWS of the specimens with the infill ratio of 100% was improved with increases in density in the effective region of the screw during withdrawal. The printing paths were getting closer to each other in the core of specimens because the ratio of overlapped strands was increased. This phenomenon was observed for the concentric infill patterns.
- The study will give an insight into the field of furniture strength design because most of the studies have been related to determining flexural and tensile properties of 3D-printed materials. Metal fasteners are commonly used in furniture joints. Therefore, the results of this study come into prominence for 3D-printed and screwed furniture joints.

Author Contribution

Mesut Uysal: Conceptualization, Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Funding Statement

This study was not supported by any organization.

Conflict of Interest Statement

The author declares no conflict of interest.

References



- Aiman, A.F., Sanusi, H., Haidiezul, A.H.M., & Cheong, H.Y., (2020). Design and structural analysis of 3D-printed modular furniture joints, IOP Conf. Series: Material Science and Engineering, 932, 012101, DOI: [10.1088/1757-899X/932/1/012101](https://doi.org/10.1088/1757-899X/932/1/012101)
- Alvarez, K.L., Lagos, R.F., & Aizpun, M., (2016). Investigating the influence of infill percentage on the mechanical properties of fused deposition modelled ABS parts, *Ingeniería e Investigación*, 36 (3), 110-116, DOI: [10.15446/ing.investig.v36n3.56610](https://doi.org/10.15446/ing.investig.v36n3.56610)
- Ambati, S.S., & Ambatipudi, R., (2022). Effect of infill density and infill pattern on the mechanical properties of 3D printed PLA parts, *Materials Today: Proceedings*, 64, 804-807, DOI: [10.1016/j.matpr.2022.05.312](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.312)
- ASTM D 6117-18 (2016). Standard test methods for mechanical fasteners in plastic lumber and shapes, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Aydın, M., Yıldırım, F. & Çantı, E., (2019). Farklı yazdırma parametrelerinde PLA filamentin işlem performansının incelenmesi, *International Journal of 3D Printing technologies and Digital Industry*, 3(2), 102-115.
- Bardiya, S., Jerald, J., & Satheeshkumar, V., (2021). The impact of process parameters on the tensile strength, flexural strength and the manufacturing time of fused filament fabricated (FFF) parts, *Materials Today: Proceedings*, 39, 1362-1366, DOI: [10.1016/j.matpr.2020.04.691](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.691)
- Birosz, M.T., Ledenyak, D., & Ando, M., (2022). Effect of FDM infill patterns on mechanical properties, *Polymer Testing*, 13: 107654, DOI: [10.1016/j.polymertesting.2022.107654](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107654)
- Demirel, S., Kuvel, N.T., Çava, K. & Aslan, M. (2024). The performance of 3D printed dowel with three different surface designs in furniture joints, *Turkish Journal of Forestry*, 25 (1): 100-106, DOI: [10.18182/tjf.1387389](https://doi.org/10.18182/tjf.1387389)
- Drumright, R.E., Gruber, P.R., & Henton, D.E., (2000). Polylactic acid technology, *Advanced Materials*, 12(23), 1841-1846.
- Evlen, H., Erel, G. & Yılmaz, E., (2018). 3D printer design and investigation of effects on the mechanical properties of the printing fill rates, *International Journal of 3D Printing technologies and Digital Industry*, 2(1), 23-31.
- Feng, S., Du, M. Wang, W., Lu, H., Park, D. & Ji, G., (2020). 3D printed monolithic joints: A mechanically bistable joint, 25th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, Bangkok, Thailand, 5-6 August 2020, pp. 173-182, DOI: [10.52842/conf.caadria.2020.1.173](https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2020.1.173)
- Ghanbari, A., Madhoushi, M., & Ashori, A., (2014). Wood plastic composite panels: influence of the species, formulation variables and blending process on the density and

- withdrawal strength of fasteners, *Journal of Polymers and the Environment*, 22, 260-266, DOI: [10.1007/s10924-013-0634-7](https://doi.org/10.1007/s10924-013-0634-7)
- Haftkhani, A.R., (2011). Investigation on withdrawal resistance of various screws in face and edge of wood-plastic composite panels, *Materials and Design*, 32, 4100-4106, DOI: [10.1016/j.matdes.2011.02.065](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.02.065)
- Hajdarevic, S., Kuzman, M.K., Obucina, M., Vratusa, S., Kusar, T., & Kariz, M., (2023). Strength and stiffness of 3D-printed connectors compared with the wooden mortise and tenon joints for chairs, *Wood Material Science & Engineering*, 18(3), 870-883, DOI: [10.1080/17480272.2022.2086065](https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2086065)
- Kam, M., Saruhan, H., & İpekçi, A., (2019). Effect of filling structures on strength of printed products by 3D printers, *Duzce University Journal of Science and Technology*, 7, 951-960, DOI: [10.29130/dubited.452907](https://doi.org/10.29130/dubited.452907)
- Kamer, M.S., Doğan, O., Temiz, Ş., & Yaykaşlı, H., (2021). Investigation of the mechanical properties of flexural test samples produced using different printing parameters with a 3D printer, *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 36(3), 835-846, DOI: [10.21605/cukurovaumfd.1005909](https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1005909)
- Kasal, A., Kuşkun, T. & Smardzewski, J., (2020). Experimental and numerical study on withdrawal strength of different types of auxetic dowels for furniture joints, *Materials*, 13(19), 4252, DOI: [10.3390/ma13194252](https://doi.org/10.3390/ma13194252)
- Kasal, A., Smardzewski, J., Kuşkun, T. & Güray, E., (2023). Analyses of L-type corner joints connected with auxetic dowels for case furniture, *Materials*, 16(13), 4547, DOI: [10.3390/ma16134547](https://doi.org/10.3390/ma16134547)
- Khalid, J., Gurrupu, D.R., & Elfakhri, F., (2023). Effects of infill line multiplier and patterns on mechanical properties of lightweight and resilient hollow section products manufactured using fused filament fabrication, *Polymers*, 15, 2585, DOI: [10.3390/polym15122585](https://doi.org/10.3390/polym15122585)
- Krzyzaniak, L., & Smardzewski, J., (2019). Strength and stiffness of new designed externally invisible and demountable joints for furniture cases, *Engineering Structures*, 199, 109674, DOI: [10.1016/j.engstruct.2019.109674](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109674)
- Krzyzaniak, L., Kuşkun, T., Kasal, A., & Smardzewski, J., (2021). Analysis of the internal mounting forces and strength of newly designed fastener to joints wood and wood-based panels, *Materials*, 14(23), 7119, DOI: [10.3390/ma14237119](https://doi.org/10.3390/ma14237119)
- Kuşkun, T., Smardzewski, J. & Kasal, A., (2021). Experimental and numerical analysis of mounting force of auxetic dowels for furniture joints, *Engineering Structures*, 226, 111351, DOI: [10.1016/j.engstruct.2020.111351](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111351)
- Nicolau, A., Pop, M.A., & Coşoreanu, C., (2022). 3D Printing Application in Wood Furniture Components Assembling, *Materials*, 15, 2907, DOI: [10.3390/ma15082907](https://doi.org/10.3390/ma15082907)
- Nicolau, A., & Coşoreanu, C., (2024). Mechanical properties of L-type corner joints connected with 3D printed connectors using fused deposition modelling technology, *Pro Ligno*, 20(2), 69-76.
- Öz, Ö., Aydın, M., Kara, A.S., & Sancak, M.S., (2018). Determination of the infill ratio effect on the failure loads of the printed parts, *International Journal of 3D Printing technologies and Digital Industry*, 2(1), 32-39.

- Podskarbi, M. & Smardzewski, J., (2019). Numerical modelling of new demountable fasteners for frame furniture. *Engineering Structures*, 185, 221-229, DOI: [10.1016/j.engstruct.2019.01.135](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.135)
- Premphet, P., Ieksakul, K., Boonyawan, D., & Vichiansan, N., (In Press). Process parameters optimization and mechanical properties of 3D PLA/HA printing scaffold, *Materials Today: Proceedings*, DOI: [10.1016/j.matpr.2023.04.124](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.124)
- Re, G.L., Benali, S., Habibi, Y., Raquez, J.M., & Dubois, P., (2014). Stereocomplexed PLA nanocomposites: from *in situ* polymerization to materials properties, *European Polymer Journal*, 54, 138-150, DOI: [10.1016/j.eurpolymj.2014.03.004](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.03.004)
- Sharma, V., Roozbahani, H., Alizadeh, M., & Handross, H., (2021). 3D printing of plant-derived compounds and proposed nozzle design design for the more effective 3D FDM printing, *IEEE Access*, 9(3), 57107-57119, DOI: [10.1109/ACCESS.2021.3071459](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3071459)
- Sin, L.T., Rahmat, A.R., & Rahman, W.A., (2013). Thermal Properties of Poly (Lactic Acid) in Polylactic Acid: PLA Biopolymer Technology and Applications, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 109–141.
- Smardzewski, J., Rzepa, & Kılıç, H., (2016). Mechanical properties of externally invisible furniture joints made of wood-based composites, *Bioresources*, 11(1), 1224-1239, DOI: [10.15376/biores.11.1.1224-1239](https://doi.org/10.15376/biores.11.1.1224-1239)
- URL - 1 – eSUN: PLA+. Available online: <https://platincdn.com> Last access on 10.24. 2024.
- Wang, S., Ma, Y., Deng, Z., Zhang, S., & Cai, J., (2020). Effects of fused deposition modeling process parameters on tensile, dynamic mechanical properties of 3D printed polylactic acid materials, *Polymer Testing*, 86, 106483, DOI: [10.1016/j.polymertesting.2020.106483](https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106483)
- Zurnacı, E., (2023). Optimization of 3D printing parameters to mechanical strength improvement of sustainable printing material using RSM, *International Journal of 3D Printing technologies and Digital Industry*, 7(1), 38-46, DOI: [10.46519/ij3dptdi.1231076](https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1231076)



Termo-vakum işlem görmüş sarıçamın boyutsal kararlılığının incelenmesi

Hızır Volkan Görgün^{1*} , Öner Ünsal¹ 

ÖZ: Masif ahşabın özelliklerinin iyileştirilmesi için, termo-işlem uygulaması geliştirilmiştir. Bununla birlikte başta mekanik olmak üzere bazı özelliklerin daha da iyileştirilmesi için, özellikle farklı proses şartlarının denendiği çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, vakum ortamında gerçekleştirilen termo-işlemin (termo-vakum veya Thermovuoto®), boyutsal kararlılığa etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, 180 °C'de 1 saat termo-vakum uygulanan sarıçam (*Pinus sylvestris*) örneklerinde, yoğunluk, denge rutubet miktarı (DRM) değişimi ve anti daralma/genişleme etkisi (ASE) ölçülmüştür. Sonuçlar TSE CEN/TS 15679'daki referans çizelgeler ve literatür ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre; teğet/radyal çalışma oranında %20 azalış tespit edilirken, 0.414 g/cm³ yoğunluk ile 'iç mekân', DRM (örneğin 20°C sıcaklık, %65 bağıl nem için %5,76) ve ASE (%79.56) verileri açısından 'dış mekân' sınıfında çıkarken, genişlikteki maksimum değişim oranına (MDO) göre 'sınıf dışı' çıkmıştır. Bununla birlikte genişlikte daralma %30 azaldığı için MDO'ya göre de 'iç mekân' sınıfında değerlendirilebilir. Çünkü değerlendirmelerde bazı farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin standarttaki referans değerlerin geleneksel termo-işlem için belirlenmiş olup, literatürdeki diğer çalışmalarda da daralma değerlerinin işlem görmemiş malzeme standartlarına göre değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca DRM ve MDO'nun farklı sınıfta çıkmasında termo-vakum işleminin, geleneksel termo-işleme göre ahşabın farklı kimyasal özelliklerini değiştirmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Çam, Daralma, Isıl İşlem, Modifikasyon, Stabilité.

Dimension stability of thermo-vacuum treated scots pine wood

ABSTRACT: Thermo-treatment application has been developed to improve the properties of solid wood. However, studies are ongoing to further improve some properties, especially mechanical, testing different process conditions. In this study, the effects of thermo-treatment (thermo-vacuum or Thermovuoto®) carried out in vacuum environment on dimensional stability were investigated. In this context, density, equilibrium moisture content (EMC) changes and anti-shrinkage/swelling efficiency (ASE) were measured in Scots pine (*Pinus sylvestris*) samples treated to thermo-vacuum at 180 °C for 1 hour. The results were compared with the reference tables in TSE CEN/TS 15679 and the literature. According to the results; while a 20% decrease was detected in the tangential/radial working ratio, with a density of 0.414 g/cm³, it was in the 'outdoor' class, according to EMC (e.g. 5.76% for 20°C temperature, 65% relative humidity) and ASE (79.56%) data it was in the 'indoor' class, but it was 'out of class' the maximum change rate in width (MCRW). However, since the shrinkage in width has decreased by 30%, it can be evaluated in the 'indoor' class according to MCRW. Because there are some differences in evaluations. For example, the reference values in the standard were determined for traditional thermo-treatment, and in other studies in the literature, shrinkage values were evaluated according to untreated material standards. In addition, it was thought that the thermo-vacuum process changes the chemical properties of the wood differently compared to traditional thermo-treatment and is effective in the different classes of EMC and MCRW.

Keywords: Modification, Pine, Shrinkage, Stability, Thermo Treatment.

Makale tarihçesi: Geliş:23.07.2024, Kabul:12.11.2024, Yayınlanma:30.12.2024, *e-posta: volkan.gorgun@iuc.edu.tr.

¹İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye.

Atıf: Görgün, H.V., ve Ünsal, Ö., (2024), Termo-vakum işlem görmüş sarıçamın boyutsal kararlılığının incelenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7 (2), 163-171, DOI: [10.33725/mamad.1520817](https://doi.org/10.33725/mamad.1520817)

1 Giriş

Masif ahşap insanlığın yararlandığı en eski malzemelerden biridir ve sahip olduğu birçok olumlu özelliği nedeniyle günümüzde de kullanılmaya devam etmektedir. Bununla birlikte diğer mühendislik ürünü ağaç malzemelerin (kontrplak, yonga-lif levha vb.) geliştirilmesi ve rutubet alışverişine bağlı boyut değişimi (çalışma), çürüyebilme, yanabilme gibi bazı dezavantajları nedeniyle kullanımı azalmış olsa da, doğallığı nedeniyle hala tercih edilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar belirtilen bu dezavantajların en aza indirgenmesi konusunda çalışmalar yürütmektedir. Emprenye ile boyutsal kararlılık (Öztürk ve Atar, 2023) ve biyolojik dayanıklılık (Mantanis ve ark., 2014) gibi özellikler iyileştirilse de, kimyasal madde kullanımı son kullanıcıyı doğallıktan uzaklaştırma algısını oluşturmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen ve sadece yüksek sıcaklıklardaki ısı (ve inert gaz kullanımı) ile gerçekleştirilen termal modifikasyon amaçlı ısıl işlem (termo-işlem) ön plana çıkmaya başlamıştır. Ayrıca termo-işlem, insan ve çevreye karşı zararlı kimyasallar ilave edilmeden elde edilmeden uygulandığından, emprenyeye iyi bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Köse ve Temiz, 2013). Masif ahşapta doğal renk koyuluğu, işlenme gibi özelliklerinin iyileşmesiyle birlikte, özellikle fiziksel (Aytin ve Korkut, 2016) ve dayanıklılık (Yılıgör ve Kartal, 2010) özelliklerini de iyileştirmektedir. İşlemin getirdiği ilave maliyete karşın fiziksel ve estetik özelliklerdeki bu iyileşme nedeniyle dış mekân dekorasyonunda ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte işlemin masif ahşapta denge nemi düşürmesine karşın, mekanik özelliklerini azaltması (Esteves, 2009) nedeniyle, yüke maruz kalacağı alanlarda daha az tercih edildiği söylenebilir.

Son yıllarda modifikasyon amaçlı termo-işlemin vakum (kuru-kapalı) ortamında uygulandığı termo-vakum (Thermovuoto®) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde %12 rutubetteki ahşabın sıcaklığı vakum altında yavaşça 200 ila 240 °C'ye (türe göre süre ve sıcaklık değişebilir) çıkartılmaktadır (Masoumi ve Bond, 2024). Termo-vakum işleminde sistemin açık veya kapalı olmasına göre hücrelerin kimyasal bileşimine etkileri aynı olmadığından, fiziksel özelliklerdeki değişim farklı olmaktadır (Juizo ve ark., 2018). Açık sistemlerde fırında yer alan kerestelerdeki rutubet miktarı %0'a indirilmekte ve %2 civarına çıkması için buhar verilmekteyken, kapalı sistemlerde sürekli olarak basınç (veya vakum) sağlanırken, aynı zamanda devamlı buhar da verilmektedir (Ghiassi ve Lourenço, 2018). Hill (2006)'e göre, kapalı sistemlerde vakum sisteminin devamlı çalışması, hücre duvarındaki polisakkaritlerin bozunmasında hızlandırıcı etki yapan tüm uçucu bileşiklerin, sürekli olarak fırından uzaklaştırılmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda ahşabın özelliklerinin, açık sisteme göre daha istenen düzeyde olacağı söylenebilir. Bu kapsamda yapılan bir çalışmada (Bal, 2018) farklı sıcaklıklarda (180, 200 ve 220 °C) 2.5 saat süren termo-işlem yönteminin vakum, nitrojen ve hava atmosferlerinde karaçam odunundaki değişim farklarını incelemiştir. Her sıcaklık kademesinde de yoğunlukla ilgili istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmazken, kütle kaybında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle hava atmosferinde yapılan termo-işleminde kütle kaybı en fazlayken, vakum ve nitrojen ortamında yapılan işlemler arasında anlamlı bir farklılık çıkmadığı tespit edilmiştir. Bal ve Kılavuz (2021) tarafından kavak (*Populus spp.*) örneklerinde yapılan çalışmada, 210 °C sıcaklık ve 3 saat boyunca farklı vakum miktarlarında uygulanan termo-vakum işlemi sonucunda, denge rutubet miktarlarında ve genişleme miktarlarında azalış tespit edilmiştir. Bununla birlikte fiziksel özelliklerdeki bu azalışın, vakum miktarının artmasıyla azaldığı da belirtilmiştir. Bir başka çalışmada (Jebrane ve ark., 2018), 212 °C sıcaklık ve 3 saat geleneksel ve vakumlu termo-işlem gören sarıçam ve ladin örneklerinin özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki yöntemde de kütle kayıplarının ve denge nemi azalışlarının benzer olduğu, hemiselüloz monomerlerinin

her iki yöntemde de gözlemlenmesine karşın yine aynı şekilde kimyasal kompozisyonları ve dayanıklılıklarının da benzer olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, vakum esaslı termo (termo-vakum) işlem uygulamasının, sarıçam odunun boyutsal kararlılığına etkisinin incelenmesidir. Bunun için işlem görmüş sarıçamın çalışma, denge nemi ve yoğunluk gibi bazı fiziksel özellikleri, standartlardaki referans değerler ve literatür sonuçları ışığında değerlendirilmiştir. Böylece endüstride ham ve geleneksel termo-işlemleri olarak sıkça kullanılan sarıçam örneklerinde, termo-vakum yönteminin boyutsal kararlılık özelinde etki farklılığı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Sarıçam (*Pinus sylvestris*) örnekleri ticari olarak temin edilmiştir. Örnekler kereste ebatlarındayken, endüstriyel amaçlı kullanılan bir fırında termo-vakum işlem uygulanmıştır. Bu işlem sırasında ısı temas yoluyla sağlanmış olup, örnekler 180 °C sıcaklıkta 1 saat boyunca -760mmHg vakum uygulanmıştır. Ardından işlem yeterliliği CEN/TS 15679 (2007) standardındaki bazı kriterlere göre test edilmiştir.

2.2 Metot

İşlem görmüş (T) ve görmemiş (U) örneklerin boyutsal kararlılığı ise CEN/TS 15679 (2007) ve EN 1910 (2016) standartlarına göre testler yapılarak karşılaştırılmıştır. Bunun için iki örnek grubu; küçük ve kusur içermeyen 2x2x3 cm ebatlarında (K grubu) ve kusur (bal peteği, öz, budak, çatlak vb.) içerebilen 10x85x250mm ebatlarında (EN 1910 (2016) standardı gereği) (B grubu) hazırlanmıştır. Ebatlanan tüm örnekler standartlarda istenen farklı koşullarda tutulmuş, ağırlık ve hacimleri her koşulda ölçülerek kaydedilmiştir. Örneklerin denge rutubet miktarları (DRM), EN 13183-1 standardı referans alınarak kurutma metoduna göre ölçülmüştür.

$$DRM = 100 \frac{m_s \cdot m_d}{m_d} \quad (1)$$

Örnekler, uygulanan farklı koşullarda ulaştığı denge durumundaki ağırlıkları (m_s , g) ve 103 °C 'de tam kuru hale geldikten sonraki ağırlıkları (m_d , gr) kullanılarak aşağıdaki formüle göre DRM'leri (%) hesaplanmıştır. K grubu örneklerin DRM'leri, standartta (CEN/TS 15679, 2007) yer alan değerlerle, B grubu örneklerin %30 ile %85 bağıl nemler arasında genişlikteki değişimleri ise Çizelge 1'de yer alan EN 1910 (2016) standardındaki referans değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1. %30 ve %85 bağıl nem (20°C) arası genişlikteki maksimum değişim oranları (EN 1910, 2016)

	Maksimum Değişim Oranı
Çam – Termo-işlem görmüş – İç mekân	0.9% - 1.1%
Çam – Termo-işlem görmüş – Dış mekân	0.8% - 1.0%

$$d_{cr} = 100 \frac{\left(\frac{18}{h}\right)^{D_h \cdot D_d}}{D_i} \quad (2)$$

$$ASE = dcr_U / dcr_T \quad (3)$$

B grubu örneklerin aynı zamanda bu koşullardaki ölçüleri kaydedilerek, kümülatif bağıl boyutsal değişimi (d_{cr} , %) ve anti daralma/genişleme etkisi (ASE – bu çalışmada daralma)

değerleri de EN 1910 (2016) standardına göre hesaplanmıştır. ASE değerleri modifikasyon amaçlı termo-işlemede öne çıkan boyutsal kararlılık etkisinin tespiti için önemli bir gösterge olup, sırasıyla işlem görmemiş ve görmüş örneklerin kümülatif bağıl boyutsal değişimi (d_{crU} ve d_{crT} , %) değerleri kullanılarak, aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır. d_{cr} hesaplamasında %30 bağıl nemdeki ölçü (D_d , mm), %65 bağıl nemdeki ölçü (D_i , mm) ve %85 bağıl nemdeki ölçü (D_h , mm) kullanılmış olup, nemli koşul için 20 °C'de %85 bağıl nem uygulandığı için (standarttaki H2 koşulu), h değeri 18 alınmıştır.

$$D_d = m_d / V_d \quad (4)$$

$$DDR = [(D_{dU} / D_{dT}) \times 100] / D_{dU} \quad (5)$$

Termo-işlem yeterliliği standardındaki (CEN/TS 15679, 2007) referans değerleriyle (Çizelge 2) karşılaştırmak için, K grubu örneklerde yoğunluk azalışı değerleri de tespit edilmiştir. Bunun için tam kuru yoğunluk değerleri (D_d , g/cm³), tam kuru hacim (V_d , cm³) ve tam kuru ağırlıklar (m_d , g) kullanılarak aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır. Aynı zamanda yoğunluktaki azalış oranı (DDR, %), işlem görmüş (D_{dT} , g/cm³) ve görmemiş (D_{dU} , g/cm³) örneklerin tam kuru yoğunlukları oranlanarak bulunmuştur.

Çizelge 2. İşlem öncesi ve sonrası ortalama yoğunluk azalışı referans değerleri (CEN/TS 15679, 2007)

	Ortalama yoğunluk azalışı
Çam – Termo-işlem görmüş – İç mekân	-5% - 7%
Çam – Termo-işlem görmüş – Dış mekân	-8% - 10%

$$\beta_T = (R\ddot{O}_T - K\ddot{O}_T) \times 100 / R\ddot{O}_T \quad (6)$$

$$\beta_R = (R\ddot{O}_R - K\ddot{O}_R) \times 100 / R\ddot{O}_R \quad (7)$$

Son olarak, teğet – radyal çalışma farkından kaynaklı olarak, mevcut enine kesitteki formunu (kare, dikdörtgen vb.) koruma durumuyla ilgili bir oran olan, teğet yöndeki daralmanın (β_T), radyal daralmaya (β_R) oranı hesaplanarak, termo-işlemin etkisi de incelenmiştir. Hesaplamalarda, hem teğet hem de radyal yöndeki %95 rutubetteki ölçüler ($R\ddot{O}_T$, mm ve $R\ddot{O}_R$, mm), tam kuru ölçüler ($K\ddot{O}_T$, mm ve $K\ddot{O}_R$, mm) ile oranlanmıştır.

3 Bulgular ve Tartışma

Yapılan tam kuru yoğunluk ölçümleri sonucunda kontrol örneklerinin yoğunluğu 0.443 g/cm³, işlem görmüş örneklerin yoğunluğu ise 0.414 g/cm³ çıkmıştır. Ortalamalar arasındaki fark az görünmesine karşın, değişim oranı -%6.75'tir ve bu oran CEN/TS 15679 (2007) standardına göre iç mekân için termo-işlem görmüş çam sınıfında yer almaktadır.

Büyük örneklerde yapılan genişlikteki maksimum değişim oranları, kontrol örneklerinde %1.82, işlem görmüş örneklerde ise %1.21 olarak tespit edilmiştir. Ortalamalar bakımından önemli bir azalış olmasına karşın, işlem görmüş örneklerdeki %1.21 oranı, CEN/TS 15679 (2007) standardının iç mekân kullanımı için referans alınan %0.9 - %1.1 aralığından yüksek çıkmıştır. Bu durumda genişlik stabilitesi açısından, yeterli ısı işlem koşullarının sağlanmadığı söylenebilir. Bununla birlikte standartlarda örneklerin genişlik yönünde teğet veya radyal olmasıyla ilgili bir ayırım bulunmamaktadır. Oranın üst sınır değere yakın olması (%1,21 > %1,10) ve kontrol örneğine göre %33 gibi önemli bir azalış olması da dikkate alındığında, iç mekân kullanımı için olumlu değerlendirme yapılabilir.

İşlem görmüş ve görmemiş örneklerin farklı denge nemlerine bırakıldıktan sonra ulaştıkları DRM'ler Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. (CEN/TS 15679, 2007) standardındaki Kuzey Çamı (Scots pine) için ve bu çalışmadaki örneklerin farklı bağıl nemlerdeki (20 °C) denge rutubet miktarları

Bağıl Nem →	%30	%65	%95
Çam – İşlem görmemiş	%7 - 9%	%12 - %14	%22 - %24
Bu çalışma – İşlem görmemiş	%6.52	%11.73	%23.98
Çam – Termo-işlem görmüş – İç mekân	%5 - %6	%7 - %8	%14 - %16
Çam – Termo-işlem görmüş – Dış mekân	%4 - %5	%6 - %7	%12 - %13
Bu çalışma – Termo-işlem görmüş	%2.87	%5.76	%9.66

Çizelgede görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan kontrol örneklerinin referans değerlerle benzer çıkması, ölçümlerin doğruluğunu göstermektedir. İşlem görmüş örneklerin değerlerine bakıldığında ise; her üç bağıl nem kademesinde de dış mekân için DRM'lerden de düşük olduğu görülmektedir. %65 bağıl nemdeki DRM'ler karşılaştırıldığında; hem kontrol (%11.73 < %12.00) hem de işlem görmüş örneklerde (%5.76 < %6.00) standarda göre düşük çıktığı tespit edilmiştir. Literatürle karşılaştırıldığında; 180 °C – 1.5 saat işlem gören ve yine yumuşak ağaç grubunda olan göknarda %11.0, melezde (lareks) %8.3, ladinde %11.3 (Ferrari ve ark., 2013), bir başka çalışmada ise (Giudice ve ark., 2023) 200 °C – 3 saat işlem gören melezde %7.9 gibi daha yüksek DRM'ler tespit edilmiştir.

Anti daralma/genişleme etkisi (ASE), işlem görmüş malzemenin spesifik daralma veya genişleme oranının bağıl azalışı olarak tanımlanabilir. Termo-işlem yeterliliği ile ilgili standartta (CEN/TS 15679, 2007) tanımı ve nasıl ölçüleceği belirtilmesine karşın, diğerlerinde olduğu gibi karşılaştırma için referans değer belirtilmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada 1.5 olarak elde edilen ASE değeri literatürle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte literatürdeki hesaplamalar hacimsel daralma oranı üzerinden yapıldığı için, Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. ASE Değerlerinin Literatürle Karşılaştırılması*

Çalışma	Ağaç Türü	Yöntem	ASE (%)	Oranı
Bu çalışma	Sarıçam	TV, 180 °C - 1saat	79.56	
Yan ve Morrell (2014)	Douglas göknarı özodunu	TT, 180 °C -2saat	~%19	
Masoumi ve Bond, (2024)	Lale, Kırmızı Meşe, Dişbudak, Akçaağaç, Hickory, Vişne	TV, Ortalama 205 °C	(Sırasıyla) 41.6, 40.9, 65.6 23.5, 34.2, 51.2	
Surini ve ark. (2012)	Sahil Çamı	TV, 230 °C – 4 sat	25 - 60	

*H: Hacimsel, S: Standart, TT: Mevcut yöntemle termo-işlem, TV: Termo-vakum işlemi

ASE oranlarının yüksek çıkması, kuru-açık termo-vakum yönteminden kaynaklandığı söylenebilir. Çünkü bu sistemde devamlı olarak işlem sırasında hücre duvarı kalıntıları uzaklaştırılmakta ve lümen içi veya hücre duvarlarında birikmemektedir. Bunun sonucunda

Masoumi ve Bond'un (2024) belirttiği gibi, hücre duvarı kalınlığında azalma neticesinde oluşan yoğunluk azalışına paralel olarak, daralma oranlarında da azalış meydana geldiği söylenebilir. İşlem görmüş ve görmemiş örneklerin teğet ve radyal daralma oranları Çizelge 5'te karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5. İşlem görme durumuna göre ortaya çıkan teğet/radyal daralma oranları

İşlem	Teğet / Radyal Daralma Oranı
İşlem Görmemiş (U)	1.69
İşlem Görmüş (T)	1.40
Azalma oranı (%)	%20

Çizelgede görüldüğü üzere uygulanan işlem, teğet ve radyal daralma oranını azaltmaktadır. Teğet ve radyal arasındaki çalışma oranı (T/R), malzemenin stabilitesini gösteren teorik bir değerdir. Genel olarak 2 oranındadır ve 1 ila 3 arasında ağaç türüne göre değişmektedir. Genel olarak, daralmadaki T/R oranı arasındaki fark ne kadar büyük olursa, burulma riski de o kadar büyük olur ve 2'den az olması ahşabın daha stabil olduğunun bir göstergesidir (Basri ve ark., 2015). Bununla birlikte reaksiyon odunu ve modifikasyon yöntemleri gibi etmenlerle bu oran değişebilir. Örneğin normal bir ağaç için genellikle 1.6 – 2.1 arasında değişen bu oran, dev sekoyanın (*Sequoia gigantea* (Lindl.) Decne.) basınç odununda 1 olarak tespit edilmiştir (Cockrell, 1974). Okaliptüs türlerinde termo-işlemlerle ilgili yapılan bir çalışmada (Almeida ve ark., 2009), işlemin T/R oranını azalttığı tespit edilmiştir.

Birden fazla kontrol deneyi yapılması nedeniyle, yapılan işlemin standarda göre (CEN/TS 15679, 2007) hangi sınıfta değerlendirilebileceğinin tespit edilebilmesi açısından, elde edilen sınıf sonuçları topluca Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Standarda göre (CEN/TS 15679, 2007) işlemin genel yeterlilik çizelgesi

Kontrol Deneyi	Örneklerin Sınıfı
Yoğunluk azalışı	Çam – Termo-işlem görmüş – İç mekân
Denge Rutubet miktarı	Çam – Termo-işlem görmüş – Dış mekân
Genişlikteki maksimum değişim oranı	Sınıf Dışı

Elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmada uygulanan termo-vakum işleminin iç mekân kullanımına uygun olduğu söylenebilir. Genişlikteki maksimum değişim oranı değerleri açısından 'Sınıf Dışı' olarak tespit edilse de, daha önce de bahsedildiği gibi, standartta ölçüm yapılan örneklerin teğet veya radyal olmasının belirtilmemesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü kontrol örneklerine göre %33 gibi önemli bir düşüş olması da söz konusudur. Burada esas dikkat edilmesi gereken husus, DRM'nin dış mekân yani en iyi kategoride yer almasına karşın, çalışmaya bağlı değişimin referans değerleri açısından 'Sınıf Dışı' olarak çıkmasıdır. Sonuçlardaki bu farklılığa iki faktörün etkili olduğu düşünülmektedir. Örneğin değerlendirme için referans alınan standartta, geleneksel termo-işlemlerle ilgili parametrelerin kullanılması söz konusudur. Ayrıca termo-vakum işleminin ahşaba etki mekanizmasındaki farklılığı da söz konusudur. DRM'nin dış mekân sınıfında çıkması, ortamdan nem alma kapasitesini etkileyecek bileşiklerin azaldığının bir göstergesi olabilir.

Buna karşın çalışmanın ‘Sınıf Dışı’ çıkmasına, malzemede çalışmaya etki eden ana kimyasal bileşiklerden, çok daha fazla nem bağlamasını sağlayan yapıların açığa çıktığı ve/veya engelleyen yapıların ayrılması nedeniyle kolaylaştığı şeklinde yorumlanabilir. Ancak daha somut ve ayrıntılı bir değerlendirme ve çıkarım yapılması için, kimyasal incelemelerin yapılması gereklidir.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, mevcut termo-işlem yönteminde boyutsal stabilite için tercih edilen 180 °C’de, ancak vakum ortamında uygulanan termo-vakum işleminin, sarıçamın boyutsal kararlılığına etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçların kendi içerisinde, referans alınan CEN/TS 15679 (2007) standarda ve literatürdeki sonuçlara göre farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığa neden olan faktörlerin şu şekilde olduğu düşünülmektedir:

- Literatürdeki bazı çalışmalarda termo-işlemlenmiş malzeme değerlendirilmesine karşın, metodoloji ve değerlendirme için bahsedilen termo-işlem standardı yerine, genel amaçlı daralma-genişleme tayini standartları (TS 4083, 1983; TS ISO 13063-13, 2024 gibi) kullanılmıştır. Standartlar arasında farklılıklar olduğundan, sonuçların da literatürden farklı çıktığı söylenebilir.
- Termo-işlem uygulamaları için kontrol mekanizması oluşturan standartta (CEN/TS 15679, 2007) değerlendirme için referans değerler bulunmaktadır. Ancak bu değerler hava, buhar veya nitrojen atmosferlerinde veya ısıtılmış yağ banyosunda uygulanan geleneksel termo-işlem yöntemine göre belirlenmiştir. Bu çalışmada uygulanan termo-vakum işleminde ise vakum ortamı oluşturulması, temasla ısı transferinin gerçekleşmesi gibi proses olarak bazı farklılıklar barındırmaktadır. Bu nedenle referans değerleriyle uyumsuzluk olduğu düşünülmektedir.
- Diğer faktörlere oranla, özellikle proses şartlarının ve bunların kimyasal içerikteki değişime etkilerinin farklı olmasının daha etkili olduğu düşünülmektedir.. Bu çalışmada özellikle DRM ve genişlikteki maksimum değişim oranının farklı çıkması bunun önemli bir göstergesidir. Prosesin, geleneksel termo-işleme göre ahşabın kimyasal yapısını farklı bir şekilde etkilemesinden kaynaklandığı söylenebilir. Daha somut ve ayrıntılı değerlendirmeler için kimyasal analiz yapılması önerilmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Entomolojisi ve Koruma Anabilim Dalı çalışanlarına iklimik kabin kullanımındaki yardımları için, aynı Fakülteden Dr. Fatma Diğdem Tuncer’e tür tespitindeki yardımı için teşekkür etmektedir.

Yazar Katkıları

Hızır Volkan Görgün: Kavramsallaştırma, Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme. **Öner Ünsal:** Kavramsallaştırma, Metodolojinin belirlenmesi, Makale inceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Almeida G., Bri- J.O., & Perre P., (2009). Changes in wood-water relationship due - heat treatment assessed on micro-samples of three Eucalyptus species, *Holzforschung*, 63 (1), 80-88. DOI: [10.1515/HF.2009.026](https://doi.org/10.1515/HF.2009.026)
- Aytin, A., & Korkut, S., (2016). Effect of thermal treatment on the swelling and surface roughness of common alder and wych elm wood, *Journal of Forestry Research*, 27, 225-229. DOI: [10.1007/s11676-015-0136-7](https://doi.org/10.1007/s11676-015-0136-7)
- Bal, B. C., (2018). A comparative study of some of the mechanical properties of pine wood heat treated in vacuum, nitrogen, and air atmospheres, *BioResources*, 13(3), 5504-5511. DOI: [10.15376/biores.13.3.5504-5511](https://doi.org/10.15376/biores.13.3.5504-5511)
- Bal, B. C., & Kılavuz, M., (2021). Kavak odununun bazı fiziksel özellikleri üzerine vakum atmosferinde uygulanan ısı işlemin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 30-39, DOI: [10.33725/mamad.926939](https://doi.org/10.33725/mamad.926939)
- Basri, E., Yuniarti, K., Wahyudi, I., Saefudin, & Damayanti, R., (2015). Effects of girdling on wood properties and drying characteristics of *Acacia mangium*, *Journal of Tropical Forest Science*, 498-505. <http://www.jstor.org/stable/43596226>
- Cockrell, R.A., (1974). A comparison of latewood pits, fibril orientation, and shrinkage of normal and compression wood of giant sequoia, *Wood Science and Technology*, 8 (3): 197-206. DOI: [10.1007/bf00352023](https://doi.org/10.1007/bf00352023)
- EN 1910 (2016). Wood and parquet flooring and wood panelling and cladding – determination of dimensional stability, European standard, CEN.
- EN 13183-1 (2002). Moisture content of a piece of sawn timber - Determination by oven dry method, European standard, CEN.
- Esteves, B., (2009). Wood modification by heat treatment: A review, *BioResources*, 370-404. DOI: [10.15376/biores.4.1.esteves](https://doi.org/10.15376/biores.4.1.esteves)
- Ferrari, S., Cuccui, I., & Allegretti, O., (2013). Thermo-vacuum Modification of some European softwood and hardwood species treated at different conditions, *BioResources*, 8(1): 1100-1109. DOI: [10.15376/biores.8.1.1100-1109](https://doi.org/10.15376/biores.8.1.1100-1109)
- Ghiassi, B., & Lourencço, P. B., (2018). Long-term performance and durability of Masonry structures: degradation mechanisms, health monitoring and service life design, *Woodhead Publishing*. DOI: [10.1016/c2016-0-03710-5](https://doi.org/10.1016/c2016-0-03710-5)
- Giudice, V.L., Antov, P., Koynov, D., Kristak, L., Lee, S.H., Lubis, M.A.R., Mecca, M., Moretti, N., Tiwari, R. & Todaro, L., (2023). Effect of thermo-vacuum modification on selected chemical, physical, and mechanical properties of Siberian larch (*Larix sibirica* L.) wood, *Wood Material Science & Engineering*, 18(6), 1991-2000. DOI: [10.1080/17480272.2023.2212253](https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2212253)
- Hill, C., (2006). Wood modification-chemical, thermal and other processes, Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons, Ltd.
- Jebrane, M., Pockrandt, M., Cuccui, I., Allegretti, O., Uetimane Jr, E., & Terziev, N., (2018). Comparative study of two softwood species industrially modified by Thermowood® and thermo-vacuum process, *BioResources*, 13(1), 715-728. DOI: [10.15376/biores.13.1.715-728](https://doi.org/10.15376/biores.13.1.715-728)

- Juizo, C.G.F., Zen, L.R., Klitzke, W., França, M.C., Cremonez, V.G., & Klitzke, R.J., (2018). Propriedades tecnológicas da madeira de eucalip- submetida ao tratamen- térmico, *Nativa*, 6(5), 537-542. DOI: [10.31413/nativa.v6i5.5666](https://doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5666)
- Köse, G., & Temiz, A., (2013). Ahşap malzemenin korunması (emprenye) ile ilgili sıkça sorulan sorular, *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, 94-97.
- Mantanis, G., Terzi, E., Kartal, S.N. & Papadopoulos, A.N., (2014). Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc-and copper-based nanocompounds, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 90, 140-144. DOI: [10.1016/j.ibiod.2014.02.010](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.02.010)
- Masoumi, A., & Bond, B. H., (2024). Dimensional stability and equilibrium moisture content of thermally modified hardwoods, *BioResources*, 19(1): 1218-1228. [10.15376/biores.19.1.1218-1228](https://doi.org/10.15376/biores.19.1.1218-1228)
- Öztürk, B., & Atar, M., (2023). Ahşap lavabo ve küvetlerde boyutsal kararlılık tasarımına emprenye işleminin etkisi, *Politeknik Dergisi*, 26(1), 477-485, DOI: [10.2339/politeknik.1256422](https://doi.org/10.2339/politeknik.1256422)
- Surini, T., Charrier, F., Malvestio, J., Charrier, B., Moubarik, A., Castéra, P., & Grelier, S., (2012). Physical properties and termite durability of maritime pine *Pinus pinaster* Ait., heat-treated under vacuum pressure, *Wood Science and Technology*, 46(1), 487-501. DOI: [10.1007/s00226-011-0421-3](https://doi.org/10.1007/s00226-011-0421-3)
- TS 4083, (1983). Odunda radyal ve teğet doğrultuda çekmenin tayini (İptal), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS ISO 13061-13, (2024). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Küçük kusursuz odun numuneleri için deney yöntemleri - Bölüm 13: Radyal ve teğet yönde daralmanın belirlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE CEN/TS 15679 (2011). Isıl işleme değiştirilmiş kereste (tmt) - Tarifler ve karakteristik özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Yan, L., & Morrell, J. J., (2014). Effects of thermal modification on physical and mechanical properties of Douglas-fir heartwood, *BioResources*, 9(4), 7152-7161. DOI: [10.15376/biores.9.4.7152-7161](https://doi.org/10.15376/biores.9.4.7152-7161)
- Yılğör, N. & Kartal, S. N., (2010). Heat modification of wood: chemical properties and resistance - mold and decay fungi, *Forest Products Journal*, 60(4), 357-361, DOI: [10.13073/0015-7473-60.4.357](https://doi.org/10.13073/0015-7473-60.4.357)



Ahşap ve ahşap esaslı levhalara uygulanan boya ların yanmada ışık yoğunluğuna etkisi

Hanife Kara¹, Cansu Özder¹, Hakan Keskin², Musa Atar², Beyza Nur Karabal¹

ÖZ: Bu çalışma, çeşitli örtücü ahşap boya ların ağaç malzeme ve levhalarda yanmada ışık yoğunluğuna etkilerini belirlemek amacı ile yapılmıştır. Bu maksatla Doğu kayını (*Fagus orientalis L.*), sarıçam (*Pinus silvestris L.*), sapsız meşe (*Quercus petraea L.*) orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve yonga levhadan hazırlanan, örnekler akrilik, sentetik ve selülozik boya ile ASTM D 3023'e göre boyanmıştır. Örneklerin yanmada ışık yoğunlukları ASTM E 160–50 esaslarına göre belirlenmiştir. Işık yoğunluğu; malzeme türüne göre en yüksek Doğu kayınında, en düşük yonga levhada, boya çeşidine göre en yüksek akrilik boyada, en düşük sentetik boyada belirlenmiştir. Işık yoğunluğu; kendi kendine yanmada malzeme türüne göre en yüksek yonga levhada (865.3 lüx), en düşük sarıçamda (839.5 lüx), malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısı etkileşimine göre en yüksek YL+Ab+I'de (888.2 lüx), en düşük Sç+Sb+II'de (776.4 lüx) belirlenmiştir. Buna göre, araştırmaya konu malzemelerin dekorasyonda kullanılması düşünüldüğünde, yonga levhadan yapılmış ve akrilik boya ile boyanmış malzemelerin yangında dumandan boğulma tehlikesine karşı en uygun ve en az riskli olacağı belirlenmiştir. Bu durumun, yangın riski olan ortamlarda burada bulunan bulguları göz önünde bulundurarak uygulanmasının can güvenliği açısından faydalı olacağı düşünülebilir.

Anahtar kelimeler: Işık yoğunluğu, ağaç malzeme, levhalar, örtücü boya, kat sayısı

Effect of paints applied to wood and wood-based boards on light intensity in combustion

ABSTRACT: This study was carried out to determine the effects of various covering wood paints on light intensity during combustion in wood materials and panels. For this purpose, samples prepared from Oriental beech (*Fagus orientalis L.*), Scots pine (*Pinus silvestris L.*), sessile oak (*Quercus petraea L.*), medium density fiberboard (MDF) and particleboard were painted with acrylic, synthetic and cellulosic paint according to ASTM D 3023. Light intensities of the samples during combustion were determined according to ASTM E 160–50. Light intensity was determined to be highest in Oriental beech, lowest in particleboard, and highest in acrylic paint, lowest in synthetic paint, according to the type of paint. Light intensity was determined as; According to the type of material, the highest spontaneous combustion was determined as particle board (865.3 lüx), the lowest as Scots pine (839.5 lüx), and according to the interaction of material type, paint type and number of layers, the highest as YL+Ab+I (888.2 lüx), the lowest as Sç+Sb+II (776.4 lüx). Accordingly, when the materials subject to the research are considered to be used in decoration, it is determined that the materials made of particleboard and painted with acrylic paint will be the most suitable and least risky against the danger of suffocation from smoke in fire. It can be considered that the application of this situation in environments with fire risk, taking into account the findings found here, will be beneficial in terms of life safety.

Key words: Light intensity, wood material, panels, covering paint, number of layer

Makale tarihçesi: Geliş:08.10.2024, Kabul:24.11.2024, Yayınlanma:30.12.2024, *e-posta: khakan@gazi.edu.tr

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaççşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara/Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara/Türkiye

Atf: K. Hanife, Özder C., Keskin H., Atar M., ve K. Beyza Nur., (2024), Ahşap ve ahşap esaslı levhalara uygulanan boya ların yanmada ışık yoğunluğuna etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7 (2), 172-187, DOI: [10.33725/mamad.1563749](https://doi.org/10.33725/mamad.1563749)

1. Giriş

Ağaç malzeme insanoğlunun kullandığı en önemli doğal hammadde kaynaklarından birisidir. Yenilenebilir bir kaynak olarak ağaca bu önemli yeri kazandıran husus, çok yaygın bir şekilde bulunması, sahip olduğu sertlik, mukavemet, elastikiyet, gösterdiği direncine göre hafiflik gibi özellikleri yanında şekil verilebilmesi, bazı özelliklerinin iyileştirilebilmesi, çivi, vida tutma özellikleri ve yapıştırılabilme gibi nitelikleri sayılabilir (Bozkurt ve Göker, 1996).

Günümüzde ağaç malzemenin 10.000 civarında kullanım yeri vardır (Örs ve Keskin, 2001). Bu kadar fazla kullanım alanı olmasının nedeni; anatomik yapısı, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşenlerinden kaynaklanmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997: 372).

Endüstriyel gelişim ve değişimin yaşandığı günümüzde, hammadde kaynaklarının kıtlığı; endüstri kollarında alternatif ürün temin etme çalışmalarına yöneltmiştir. Ağaç malzemenin kullanım alanlarının artması ile alternatif ürün arayışlarına gidilmiş ve odun esaslı levha ürünleri geliştirilmiştir. Geliştirilen bu ürünler yapı ve kullanım alanları olarak masif ağaç malzemelere oldukça yakındır (Eroğlu ve Usta, 2000).

Tüm ligno selülozik materyaller, yanıcı özelliklere sahip olmaları nedeniyle tutuşma sıcaklığına ulaştıklarında ve yanma için gereken ortamı bulduklarında kolaylıkla yanabilir, direnç özelliklerini kaybedebilmektedir. Bu amaçla; malzemenin yanma karakteristiklerine etki edip dayanımlarını artırmak için çeşitli yanmayı geciktirici kimyasal maddelerle muamele edilerek güçlendirilmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır (Ellis ve Rowell, 1984: 346, 349; Gu, Zhang, Dong, Zhang ve Kong, 2007: 201).

Ahşap ve ahşap esaslı ürünlerin, yaklaşık olarak tamamına yakını yanıcı olup karbon ve hidrojen den oluşmaktadır (Chin-Mu ve Wang, 1991).

Yangın riskinin gerçekleştiği zaman, yapıda bulunan maddelerin miktarına, türüne ve yapının havalandırma koşullarına bağlı olarak bir duman tabakası oluşmaktadır. Dakikalar ilerledikçe duman tabakası yapının yarısını kaplar ve yangın yönündeki hava akışına karışır. Bu noktaya gelindiği takdirde kaçış koşulları ve yangını söndürme çalışmaları güçleşmektedir. Oluşan duman tabakası, görüş alanını kısıtlamasının yanı sıra zehirlenmelere de neden olabilmektedir. Gerçekte yangınlarda ortaya çıkan can kayıplarının %75'i dumandan zehirlenmeler ve boğulmalar sonucunda olmaktadır. Bu göz önüne alındığında yapılarda duman kontrolünün sağlanması, öncelikle can kayıplarının önüne geçilmesi için zorunludur (Kars, 1999).

Ağaç malzemenin istenilmeyen sakıncalı özelliklerini iyileştirici metotlar geliştirilmiştir. Bu maksatla uygulanan teknik işlemlerin en önemlileri kurutma, emprenye ve üst yüzey işlemleridir. (Uysal, 1997).

Odunsu malzemelerde yanma, tutuşma kabiliyeti, rengi, yoğunluğu, kokusu ve basınç direncine karşı dayanıklılığı ekstraktif madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Odunda ekstraktif madde miktarı azaldıkça yanma kabiliyeti de azalmaktadır. Lignin ve inorganik madde (kül) oranındaki artış yanma direncini azaltmaktadır (Peker ve Atılgan, 2015).

Kontrplak, yonga levha ve lif levha (MDF) malzemeler üzerine fırçalama tekniği kullanılarak 1, 2 ve 3 kat yangın geciktirici özelliğe sahip klorlu kauçuk boya sürülüp yanma deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak, üç kat boya uygulanan yonga levhada yanma direnci en fazla görülürken bir kat boya uygulanan MDF'nin yanmaya karşı en az direnç gösterdiği görülmüştür (Lee, 1989).

Tanalith-E ve Wolmanit-CB ile emprenye edilmiş kestane (*Castanea sativa Mill.*) odunlarına su bazlı ve sentetik vernik uygulandıktan sonra bir yıl dış hava şartlarında bekletmişlerdir. Deney örneklerin yanma özelliklerinde CO₂ miktarı (ppm) yanma çeşidi bakımından en yüksek kendi kendine yanmada (19,18), en düşük kor hali yanmada (10,89), vernik çeşidi bakımından en yüksek sentetik vernikte kendi kendine yanmada (19,82) en düşük su bazlı vernikte alev kaynaklı yanmada (8,66) bulunduğu bildirilmiştir (Fidan vd., 2016).

Ahşap malzemenin üstün özellikleri yanında yanma, rutubet etkisiyle çalışma, böcek ve mantar tarafından tahrip edilmesi gibi mahsurlu yönleri bulunmaktadır. Bu yönlerini iyileştirmek için boyama gibi üst yüzey, stabilite gibi emprenye ve kurutma gibi çalışmayı azaltıcı işlemler yapılmaktadır. Bu işlemlerin yanma özelliklerine etkileri günümüzde kullanım alanlarında yangında insan can ve mal ehemmiyeti bakımından önemli bulunmaktadır (Atar, 2008).

Kontrplak, OSB ve MDF'nin yanma dayanımları ile ilgili yapılan çalışmada, kimyasal madde olarak boraks, potasyum karbonat, wolmanit CB kullanılmış ve yanma tehlikesi olan yerlerde diğer levha ürünlerine kıyasla MDF'nin kullanılması gerektiği, yanmaya en dayanıklı levhanın ise MDF olduğunu bulunmuştur (Aslan ve Özkaya, 2004).

Tanalith-E ve Wolmanit-CB ile emprenye edilen sarıçam (*Pinus sylvestris Lipsky*), sapsız meşe (*Quercus petraea Liebl.*) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis Lipsky*) odunları sentetik ve su bazlı vernik ile kaplandıktan sonra yanma testleri yapılmıştır. Örneklerde CO₂ miktarı (ppm) yanma çeşidi bakımından en yüksek kendi kendine yanmada (16.4), en düşük kendi kendine yanmada (1.4), sentetik vernikte en yüksek kendi kendine yanmada (17.5) en düşük su bazlı vernikte alev kaynaklı yanmada (5.4) olduğu tespit edilmiştir (Yaşar ve Atar, 2017).

Sapsız meşe (*Quercus sessiliflora Salisb.*)'de Oksalik asit (C₂H₂O₄), Sodyum hidroksit (NaOH), Hidrojen peroksit (H₂O₂), Amonyak (NH₃) ve Hidroklorik asit (HCl) ile renk açma işleminin CO₂ miktarı (ppm), yanma çeşidi bakımından en yüksek kendi kendine yanmada (6.5), en düşük alev kaynaklı yanmada (5.1) bulunmuştur (Özçifçi, 2001).

Bu çalışmanın amacı, ahşabın kullanım yerinde oluşabilecek yangın riskini azaltmak, boğulma riskini engellemek veya en aza indirmektir. Elde edilen sonuçların, yangın riski bulunan mekanlarda dikkate alınması can emniyeti bakımından avantaj sağlayacağı söylenebilir ve çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Ağaç malzeme

Çalışmada ağaç türü olarak, sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), Doğu kayını (*Fagus orientalis L.*), sapsız meşe (*Quercus petraea L.*), levha çeşidi olarak orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve yonga levha deney materyali olarak kullanılmıştır.

2.2. Örtücü boyalar

Örneklerin boyanmasında akrilik, sentetik ve selülozik boya kullanılmıştır.

2.2.1. Akrilik boya

Akrilik boya, pürüzlü ve pürüzsüz yüzeylere uygulanabilen, su bazlı bir boya çeşididir. Çok yoğun kokusunun olmaması nedeniyle çabuk kuruması, sabunlu su ile kolayca yüzeyden temizlenebilmesi özellikleri ile hem iç hem de dış mekânlar olmak üzere ağaç, metal, kâğıt,

karton, seramik, mukavva, kumaş, bez, tuval ve daha birçok yüzeyde geniş kullanım alanına sahiptir.

Akrilik boya, üretici firma önerileri doğrultusunda su ile açılarak orta sertlikte fırça ile tek ve iki kat uygulanmıştır. İki kat arasında 15 dakika beklenmiştir. Akrilik boya, m² ye yaklaşık 80-120 gr olacak şekilde uygulanmıştır.

2.2.2. Sentetik boya

Sert, dayanıklı, üstün yapışma özelliklerine sahip yağ esaslı bir boyadır. Dış mekânlarda veya veranda mobilyalarında, ev içerisinde dayanıklı olması istenen yüzeylerde, merdivenler gibi çok fazla aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde tercih edilmektedir (Gürleyen, 2018).

Sentetik boya; %15 tiner ile inceltilerek, fırça ile tek ve iki kat uygulanmıştır. Üretici firmanın önerileri doğrultusunda katlar arasında 24 saat dış hava koşullarında bekletilmiştir. Sentetik boya m² ye yaklaşık 110 gr olacak şekilde uygulanmıştır.

2.2.3. Selülozik boya

Tek bileşenli, yüksek örtücülük gücüne sahip son kat boya çeşididir. Selülozik boya, özellikle uygulandığı yüzeye parlak bir görüntü vermesinden dolayı mobilya kaplama alanlarında geniş kullanım alanına sahiptir.

Selülozik boya; üretici firma öneriler doğrultusunda % 80 oranında selülozik tiner ile inceltilerek fırça ile uygulanmıştır. Katlar arasında 24 saat beklenmiştir. Selülozik boya; m² ye yaklaşık 80-100 gr olacak şekilde uygulanmıştır.

2.3. Deney örneklerinin hazırlanması

Deney örnekleri mobilya ve levha sektöründen tesadüfi metotla seçilmiştir. Sarıçam (*Pinus sylvestris L.*), Doğu kayını (*Fagus orientalis L.*), sapsız meşe (*Quercus petraea L.*), orta yoğunlukta lif levha (MDF) ve yonga levha örnekleri ASTM D 358, TS 345, TS 1476'ya göre budaksız, ardaksız, sağlam, düzgün lifli, diri odun kısmından, reçenesi ve büyüme kusuru bulunmayan parçalardan hazırlanmıştır. Kaba ölçüde kesilen örnekler 20 ± 2°C sıcaklık ve % 65 ± 3 bağıl nem şartlarında %12 rutubete ulaşincaya kadar bekletilmiştir (TS ISO 13061-1, 2021). Hava kurusu rutubetteki örnekler 13x13 x 76 mm (radyal x teğet x boy) ölçülerinde hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklere örtücü boya olarak akrilik, sentetik ve selülozik boyalar fırça ile her bir ağaç türü ve levha için tek kat ve iki kat olarak uygulanmıştır.

Akrilik boya uygulanması; hazırlanan deney örneklerine üretici firma önerileri doğrultusunda su ile açılarak orta sertlikte fırça 1 m²'ye 80-120 gr gelecek şekilde tek kat ve iki kat olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmıştır. İki kat arasında bekleme süresi olarak yine üretici firmanın önerilerine uyularak 15 dk beklenmiştir.

Sentetik boya uygulanması; %15 tiner ile inceltilerek, fırça ile sürme metodu ile tek kat ve iki kat olarak uygulanmıştır. Üretici firmanın önerileri doğrultusunda iki kat boyama için tek kat ile ikinci kat arasında bekleme süresi olarak 24 saat dış hava koşullarında bekletilmiştir. 1 m² lik yüzey kaplamak için 110 gr kullanılmıştır.

Selülozik boya uygulanması; üretici firmanın belirlediği öneriler doğrultusunda % 80 oranında selülozik tiner ile inceltilerek fırça ile uygulanmıştır. İki kat arasında 24 saat bekleme süresine uyularak sürülmüştür. 1 m²'lik yüzey kaplamak için 80-100 gr kullanılmıştır.

2.4. Verilerin değerlendirilmesi

Bu çalışmada, malzeme çeşidi, kat sayısı, boya çeşidinin ışık yoğunlukları veri olarak kullanılmıştır. İstatistiksel değerlendirme aşamasında MSTAT-C istatistik programında çoklu varyans (ANOVA) analizleri uygulanmıştır. Gruplar arası farklılığın önemli çıkması halinde farkların hangi faktörlerden kaynaklandığının ortaya konması ve homojenlik gruplarının belirlenmesi için her bir faktöre kendi içerisinde Duncan testi (homojenlik grubu) uygulanmış farklılıklar karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Işık yoğunlukları

3.1.1. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunlukları

Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısının alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin çoklu varyans analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Faktör	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kareler	F değeri	$P\alpha < 0,05$
Malzeme türü (A)	4	14762.197	3690.549	22.7851	0.0000
Boya çeşidi (B)	2	1190.751	595.375	3.6758	0.0292
Etkileşim (AB)	8	1180.701	147.588	0.9112	
Kat sayısı (C)	2	10015.230	5007.615	30.9165	0.0000
Etkileşim (AC)	8	15726.088	1965.761	12.1364	0.0000
Etkileşim (BC)	4	1127.242	281.811	1.7399	0.1481
Etkileşim (ABC)	16	3082.384	192.649	1.1894	0.2919
Hata	90	14762.197	161.972	22.7851	0.0000
Toplam	134	61662.095			

Malzeme türü, boya kat sayısı ile malzeme türünün karşılıklı etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($\alpha < 0,05$). Diğer parametreler bu bakımdan anlamsız çıkmıştır. Anlamlı ve anlamsız olanlarda LSD değerleri dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Malzeme türüne göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısına ilişkin alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Malzeme türü*	X	HG
Sarıçam (Sç)	883.0	A
Doğu kayını (Dk)	880.3	A
Meşe (M)	877.7	A
Lif Levha (MDF)	859.7	B
Yonga levha (YL)	858.9	B
Boya çeşidi**		
Akrilik (Ak)	876.1	A
Sentetik (Sn)	869.8	B
Selülozik (Sl)	869.8	B
Kat sayısı***		
Kontrol (Knt)	883.5	A
Bir kat (I)	869.5	B
İki kat (II)	862.8	C

*LSD:6.851, **LSD:5.307, ***LSD:5.307

Malzeme türüne göre, alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu en yüksek sarıçamda (883.0), en düşük yonga levhada (858.9), boya çeşidine göre en yüksek akrilik (876.1), en düşük selülozikte (869.8), kat sayısına göre en yüksek bir I'de (869.5), en düşük II'de (862.8) bulunmuştur. Malzeme türü+boya çeşidi, malzeme türü+kat sayısı etkileşimine göre, alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 3.'de verilmiştir.

Çizelge 3. Malzeme türü+ boya çeşidi, malzeme türü+kat sayısı etkileşimine ilişkin alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Malzeme türü+Boya çeşidi*	X	HG	Malzeme türü +Kat sayısı*	X	HG
Sç+Ak	886.7	A	Sç	917.8	A
Sç+Sl	885.5	A	Dk	893.4	B
Dk+Ak	882.8	A	M	893.4	B
Dk+Sl	881.9	AB	Dk+I	875.7	C
M+Ak	881.1	AB	Sç+I	875.0	C
M+Sn	878.2	AB	Dk+II	871.9	CD
Sç+Sn	876.3	AB	M+I	870.6	CD
Dk +Sn	876.3	AB	YL+I	869.6	CDE
M+Sl	873.8	ABC	M+II	869.1	CDE
YL+Ak	868.4	BCD	MDF	863.8	CDE
MDF+Ak	861.6	CDE	YL+II	860.3	DEF
MDF+Sn	859.2	DE	MDF+I	856.5	EF
YL+Sn	858.7	DE	MDF+II	856.3	EF
MDF+Sl	856.0	DE	Sç+II	856.3	EF
YL+Sl	851.9	E	YL	849.1	F

*LSD:11.87

Malzeme türü+boya çeşidine ilişkin alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Sç+Ak'de (886.7), en düşük YL+Sl'de (851.9), malzeme türü+kat sayısına göre, en yüksek Dk+I 'de (875.7), en düşük Sç+II'de (856.3) bulunmuştur. Boya çeşidi-kat sayısına göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Boya çeşidi+kat sayısı etkileşimine ilişkin alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Boya çeşidi+ Kat sayısı*	X	HG
Ak	883.9	A
Sn	883.3	A
Sl	883.3	A
Ak+I	873.2	B
Ak+II	871.3	B
Sl+I	870.1	BC
Sn+I	865.0	BCD
Sn+II	861.1	CD
Sl+II	856.0	D

*LSD: 9.191

Boya türü+kat sayısı etkileşimine göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu en yüksek Ak+I' de (873.2), en düşük Sl+II' de (856.0) bulunmuştur.

Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısı etkileşimine göre, alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri Çizelge 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısı etkileşimine göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Malzeme türü+Boya çeşidi+Kat sayısı	X	HG*	Malzeme türü +Boya çeşidi +Kat sayısı	X	HG*
Sç+Sl	917.8	A	M+Sl+I	865.8	DEFGHIJ
Sç+Sn	917.8	A	Dk+Sn+II	865.7	DEFGHIJ
Sç+Ak	917.8	A	YL+Sn+I	864.5	DEFGHIJ
Sç+Sl+I	896.3	AB	MDF+Sn	863.8	DEFGHIJ
Dk+Sn	893.6	BC	MDF+Ak	863.8	DEFGHIJ
M+Sl	893.4	BC	MDF+Sl	863.8	DEFGHIJ
M+Sn	893.4	BC	YL+Sn+II	863.4	DEFGHIJ
M+Ak	893.4	BC	M+Sl+II	862.2	DEFGHIJ
Dk+Sl	893.3	BC	MDF+Ak+I	861.2	DEFGHIJ
Dk+Ak	893.3	BC	Sç+Sn+I	860.8	DEFGHIJ
YL+Ak+II	884.9	BCD	MDF+Ak+II	859.8	DEFGHIJ
Dk+Ak+I	879.3	BCDE	YL+Sl+I	859.3	DEFGHIJ
Dk+Sl+I	878.4	BCDEF	MDF+Sn+I	857.4	EFGHIJ
M+Ak+II	876.9	BCDEFG	MDF+Sn+II	856.3	EFGHIJ
Dk+Ak+II	875.8	BCDEFGH	MDF+Sl+II	853.3	FGHIJ
Sç+Ak+II	874.7	BCDEFGH	Sç+Sn+II	851.9	GHIJ
Dk+Sl+II	874.1	BCDEFGH	YL+Ak	851.1	GHIJ
M+Ak+I	873.0	BCDEFGHI	MDF+Sl+I	850.9	HIJ
M+Sn+I	873.0	BCDEFGHI	YL+Sl+II	848.3	IJ
Dk+Sn+I	869.5	CDEFGHI	YL+Sl	848.1	IJ
YL+Ak+II	869.1	CDEFGHI	YL+Sn	848.1	IJ
M+Sn+II	868.4	CDEFGHI	Sç+Sl+II	842.4	J
Sç+Ak+I	867.8	DEFGHIJ			

Malzeme türü-boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre, alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu en yüksek Sç+Sl+I'de (896.3), en düşük Sç+Sl+II'de (842.4) bulunmuştur.

3.1.2. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu

Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısının kendi kendine yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin çoklu varyans analiz sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Kendi kendine yanmada bağlı ışık yoğunluğuna ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Ortalama Kareler	F değeri	P α <0,05
Malzeme türü (A)	4	13400.268	3350.067	17.7347	0.0000
Boya çeşidi (B)	2	2889.812	1444.906	7.6491	0.0009
Etkileşim (AB)	8	1823.227	227.903	1.2065	0.3043
Kat sayısı (C)	2	21858.381	10929.191	57.8573	0.0000
Etkileşim (AC)	8	18664.573	2333.072	12.3509	0.0000
Etkileşim (BC)	4	4628.295	1157.074	6.1253	0.0002
Etkileşim (ABC)	16	9515.007	594.688	3.1482	0.0003
Hata	90	17000.931	188.899	17.7347	
Toplam	134	89780.494			

Buna göre, malzeme türü, boya kat sayısı ile malzeme türünün karşılıklı etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (α <0,05). Diğer parametreler bu bakımdan anlamsız çıkmıştır. Anlamlı ve anlamsız olanlarda LSD değerleri dikkate alınarak karşılaştırmalar

Boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri Çizelge 9’da gösterilmiştir.

Çizelge 9. Boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine ilişkin kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Boya Çeşidi+ Kat sayısı	X	HG*
Sl	871.1	A
Sn	871.1	A
Ak	870.9	A
Ak+I	855.8	B
Ak+II	853.9	B
Sl+I	852.7	B
Sn+II	840.8	C
Sn+I	838.8	C
Sl+II	827.9	D

*LSD: 9.926

Boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine ilişkin kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu en yüksek Ak+I’ de (855.8), en düşük Sl+II’ de (827.9) bulunmuştur. Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısı etkileşimine ilişkin kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri Çizelge 10’da gösterilmiştir.

Çizelge 10. Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısı etkileşimine ilişkin kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Malzeme türü+Boya çeşidi + Kat sayısı	X	HG*	Malzeme türü+Boya çeşidi +Kat sayısı	X	HG*
YL+Ak+I	888.2	A	M+Sl+I	859.6	BCD
Sç+Sn	887.7	A	M+Sn+II	859.4	BCD
Sç+Sl	887.7	A	MDF+Ak+II	859	BCD
Sç+Ak	887.3	A	M+Sn+I	857.8	BCD
M+Sl	872.7	AB	Dk+Ak+II	854.4	BCDE
M+Sn	872.7	AB	MDF+Sl+II	851.9	BCDEF
M+Ak	872.7	AB	Dk+Ak+I	851.5	BCDEF
YL+Ak+II	871.3	ABC	YL+Sl+I	850.2	BCDEF
YL+Sn	867.7	ABC	M+Sl+II	848.2	BCDEF
YL+Ak	867.7	ABC	YL+Sl+II	848.1	BCDEF
YL+Sl	867.7	ABC	MDF+Sn+I	846.9	BCDEF
M+Ak+II	865.2	ABCD	MDF+Sl+I	845.6	BCDEF
MDF+Sn	864.3	ABCD	Dk+Sl+I	844.1	CDEFG
MDF+Ak	864.3	ABCD	MDF+Sn+II	837.8	DEFGH
MDF+Sl	864.3	ABCD	Dk+Sn+I	828.1	EFGH
Sç+Sl+I	864.2	ABCD	Dk+Sn+II	825.6	FGH
YL+Sn+I	864.0	ABCD	Sç+Ak+II	819.7	GHI
Dk+Sl	863.0	ABCD	Sç+Sn+II	818.5	HI
Dk+Sn	863.0	ABCD	Sç+Ak+I	816.7	HI
Dk+Ak	862.8	ABCD	Dk+Sl+II	815.1	HI
MDF+Ak+I	862.6	ABCD	Sç+Sn+I	797.3	IJ
YL+Sn+II	862.6	ABCD	Sç+Sl+II	776.4	J
M+Ak+I	859.7	BCD			

*LSD:22.20

Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısı etkileşimine göre, kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu en yüksek YL+Ak+I' de (888.2), en düşük Sç+Sl+II' de (776.4) bulunmuştur.

3.1.3. Kor halinde yanmada ışık yoğunluğu

Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısının kor halinde yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin çoklu varyans analiz sonuçları Çizelge 11'de verilmiştir.

Çizelge 11. Kor halinde yanmada ışık yoğunluğuna ilişkin çoklu varyans analizi sonuçları

Faktör	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P $\alpha < 0,05$
Malzeme türü (A)	4	50843.553	12710.888	2.2554	0.0693
Boya çeşidi (B)	2	12938.230	6469.115	1.1479	0.3219
Etkileşim (AB)	8	48807.237	6100.905	1.0825	0.3826
Kat sayısı (C)	2	11782.122	5891.061	1.0453	0.3558
Etkileşim (AC)	8	48441.024	6055.128	1.0744	0.3882
Etkileşim (BC)	4	18270.771	4567.693	0.8105	
Etkileşim (ABC)	16	89111.452	5569.466	0.9882	
Hata	90	507220.108	5635.779	2.2554	
Toplam	134	787414.496			

Buna göre, malzeme türü, boya kat sayısı ile malzeme türünün karşılıklı etkileşimleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($\alpha < 0,05$). Diğer parametreler bu bakımdan anlamsız çıkmıştır. Anlamlı ve anlamsız olanlarda LSD değerleri dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısına göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri Çizelge 12'de gösterilmiştir.

Çizelge 12. Malzeme türü, boya çeşidi, kat sayısına ilişkin kor halinde yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Malzeme türü*	X	HG
Doğu kayını (Dk)	879	A
Sarıçam (Sç)	868.8	A
Meşe (M)	864.4	AB
Yonga levha (YL)	860.0	AB
Lif levha (MDF)	822.1	B
Boya çeşidi**		
Akrilik (Ak)	867.2	A
Sentetik (Sn)	864.2	A
Selülozik (Sl)	845.1	A
Kat sayısı***		
Kontrol (Knt)	868.6	A
İki kat (II)	861.6	A
Bir kat (I)	846.3	A

*LSD:40.41,**LSD:31.30,***LSD:0.6453

Kor halinde yanmada ışık yoğunluğu, malzeme türüne göre, en yüksek Doğu kayınında (879), en düşük MDF'de (822.1), boya çeşidine göre en yüksek akrilik boyada (867.2), en düşük selülozik boyada (845.1), boya kat sayısına göre en yüksek II'de (861.6), en düşük I'de (846.3) bulunmuştur.

Malzeme türü+boya çeşidi ve malzeme türü+kat sayısı etkileşiminin kor halinde yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerlerine ilişkin sonuçları Çizelge 13'de verilmiştir.

Çizelge 13. Malzeme türü+boya çeşidi ve malzeme türü+kat sayısına ilişkin kor halinde yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Malzeme türü + Boya çeşidi*	X	HG	Malzeme türü + Kat sayısı*	X	HG
Dk+Sl	882.9	A	Dk+Knt	860.6	A
Dk+Ak	877.4	A	Dk+II	874.2	A
Dk+Sn	876.6	A	Sç+I	874.1	A
Sç+Sl	871.8	A	Dk+I	872.1	A
Sç+Ak	871.1	A	Sç+Knt	870.7	A
YL+Ak	866.9	A	M+I	866.7	A
M+Ak	866.1	A	M+II	863.9	A
M+Sn	864.1	A	YL+Knt	862.7	A
Sç+Sn	863.5	A	M+Knt	862.5	A
M+Sl	862.8	A	Sç+II	861.5	A
YL+Sn	860.4	A	YL+I	861.4	A
MDF+Sn	856.5	A	MDF+Knt	856.6	A
MDF+Ak	854.5	A	YL+II	855.8	A
YL+Sl	852.6	A	MDF+II	852.8	A
MDF+Sl	755.4	B	MDF+I	757	B

*LSD: 69.99

Malzeme türü+boya çeşidi etkileşimine ilişkin kor halinde yanmada, ışık yoğunluğu en yüksek Dk+Sl'de (882.9), en düşük MDF+Sl'de (755.4), malzeme türü+kat sayısı etkileşimine göre en yüksek Dk+II' de (874.2), en düşük MDF+I'de (757) bulunmuştur.

Boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri Çizelge 14'de gösterilmiştir.

Çizelge 14. Boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine ilişkin kor halinde yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Boya çeşidi+ Kat sayısı	X	HG*
Ak	868.7	A
Sn	868.6	A
Sl	868.6	A
Ak+II	866.9	A
Ak+I	866.0	A
Sn+I	863.3	A
Sn+II	860.8	A
Sl+II	857.2	A
Sl+I	809.5	A

*LSD: 54.22

Boya çeşidi+kat sayısı etkileşimine göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu en yüksek Ak+II'de (866.9), en düşük Sl+I'de (809.5) bulunmuştur.

Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısı etkileşimine göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri Çizelge 15'de gösterilmiştir.

Çizelge 15. Malzeme türü, boya çeşidi ve kat sayısı etkileşimine göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu ortalama değerleri (Lüx)

Malzeme türü+Boya çeşidi+Kat sayısı	X	HG*	Malzeme türü+Boya çeşidi+Kat sayısı	X	HG*
Dk+Ak	890.6	A	YL+Ak	862.7	A
Dk+S1	890.6	A	YL+S1	862.7	A
Dk+Sn	890.6	A	M+Ak	862.5	A
Sç+S1+I	881.9	A	M+S1	862.5	A
Dk+S1+I	881.6	A	M+Sn	862.5	A
Dk+Ak+II	880.1	A	YL+Ak+II	862.3	A
Dk+S1+II	876.3	A	Dk+Ak+I	861.6	A
YL+Ak+I	875.7	A	YL+Sn+II	860.7	A
Sç+Ak+I	873.6	A	MDF+Sn+II	860.3	A
Dk+Sn+I	873.0	A	M+S1+II	858.4	A
Sç+Sn	870.7	A	YL+Sn+I	857.7	A
Sç+Ak	870.7	A	MDF+Ak	856.8	A
Sç+S1	870.7	A	MDF+Sn	856.5	A
M+Ak+II	869.6	A	MDF+S1	856,5	A
Sç+Ak+II	868.9	A	MDF+Ak+II	853.8	A
M+S1+I	867.7	A	MDF+Ak+I	853.0	A
Sç+Sn+I	866.8	A	Sç+Sn+II	852.9	A
M+Ak+I	866.4	A	MDF+Sn+I	852.7	A
Dk+Sn+II	866.2	A	YL+S1+I	850.8	A
M+Sn+I	866.0	A	YL+S1+II	844.3	A
M+Sn+II	863.8	A	MDF+S1+II	844.2	A
Sç+S1+II	862.8	A	MDF+S1+I	565.4	B
YL+Sn	862.7	A	*LSD:121.2		

Malzeme türü-boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre kor halinde yanmaya bağlı ışık yoğunluğu en yüksek Sç+S1+I' de (881.9), en düşük MDF+S1+I' de (565.4) bulunmuştur.

4. Sonuç ve Öneriler

- Işık yoğunluğu parametresi, yanma deneyi esnasında açığa çıkan duman miktarını belirlemek için kullanılmaktadır. Işık yoğunluğunun düşük olduğu durumlarda açığa çıkan duman miktarı fazla, yoğunluğunun fazla olduğu durumlarda ise açığa çıkan duman miktarı daha azdır. Işık yoğunluğunun düşük olduğu durumlarda açığa çıkan duman miktarı fazla olduğundan, yangında insanlar dumandan boğulma riskinin daha fazla olduğu söylenebilir.
- Işık yoğunluğunun azalması, duman oluşumunu arttırması ile yangında zehirlenmelere neden olacağından, duman yoğunluğu fazla olan empenye maddeleri ile ışık yoğunluğu fazla olan empenye maddelerinin ikili işlemler halinde birlikte kullanılması duman yoğunluğunu azaltabilir (Baysal, 2003).
- Malzeme türüne göre, alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu; en yüksek sarıçamda (883.0) en düşük yonga levhada (858.9) bulunmuştur. Yonga levhaya göre sarıçam % 2.73, Doğu kayını %2.44, meşe % 2.15 daha yüksek çıkmıştır. Yonga levha ve MDF nin sonuçları yaklaşık olarak eşit çıkmıştır. Alev kaynaklı yanmada, ışık yoğunluğunun sarıçamda yüksek çıkması, reçine gibi bazı yanıcı yan bileşiklerin bulunması, daha kolay yanmasının, yonga levha ve MDF nin daha zor yandığı ve

ışık yoğunluğunun düşük çıktığı, bu durmun levha üretiminde kullanılan, tutkal, emprenye, katkı ve dolgu maddeleri kaynaklı olduğu düşünülmüştür. Nitekim literatürde, alev kaynaklı yanmada sumak emprenyeli örneklerde 1000 lux ile duman yoğunluğu gözlemlenmezken, en yoğun duman oluşumuna 838 lux ile sumak + (BA+Bx) emprenyeli örneklerde rastlanılmıştır. KKY aşamasında mazı+(BA+Bx) ile emprenyeli örneklerde 956 lux ile en düşük, mazı ile emprenyeli örneklerde 650 lux ile en yoğun duman oluşumu gözlemlenmiştir. Bu sonuç levhalarda elde edilen değerleri desteklemektedir (Baysal, 2003).

- Ahşap türüne göre alev kaynaklı yanmada, ışık yoğunluğu en fazla kayında, en az sarıçamda bulunmuştur. Kayında ışık yoğunluğu meşeden % 3, sarıçamdan % 6 daha fazla ölçülmüştür (Yalınkılıç, 2020).
- Boya çeşidine göre, alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek akrilik boyada (876.1) en düşük selülozik boyada (869.8) bulunmuştur. Işık yoğunluğunun akrilik boyada yüksek, selülozik ve sentetik boyada düşük çıkması, boyaların üretiminde kullanılan kimyasal maddelerin özelliklerinden kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir. Kontrol örneklerine göre, boyalı örneklerde ışık yoğunluğu düşük çıkmıştır. Buna göre, örtücü boyalar, duman yoğunluğunu artırıcı etki yapmıştır. Kat sayısına göre, alev kaynaklı yanmada, ışık yoğunluğu en yüksek I'de (869.5), en düşük II'de (862.8) görülmüştür. Duman yoğunluğu II'ye göre I % 0.78 daha yüksek çıkmıştır. Boya miktarının artması, duman yoğunluğunu artırmıştır. Daha faklı katman kalınlıklarındaki boya uygulamaların araştırılması bu bakımdan önem arzedebilir.
- Malzeme türü-boya çeşidi ikili etkileşimine göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Sç+Ak'de (886.7), en düşük YL+Sİ'de (851.9) belirlenmiştir. YL+Sİ'ye göre Sç+Ak %3.93 daha yüksek çıkmıştır. Buna göre, duman yoğunluğunda, levha çeşidi 1., boya çeşidinin 2. derece etkili olduğu söylenebilir. Malzeme türü-kat sayısı etkileşimine göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Dk+I'de (875.7), en düşük Sç+II'de (856.3) belirlenmiştir. Kat sayısının artıca yanmada duman miktarı artmıştır. Boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu, en yüksek Ak+I'de (873.2), en düşük Sİ+II'de (856.0) belirlenmiştir. Sİ+II'ye göre Ak+I % 1.97 daha yüksek çıkmıştır.
- Malzeme türü-boya çeşidi-kat sayısı üçlü etkileşimine göre alev kaynaklı yanmada bağlı ışık yoğunluğu en yüksek Sç+Sİ+I'de (896.3), en düşük Sç+Sİ+II'de (842.4) belirlenmiştir. Sç+Sİ+II'ye göre Sç+Sİ+I % 6.02 daha yüksek çıkmıştır. Buna göre, duman yoğunluğunun artışında levhalar 1. derece, selülozik boya 2. Derece, kat sayısı ise 3. Derecede etkili olmuştur.
- Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu; malzeme türüne göre, en yüksek yonga levhada (865.3), en düşük ise sarıçamda (839.5) görülmüştür. Sarıçama göre % 2.99 yonga levha, % 2.74 meşe, % 1.95 MDF ve % 0.69 Doğu kayını yüksek çıkmıştır. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğunda yonga levhanın yanma direncinin düşük ve Doğu kayınının yanmaya karşı daha dirençli olduğu söylenebilir. Boya çeşidine göre, kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu değerleri en yüksek akrilik boyada (860.2) en düşük sentetik boyada (850.2) belirlenmiştir. Kat sayısına göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu en yüksek I'de (849.1), en düşük II'de (840.9) görülmüştür. II'ye göre I % 0.97 daha yüksek çıkmıştır. Kat sayısının duman yoğunluğu bakımından eşit bulunmuştur. Sentetik ve selülozik boyaya göre akrilik boya %1.17 daha yüksek çıkmıştır.

- Malzeme türü-kat sayısı etkileşimine göre, kendi kendine yanmada ışık yoğunlukları en yüksek YL+I'de (867.4), en düşük Sç+II'de (804.8) bulunmuştur. Sç+II'ye göre YL+I %7.22 daha yüksek çıkmıştır.
- Malzeme türü-boya çeşidi etkileşimine göre, en yüksek YL+Ak (875.7), en düşük Sç+Sn (834.5) bulunmuştur. Boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu en yüksek Ak+I'de (855.8), en düşük S1+II'de (827.9) belirlenmiştir. S1+II'ye göre S1+II % 3.27 daha yüksek çıkmıştır.
- Malzeme türü-boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu en yüksek YL+Ak+I'de (888.2), en düşük Sç+S1+II'de (776.4) belirlenmiştir. Sç+S1+II'ye göre YL+Ak+I %12.59 daha yüksek çıkmıştır. Kendi kendine yanmada ışık yoğunluğu değerleri alev kaynaklı yanmada ışık yoğunluğu değerlerinin tam aksine yonga levha yanmaya karşı daha az dirençli, sarıçam ise daha dirençli olduğu görülmüştür.
- Kor halinde yanmada ışık yoğunluğu; malzeme türüne göre en yüksek Doğu kayınında (879), en düşük MDF'de (822.1) belirlenmiştir. MDF'ye göre Doğu kayını % 6.48, sarıçam % 5.38, meşe % 5.01, yonga levha % 4.41 daha yüksek çıkmıştır. Kor halinde yanmada ışık yoğunluğunda Doğu kayınının kolay yandığı, MDF'nin ise daha zor yandığı söylenebilir.
- Boya çeşidine göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu en yüksek akrilik boyada (867.2), en düşük selülozik boyada (845.1) belirlenmiştir. Selülozik boyaya göre akrilik boya % 2.55, sentetik boya % 2.22 daha yüksek çıkmıştır. Kor halinde yanmada ışık yoğunluğu boya çeşidine göre akrilik boya çeşidinin yanmayı kolaylaştırdığı sentetik boyanın ise yanmayı geciktirip yanmayı zorlaştırdığı söylenebilir.
- Boya kat sayısına göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu en yüksek II'de (861.6), en düşük I'de (846.3) bulunmuştur. I. kata göre II. kat % 1.78 daha yüksek çıkmıştır. Burada II kat işlem görmüş örneklerin yanmaya daha az dirençli olduğu söylenebilir.
- Malzeme türü-boya çeşidi etkileşimine ilişkin kor halinde yanmada ışık yoğunluğunda en yüksek Dk+S1'de (882.9), en düşük MDF+S1'de (755.4) bulunmuştur. MDF+S1'ye göre Dk+S1 % 14.45 daha yüksek çıkmıştır. Kor halinde yanmada ışık yoğunluğunda selülozik boya ile işlem görmüş Doğu kayınının kolay yandığını yine selülozik boya ile işlem görmüş MDF'nin ise yanmaya daha dirençli olduğu söylenebilir.
- Malzeme türü-kat sayısı etkileşimine göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu en yüksek Dk+II'de (874.2), en düşük MDF+I'de (757) belirlenmiştir. MDF+I'e göre Dk+II % 13.41 daha yüksek çıkmıştır.
- Boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu en yüksek Ak+II'de (866.9), en düşük S1+I'de (809.5) belirlenmiştir.
- Malzeme türü-boya çeşidi-kat sayısı etkileşimine göre kor halinde yanmada ışık yoğunluğu en yüksek Sç+S1+I'de (881.9), en düşük MDF+S1+I'de (776.4) bulunmuştur. MDF+S1+I'e göre Sç+S1+I % 11.97 daha yüksek çıkmıştır.

Yazar Katkıları

Hanife Kara: Laboratuvar çalışması ve deneylerin yapılması. **Cansu Özder:** Makalenin yazılması ve düzenlenmesi, veri iyileştirme, araştırma yapılması. **Hakan Keskin:**

Kavramsallaştırma (amaçların geliştirilmesi), istatistiksel analizlerin yapılması, sonuçların yorumlanması. **Musa Atar:** Kavramsallaştırma (araştırma konusunun belirlenmesi ve geliştirilmesi), verilerin analizi, makale yazımı. **Beyzanur Karabal:** Makalenin incelenmesi ve düzenlenmesi, araştırma yapılması.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemiştir.




Kaynaklar

- Aslan, S. ve Özkaya, K., (2004). Farklı kimyasal maddelerle emprenye edilmiş ahşap esaslı levhaların yanma mukavemetinin araştırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1 (3), 122-140.
- ASTM D 358. (1998). Standard specification for wood to be used as panels in weathering tests of coatings. ASTM Standards, U.S.A.
- ASTM E 160-50. (1975). Standart test method for combustible properties of terated wood by the crib test. ASTM Standards, U.S.A.
- Atar, M., (2008). Impacts of varnishes and impregnation chemicals on combustion properties of oak *Quercus petraea* lipsky, *Journal of applied polymer science*, 107 (1), 3981-3986.
- Baysal, E., (2003). Yanmayı geciktirici kimyasal maddeler ve bitkisel sepi maddeleri ile muamele edilen doğu kayını (*Fagus orientalis* lipsky) odununun yanma özellikleri, Fırat Üniversitesi, *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1), 123–134
- Baysal, E., (2003). Borlu bileşikler ve doğal sepi maddeleriyle emprenye edilen sarıçam odununun yanma özellikleri. Erciyes Üniversitesi, *Fen Bilimleri Dergisi*, 19(1-2), 59-69.
- Bozkurt, A.Y. ve Erdin, N., (1997). Ağaç Teknolojisi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 372.
- Bozkurt, Y. ve Göker, Y., (1996). Orman Ürünlerinden Faydalanma. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 284-297.
- Chin-Mu, T., & Wang, YL., (1991). Incombustibility of fire retardant coated wood panels quart. *J. Expt. Forest NTU*, 5: 49–55 pp.
- Ellis, W.O., & Rowell, R.M., (1984). Reaction of isocyanates with southern pine wood to improve dimensional stability and decay resistance, *Wood and Fiber science Journal*, 16 (3), 346-34.
- Eroğlu, H. ve Usta, M., (2000). Liflehva Üretim Teknolojisi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, 200-220.
- Fidan, M.S., Yaşar, Ş., Yaşar, M., Atar, M., ve Alkan, E., (2016). Combustion characteristics of impregnated and surface-treated chestnut (*castanea sativa* mill.) wood left outdoors for one year. *BioResources*, 11(1), 2083-2095.
- Gu, W.J., Zhang, C.G., Dong, L.S., Zhang, Y.Q. & Kong, J., (2007). Study on preparation and fire, retardant mechanism analysis of intumescent flame retardant coatings, *Surface Coatings Technology Journal*, 201 (18), 7835-7841.

- Gürleyen, T., (2018). Isıl işlem görmüş bazı ağaç türlerine uygulanan sentetik vernik, su-bazlı vernik ve tik yağı katmanlarının hızlandırılmış uv yaşlandırma etkisine karşı direncinin saptanması, *Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce*.
- Kars, F., (1999). Yapılarda yangın riskini sınırlamaya yönelik önlemler ve duman kontrolünün sağlanması. IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 4-7 Kasım, İzmir, s. 723-734.
- Lee, P., (1989). Study on combustion properties of some wood based materials treated with fire retarding coating by oxygen index method, *Seoul National University Journal Of Agricultural Sciences*, Seoul, Kore, pp. 205 – 210.
- Örs, Y. ve Keskin, H., (2001). Ağaç malzeme bilgisi, (Birinci Baskı). İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım, 2, 3.
- Özçifçi, A., (2001). Renk açıcı kimyasal maddelerin sapsız meşe (*Quercus sessiliflora* Salisb.) odununun yanma özelliklerine etkileri, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi *Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, 3(4), 63-72.
- Peker H, ve Atılğan A., (2015). Doğal bir enerji kaynağı odun: yanma özelliği ve koruma yöntemleri, *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, (15), 1-12.
- 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, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü
- Uysal, B., (1997). Çeşitli kimyasal maddelerin ağaç malzemenin yanmaya dayanıklılığı üzerine etkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Ankara.
- Yalınkılıç, A.C., (2020). Ahşabın malzemede renk açma ve vernikleme işleminin alev kaynaklı yanma ışık yoğunluğuna etkisi, *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 21(4),438-444
- Yaşar, Ş., ve Atar, M., (2017). Ahşap koruyucularla muamele edilmiş bazı ağaç malzemelerin yanmasıyla ortaya çıkan gaz emisyon miktarları, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 503-514.



Çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmeleri için tasarlanan auksetik kavelaların sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kavak (*Populus nigra* L.) kontrplak ile tutma mukavemeti

Erkan Ceylan¹ , Ali Kasal^{2*} , Jerzy Smardzewski³ , Mehmet Yüksel⁴ 

Tolga Kuşkun² 

ÖZ: Bu çalışmada, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmelerinde kullanılmak üzere auksetik kavelalar tasarlanmış, üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojisiyle üretilmiş ve bu kavelaların Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve 20 mm kalınlığındaki kavak (*Populus nigra* L.) kontrplak (KKP) ile tutma mukavemetleri araştırılmıştır. Bu amaçla, auksetik özellikli enine kesit geometrisine sahip 4 farklı kavela tasarımı gerçekleştirilmiş ve 3B yazıcıyla Polilaktik Asit (PLA), Akrilonitril Butadiyen Stiren (ABS) ve Akrilonitril Stiren Akrilat (ASA) filamentlerinden üretilmiştir. Tasarlanan kavelalarda, birleştirme sırasında tutkal kullanımını elimine etmek amacıyla dış yüzeyler dişli olarak dübel şeklinde tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında, 2 ağaç malzeme, 2 dış yüzey diş geometrisi, 2 auksetik desen tipi, 3 farklı filament ve her bir gruptan 5 yineleme olmak üzere toplam 120 adet liflere paralel (kenardan) çekme, 120 adette liflere dik (yüzeyden) çekme deney örneği hazırlanmış ve statik yük altında test edilmiştir. Deneyler sonucunda, ahşap malzemelerden KKP, filamentlerden de PLA en iyi tutma mukavemetini verirken; auksetik kavelalardan ise üçgen biçimli auksetik desene sahip ve ikizkenar üçgen dişli kavelalar ile en yüksek tutma mukavemeti elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Auksetik, kavela, mobilya birleştirmesi, tutma mukavemeti.

Holding strength of auxetic dowels designed for frame furniture joints in scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) and poplar (*Populus nigra* L.) plywood

ABSTRACT: In this study, auxetic dowels were designed to be used in frame construction furniture joints, produced with three-dimensional (3D) printer technology and the holding strength of these dowels with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and 20 mm thick poplar (*Populus nigra* L.) plywood (KKP) was investigated. For this purpose, 4 different dowel designs with auxetic cross-sectional geometry were developed and then, designed auxetic dowels were produced with a 3D printer with Poly(lactic acid) (PLA), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), and Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA) filaments (dowel material). In the designed auxetic dowels, the outer surfaces are designed as threaded in order to eliminate the use of glue during assembly. Within the scope of the study, a total of 120 parallel to grain (from edge) and 120 perpendicular to grain (from surface) withdrawal test specimens, including 2 wood materials, 2 outer surface thread geometries, 2 auxetic pattern types, 3 different dowel materials (filaments) and 5 replications from each group, were prepared and tested under static load. As a result of the experiments, KKP among the wooden materials and PLA among the filaments gave the best results; while the highest holding strength values have been obtained with the dowels with a triangular auxetic pattern and isosceles triangular thread among the auxetic dowels.

Keywords: Auxetic, dowel, furniture joint, holding strength.

Makale tarihçesi: Geliş:02.08.2024, Kabul:01.10.2024, Yayınlanma:30.12.2024, *e-posta: alikasal@mu.edu.tr.

¹Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Bingöl/Türkiye

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççisleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Muğla/Türkiye

³Poznan Yaşam Bilimleri Üniversitesi, Ormancılık ve Ahşap Tek. Fak., Mobilya Tasarımı Bölümü, Poznan/Polonya

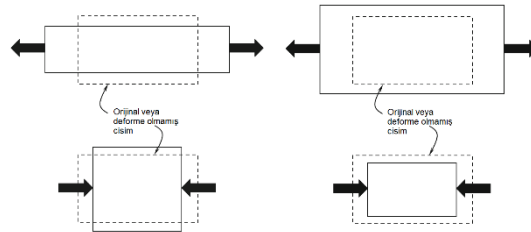
⁴Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Muğla/Türkiye

Atıf: Ceylan E., Kasal A., Smardzewski J., Kuşkun T., ve Yüksel M., (2024), Çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmeleri için tasarlanan auksetik kavelaların sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kavak (*Populus nigra* L.) kontrplak ile tutma mukavemeti, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7 (2), 188-203, DOI: [10.33725/mamad.1527043](https://doi.org/10.33725/mamad.1527043)

1. Giriş

Mobilya, mühendislik tasarımı açısından, genellikle çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalar, kutu konstrüksiyonlu mobilyalar ve kombine konstrüksiyonlu mobilyalar olmak üzere üç yapı grubunda incelenmektedir. Üretiminde tablaların kullanıldığı mobilyalar kutu (panel), masif çerçevelerin yer aldığı mobilyalar çerçeve (iskelet), her iki eleman tipinin de kullanıldığı mobilyalar ise kombine (karma) konstrüksiyonlu mobilyalar olarak tanımlanmaktadır. Mobilya sistemlerinin mekanik davranış özellikleri, genellikle elemanların üretildiği malzemeler ile bu elemanları birbirine bağlamada uygulanan birleştirme tekniklerine bağlı bulunmaktadır (Örs ve Efe, 1998; Eckelman, 2003). Gerek çerçeve gerekse kutu konstrüksiyonlu mobilyalarda kritik noktaların birleştirmeler olduğu ve mukavemet sorunlarının genellikle birleştirme noktalarında meydana geldiği bilinmektedir. Mobilya sistemi, kullanım biçimine göre, çeşitli özelliklerde ve yönlerde yüklere maruz kalmakta, genellikle sistemi oluşturan elemanların üretiminde kullanılan malzemeler bu yükleri karşılayıp birleştirmelere aktarmakta, birleştirme noktaları ise aşırı yüklenme durumlarında üzerlerine aldıkları bu yükleri karşılayamayıp başarısız olmaktadır. Sonuç olarak, mobilya sistemlerindeki birleştirmeleri sağlayan bağlantı elemanlarının, sistemin üretildiği malzemelerle olan tutma mukavemeti sistemin bütününe mukavemeti üzerinde son derece etkilidir. Bu bağlamda, mobilya sistemini oluşturan birleştirmelerin mukavemet özelliklerinin önceden tahmin edilmesi ve test/analiz edilmesi mühendislik/mukavemet tasarımı açısından çok önemlidir.

Mühendislikte kullanılan malzemelerin çoğu pozitif Poisson oranına sahipken, sınırlı sayıdaki malzeme negatif Poisson oranına sahiptir. Poisson oranı, birçok mühendislik alanında kullanılan malzemelerin yapısal davranışlarını belirlemeye yarayan en önemli özelliklerden birisidir. Poisson oranı, bir malzemede normal gerilmelerin etkisinde, etkime düzlemi içerisinde oluşan birim deformasyonun, eksenel doğrultudaki birim deformasyona oranı olarak açıklanabilir. Bu oran endüstride kullanılan birçok malzemede pozitif değerde olup, 0 ile 0,5 arasında değerler almaktadır. Ancak, sınırlı sayıda da olsa bazı malzemelerde Poisson oranı negatif değerde olmakta ve bu malzemeler auksetik malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Auksetik malzemelere ilişkin ilk deneysel çalışmalar Lakes (1987) tarafından negatif Poisson oranına sahip foam (köpük) yapılar üzerinde yapılmış ve negatif Poisson oranına sahip malzemeler için "auksetik" terimi ilk olarak 1991 yılında Ken Evans tarafından kullanılmıştır (Evans ve ark., 1991). Auksetik malzemeler, pozitif Poisson oranına sahip diğer malzemelerin tersine olağanüstü bir özellik olarak çekme gerilmesi altında genişleyip basınç gerilmeleri altında daralırlar. Pozitif Poisson oranına sahip malzemeler boy yönünde çekildikçe, boyuna yönde uzayıp enine yönde incelmekteyken, negatif Poisson oranına sahip olan auksetik malzemeler ise aynı yüklenme koşullarında boyuna yönde uzarken, ilginç bir şekilde enine yönde de kalınlaşmaktadır (Şekil 1). Auksetik malzemeleri özel kılan temel özellik budur ve akıllı malzeme üretiminde yeni ufuklar açma potansiyeline sahiptir.



Şekil 1. Geleneksel ve auksetik malzemelerin aksel çekme yükü altındaki şekil değişimleri (Lim, 2015)

Auksetik malzemelere olan ilgi son yıllarda gittikçe artmakta, özellikle de malzemelerin birçok temel özelliği üzerinde etkisi olan Poisson oranının, geleneksel malzemelerin aksine auksetik malzemelerde negatif değerde olmasının bu malzemelere sağladığı birçok üstün özellik, bu malzemelerin mühendislik uygulamalarında kullanılmasına yönelik araştırmaları teşvik etmektedir. Auksetik malzemelerin mobilya sektöründe uygulanmasına yönelik olarak çalışmalar çok sınırlıdır. Özellikle de, sandalye, koltuk iskeleti gibi çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmelerinde auksetik bağlantı elemanlarının denendiği, auksetik özelliğin bağlantı elemanlarının enine kesitinde tasarlanan desenlerle sağlandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Literatürde incelenen çalışmalarda özetle, ev içi ve ofis kullanımları için kullanılan oturma mobilyalarının döşemelerinde konforu ve dayanıklılığı arttırmak amacıyla negatif Poisson oranına sahip farklı auksetik helezonik yay tasarımları yapılmış, nümerik olarak modellenmiş ve laboratuvar koşullarında uzun süreli yorma ve statik yükleri altında test edilmişlerdir. Sonuç olarak, auksetik özellikteki helezonik yay tasarımlarının geleneksel döşeme malzemelerine alternatif olarak, oturma mobilyalarının döşeme sistemlerinde kullanılabileceğini ve bu sayede daha konforlu ve dayanıklı döşeme sistemleri elde edileceği bildirilmiştir (Smardzewski ve ark., 2013; Smardzewski, 2013a; Smardzewski ve Prekrat, 2011). Smardzewski (2013b) bir diğer çalışmada, kutu mobilyalar için, auksetik özellikte hücresel yapıda hafif ahşap panel malzemeler geliştirmiş ve bazı mekanik özelliklerini belirlemiştir. Ayrıca, modelleme ve deneye dayalı olarak yapılan diğer bir çalışmada da, auksetik özellikli hafif petek dokulu ahşap sandviç kompozit (ahşap tozu ve poliaktik asit karışımı) levhalar geliştirilmiş ve bu malzemelerin elastik özellikleri belirlenmiştir (Smardzewski ve ark., 2018). Yapısal bağlantı elemanlarında auksetik malzeme kullanımına ilişkin, gövde yüzeylerine desen uyarlanarak auksetik çivi tasarlanıp üretilen bir çalışmaya ulaşılmıştır (Ren ve ark., 2018). Panel tipi mobilyalar için gövde yüzeyleri auksetik desenlerle tasarlanmış bağlantı elemanlarının montaj kuvvetlerinin, doğrusal çekme mukavemetlerinin ve panel mobilya köşe birleştirmelerdeki performanslarının araştırıldığı çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmaların sonucunda, bazı geliştirmeler yapılması halinde auksetik bağlantı elemanlarının geleneksel bağlantı elemanlarına alternatif olarak panel mobilya birleştirmelerinde kullanılabileceği ve 3B yazıcı teknolojisinin bağlantı elemanlarının mukavemetinde son derece etkili olduğu bildirilmiştir (Kasal ve ark., 2020; Kuşkun ve ark., 2021, Kasal ve ark., 2023).

Bu çalışmada, mobilya mühendislik tasarımı sürecindeki mukavemet tasarımı adımlarından, birleştirme ve bağlantı elemanı tasarımı adımı gerçekleştirilmiştir. Özellikle çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmeleri için; kolay çakılıp zor sökülebileceği öngörülen, auksetik özellikte, inovatif, dışarıdan görünmeyen, kolay montaj sağlayan alternatif kavala tasarımları yapılmış ve bunların çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde kullanılan ahşap malzemeler ile tutma mukavemetleri araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, çerçeve konstrüksiyonlu koltuk iskeleti birleştirmelerinde kullanılmak üzere, auksetik kavelalar geliştirilmesi ve bu kavelaların performanslarının değerlendirilmesidir. Bu temel amaca ulaşmak için belirlenen hedefler:

- Farklı enine kesit geometrisinde auksetik kavelaların tasarlanması ve 3B modellenmesi,
- Auksetik kavelaların mekanik ve elastik özelliklerinin nümerik analizlerle ve deneylerle belirlenmesi,
- Auksetik kavelaların üç boyutlu yazıcı teknolojisiyle üretilmesi,
- Auksetik kavelaların Sariçam ve KKP ile tutma mukavemetlerinin deneyler ile belirlenmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Ahşap malzeme ve filamentler

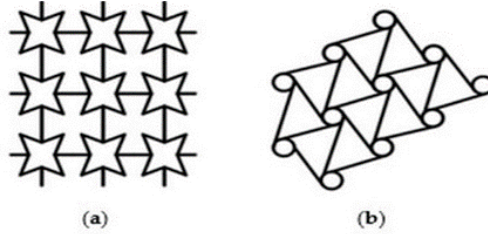
Kavela tutma deneyi örneklerinin hazırlanmasında masif ağaç malzeme olarak, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde yaygın olarak kullanılan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve ahşap esaslı levha olarak 20 mm kalınlığında 11 katmanlı kavak (*Populus nigra* L.) kontrplak tercih edilmiştir. Ahşap malzemeler piyasadan tesadüfi olarak temin edilmiştir. Malzemelerin seçiminde, masif ağaç malzemenin ve kontrplak levhanın kusursuz olmasına dikkat edilmiştir. Sarıçam ve kavak kontrplak malzemelerin rutubet (TS ISO 13061-1), yoğunluk (TS ISO 13061-2), eğilme direnci (TS ISO 13061-3) ve elastikiyet modülü (TS ISO 13061-4) değerleri de ilgili standartlara uygun olarak testlerle belirlenmiştir.

Auksetik kavela üretimleri için, ön araştırma yapılmış ve üretim için uygun olabilecek 3 farklı Filament (kavela malzemesi) polilaktik asit (PLA), akrilonitril butadiyen stiren (ABS) ve akrilonitril stiren akrilat (ASA) olarak belirlenmiştir. Yapılan ön araştırmada, kullanılması planlanan filamentlerin biyo-bazlı/biyo-bozunur olması, çevresel etkileri, insan sağlığına etkileri, mukavemeti, maliyeti ve hem 3B yazıcı hem de enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilebilmesi gibi hususlar göz önünde bulundurulmuştur. PLA, ABS ve ASA filamentlerinin yoğunlukları ve ASTM D3039/D3039M-17 standardında belirtilen prensiplere göre çekme dirençleri ile çekmede elastikiyet modülü değerleri belirlenmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Auksetik kavela tasarımlarının gerçekleştirilmesi

Çalışma kapsamında, kavela enine kesit tasarımlarına uyarlanmak üzere, öncelikle auksetik desenler belirlenmiş, daha sonra da, geliştirilen auksetik desenler kavela enine kesitlerine uygun tasarımlara dönüştürülmüştür (Şekil 2).



Şekil 2. Kavela enine kesitlerinde kullanılan auksetik desenler (Lim, 2015)

Çalışmanın bu aşamasında, Şekil 2a ve b'deki auksetik desenlerden uyarlanarak kavela enine kesit tasarımları yapılmış ve 3B olarak modellenmiştir. Modellemelerde Autocad Inventor programından yararlanılmıştır. Auksetik kavela tasarımlarında, desen yapısının kavela üretimine en uygun teknolojik parametrelere sahip olmasına dikkat edilmiştir.

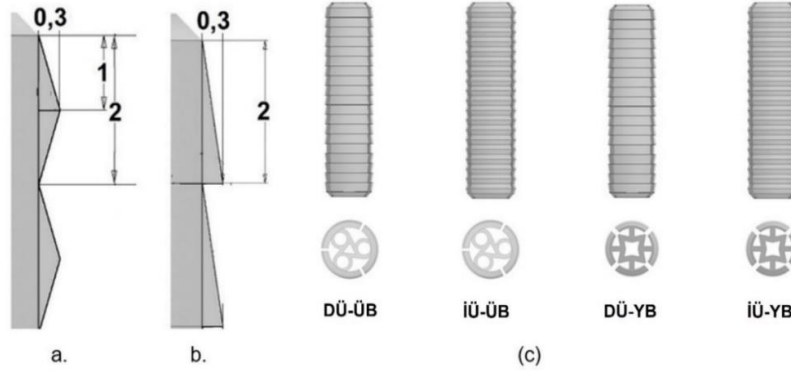
Çalışma kapsamında, 2 farklı enine kesit yapısına sahip, 40 mm boyunda ve 10 mm çapında kavelalar tasarlanmıştır. Kavela ölçülerinin belirlenmesinde, kavela yapısına auksetik özelliğin kazandırılabilmesi için gerekli minimum ölçüler dikkate alınmıştır. Tasarlanan kavelaların dış yüzeyleri dişli olarak dübel şeklinde düşünülmüş ve bu sayede tutkalsız bir birleştirme yapma imkânı sağlanmıştır. Dış yüzeylerdeki dişler için dik üçgen ve ikizkenar üçgen şeklinde 2 farklı diş tipi tasarımı yapılmıştır. Dik üçgen ve ikizkenar üçgen tipindeki diş geometrilerinde, diş derinliği ve diş adımı ölçüleri için bir ön çalışma yapılarak optimum diş adımının 2 mm, diş derinliğinin ise 0,3 mm olduğu belirlenmiş ve tasarlanan kavelaların

dış yüzeylerindeki dişler bu ölçülere uygun olarak yapılmıştır (Şekil 3a, b). Kavelalar, auksetik davranışın elde edilebilmesi adına desen yüzeyine dik olan boyuna yönde tamamen boşluklu olacak şekilde tasarlanmıştır. Oluşturulan deneme deseninde, 2 farklı auksetik desen tipi (üçgen biçimli, yıldız biçimli) ve 2 farklı diş tipi (dik üçgen konik dişli, ikizkenar üçgen konik dişli) çalışmanın bağımsız değişkenleri olarak ele alınmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Auksetik kavela tasarımları için oluşturulan deneme deseni

No	Kavela Kodu	Kavela Diş Tipi	Auksetik Desen Tipi
1	DÜ-ÜB	Dik üçgen konik dişli (DÜ)	Üçgen biçimli (ÜB)
2	DÜ-YB	Dik üçgen konik dişli (DÜ)	Yıldız biçimli (YB)
3	İÜ-ÜB	İkizkenar üçgen konik dişli (İÜ)	Üçgen biçimli (ÜB)
4	İÜ-YB	İkizkenar üçgen konik dişli (İÜ)	Yıldız biçimli (YB)

Sonuç olarak, 4 farklı auksetik kavela tasarımı yapılmıştır. Oluşturulan bu deneme desenine göre modellenen kavelalar Şekil 3c' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kavela dış yüzeylerindeki ikizkenar (a) ve dik (b) üçgen şeklindeki diş tiplerinin geometrik yapıları ve tasarlanan kavela örnekleri (c)

Tasarlanan auksetik kavelaların kesitinde, en yüksek mukavemet ve negatif Poisson oranını veren optimum boyutları optimizasyon ile belirlenmiştir (Kuşkun ve ark., 2023). Auksetik kavelalar üretilmeden önce, her auksetik desene sahip kavelanın sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan bir yapısal analiz programı olan “Abaqus” programında nümerik analizleri gerçekleştirilerek Poisson oranlarının negatif olduğu, bir başka ifade ile auksetik davranış gösterdikleri doğrulanmıştır.

Geliştirilen auksetik kavela tasarımlarının, elastik (auksetik) özelliklerinin belirlenmesi için sadece nümerik analizler değil, aynı zamanda analitik hesaplamalar ve tek eksenli basınç deneylerinden de yararlanılmıştır. Sonuç olarak, sırasıyla üçgen ve yıldız biçimli auksetik desenli kavelalar için, hem deneylerde (-0,261, -0,282), hem nümerik analizlerde (-0,285, -0,313), hem de analitik hesaplamalarda (-0,302, -0,341) negatif Poisson oranı değerleri elde edilmiştir (Kuşkun ve ark., 2023).

2.2.2. Auksetik kavelaların 3b yazıcıyla üretimi

Auksetik kavelalar üç boyutlu yazıcıyla üretilecek olmasına karşın, kavelaların tasarımında aynı zamanda seri üretime uygun olan enjeksiyon kalıplama yöntemiyle de üretilebilecek özelliklere sahip olmasına dikkat edilmiştir. Üretim için, öncelikle Autocad Inventor programında üç boyutlu olarak modellenen auksetik kavela örnekleri, üç boyutlu yazıcılarda yaygın olarak kullanılan STL (stereolithography) formatına dönüştürülmüştür. Bu aşamadan sonra, oluşturulan üç boyutlu modellere ilişkin dosyalar üç boyutlu yazıcı ile üretilebilir hale

getirilmiştir. Üretimler, kapalı sistemde çalışan bir 3B yazıcı ile gerçekleştirilmiştir. Auksetik kavelaların üretiminde, her bir parametre için firma önerilerinde verilen aralıklar dikkate alınmış, ancak bu aralıklardaki en başarılı sonuçların hangi noktalarda alınacağını belirlemek için ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Buna göre, PLA, ABS ve ASA filamentleri ile kavela üretimi için optimum değerler belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Auksetik kavelaların 3B yazıcıyla üretiminde kullanılan optimum döküm değerleri

Filament	Nozzle Sıcaklığı (°C)	Tabla Sıcaklığı (°C)	Doluluk Oranı (%)	Katman Kalınlığı (mm)
PLA	220	70	90	0,1
ABS	240	90	90	0,1
ASA	260	90	90	0,1

Kavelalar, katmanlar kavelanın boyuna eksenine dik yönde olacak şekilde dökülebilmştir. Bir başka ifadeyle, üretim sonucunda kavelalar tabla yüzeyine dik pozisyonda durmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Auksetik kavelaların 3B yazıcı ile üretimi

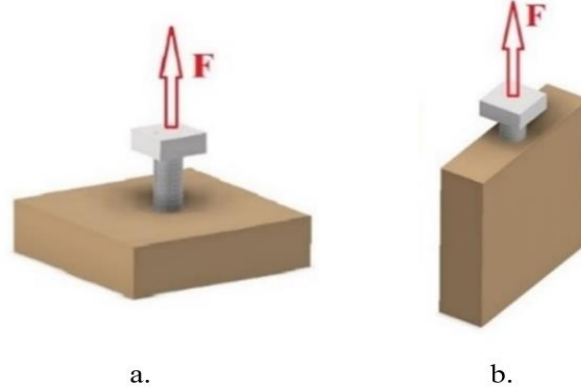
2.2.3. Auksetik kavelalı deney örneklerinin hazırlanması

Auksetik kavela tutma deneyi örnekleri, 75 x 75 mm ölçülerinde ve levha kalınlığında (20 mm) hazırlanmıştır. Deney örnekleri için kullanılacak kavelalar, deney cihazında çekme kuvvetlerinin kolayca uygulanabilmesi için özel olarak dikdörtgenler prizması başlıklı üretilmiştir (Şekil 5). Çalışma kapsamında, 2 ahşap malzeme, 4 auksetik kavela tipi, 3 kavela malzemesi ve her bir örnekten 5 yinleme olmak üzere toplam 120 adet liflere paralel (kenardan), 120 adette liflere dik (yüzeyden) deney örneği hazırlanmış (toplamda 240 deney örneği) ve test edilmiştir. Ayrıca, her bir kavela malzemesi ve dış yüzey dış tipi için olmak üzere yine 5 yinleme olacak şekilde ($2 \times 2 \times 3 \times 5 = 30$) 60 adet liflere paralel (kenardan) 60 adet liflere dik (yüzeyden) olmak üzere 120 adet de auksetik olmayan (kontrol) kavelası hazırlanmış ve test edilmiştir. Deney örnekleri, deneylerden önce $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2$ sıcaklık ve $\% 65 \pm 3$ bağıl nem koşullarındaki iklimlendirme dolabında denge rutubetine (yaklaşık $\%12$) ulaşmaya kadar bekletilmiştir.

2.2.4. Auksetik kavelaların masif ahşap ve ahşap esaslı levha ile tutma mukavemeti

Auksetik ve kontrol kavelalarının üretilmesinden sonra, bu kavelaların, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde kullanılacak olan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve 20 mm kalınlığındaki kavak (*Populus nigra* L.) kontrplak ile liflere paralel (levha kenarından) ve liflere dik (levha yüzeyinden) yönde tutma mukavemetleri belirlenmiştir.

Auksetik ve kontrol kavelaların masif ahşap ve ahşap esaslı levha ile hem liflere dik (yüzeyden) hem de liflere paralel (kenardan) tutma mukavemetine ilişkin deney örnekleri ve yük uygulama biçimleri Şekil 5’ de gösterilmiştir.



Şekil 5. Liflere dik/yüzeyden (a) ve liflere paralel/kenardan (b) kavela tutma mukavemeti deney örnekleri

Kavela tutma mukavemeti için, öncelikle kavelalar liflere dik (yüzeyden) 15 mm, liflere paralel (kenardan) ise 25 mm olacak şekilde monte edilmiştir (Ceylan ve ark., 2024). Bu çalışmada, kavela tutma mukavemeti, monte edilmiş kavelanın geri çıkma anındaki maksimum çekme kuvveti (N) olarak belirlenmiştir. Deneyler, 5 ton kapasiteli üniversal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Deney cihazının yükleme hızı 6 mm/dak olarak ayarlanmıştır.

2.2.5. İstatistiksel analizler

Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde, Sarıçam ve KKP malzemelerde; kavela dış tipi, auksetik desen tipi ve filament ana faktörlerinin (bağımsız değişkenler) ve bu faktörlerin çoklu etkileşimlerinin kavela tutma mukavemeti değerleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için çoklu varyans analizleri (MANOVA) gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, KKP örnekler Sarıçam örneklere göre belirgin şekilde yüksek mukavemet değerleri verdiği için istatistiksel analizlerde ahşap malzeme bir faktör (bağımsız değişken) olarak hesaba alınmamış, varyans analizleri Sarıçam ve KKP grupları için ayrı ayrı yapılmıştır. Buna göre, çoklu varyans analizleri üç faktörlü olarak gerçekleştirilmiştir.

MANOVA sonuçlarına göre, 0,05 hata payı ile anlamlı bulunan ana faktör ve etkileşimlerin başarı sıralamaları için ise en küçük önemli fark (LSD: Least significant difference) testlerinden yararlanılmıştır. İstatistiksel analizler için “Minitab” programı kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Ahşap malzeme ve filamentlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan Sarıçam ve KKP malzemeler ile kavela üretiminde kullanılan filamentlerin çalışma kapsamındaki deneylerle belirlenen bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin sonuçlar Çizelge 3’ de verilmiştir.

3.2. Kavela tutma mukavemeti

Kavela tutma deneylerinde, PLA kavelaların tamamında gözlenen deformasyon biçimi, beklendiği gibi kavelaların delikten geri çıkması şeklinde gerçekleşmiştir. Aynı deformasyon biçimi, ABS ve ASA kavelaların büyük çoğunluğunda gözlenmesine karşın, birkaç ABS ve ASA kavela çekme kuvveti altında koparak deformasyona uğramıştır (Şekil 6).

Çizelge 3. Deney malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (Ceylan ve ark., 2024)

Ahşap Malzeme	Test Rutubeti (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Eğilme Direnci (N/mm ²)	E. Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
Sarıçam	10.8	0.45	89	11200
KKP	9.3	0.38	35	4800
Filament	-		Çekme Direnci (N/mm ²)	Çekmede Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
PLA	-	1.24	50	937
ABS	-	1.04	36	747
ASA	-	1.05	39	797

**Şekil 6.** Kavala tutma deneylerinde gözlemlenen deformasyon karakteristikleri

Filament, kavala diş tipi ve auksetik desen tipinin, Sarıçam ve KKP malzemelerin liflere paralel/kenardan kavala tutma mukavemeti değerleri üzerindeki etkilerine ilişkin olarak yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Sarıçam ve KKP malzemelerin liflere paralel/kenardan kavala tutma mukavemeti değerlerine ilişkin varyans analizi

Deney	Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali ($p < 0.05$)
Liflere Paralel Kavala Tutma Mukavemeti (N)	Sarıçam					
	FM	2	235930	117965	48.25	0.000
	KDT	1	3145	3145	1.29	0.262
	ADT	1	279996	279996	114.52	0.000
	FM x KDT	2	24246	12123	4.96	0.011
	FM x ADT	2	37316	18658	7.63	0.001
	KDT x ADT	1	43596	43596	17.83	0.000
	FM x KDT x ADT	2	85674	42837	17.52	0.000
	Hata	48	117361	2445	-	0.000
	Toplam	59	827264	-	-	0.000
Kenardan Kavala Tutma Mukavemeti (N)	Kavak Kontrplak					
	FM	2	2554814	1277407	200.38	0.000
	KDT	1	1089	1089	0.17	0.681
	ADT	1	511765	511765	80.28	0.000
	FM x KDT	2	274427	137213	21.52	0.000
	FM x ADT	2	63016	31508	4.94	0.011
	KDT x ADT	1	990	990	0.16	0.695
	FM x KDT x ADT	2	212627	106313	16.68	0.000
	Hata	48	306002	6375	-	0.000
	Toplam	59	3924730	-	-	0.000

Çizelge 4'e göre, denemeye alınan ana faktörlerden filament ve auksetik desen tipinin, auksetik kavelaların hem Sarıçam hem de KKP ile liflere paralel/kenardan tutma mukavemeti üzerindeki etkisi 0,05 hata payı ile anlamlı bulunurken, kavela dış tipinin etkisi istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Sarıçam ve KKP malzemelerin liflere paralel/kenardan kavela tutma mukavemeti için yapılan ikili etkileşimlerde, KKP malzeme için kavela dış tipi– auksetik desen tipi etkileşimi dışındaki tüm ikili etkileşimler de 0,05 yanılma olasılığı için anlamlıdır. Her iki malzemede de, filament–kavela dış tipi– auksetik desen tipi üçlü etkileşiminin liflere paralel/kenardan kavela tutma mukavemeti üzerindeki etkisi 0,05 hata olasılığı için önemlidir. F-değerleri incelendiğinde, auksetik kavelaların Sarıçam ile liflere paralel yöndeki tutma mukavemetinde en etkili faktör auksetik desen tipi olurken, KKP ile kenardan tutma mukavemetindeki en etkili faktörün filament tipi olduğu belirlenmiştir.

Filament, kavela dış tipi ve auksetik desen tipinin, Sarıçam ve KKP malzemelerin liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti değerleri üzerindeki etkilerine ilişkin olarak yapılan çoklu varyans analizi sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Sarıçam ve KKP malzemelerin liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti değerlerine ilişkin varyans analizi

Deney	Varyans Kaynakları	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	Hata İhtimali ($p < 0.05$)
Liflere Dik Kavela Tutma Mukavemeti (N)	Sarıçam					
	FM	2	719628	359814	131.08	0.000
	KDT	1	61	61	0.02	0.883
	ADT	1	609540	609540	222.05	0.000
	FM x KDT	2	43632	21816	7.95	0.001
	FM x ADT	2	82129	41065	14.96	0.000
	KDT x ADT	1	10755	10755	3.92	0.054
	FM x KDT x ADT	2	84196	42098	15.34	0.000
	Hata	48	131762	2745	-	0.000
	Toplam	59	1681703	-	-	0.000
Yüzeyden Kavela Tutma Mukavemeti (N)	Kavak Kontrplak					
	FM	2	1559117	779558	182.84	0.000
	KDT	1	23684	23684	5.56	0.023
	ADT	1	397779	397779	93.30	0.000
	FM x KDT	2	124160	62080	14.56	0.000
	FM x ADT	2	33514	16757	3.93	0.026
	KDT x ADT	1	3554	3554	0.83	0.366
	FM x KDT x ADT	2	34929	17464	4.10	0.023
	Hata	48	204651	4264	-	0.000
	Toplam	59	2381388	-	-	0.000

Çizelge 5' ye göre, denemeye alınan ana faktörlerden filament, kavela dış tipi ve auksetik desen tipinin, auksetik kavelaların KKP ile yüzeyden tutma mukavemeti üzerindeki etkileri 0,05 hata payı ile anlamlı bulunurken, kavela dış tipi faktörünün etkisi Sarıçam ile liflere dik yönde istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Sarıçam ve KKP malzemelerin liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti için yapılan ikili etkileşimlerde, her iki malzeme için de kavela dış tipi– auksetik desen tipi etkileşimi dışındaki tüm ikili etkileşimler 0,05 yanılma olasılığı için anlamlıdır. Her iki malzemede de filament–kavela dış tipi– auksetik desen tipi üçlü etkileşimlerinin liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti üzerindeki etkileri 0,05 hata payı ile önemlidir. Burada da liflere paralel/kenardan kavela tutma mukavemetinde

olduğu gibi, F-değerlerine göre auksetik kavelaların Sarıçam ile liflere dik yöndeki tutma mukavemetinde en etkili faktör auksetik desen tipi, KKP ile yüzeyden tutma mukavemetindeki en etkili faktör ise filament olarak bulunmuştur.

Kavela dış tipi ve auksetik desen tipi dikkate alınarak filament tipi ana faktörünün, Sarıçam ve KKP deney örneklerinin liflere paralel/kenardan ve liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti değerlerine etkilerine ait ortalamaların karşılaştırılması Çizelge 6’ da verilmiştir.

Çizelge 6. Filament tipine göre liflere paralel/kenardan ve liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti ortalamalarının karşılaştırılması

Filament	Liflere Paralel Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Kenardan Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Liflere Dik Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Yüzeyden Kavela Tutma Mukavemeti (N)	
	Sarıçam		Kavak Kontrplak		Sarıçam		Kavak Kontrplak	
	X _{ort}	HG	X _{ort}	HG	X _{ort}	HG	X _{ort}	HG
PLA	390.81	A	805.39	A	527.44	A	699.01	A
ASA	270.01	B	380.34	B	321.65	B	410.60	B
ABS	248.24	B	356.00	B	275.52	C	321.24	C

X_{ort}: Ortalama değer

HG: Homojenlik grubu

Filament tipi için başarı sıralaması; her iki malzemede de hem liflere paralel/kenardan hem de liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti için PLA, ASA ve ABS şeklindedir. PLA kavelalar, ABS ve ASA kavelalara belirgin bir üstünlük sağlamıştır. Ancak, liflere paralel/kenardan kavela tutma mukavemetinde ASA ve ABS arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamsızdır. Filamentlerin yoğunluk, çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü değerlerindeki başarı sıralaması da aynıdır. Burada, kullanılan filamentlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin mukavemet üzerinde olumlu etkisinin olduğu net olarak görülmektedir. Boşluklu yapıda enine kesiti olan auksetik kavelalarda, özellikle çekme direnci ve elastikiyet modülünün kavela tutma mukavemetinde önemli rol oynadığı söylenebilir.

Kavela dış tipinin, Sarıçam ve KKP deney örneklerinin liflere paralel/kenardan ve liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti değerlerine etkilerine ait ortalamaların karşılaştırılması Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Kavela dış tipine göre liflere paralel/kenardan ve liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti ortalamalarının karşılaştırılması

Kavela Dış Tipi	Liflere Paralel Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Kenardan Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Liflere Dik Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Yüzeyden Kavela Tutma Mukavemeti (N)	
	Sarıçam		Kavak Kontrplak		Sarıçam		Kavak Kontrplak	
	X _{ort}	HG	X _{ort}	HG	X _{ort}	HG	X _{ort}	HG
DÜ	310.26	NS	518.17	NS	373.87	NS	457.08	B
iÜ	295.78	NS	509.65	NS	375.88	NS	496.82	A

DÜ: Dik üçgen

iÜ: İkizkenar üçgen

NS: Önemsiz

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4), kavela dış tipinin Sarıçam ve KKP malzemelerin liflere paralel/kenardan ve liflere dik kavela tutma mukavemeti üzerindeki etkilerinin anlamsız olduğu belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle, kavelaların dış yüzeylerindeki dış geometrisinin dik üçgen ya da ikizkenar üçgen şeklinde olması kavela tutma mukavemetini etkilememiştir. Bununla birlikte, KKP malzemenin yüzeyden kavela tutma

mukavemetinde ise kavela dış yüzeyindeki dış geometrisinin ikizkenar üçgen şeklinde olması ile mukavemetin dik üçgen şeklinde olmasına göre yaklaşık %9 arttığı belirlenmiştir.

Auksetik desen tipinin, Sarıçam ve KKP deney örneklerinin liflere paralel/kenardan ve liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti değerlerine etkilerine ait ortalamaların karşılaştırılması Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Auksetik desen tipine göre liflere paralel/kenardan ve liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti ortalamalarının karşılaştırılması

Auksetik Desen Tipi	Liflere Paralel Kavela Tutma Mukavemeti (N)			Kenardan Kavela Tutma Mukavemeti (N)			Liflere Dik Kavela Tutma Mukavemeti (N)			Yüzeyden Kavela Tutma Mukavemeti (N)		
	Sarıçam			Kavak Kontrplak			Sarıçam			Kavak Kontrplak		
	X _{ort}	HG		X _{ort}	HG		X _{ort}	HG		X _{ort}	HG	
ÜB	371.33	A		606.26	A		475.66	A		558.37	A	
YB	234.70	B		421.55	B		274.08	B		395.53	B	

ÜB: Üçgen biçimli YB: Yıldız biçimli

Auksetik desen tipine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, üçgen biçimli kavelaların, hem liflere paralel/kenardan hem de liflere dik/yüzeyden kavela tutma mukavemeti değerlerinde yıldız biçimli kavelalara belirgin bir üstünlük sağladığı görülmüştür. Üçgen biçimli auksetik desene sahip kavelalar yıldız biçimli auksetik desene sahip kavelalardan; Sarıçam malzemede ortalama %65, KKP malzemede ise %43 daha mukavemetli çıkmışlardır.

Filament, kavela dış tipi ve auksetik desen tipi ana faktörlerinin, Sarıçam ve KKP deney örneklerinin liflere paralel/kenardan ve liflere dik/yüzeyden tutma mukavemeti değerleri üzerindeki etkilerine ait ortalamaların karşılaştırılması Çizelge 9’da verilmiştir.

Çizelge 9. Filament – kavela dış tipi – auksetik desen tipi üçlü karşılaştırma sonuçları

FM-KDT- ADT	Liflere Paralel Kavela Tutma Mukavemeti (N)			Kenardan Kavela Tutma Mukavemeti (N)			Liflere Dik Kavela Tutma Mukavemeti (N)			Yüzeyden Kavela Tutma Mukavemeti (N)		
	Sarıçam			Kavak Kontrplak			Sarıçam			Kavak Kontrplak		
	X _{ort}	v (%)	HG	X _{ort}	v (%)	HG	X _{ort}	v (%)	HG	X _{ort}	v (%)	HG
PLA-DÜ-ÜB	549.3	16.8	A	998.7	14.6	AB	678.6	12.4	A	701.4	15.1	B
PLA-DÜ-YB	206.1	13.1	GH	533.6	13.3	CD	338.4	18.3	CD	539.2	14.3	C
PLA-İÜ-ÜB	417.9	10.3	B	988.8	10.2	A	637.6	3.2	A	806.9	14.4	A
PLA-İÜ-YB	392.4	20.1	B	804.4	19.7	B	455.1	23.8	B	748.6	15.2	AB
ASA-DÜ-ÜB	294.3	16.4	DE	382.6	13.6	C	312.9	6.8	DE	497.9	7.2	CD
ASA-DÜ-YB	246.2	14.8	EFG	307.3	19.1	F	288.1	12.8	DEF	297.5	8.1	FG
ASA-İÜ-ÜB	313.9	7.9	CD	357.1	13.8	EF	402.2	3.8	BC	476.8	8.6	CD
ASA-İÜ-YB	225.6	8.1	FG	290.4	16.9	F	257.9	10.4	EF	370.3	13.3	EF
ABS-DÜ-ÜB	382.6	16.7	BC	382.6	11.6	EF	392.3	3.5	BC	439.3	3.1	DE
ABS-DÜ-YB	192.8	16.6	GH	424.3	8.1	E	232.9	14.7	F	267.2	9.1	G
ABS-İÜ-ÜB	279.6	15.7	DEF	447.9	5.8	DE	404.9	1.1	BC	428.1	5.4	DE
ABS-İÜ-YB	147.7	15.1	H	169.2	11.1	G	71.9	14.7	G	150.3	14.8	H

FM: Filament KDT: Kavela dış tipi ADT: Auksetik desen tipi v: Varyasyon katsayısı

Genel olarak, auksetik özellikteki kavelaların tutma mukavemetinin KKP malzemede Sarıçam malzemeye göre liflere paralel/kenardan yönde ortalama %68, liflere dik/yüzeyden yönde ise ortalama %34 daha yüksek olduğu görülmüştür. Auksetik kavelaların Sarıçam ile tutma mukavemetinde, liflere dik yöndeki mukavemet liflere paralel yöndeki tutma mukavemetine göre daha yüksek değerler vermiştir. Burada, auksetik kavelaların dış yüzeylerindeki dişlerin liflere paralel yönde iyi tutunamayıp liflerin arasından nispeten daha kolay sıyrıldığı, liflere dik yönde ise dişlerin konik geometrik yapısı nedeniyle yıllık halka katmanlarına daha iyi tutunduğu ve bu nedenle daha yüksek mukavemet gösterdiği düşünülmektedir. Auksetik kavelaların KKP malzemedeki tutma mukavemetinde ise, genel anlamda kenardan tutma mukavemeti değerlerinde yüzeyden tutma mukavemeti değerlerine göre az da olsa daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Hem Sarıçam hem de KKP malzemede en yüksek tutma mukavemeti değerlerinin elde edildiği kavelalar PLA-DÜ-ÜB, PLA-İÜ-ÜB ve PLA-İÜ-YB olarak sıralanmıştır. Burada, PLA filamentin ASA ve ABS filamentlere üstünlüğü göze çarpmaktadır. Ayrıca, üçgen biçimli auksetik desenin, yıldız biçimli desene göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Deneysel sonuçlarına göre, en düşük mukavemet ABS-İÜ-YB ve ABS-DÜ-YB kavelalar ile elde edilmiştir.

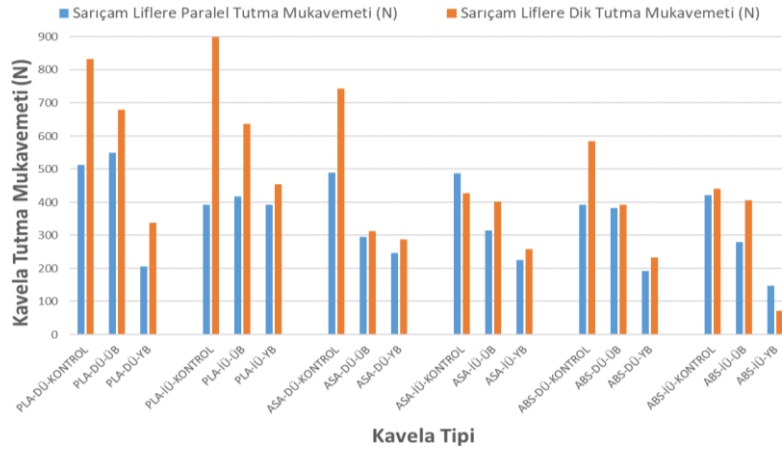
Çalışma kapsamında, auksetik kavelalar ile kontrol kavelalarının tutma mukavemeti açısından karşılaştırılması da yapılmıştır. Her bir kavela grubu için test edilen kontrol kavelalarına ilişkin ortalama tutma mukavemeti değerleri varyasyon katsayıları ile birlikte Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Kontrol kavelalarının tutma mukavemeti değerlerine ilişkin ortalamalar

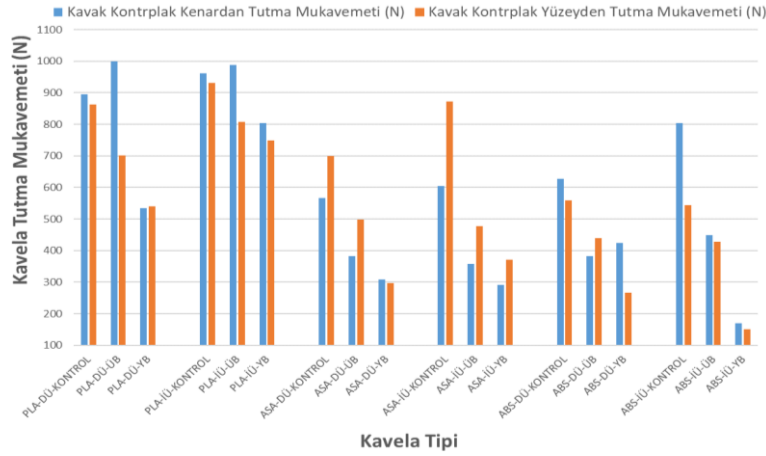
FM-KDT-ADT	Liflere Paralel Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Kenardan Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Liflere Dik Kavela Tutma Mukavemeti (N)		Yüzeyden Kavela Tutma Mukavemeti (N)	
	Sarıçam		Kavak Kontrplak		Sarıçam		Kavak Kontrplak	
	X _{ort}	v (%)	X _{ort}	v (%)	X _{ort}	v (%)	X _{ort}	v (%)
PLA-DÜ-KONTROL	513.4	18.6	894.7	7.1	832.4	3.7	863.3	6.8
PLA-İÜ-KONTROL	392.4	2.5	961.4	19.4	899.1	0.7	931.9	5.3
ASA-DÜ-KONTROL	489.6	8.2	566.5	10.3	743.4	0.3	699.8	4.9
ASA-İÜ-KONTROL	487.2	17.2	604.9	22.1	427.7	4.8	873.1	7.9
ABS-DÜ-KONTROL	392.9	2.6	627.8	15.6	583.7	7.6	558.1	10.7
ABS-İÜ-KONTROL	421.8	4.6	804.4	2.4	441.5	13.3	544.5	13.5

Kontrol kavelalarının tutma mukavemetleri incelendiğinde, KKP malzemedeki tutma mukavemetinin Sarıçam malzemedeki tutma mukavemetine göre %35 daha yüksek olduğu görülmektedir. Kontrol kavelalarında da, auksetik kavelalarda olduğu gibi Sarıçam malzemede liflere dik yöndeki tutma mukavemeti değerlerinin liflere paralel yöndeki tutma mukavemeti değerlerinden daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. KKP malzeme de ise, genel anlamda kenardan tutma mukavemeti, yüzeyden tutma mukavemetine göre az da olsa daha yüksek değerler vermiştir.

Kontrol kavelaları ve auksetik kavelaların Sarıçam ile tutma mukavemetine ilişkin ortalamaların karşılaştırılmasına ilişkin grafik Şekil 7'de, KKP ile kavela tutma mukavemetine ilişkin ortalamaların karşılaştırılmasının grafiksel gösterimi ise Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 7. Kavala gruplarının Sarıçam ile liflere paralel ve dik tutma mukavemeti



Şekil 8. Kavala gruplarının KKP ile kenardan ve yüzeyden tutma mukavemeti

Kontrol kavelaları ile auksetik kavelalar tutma mukavemeti açısından karşılaştırıldığında, bazı gruplar haricinde genellikle kontrol kavelalarının mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 7 ve 8 incelendiğinde; Sarıçam malzemedeki, auksetik kavelalardan PLA-DÜ-ÜB, PLA-İÜ-ÜB ve PLA-İÜ-YB kavelaların, KKP malzemedeki de benzer şekilde PLA-DÜ-ÜB ve PLA-İÜ-ÜB kavelaların tutma mukavemeti değerlerinin aynı gruplara ilişkin kontrol gruplarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre, Sarıçam malzeme için, tüm kavala grupları içerisindeki üç grup kavelanın (PLA-DÜ-ÜB, PLA-İÜ-ÜB, PLA-İÜ-YB), KKP malzeme için ise iki grup kavelanın (PLA-DÜ-ÜB, PLA-İÜ-ÜB) mobilya birleştirmelerinde kullanılabileceği söylenebilir. PLA dışındaki malzemeden üretilen tüm grup kavelalar kontrol gruplarından daha düşük mukavemet değerleri vermişlerdir. Burada, kavala malzemelerinin çekme dirençlerinin etkili olduğu açıkça görülmekte olup bu kavelaların enine kesitlerinde oluşturulan auksetik desenli boşluklu yapının, enine kesitlerin çekme kuvvetlerine direnç gösteren yüzey alanlarının küçülmesine neden olduğu ve bu durumun da tutma mukavemetlerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya birleştirmeleri için; kolay çakılıp zor sökülebileceği öngörülen, auksetik özellikte, inovatif, dışarıdan görünmeyen, kolay montaj sağlayan alternatif kavala tasarımları yapılmış ve bunların çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretiminde kullanılan ahşap malzemeler ile tutma mukavemetleri değerlendirilmiştir.

- Kavela tutma mukavemeti deneyleri sonuçlarına göre, KKP örnekler Sarıçam örneklerine göre belirgin bir şekilde yüksek mukavemet değerleri vermiştir. Deneylerde, kavela üretiminde kullanılan malzemelerden PLA filamentin, ABS ve ASA filamentlere göre çok daha iyi tutma mukavemeti sonuçları verdiği belirlenmiştir. Burada, kullanılan filamentlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin kavela tutma mukavemeti üzerindeki olumlu etkisi açıkça görülmüştür. Çalışmada, kavela dış yüzeylerinde uygulanan dış tipinin; Sarıçam ve KKP malzemelerin kavela tutma mukavemeti üzerindeki etkilerinin anlamsız olduğu belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle, kavelaların dış yüzeylerindeki dış geometrisinin dik üçgen ya da ikizkenar üçgen şeklinde olması kavela tutma mukavemetini etkilememiştir. Sadece, KKP malzemenin yüzeyden kavela tutma mukavemetinde kavela dış yüzeyindeki dış geometrisinin ikizkenar üçgen şeklinde olması ile mukavemetin dik üçgen şeklinde olmasına göre %9 oranda artığı belirlenmiştir. Kavela enine kesitlerinde uygulanan auksetik desen tipine göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda ise; üçgen biçimli kavelaların yıldız biçimli kavelalara belirgin bir üstünlük sağladığı görülmüştür.
- Kontrol gruplarına göre yapılan karşılaştırmalar sonucunda, birkaç grup haricinde genellikle kontrol kavelalarının mukavemet değerlerinin auksetik kavelalardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Sarıçam malzemedeki, auksetik kavelalardan PLA-DÜ-ÜB, PLA-İÜ-ÜB ve PLA-İÜ-YB kavelaların, KKP malzemedeki de PLA-DÜ-ÜB ve PLA-İÜ-ÜB kavelaların tutma mukavemeti değerleri kontrol gruplarına üstünlük sağlamıştır. Buna göre, Sarıçam için, tüm kavela grupları içerisinde üç grup kavelanın, KKP malzeme için de iki grup kavelanın mobilya birleştirmelerinde kullanılabileceği söylenebilir.
- Bu çalışmada, mobilya mühendisliğinin mukavemet tasarımı adımlarından ilki olan; bağlantı elemanlarının, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya üretimde kullanılacak malzemeler ile tutma mukavemetlerinin belirlenmesi aşaması gerçekleştirilmiş ve denenen farklı tiplerdeki auksetik kavelalardan üç tanesi ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Mobilya mühendisliğinde mukavemet tasarımının bir sonraki adımı, tasarlanan bu bağlantı elemanlarının, çerçeve konstrüksiyonlu mobilya iskeletindeki bağlantı noktalarını temsil eden birleştirme elemanlarında (L-tipi, H-tipi, T-tipi) kullanılması ve bu birleştirme elemanlarının kullanım sırasında maruz kalabileceği yükleme biçimine (doğrusal çekme, eğilme, kesme) göre test edilmesidir. Buna göre, ileriki çalışmalarda bu çalışmada başarılı sonuçlar alınan bağlantı elemanlarının, birleştirme elemanlarında gösterecekleri performansların belirlenmesi gerektiği aşikârdır. Ayrıca, mobilya mukavemet tasarımındaki son aşamanın, 1/1 boyutlardaki prototip ürünlerin gerçek kullanım ve yükleme koşulları altında performans testlerine alınması olduğu düşünüldüğünde, yine gelecekteki çalışmalarda, bu çalışmada ve birleştirme elemanları testlerinde başarılı bulunan bağlantı elemanları kullanılarak üretilecek gerçek ölçülerdeki çerçeve konstrüksiyonlu koltuk iskeletlerinin performans testlerinin de yapılması gerektiği açıktır. Çalışmada denenen auksetik kavelalardan optimum montaj kuvveti ve maksimum tutma kuvveti açısından başarılı sonuçlar alınması halinde, çerçeve konstrüksiyonlu mobilyalar (özellikle döşemeli koltuk iskeletleri), tutkal kullanımı olmadan ve hiçbir yardımcı araç gereç kullanılmadan, kısa sürede kolayca monte edilebilecek ve döşeme yapılmaya hazır hale gelecektir.

Teşekkür

Bu makale, birinci yazarın Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda devam eden doktora tez çalışmasından üretilmiştir. Makalenin ön çalışması niteliğindeki bazı sonuçlar "4. Uluslararası Lisansüstü Çalışmalar Kongresi"nde sözlü olarak sunulmuş ve bildiri kitabında tam metin olarak yayınlanmıştır (Ceylan ve diğerleri, 2024). Ayrıca, çalışma kapsamındaki üçgen desenli

kavela örneği için 30.12.2022 tarihinde, 2022/021679 başvuru numarası ve “Genişleme Eğilimli Kavela” başlığıyla, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Türk Patent ve Marka Kurumuna Ulusal Patent Başvurusu yapılmış, ürünün patent korumasına alınması için süreçler devam etmektedir.

Yazar Katkıları

Erkan Ceylan: Araştırmanın yapılması, Deneyleerin yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, İnceleme ve düzenleme. **Ali Kasal:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Deneyleerin yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Kaynaklar, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme, Makale Taslak oluşturma, Makale Yazma, inceleme ve düzenleme. **Jerzy Smardzewski:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), Metodolojinin belirlenmesi, Denetleme, Doğrulama, Makale Taslak oluşturma. **Mehmet Yüksel:** Deneyleerin yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, Denetleme, Doğrulama, İnceleme ve düzenleme. **Tolga Kuşkun:** Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Analizlerin yapılması, Veri iyileştirme, İnceleme ve düzenleme.

Finansal destek beyanı

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan malzemeler ve bunların üniversiteye nakliyesi için Türkiye Mobilya sektöründe faaliyet gösteren önemli firmalardan biri olan Bellona Mobilya A.Ş’ den destek alınmıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.


Kaynaklar

- ASTM International, (2017). ASTM D3039/D3039M–17 Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.
- Ceylan, E., Kasal, A., Smardzewski, J., Kuşkun, T., Yüksel, M., (2024). Mobilya birleştirmeleri için tasarlanan auksetik kavelaların montaj kuvvetlerinin belirlenmesi, 4. Uluslararası Lisansüstü Çalışmalar Kongresi, IGSCONG’24, 5–8 June 2024, Bildiri Kitabı sf: 432-444
- Eckelman, C. A., (2003). Textbook of product engineering and strength design of furniture, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 65-67.
- Evans, K. E., Nkansah, M. A., Hutchinson, I. J., & Rogers, S. C., (1991). Molecular network design, *Nature*, 353, 124. DOI: [10.1038/353124a0](https://doi.org/10.1038/353124a0)
- Kasal, A., Kuşkun, T., & Smardzewski, J., (2020). Experimental and numerical study on withdrawal strength of different types of auxetic dowels for furniture joints, *Materials*, 13(19), 4252. DOI: [10.3390/ma13194252](https://doi.org/10.3390/ma13194252)
- Kasal, A., Kuşkun, T., Smardzewski J., & Güray, E., (2023). Analyses of L-type corner joints connected with auxetic dowels for case furniture, *Materials*, 16(13): 4547. DOI: [10.3390/ma16134547](https://doi.org/10.3390/ma16134547)
- Kuşkun, T., Smardzewski, J., & Kasal, A., (2021). Experimental and numerical analysis of mounting force of auxetic dowels for furniture joints, *Engineering Structures*, 226, 111351. DOI: [10.1016/j.engstruct.2020.111351](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111351)

- Kuşkun, T., Kasal, A., Çağlayan, G., Ceylan, E., Bulca, M., & Smardzewski, J., (2023). Optimization of the cross-sectional geometry of auxetic dowels for furniture joints, *Materials*, 16(7), 2838. DOI: [10.3390/ma16072838](https://doi.org/10.3390/ma16072838)
- Lakes, R., (1987). Foam structures with a negative poisson's ratio, *Science*, 235(4792), 1038-1041. DOI: [10.1126/science.235.4792.1](https://doi.org/10.1126/science.235.4792.1)
- Lim, T. C., (2015). Auxetic materials and structures (1. baskı). Singapore: Springer Singapore, DOI: [10.1007/978-981-287-275-3](https://doi.org/10.1007/978-981-287-275-3)
- Örs, Y., Efe, H., (1998). The mechanical behavior properties of fasteners in furniture design for frame construction, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22, 21-28.
- Ren, X., Shen, J., Tran, P., Ngo, T. D., Xie, & Y. M., (2018). Auxetic nail: Design and experimental study, *Composite Structures*, 184, 288-298. DOI: [10.1016/j.compstruct.2017.10.013](https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.10.013)
- Smardzewski, J., & Prekrat, S., (2011). Design of small auxetic springs for office furniture, Proceedings of International Conference wood is good – EU preaccession challenges of the sector, Zagreb, 173-182. DOI: [10.5555/20113406431](https://doi.org/10.5555/20113406431)
- Smardzewski, J., (2013a). Auxetic springs for seating, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(3), 369-376. DOI: [10.3906/tar-1204-64](https://doi.org/10.3906/tar-1204-64)
- Smardzewski, J., (2013b). Elastic properties of cellular wood panels with hexagonal and auxetic cores, *Holzforschung*, 67(1), 87-92. DOI: [10.1515/hf-2012-0055](https://doi.org/10.1515/hf-2012-0055)
- Smardzewski, J., Robert K., & Beata F., (2013). Design of small auxetic springs for furniture, *Materials & Design*, 51:723-728. DOI: [10.1016/j.matdes.2013.04.075](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.075)
- Smardzewski, J., Wojciechowski, K. W., & Poźniak, A., (2018). Auxetic lattice truss cores fabricated of LayWood, *BioResources*, 13(4), 8823-8838. DOI: [10.15376/biores.13.4.8823-8838](https://doi.org/10.15376/biores.13.4.8823-8838)
- 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. T.S.E. Ankara, Türkiye.
- TS ISO 13061-2 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - bölüm 2: fiziksel ve mekanik deneyler için yoğunluğun belirlenmesi. T.S.E. Ankara, Türkiye.
- TS ISO 13061-3 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 3: Statik eğilmede nihai mukavemet tayini. T.S.E. Ankara, Türkiye.
- TS ISO 13061-4 (2021). Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - bölüm 4: statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini. T.S.E. Ankara, Türkiye.



Göz izleme teknolojisi ile ölçülen görsel ilginin mobilya satın alma tercihleri ile ilişkisinin belirlenerek talep tahmini yöntemi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi

Osman Göktaş^{1*}, Engin Ergin², Kadir Cem Tuğcu³

ÖZ: Mekânların donatılmasına yarayan mobilyaların işlevsel olduğu kadar aynı zamanda estetik olması da kullanıcı ilgisi üzerinde etkilidir. Kullanıcılar tarafından daha fazla ilgi gören ürünlerin ise buna paralel olarak satış başarısını yakalaması beklenir. Bu bağlamda mobilya ürünlerinin görsel ilgi açısından değerlendirilmesi, satın alınabilirlik bakımından önemlidir. Dolayısıyla, mobilya sektöründe göz izleme gibi çağdaş teknolojiler kullanılarak tüketici araştırmalarının yapılması bir gerekliliktir. Göz izleme teknolojisi, nöropazarlamanın araçlarından biri olup kullanıcıların görsel ilgileri hakkında bilgi vermektedir. Bu araştırma ile, göz izleme teknolojisinin mobilya endüstrisinde, tasarlanan ürünlerin üretim kararlarının verilmesi aşamasında talep tahmin yöntemi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Söz konusu amaç doğrultusunda mobilya görüntüleri, bilgisayar ekranı üzerinden, göz izleme cihazı takan katılımcılara gösterilmiş ve mobilyalar üzerinde oluşan görsel ilgi düzeyleri tespit edilmiştir. Belirlenen görsel ilgi düzeyleri, mobilyaların satış verileri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, katılımcı grubunun bazı demografik özellikleri hakkında bilgi edinebilmek için anket uygulanmıştır. Sonuç olarak, göz izleme teknolojisinin mobilya endüstrisi için talep tahmininde kullanılabilirliği kısmen elverişli bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Göz İzleme Teknolojisi, Mobilya, Nöropazarlama, Talep Tahmini

Determining the relationship between visual interest measured with eye tracking technology and furniture purchasing preferences and examining its usability as a demand forecasting method

ABSTRACT: The functionality and aesthetics of the furniture used to furnish spaces also have an impact on user interest. Products that attract more attention from users are expected to achieve sales success in parallel. Concordantly, evaluating furniture products in terms of visual interest is important in terms of affordability. Therefore, it is a necessity to conduct consumer research using contemporary technologies such as eye tracking in the furniture sector. Eye tracking technology, a tool of neuromarketing, provides insights into users' visual interests. This study aimed to assess the usability of eye tracking as a demand forecasting method in the furniture industry during the production decision-making phase. Participants wore eye-tracking devices while viewing furniture images on a computer screen, allowing researchers to determine their visual interest levels. The determined visual interest levels were compared with the sales data of the furniture. Additionally, a survey was conducted to obtain information about some demographic characteristics of the participant group. The findings revealed that eye tracking technology was partially favorable in predicting demand for the furniture industry.

Keywords: Eye Tracking Technology, Furniture, Neuromarketing, Demand Forecasting

Makale tarihçesi: Geliş:26.09.2024, Kabul:30.10.2024, Yayınlanma:30.12.2024, *e-posta: ogoktas@mu.edu.tr.

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Muğla/Türkiye,

²Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği ABD, Muğla/Türkiye,

³Ersa Mobilya San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Ankara/Türkiye.

Atıf: Göktaş O., Ergin E., ve Tuğcu K.C., (2024), Göz izleme teknolojisi ile ölçülen görsel ilginin mobilya satın alma tercihleri ile ilişkisinin belirlenerek talep tahmini yöntemi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7 (2), 204-219, DOI: [10.33725/mamad.1556670](https://doi.org/10.33725/mamad.1556670)

1 Giriş

Mobilya; oturmak, çalışmak, yemek, yatmak gibi eylemlerle ilişkili yerlerin donatılmasına ve kimlik kazandırılmasına yarayan taşınabilir eşyadır (Berkin, 2021; Stone ve Brooker, 2014). Mobilya, her kesimden insan tarafından yararlanılan çok yönlü endüstriyel bir ürün olup yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özelliği, mobilyayı dünya ekonomisi için önemli bir ticari ürün haline getirmektedir. Mobilya üretimi küresel ölçekte 2021 yılında 634 milyar doları aşmış iken bu değer 2026 yılında 940 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Türkiye’de ise mobilya üretimi 2020 yılında 11 milyar dolar olup bu seviyenin 2030 yılında 29 milyar dolara ulaşacağı öngörülmektedir. (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2024).

Mobilya sektöründe hem halihazırdaki potansiyele hem de gelecek öngörülerine bağlı olarak farklı ölçeklerde çok sayıda işletme bulunmaktadır. Bu da rekabetin artmasına neden olmaktadır. Rekabet artışıyla birlikte, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmek için sürekli olarak yeni ve çekici ürünler tasarlamaları ve geliştirmeleri gerekmektedir. Her ne kadar işletmeler yeni ürünler ortaya koysa da bu ürünler tüketiciler tarafından aynı düzeyde ilgi görmemekte ve satın alınmamaktadır. Bu durum hammadde, işçilik ve enerji gibi üretim girdilerinin israfına neden olmaktadır. Ayrıca, yeteri kadar satış başarısı yakalayamayan mobilyaların üretim, sergileme, depolama ve nakliye süreçleri çevre açısından gereksiz bir yük oluşturmaktadır. Dolayısıyla, daha fazla görsel ilgi çekerek tüketicilerin talep edebileceği cazip mobilyaların tasarlanması tasarımcılar ve üreticiler için önemli bir gündem konusudur. Bu aynı zamanda, işletmelerin pazarlama başarısıyla da doğrudan ilişkilidir.

Mobilya sektöründe pazarlama ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. İnal ve Toksarı (2006) tarafından mobilya sektöründe karşılaşılan pazarlama sorunlarının incelendiği bir çalışmada tüketici isteklerinin önemi vurgulanmıştır. Mobilyaların tanıtımı ve pazarlanması konusunda yaşanan sıkıntıların neler olduğunun sorulduğu başka bir çalışmada ise cevaplar %39 “tüketicinin marka algısı”, %27 “büyük işletmelerin reklam ve pazar gücü”, %23 “ithal ürünlerin piyasada rahatça bulunabilmesi”, %11 “tüketici geri bildirimlerinin işletmelere ulaşmaması” olarak ortaya çıkmıştır (Özen ve ark., 2017). Görülmektedir ki mobilya sektöründe etkili pazarlama faaliyetleri için tüketici araştırmalarının yapılması oldukça önem arz etmektedir.

Etkili pazarlama süreçlerinin yönetilebilmesi adına pek çok tüketici araştırması yürütülmekte ve bu kapsamda çeşitli veri toplama yöntemleri kullanılmaktadır. Anket ve odak grup görüşmesi gibi geleneksel araştırma yöntemleri, önemli bilgiler sunmasına rağmen, tüketicilerin zaman zaman gerçek bilgileri paylaşmama isteği veya sosyal kabul görmeye duyulan ihtiyaç gibi durumlar nedeniyle yeterince etkin olmayabilir (Bozoklu ve Alkibay, 2017) Dolayısıyla, tüketici araştırmalarının daha doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amacıyla, geleneksel yöntemlerle birlikte, çağdaş ve teknolojik araçların kullanılması fayda sağlayabilir. Bu bağlamda, tüketici araştırmalarında sinir biliminden faydalanılarak geliştirilen nöropazarlama yaklaşımı da son zamanlarda ön plana çıkmaktadır.

Nöropazarlama, araştırmacılara çok sayıda yöntem ve veri toplama seçeneği sunması sayesinde gerçekçi bilgiye ulaşabilme olanağının daha çok olması nedeniyle, pek çok sektörde kullanılan ve hızlı büyüyen bir bilim dalıdır (Altunışık ve ark., 2022). Nöropazarlama çalışmaları, sinir bilimi ile tüketici psikolojisi arasında köprü kurmaktadır (Morin, 2011). Nöropazarlama, müşterinin ve firmanın bilinçli beklentileri ile bilinçaltı beklentilerinin kesişiminde yer almaktadır (Georges ve ark., 2013). Bu disiplin, tüketicilerin pazarlama malzemelerine, marka, ürün ve ürün gruplarına verdikleri bilinçaltı tepkileri incelemektedir. Bu sayede müşteri tercihleri ve duygusal tepkileriyle ilgili önemli bilgiler elde edilmektedir

(Suomala ve ark., 2012). Nöropazarlama ile ilgili çalışmalar her geçen gün artmakla birlikte bu alan henüz gelişme döneminde (Özkara, 2017).

Nöropazarlama araştırmalarında çeşitli araçlar kullanılmaktadır. Bunlar; fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), elektro beyin grafisi (EEG), manyetik beyin grafisi (MEG), pozitron emisyon tomografi (PET), nabız ölçümü, galvanik deri iletkenliği (GSR), yüz kodlama, göz izleme teknolojisi, transkraniyal manyetik stimülasyon (TMS), örtük çağrışım testi olarak sıralanabilir (Saygı ve Tor Kadioğlu, 2022).

Nöropazarlama araçlarından biri olan göz izleme teknolojisi ile katılımcıların görsel ilgileri araştırılmaktadır. Daha ayrıntılı bir ifadeyle, göz izleme teknolojisi, kullanıcıların belirli bir zamanda nereye ve ne kadar süre baktıkları ile gözlerinin izlediği yolun tespit edilmesine yaramaktadır. Bir göz izleme cihazı, kullanıcının göz hareketi davranışı hakkında bilgi veren güçlü bir araçtır. Konum, süre ve hareket, göz izlemenin üç temel niteliğidir. Bir kullanıcının belirli bir andaki göz bakışının konumu, görsel dikkati anlamak için en temel analiz birimini sağlamaktadır. Bakışın süresi ise bakılan yere özel bir dikkat verilip verilmediğinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Hareket, gözlerin bir odaklanmasından diğerine yapılan sıçramalara dayanmaktadır. Odaklanma, göz hareketinin görsel alanın belirli bir yerinde durması iken sıçrama ise gözün bir odaklanmadan diğerine yaptığı hızlı hareketleri ifade etmektedir. Odaklanma süresi genellikle son derece kısadır ve milisaniye olarak ölçülmektedir (Bergstrom ve Schall, 2014).

Görsel ilgi, bir objeye yapılan bakış sayısı ve bakış süreleri ile belirlenmektedir. Bir ürüne yapılan bakış sayısı ve süresi ne kadar yüksek ise, o ürüne gösterilen görsel ilginin o oranda yüksek olduğu (Van der Laan ve ark., 2015) ve yüksek ilginin de büyük ihtimalle tercih ile sonuçlandığı görüşü alanyazında (literatür) bildirilmiştir (Chen ve ark., 2022; Janiszewski, 1998; Lohse, 1997). Görsel ilgi düzeyinin ölçülerek belirlenmesi, üreticilere ve pazarlamacılara, karar süreçlerinin oluşumu hakkında daha net ve rafine veriler sağladığından (Paré ve Dorris 2011) pek çok bilimsel araştırmacı göz izleme teknolojilerinden yararlanarak nöropazarlama araştırmaları yapmaktadır.

Uyar ve Uyar (2024) doğal bal temalı reklamların etkinliğini göz izleme teknolojisi ile irdeledikleri çalışmalarında tüketicilerin doğal etiketli ürünleri önemsediklerini ve satın alma kararlarında bunun önemli bir etmen olduğunu ortaya koymuşlardır. Bezgin ve ark. (2024) sanat eğitimi alan ve almayan öğrencilerin NFT (Nun-Fungible Token/Değiştirilemez Jeton) eser ve klasik esere odaklanma düzeyleri ve satın alma niyetlerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre, görsel ilgi açısından gruplar arasında eserlere ve fiyata yönelik farklılıklar tespit edilmiştir. Uyar (2024) banka afişlerinde tanınmış kişilere (ünlü) yer vermenin etkisi üzerine çalışmıştır. Reklamda tanınmış kişilerin kullanılmasına katılımcıların olumlu yaklaştıkları, ancak yalnızca bu nedenle banka ürün ve hizmetlerinin satın alınmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca, katılımcıların tanınmış kişilerin yüzleri ve banka logosuna kıyasla yazılı kısımlara baktıkları ortaya konmuştur. Mateja (2023) daha kullanılabilir çevrimiçi mağaza tasarımı için göz izleme yönteminden yararlandığı çalışmasında, daha büyük yazı tipiyle yazılan başlıklara daha fazla dikkat edildiğini, bununla birlikte çok fazla metin olmasının okunurluğu olumsuz yönde etkilediğini ifade etmiştir. Juárez-Varón ve ark. (2023) yürüttükleri bir çalışmada ayakkabı mağazalarında kullanılan uyarıların tüketicilerin duyguları ve karar verme süreçleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, tüketicilerin bilinçli ve bilinçsiz zihinsel durumlarının bilgisinin çok daha verimli ticari uyarıların tasarlanmasını sağladığı belirtilmiştir. Romero-Luis ve ark. (2023) döngüsel ekonomide görsel-işitsel ürünlerin etkinliğini değerlendirmek için yaptıkları çalışmada, ekolojik

farkındalık kampanyalarının iletişimi geliştiren yönlerini belirlemek için geleneksel ve nöropazarlama araştırma tekniklerini kullanmanın büyük potansiyeli olduğunu ifade etmişlerdir. Giray ve ark. (2022) ruh hali ve organik gıda seçimi üzerine gerçekleştirdikleri araştırmalarında, organik etiketler üzerindeki nesnel bilgi, öznel bilgi ve görsel dikkatin organik satın almalar üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu ortaya koymuşlardır. Toker ve Sulak (2021) mizah, korku, duygusallık ve cinsellik olmak üzere dört farklı yaklaşımın kullanıldığı reklam filmlerinin etkinliğini ve hatırlanabildiği incelemişlerdir. Farklı reklam çekiciliklerinin hem tüketici ilgisini toplamada hem de reklam ve ürün/markanın hatırlanabilirliğini artırmada etkili olduğu ifade edilmiştir. Devrimsel (2020) renklerin indirim algısına etkisini irdelediği araştırmasında, tüketicilerin indirim algısında renklerin etkili olduğunu ve cinsiyet faktörüne bağlı olarak bu algının farklılık gösterdiğini belirtmiştir. Kısaca söz edilen bilimsel yayınlardan da anlaşılacağı üzere, göz izleme teknolojisi, nöropazarlama alanında çeşitli konularda kullanılmıştır.

Mobilya alanında da göz izleme çalışmaları yapılmaktadır. Göktaş ve ark. (2024) farklı tasarım özelliklerine sahip mutfak mobilyalarına yönelik görsel ilginin belirlenebilmesi amacıyla gerçek mekânda bir göz izleme uygulaması yürütmüşlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, mobilya grubunun genellikle sol tarafında daha fazla ilgi odağı oluşurken alt çekmeceler gibi göz hizasının aşağısında kalan kısımlarda daha az ilgi toplanmıştır. Ayrıca, aydınlatma ve aksesuar kullanımının da görsel ilgi üzerinde etkisi olduğu belirtilmiştir. İlhan ve Togay (2023) tasarıma bilgi girdisi sağlamada göz izleme teknolojisinin kullanımını incelemişlerdir. Mobilya görüntüleri kullanılarak yapılan araştırmada, ürüne ilişkin beğenin göz izleme üzerinden anlaşılabilirliği ifade edilmiştir. Wan ve ark. (2018) bilgisayar ekranı karşısında geleneksel ve yeni model Çin mobilyalarına ilişkin bir göz izleme çalışması yaparak katılımcıların bilişsel tercihlerini irdelemişlerdir. Bu bağlamda, Çin mobilya tipleri üzerine bilişsel tercihleri anlamının, mobilya tasarımlarını yeni bir bakış açısından tanıtmaya potansiyeline sahip olduğu aktarılmıştır.

Mobilyalara yönelik görsel ilgi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, mobilya sektöründe sinir bilimi temelli tüketici araştırmalarının yeterince bulunmaması bir eksiklik olarak görülmüştür. Bu araştırma, mobilya endüstrisinde, tasarlanan ürünlerin üretim kararı verilmeden önce göz izleme teknolojisi ile tüketici adaylarına izlettirilmesi ve bu sayede belirlenen görsel ilgi düzeyi ile ürünün piyasada ne derece talep görebileceği hakkında bilgi sahibi olunabileceği fikri üzerine kurulmuştur. Bu bağlamda, bu araştırma ile, tüketicilerin mobilya ürünlerine ilişkin görsel ilgilerinin göz izleme cihazı aracılığıyla ölçülmesi ve buradan elde edilen verilerin, mobilyaların satış verileri ile karşılaştırılarak, mobilya endüstrisinde talep tahmin yöntemi olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

2.1.1 Mobilya görüntüleri

Bu göz izleme çalışmasında, Türkiye’de faaliyet gösteren Ersu Mobilya San. ve Tic. A.Ş. ürünleri arasında yer alan ve farklı özelliklere sahip (kullanım amacı, tasarım, malzeme, renk vb.) 32 adet mobilyanın görüntüleri kullanılmıştır. Söz konusu mobilyaların seçiminde iki temel yaklaşım benimsenmiş olup bunlar aşağıda verilmiştir.

- Biçimsel olarak farklı özelliklere sahip mobilyaların birlikte ele alınması (A: Sandalye, B: Ofis Masası, D: Yönetici Masası, H: Kanepe)

- Biçimsel olarak aynı, ama renk ve malzeme çeşitliliği gibi görünüş açısından farklılıkları olan mobilyaların birlikte ele alınması (C: Ofis Masası, E: Yönetici Masası, F: Ofis Dolabı, G: Sehpa).

Bu yaklaşımlar ile 4'er görüntüden oluşan 8 farklı gözlem sayfası hazırlanarak göz izleme yöntemiyle katılımcılara izlettirilmiştir. Aynı gözlem sayfasında yer alan mobilya görüntüleri "grup" olarak ifade edilmektedir. Çalışmada kullanılan mobilya görüntüleri ve kodlandırmaları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Göz izleme çalışmalarında kullanılan mobilya görüntüleri

A Grubu	B Grubu	C Grubu	D Grubu
A1 	B1 	C1 	D1 
A2 	B2 	C2 	D2 
A3 	B3 	C3 	D3 
A4 	B4 	C4 	D4 
E Grubu	F Grubu	G Grubu	H Grubu
E1 	F1 	G1 	H1 
E2 	F2 	G2 	H2 
E3 	F3 	G3 	H3 
E4 	F4 	G4 	H4 

2.1.2 Göz izleme cihazı

Çalışmada, görsel ilginin belirlenebilmesi için derin öğrenme destekli bir göz izleme cihazı (Pupil Invisible) kullanılmıştır (Pupil Labs, 2024). Şekil 1'de gösterilen göz izleme cihazının bütünleşik donanım parçaları (kızılötesi aydınlatıcı, göz izleme kamerası, sahne kamerası gibi) ve ilişkili yazılımı sayesinde, katılımcıların hangi mobilyalara, ne kadar süre ile odaklandıkları belirlenebilmektedir. Göz izleme cihazının yönetimi, veri aktarma kablosu ile bağlantı kurulan bir akıllı telefon (*OnePlus 8*) üzerinden, cihazın yazılımı (*Pupil Invisible Companion*) ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, mobilya görüntülerinin katılımcılara gösterilmesi için bir dizüstü bilgisayar (*Lenovo Thinkbook 15P 20V3*) kullanılmıştır.



Şekil 1. Göz izleme cihazı: Pupil Invisible (Pupil Labs, 2023'ten Türkçeleştirilmiştir.)

2.2 Metot

2.2.1 Verilerin toplanması

Bu araştırma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırmaları Etik Kurulu'nun onayı ile yapılmıştır (Karar Tarihi: 16 Mart 2023, Protokol No: 230029, Karar No: 38).

Bu çalışmada katılımcıların demografik özelliklerini (cinsiyet, yaş, eğitim durumu, gelir seviyesi) belirleyebilmek adına anket, görsel ilgilerini ortaya koyabilmek adına ise göz izleme cihazı kullanılmıştır. Veri toplama işlemleri, 48 gönüllü katılımcı ile Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesinde gerçekleştirilmiştir. Mobilyaların satış verileri ise firmanın (Ersa Mobilya San. ve Tic. A.Ş.) pazarlama bölümünden temin edilmiştir.

Göz izleme uygulaması, bilgisayar ekranında gösterilen mobilya görüntüleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kendi içinde gruplanan dörder mobilya görüntüsü, ayrı gözlem sayfalarında, 8'er saniye boyunca katılımcılara izlettirilerek görsel ilgiye dair veriler elde edilmiştir. Ekran karşısında gerçekleştirilen göz izleme çalışmalarında, ayrı sayfalara ilişkin gözlem sürelerinde çeşitlilik olduğu alanyazında görülmektedir. Söz konusu çeşitlilikte, gözlem içeriğinin detayı ve büyüklüğü gibi etmenler etkili olabilir. Bu çalışmada belirlenen süreye ise alan yazındaki çalışmalar ve yapılan ön denemeler sonucunda karar verilmiştir. 8 saniyelik gözlem süresi, ekranda sunulan gözlem içeriklerine yönelik yapılan bazı göz izleme çalışmaları ile benzerlik göstermektedir. Ayrı gözlem sayfalarını katılımcılara Er (2024) 10'ar saniye, Chen ve ark. (2022) 8'er saniye, Taşçı ve Baygül Özpınar (2022) 6'şar saniye, İnan ve Yücel (2020) 5'er saniye göstermişlerdir. Bununla birlikte, gözlem sayfaları arasında, katılımcıların görsel odaklanmalarını mobilya görüntülerinden boşluğa çekmek amacıyla küçük bir daireden oluşan ve 2'şer saniye süresince ekranda kalan geçiş sayfalarına yer verilmiştir (Şekil 2). Benzer şekilde, Er (2024) tarafından yapılan çalışmada gözlem sayfaları arasında 5'er saniye görünen siyah ekran yer alırken İnan ve Yücel (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise gözlem sayfaları arasında beyaz zemin üzerinde (+) işareti gösterilmiştir. Ayrıca, daha doğru bakış verileri elde edebilmek adına, dört farklı gözlem sayfası sürümü oluşturularak, mobilya görüntüleri bu sürümlerde yerleri düzenli bir şekilde değiştirilerek kullanılmıştır. Toplanan veriler, daha sonra veri analizi için göz izleme cihazının bağlı olduğu bulut sistemine (*Pupil Cloud*) yüklenmiştir.



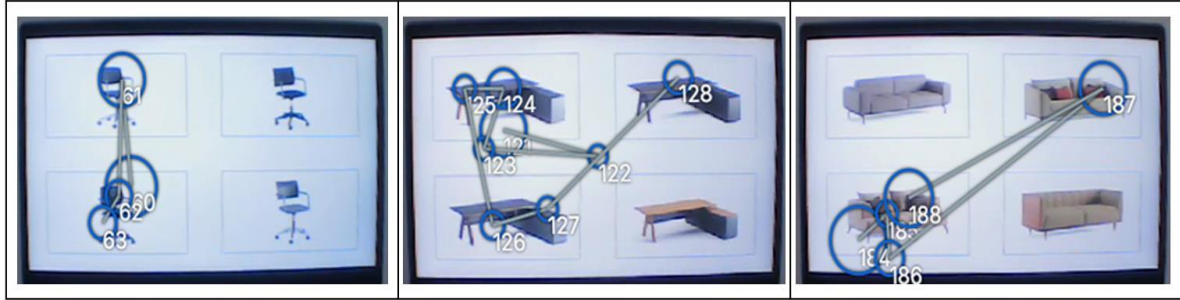
Şekil 2. Göz izleme uygulaması ekran görüntüsü örnekleri

2.2.2 Verilerin analiz edilmesi

Araştırmanın katılımcı grubunun demografik özelliklerini (cinsiyet, yaş, eğitim durumu, gelir seviyesi) belirleyebilmek adına anket verileri incelenerek sıklık analizi (frekans) yapılmıştır. Daha sonra yüzdesel olarak oranlama gerçekleştirilerek çizelgeye dökülmüştür.

Görsel ilginin belirlenebilmesi amacıyla toplanan göz izleme verileri dört farklı değişken üzerinden incelenmiştir. Bu değişkenler; “toplam odaklanma sayısı”, “toplam odaklanma süresi”, “ilk odaklanılan ilgi alanı” ve “ilk odaklanma süresi” olarak sıralanmaktadır.

Katılımcıların yoğun olarak odaklandıkları yerlerin “ilgi alanı” şeklinde tanımlanması ile söz konusu ilgi alanındaki toplam göz izleme verileri kümeleme ile tespit edilmektedir (Coşkun ve Yücel, 2020). Bu bağlamda, her gözlem sayfasındaki farklı mobilyalar birer “görsel ilgi alanı” olarak tanımlanmıştır. Göz izleme cihazının bulut sistemi uygulamaları kullanılarak katılımcıların bakış noktaları, odaklanma sayıları ve odaklanma süreleri incelenmiş olup bunların hangi ilgi alanlarında gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 3). Çalışmada görüntüleri kullanılan mobilyalar üzerinde oluşan görsel ilgi, bu mobilyalara ait bir yıllık satış verileri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Gözlem sayfaları üzerinde odaklanmaların izlenmesi

3 Bulgular ve Tartışma

3.1 Ankete ilişkin bulgular

Çizelge 2’de, araştırma katılımcılarına ait bazı demografik bilgiler verilmiştir. Gelir seviyesine ilişkin düzeyler belirlenirken, veri toplama sürecinde geçerli olan dönemin asgari ücreti alt gelir seviyesi olarak kabul edilmiştir.

3.2 Göz izleme ve satış verilerine ilişkin bulgular

Göz izleme cihazı yardımıyla ölçülen veriler ile satış miktarları arasındaki ilişkinin incelenmesi adına, her mobilya grubu için ayrı ayrı olmak üzere, çizelgeler hazırlanmıştır.

Bu çizelgelerde mobilyalara ilişkin toplam odaklanma sayısı, toplam odaklanma süresi, ilk odaklanılan ilgi alanı ve ilk odaklanma süresi verileri erkekler, kadınlar ve genel ortalama bazında yüzdelerle değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu çizelgelerde ürünlerin satış fiyatları (TL) ve satış miktarları da (%) gösterilmiştir. Veri görselleştirilmesi amacıyla, hücre renklendirilmesi yapılmış olup *Microsoft Excel* yazılımında “renk ölçeği” aracı kullanılmıştır. Bu ölçekte en büyük değer kırmızı, en küçük değer ise yeşil ile gösterilirken kırmızı-sarı-yeşil şeklinde bir renk geçişi söz konusudur. Renk ölçeği aracı ile yapılan koşullu biçimlendirme, katılımcı grubu baz alınarak ayrı ayrı hazırlanmıştır. Örneğin, “Erkek” katılımcıların “A” grubu mobilyalarındaki toplam odaklanma sayısı ortalama değerleri (%) üzerinden bir koşullu biçimlendirme yapıldığında, A3 mobilyası %27.16 ile en çok değer aldığı için kırmızı, A1 mobilyası ise %23.96 ile en az değer aldığı için yeşil renklendirilmiştir.

Çizelge 2. Katılımcı grubunun demografik özellikleri

Cinsiyet	n	Yaş			Eğitim Durumu			Gelir Seviyesi		
		Düzye	n	%	Düzye	n	%	Düzye	n	%
Erkek	24	25-34	2	8.33	İlköğretim	0	0.00	8.506,80-10.000	0	0.00
		35-44	11	45.83	Lise	2	8.33	10.001-17.000	5	20.83
		45-54	7	29.17	Ön Lisans	2	8.33	17.001-24.000	6	25.00
		55-64	4	16.67	Lisans	2	8.33	24.001-31.000	6	25.00
		65-74	0	0.00	Yüksek Lisans	0	0.00	31.001-38.000	7	29.17
				Doktora	18	75.00	Diğer	0	0.00	
Kadın	24	25-34	6	25.00	İlköğretim	2	8.33	8.506,80-10.000	3	12.50
		35-44	12	50.00	Lise	3	12.50	10.001-17.000	6	25.00
		45-54	5	20.83	Ön Lisans	0	0.00	17.001-24.000	8	33.33
		55-64	1	4.17	Lisans	7	29.17	24.001-31.000	5	20.83
		65-74	0	0.00	Yüksek Lisans	3	12.50	31.001-38.000	0	0.00
				Doktora	9	37.50	Diğer	2	8.33	

n: Katılımcı sayısı

Çizelge 3’te A grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; TOSA bakımından en fazla odaklanma sayısı erkeklerde %27.16 ile A3 mobilyasında olurken kadınlarda ise %27.68 ile A1 mobilyasında olmuştur. Tüm katılımcılar ortalamasında da %25.82 ile en fazla odaklanma A1 mobilyasında meydana gelmiştir. TOSÜ açısından en uzun odaklanma süresi erkeklerde %27.75 ile A4 mobilyasında belirlenirken kadınlarda ise %28.19 ile A1 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında %26.89 ile A4 mobilyası en uzun odaklanılan üründür. İOİA’ya göre erkeklerde %34.17 ile en çok A3 mobilyasında ilk odaklanma tespit edilirken kadınlarda ise %33.33 ile A4 mobilyasında en çok ilk odaklanma tespit edilmiştir. Tüm katılımcılar ortalamasında %27.50 ile A1 mobilyası en çok ilk odaklanılan ürün olmuştur. İOS açısından en uzun süren ilk odaklanma erkeklerde %33.50 ile A3 mobilyasında olurken kadınlarda ise %27.70 ile A4 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında en uzun ilk odaklanma süresi %26.89 ile A1 mobilyasında tespit edilmiştir. A grubu mobilyalarının satış verileri incelendiğinde en çok satın alınan ürünlerin A1 ve A2 olduğu görülmektedir. Buna göre TOSA-Kadın, Ortalama; TOSÜ-Kadın; İOİA-Ortalama; İOS-Ortalama gruplarının en çok satış miktarları ile tutarlılık gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 3. A grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri

Kod	Fiyat	TOSA			TOSÜ			İÖİA			İÖS			Sat. M.
		E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	
A1	6.901	23.96	27.68	25.82	22.99	28.19	25.59	30.00	25.00	27.50	28.83	24.96	26.89	47.23
A2	6.966	24.63	25.26	24.94	26.73	23.61	25.17	19.17	25.00	22.08	19.68	27.39	23.54	48.29
A3	6.804	27.16	22.84	25.00	22.54	22.18	22.36	34.17	16.67	25.42	33.50	19.95	26.72	4.48
A4	6.059	24.26	24.22	24.24	27.75	26.02	26.89	16.67	33.33	25.00	17.99	27.70	22.84	0.00

TOSA: Toplam Odaklanma Sayısı, **TOSÜ:** Toplam Odaklanma Süresi, **İÖİA:** İlk Odaklanılan İlgili Alanı, **İÖS:** İlk Odaklanma Süresi, **Sat. M.:** Satış Miktarı, **E:** Erkek, **K:** Kadın, **Ort.:** Ortalama.

Çizelge 4'te B grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; TOSA bakımından en fazla odaklanma sayısı erkeklerde %29.86 ile B4 mobilyasında olurken kadınlarda ise %33.51 ile B4 mobilyasında olmuştur. Tüm katılımcılar ortalamasında da %31.68 ile en fazla odaklanma B4 mobilyasında meydana gelmiştir. TOSÜ açısından en uzun odaklanma süresi erkeklerde %33.22 ile B4 mobilyasında belirlenirken kadınlarda ise %37.64 ile B4 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında %35.43 ile B4 mobilyası en uzun odaklanılan üründür. İÖİA'ya göre erkeklerde %37.50 ile en çok B1 mobilyasında ilk odaklanma tespit edilirken kadınlarda ise %29.17 ile B1 ve B4 mobilyalarında en çok ilk odaklanma tespit edilmiştir. Tüm katılımcılar ortalamasında %33.33 ile B1 mobilyası en çok ilk odaklanılan ürün olmuştur. İÖS açısından en uzun süren ilk odaklanma erkeklerde %37.58 ile B1 mobilyasında olurken kadınlarda ise %29.94 ile B4 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında en uzun ilk odaklanma süresi %33.31 ile B1 mobilyasında tespit edilmiştir. B grubu mobilyalarının satış verileri incelendiğinde en çok satın alınan ürünün B1 (%49.42) olduğu görülmektedir. Buna göre İÖİA-Erkek, Kadın; İÖS-Erkek, Ortalama gruplarının en çok satış miktarları ile tutarlılık gösterdiği görülmüştür. Ürünlerin satış fiyatları göz önünde bulundurulduğunda fiyatı en yüksek mobilyanın (B4) TOSA ve TOSÜ'de en çok değeri aldığı halde, satış miktarında ikinci sırada olmasının nedeni yüksek fiyatın satış miktarı üzerindeki etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4. B grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri

Kod	Fiyat	TOSA			TOSÜ			İÖİA			İÖS			Sat. M.
		E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	
B1	8.769	26.96	23.32	25.14	27.15	20.67	23.91	37.50	29.17	33.33	37.58	29.04	33.31	49.42
B2	9.817	22.32	22.25	22.29	21.10	20.77	20.93	16.67	25.00	20.83	18.37	25.29	21.83	13.51
B3	13.014	20.87	20.91	20.89	18.53	20.92	19.72	25.00	16.67	20.83	26.06	15.73	20.90	4.58
B4	21.782	29.86	33.51	31.68	33.22	37.64	35.43	20.83	29.17	25.00	17.99	29.94	23.96	32.49

TOSA: Toplam Odaklanma Sayısı, **TOSÜ:** Toplam Odaklanma Süresi, **İÖİA:** İlk Odaklanılan İlgili Alanı, **İÖS:** İlk Odaklanma Süresi, **Sat. M.:** Satış Miktarı, **E:** Erkek, **K:** Kadın, **Ort.:** Ortalama.

Çizelge 5'te C grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; TOSA bakımından en fazla odaklanma sayısı erkeklerde %35.06 ile C1 mobilyasında olurken kadınlarda ise %27.22 ile C3 mobilyasında olmuştur. Tüm katılımcılar ortalamasında da %29.22 ile en fazla odaklanma C1 mobilyasında meydana gelmiştir. TOSÜ açısından en uzun odaklanma süresi erkeklerde %39.38 ile C1 mobilyasında belirlenirken kadınlarda ise %26,42 ile C4 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında %32.31 ile C1 mobilyası en uzun odaklanılan üründür. İÖİA'ya göre erkeklerde %37.50 ile en çok C1 mobilyasında ilk odaklanma tespit edilirken kadınlarda ise %29.17 ile C1 mobilyalarında en çok ilk odaklanma tespit edilmiştir. Tüm katılımcılar ortalamasında %33.33 ile C1 mobilyası en çok ilk odaklanılan ürün olmuştur. İÖS açısından en uzun süren ilk odaklanma erkeklerde

%31.48 ile C1 mobilyasında olurken kadınlarda ise %32.51 ile C2 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında en uzun ilk odaklanma süresi %26.31 ile C2 mobilyasında tespit edilmiştir. C grubu mobilyalarının satış verileri incelendiğinde en çok satın alınan ürünün C1 (%66.67) olduğu görülmektedir. Buna göre TOSA-Erkek, Ortalama; TOSÜ-Erkek, Ortalama; İOİA-Erkek, Kadın, Ortalama; İOS-Erkek gruplarının en çok satış miktarları ile tutarlılık gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 5. C grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri

Kod	Fiyat	TOSA			TOSÜ			İOİA			İOS			Sat. M.
		E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	
C1	20.219	35.06	23.37	29.22	39.38	25.24	32.31	37.50	29.17	33.33	31.48	18.27	24.87	66.67
C2	13.014	19.21	24.26	21.73	16.50	23.29	19.89	12.50	25.00	18.75	20.10	32.51	26.31	16.67
C3	20.219	23.17	27.22	25.19	22.66	25.05	23.86	29.17	20.83	25.00	28.55	21.91	25.23	0.00
C4	13.014	22.56	25.15	23.85	21.47	26.42	23.94	20.83	25.00	22.92	19.87	27.31	23.59	16.67

TOSA: Toplam Odaklanma Sayısı, **TOSÜ:** Toplam Odaklanma Süresi, **İOİA:** İlk Odaklanılan İlgi Alanı, **İOS:** İlk Odaklanma Süresi, **Sat. M.:** Satış Miktarı, **E:** Erkek, **K:** Kadın, **Ort.:** Ortalama.

Çizelge 6'da D grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; TOSA bakımından en fazla odaklanma sayısı erkeklerde %28.45 ile D2 mobilyasında olurken kadınlarda ise %29.70 ile D4 mobilyasında olmuştur. Tüm katılımcılar ortalamasında da %28.23 ile en fazla odaklanma D4 mobilyasında meydana gelmiştir. TOSÜ açısından en uzun odaklanma süresi erkeklerde %27.59 ile D2 mobilyasında belirlenirken kadınlarda ise %33.75 ile D1 mobilyası olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında %30.32 ile D1 mobilyası en uzun odaklanılan üründür. İOİA'ya göre erkeklerde %33.33 ile en çok D1 mobilyasında ilk odaklanma tespit edilirken kadınlarda ise %29.17 ile D4 mobilyalarında en çok ilk odaklanma tespit edilmiştir. Tüm katılımcılar ortalamasında %29.17 ile D1 mobilyası en çok ilk odaklanılan ürün olmuştur. İOS açısından en uzun süren ilk odaklanma erkeklerde %32.28 ile D1 mobilyasında olurken kadınlarda ise %27.15 ile D4 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında en uzun ilk odaklanma süresi %28.64 ile D1 mobilyasında tespit edilmiştir. D grubu mobilyalarının satış verileri incelendiğinde en çok satın alınan ürünün D3 (%43.69) olduğu görülmektedir. Buna göre D grubu mobilyalarında göz izleme ve satış miktarları arasında göz izleme değişkenleri ve cinsiyet bazlı bir tutarlılık tespit edilememiştir.

Çizelge 6. D grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri

Kod	Fiyat	TOSA			TOSÜ			İOİA			İOS			Sat. M.
		E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	
D1	57.305	22.82	27.23	25.02	26.90	33.75	30.32	33.33	25.00	29.17	32.28	25.00	28.64	24.76
D2	116.186	28.45	22.28	25.36	27.59	21.04	24.31	20.83	25.00	22.92	22.39	25.00	23.70	9.22
D3	115.290	21.97	20.79	21.38	20.22	19.89	20.05	20.83	20.83	20.83	20.22	22.85	21.54	43.69
D4	117.958	26.76	29.70	28.23	25.29	25.33	25.31	25.00	29.17	27.08	25.10	27.15	26.13	22.33

TOSA: Toplam Odaklanma Sayısı, **TOSÜ:** Toplam Odaklanma Süresi, **İOİA:** İlk Odaklanılan İlgi Alanı, **İOS:** İlk Odaklanma Süresi, **Sat. M.:** Satış Miktarı, **E:** Erkek, **K:** Kadın, **Ort.:** Ortalama.

Çizelge 7’de E grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; TOSA bakımından en fazla odaklanma sayısı erkeklerde %31.17 ile E1 mobilyasında olurken kadınlarda ise %28.50 ile E1 mobilyasında olmuştur. Tüm katılımcılar ortalamasında da %29.83 ile en fazla odaklanma E1 mobilyasında meydana gelmiştir. TOSÜ açısından en uzun odaklanma süresi erkeklerde %33.01 ile E1 mobilyasında belirlenirken kadınlarda ise %29.15 ile E2 mobilyası olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında %30.99 ile E1 mobilyası en uzun odaklanılan üründür. İOİA’ya göre erkeklerde %33.33 ile en çok E1 mobilyasında ilk odaklanma tespit edilirken kadınlarda ise %37.50 ile E4 mobilyasında en çok ilk odaklanma tespit edilmiştir. Tüm katılımcılar ortalamasında %31.25 ile E2 mobilyası en çok ilk odaklanılan ürün olmuştur. İOS açısından en uzun süren ilk odaklanma erkeklerde %39.40 ile E1 mobilyasında olurken kadınlarda ise %35.56 ile E2 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında en uzun ilk odaklanma süresi %31.34 ile E1 mobilyasında tespit edilmiştir. E grubu mobilyalarının satış verileri incelendiğinde en çok satın alınan ürünün E3 (%66.67) olduğu görülmektedir. Buna göre E grubu mobilyalarında göz izleme ve satış miktarları arasında göz izleme değişkenleri ve cinsiyet bazlı bir tutarlılık tespit edilememiştir.

Çizelge 7. E grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri

Kod	Fiyat	TOSA			TOSÜ			İOİA			İOS			Sat. M.
		E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	
E1	115.290	31.17	28.50	29.83	33.01	28.97	30.99	33.33	20.83	27.08	39.40	23.28	31.34	8.33
E2	115.290	24.66	26.84	25.75	21.49	29.15	25.32	29.17	33.33	31.25	24.28	35.56	29.92	0.00
E3	115.290	23.58	23.75	23.67	21.93	22.99	22.46	16.67	8.33	12.50	12.99	14.10	13.54	66.67
E4	115.290	20.60	20.90	20.75	23.57	18.88	21.23	20.83	37.50	29.17	23.33	27.06	25.19	25.00

TOSA: Toplam Odaklanma Sayısı, **TOSÜ:** Toplam Odaklanma Süresi, **İOİA:** İlk Odaklanılan İlgi Alanı, **İOS:** İlk Odaklanma Süresi, **Sat. M.:** Satış Miktarı, **E:** Erkek, **K:** Kadın, **Ort.:** Ortalama.

Çizelge 8’de F grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; TOSA bakımından en fazla odaklanma sayısı erkeklerde %28.06 ile F3 mobilyasında olurken kadınlarda ise %27.61 ile F3 mobilyasında olmuştur. Tüm katılımcılar ortalamasında da %27.84 ile en fazla odaklanma F3 mobilyasında meydana gelmiştir. TOSÜ açısından en uzun odaklanma süresi erkeklerde %30.32 ile F2 mobilyasında belirlenirken kadınlarda ise %33.08 ile F3 mobilyası olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında %31.57 ile F3 mobilyası en uzun odaklanılan üründür. İOİA’ya göre erkeklerde %33.33 ile en çok F4 mobilyasında ilk odaklanma tespit edilirken kadınlarda ise %37.50 ile F2 ve F4 mobilyalarında en çok ilk odaklanma tespit edilmiştir. Tüm katılımcılar ortalamasında %35.42 ile F4 mobilyası en çok ilk odaklanılan ürün olmuştur. İOS açısından en uzun süren ilk odaklanma erkeklerde %35.18 ile F4 mobilyasında olurken kadınlarda ise %38.05 ile F4 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında en uzun ilk odaklanma süresi %36.62 ile F4 mobilyasında tespit edilmiştir. F grubu mobilyalarının satış verileri incelendiğinde en çok satın alınan ürünün F4 (%70.59) olduğu görülmektedir. Buna göre İOİA-Erkek, Kadın, Ortalama; İOS-Erkek, Kadın, Ortalama gruplarının en çok satış miktarları ile tutarlılık gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 8. F grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri

Kod	Fiyat	TOSA			TOSÜ			İÖİA			İOS			Sat. M.
		E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	
F1	10.854	22.53	23.91	23.22	17.42	23.51	20.46	16.67	20.83	18.75	12.59	21.32	16.96	17.65
F2	10.854	24.90	24.58	24.74	30.32	20.70	25.51	29.17	37.50	33.33	31.90	37.05	34.47	0.00
F3	8.273	28.06	27.61	27.84	30.06	33.08	31.57	20.83	4.17	12.50	20.33	3.57	11.95	11.76
F4	10.854	24.51	23.91	24.21	22.20	22.71	22.46	33.33	37.50	35.42	35.18	38.05	36.62	70.59

TOSA: Toplam Odaklanma Sayısı, **TOSÜ:** Toplam Odaklanma Süresi, **İÖİA:** İlk Odaklanılan İlgili Alanı, **İOS:** İlk Odaklanma Süresi, **Sat. M.:** Satış Miktarı, **E:** Erkek, **K:** Kadın, **Ort.:** Ortalama.

Çizelge 9’da G grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; TOSA bakımından en fazla odaklanma sayısı erkeklerde %28.21 ile G1 mobilyasında olurken kadınlarda ise %30.17 ile G1 mobilyasında olmuştur. Tüm katılımcılar ortalamasında da %29.19 ile en fazla odaklanma G1 mobilyasında meydana gelmiştir. TOSÜ açısından en uzun odaklanma süresi erkeklerde %31.73 ile G2 mobilyasında belirlenirken kadınlarda ise %30.63 ile G1 mobilyası olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında %29.04 ile G1 mobilyası en uzun odaklanılan üründür. İÖİA’ya göre erkeklerde %25.00 ile tüm mobilyalar aynı sayı da ilk odaklanma değerini alırken kadınlarda ise %29.17 ile G4 mobilyasında en çok ilk odaklanma tespit edilmiştir. Tüm katılımcılar ortalamasında %27.08 ile G4 mobilyası en çok ilk odaklanılan ürün olmuştur. İOS açısından en uzun süren ilk odaklanma erkeklerde %28.78 ile G3 mobilyasında olurken kadınlarda ise %27.22 ile G4 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında en uzun ilk odaklanma süresi %25.85 ile G2 mobilyasında tespit edilmiştir. G grubu mobilyalarının satış verileri incelendiğinde en çok satın alınan ürünün G2 (%92.59) olduğu görülmektedir. Buna göre TOSÜ-Erkek; İÖİA-Erkek; İOS-Ortalama gruplarının en çok satış miktarları ile tutarlılık gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 9. G grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri

Kod	Fiyat	TOSA			TOSÜ			İÖİA			İOS			Sat. M.
		E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	
G1	11.264	28.21	30.17	29.19	27.46	30.63	29.04	25.00	25.00	25.00	23.79	25.00	24.40	0.00
G2	8.910	26.33	23.18	24.76	31.73	23.19	27.46	25.00	25.00	25.00	26.21	25.49	25.85	92.59
G3	7.981	21.94	20.39	21.17	18.85	17.86	18.36	25.00	20.83	22.92	28.78	22.29	25.53	0.00
G4	47.844	23.51	26.26	24.88	21.96	28.32	25.14	25.00	29.17	27.08	21.22	27.22	24.22	7.41

TOSA: Toplam Odaklanma Sayısı, **TOSÜ:** Toplam Odaklanma Süresi, **İÖİA:** İlk Odaklanılan İlgili Alanı, **İOS:** İlk Odaklanma Süresi, **Sat. M.:** Satış Miktarı, **E:** Erkek, **K:** Kadın, **Ort.:** Ortalama.

Çizelge 10’da H grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; TOSA bakımından en fazla odaklanma sayısı erkeklerde %28.36 ile H3 mobilyasında olurken kadınlarda ise %27.20 ile H4 mobilyasında olmuştur. Tüm katılımcılar ortalamasında da %26.85 ile H1 mobilyasında meydana gelmiştir. TOSÜ açısından en uzun odaklanma süresi erkeklerde %33.36 ile H1 mobilyasında belirlenirken kadınlarda ise %27.21 ile H3 mobilyası olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında %29.93 ile H1 mobilyası en uzun odaklanılan üründür. İÖİA’ya göre erkeklerde %29.17 ile H1 ve H3 mobilyalarında tespit edilirken kadınlarda ise %33.33 ile H3 mobilyasında en çok ilk odaklanma tespit edilmiştir. Tüm katılımcılar ortalamasında %31.25 ile H3 mobilyası en çok ilk odaklanılan ürün olmuştur. İOS açısından en uzun süren ilk odaklanma erkeklerde %30.02 ile H3 mobilyasında olurken kadınlarda ise %28.07 ile H3 mobilyasında olmuştur. Genel ortalamaya bakıldığında en uzun ilk odaklanma süresi %29.05 ile H3 mobilyasında tespit

edilmiştir. H grubu mobilyalarının satış verileri incelendiğinde en çok satın alınan ürünün H2 (%52.17) olduğu görülmektedir. Buna göre H grubu mobilyalarında göz izleme ve satış miktarları arasında göz izleme değişkenleri ve cinsiyet bazlı bir tutarlılık tespit edilememiştir.

Çizelge 10. H grubu mobilyalarına ilişkin göz izleme ve satış verileri

Kod	Fiyat	TOSA			TOSÜ			İOİA			İOS			Sat. M.
		E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	E	K	Ort.	
H1	64.919	28.06	25.65	26.85	33.36	26.49	29.93	29.17	25.00	27.08	29.35	25.00	27.18	0.00
H2	75.449	21.19	23.06	22.13	21.73	23.85	22.79	20.83	16.67	18.75	20.65	21.93	21.29	52.17
H3	51.905	28.36	24.09	26.23	25.98	27.21	26.59	29.17	33.33	31.25	30.02	28.07	29.05	8.70
H4	79.682	22.39	27.20	24.80	25.98	22.46	24.22	20.83	25.00	22.92	19.98	25.00	22.49	39.13

TOSA: Toplam Odaklanma Sayısı, **TOSÜ:** Toplam Odaklanma Süresi, **İOİA:** İlk Odaklanılan İlgili Alanı, **İOS:** İlk Odaklanma Süresi, **Sat. M.:** Satış Miktarı, **E:** Erkek, **K:** Kadın, **Ort.:** Ortalama.

Çalışmada kullanılan mobilyalara ait göz izleme bulguları ve satış verileri incelendiğinde, görsel ilgi ve satış miktarları arasında tam bir ilişki kurulamamış olmasına rağmen bazı gruplar için uyum görülmüştür. Görsel ilginin mobilya sektöründe satış verileri ile ilişkilendirilerek talep tahmininde kullanılabilirliği hakkında bilimsel bir çalışmaya rastlanmadığından bu konuda mevcut çalışmanın bulgularını karşılaştırma imkânı bulunamamıştır. Ancak farklı sektörlerde görsel ilgi ve satın alma kararı arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalar vardır. Mobilya alanında yapılan bu çalışma, farklı sektörlerde gerçekleştirilen araştırmalarla kısmen örtüşme göstermektedir. Örneğin, çevrim içi ürün incelemelerinin tüketicilerin satın alma kararları üzerindeki etkisini cep telefonu örneği üzerinden göz izleme teknolojisi ile irdeleyen Chen ve ark. (2022) görsel dikkat ve karar verme davranışları arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, Monteiro ve ark. (2020) şarap şişeleri üzerine gerçekleştirdikleri göz izleme çalışmasında, ürünlere yönelik daha yüksek görsel ilginin buna paralel olarak satın alma niyetini de artırdığını ifade etmişlerdir. Dolayısıyla, mobilya sektöründe pazarlama faaliyetleri kapsamında tüketici araştırmaları yapılırken göz izleme teknolojisi gibi nöropazarlama araçlarından faydalanmanın olumlu etkileri vardır.

4 Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, kişilerin mobilyalara bakmaları ile oluşan görsel ilgileri göz izleme cihazı aracılığıyla ölçülmüş ve bu görsel ilginin mobilyaların satış verileri ile ilişkisi belirlenmiştir. Böylece, göz izleme teknolojisinin mobilya endüstrisinde, tasarlanan ürünlerin üretim kararı verilmeden önce, talep tahmini yöntemi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Ürünlere yönelik görsel ilgi ile satış verileri arasında bir ilişkinin bulunması ve bundan faydalanılması Wan ve ark. (2018) tarafından da belirtildiği gibi insanların ürünü satın alma isteklerini değerlendirmenin yeni ve etkili bir yoludur. Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Erkek ve kadın katılımcıların görsel ilgileri her mobilya türünde aynı model ve/veya alt modellerde bazı mobilya türleri için (A: Sandalye, C: Ofis masası, D: Yönetici masası, G: Sehpa, H: Kanepeler) farklılaşmıştır. Örneğin, A grubu mobilyalarında, erkek katılımcıların toplam odaklanma sayısı açısından en fazla görsel ilgileri %27.16 ile A3 modelinde iken, kadın katılımcıların aynı değişken açısından en fazla görsel ilgileri %27.68 ile A1 modelinde oluşmuştur.

- Toplam odaklanma sayısı (TOSA) açısından; C grubu mobilyalarında oluşan ortalama görsel ilgi ile o ürüne ilişkin satış miktarı arasında tutarlılık vardır. Ancak diğer mobilya gruplarında söz konusu değişkenle ilgili olarak aynı yönlü ilişki kurulamamıştır.
- Toplam odaklanma süresi (TOSÜ) açısından; C grubu mobilyalarında meydana gelen ortalama görsel ilgi ile o ürüne dair satış miktarı arasında uyum görülmektedir. Fakat geri kalan mobilya gruplarında bu değişkenle ilgili olarak benzer bir ilişki bulunamamıştır.
- İlk odaklanılan ilgi alanı (İOİA) sayısı açısından; B, C, F grubu mobilyalarında oluşan ortalama görsel ilgi ile o ürüne ilişkin satış miktarı arasında paralellik vardır. Ancak diğer mobilya gruplarında bu değişkenle ilgili olarak aynı yönlü bir ilişki saptanamamıştır.
- İlk odaklanma süresi (İOS) açısından; B, F, G grubu mobilyalarında oluşan ortalama görsel ilgi ile o ürüne ilişkin satış miktarı arasında tutarlılık vardır. Ama öteki mobilya gruplarında söz konusu değişkenle ilgili olarak benzer bir ilişki belirlenememiştir.
- Sonuç olarak, göz izleme teknolojisi ile ölçülen görsel ilginin mobilya sektöründe talep tahmininde kullanılabilirliği, bu çalışmada ele alınan göz izleme değişkenleri ve uygulanan yöntem ile bazı gruplar için elverişli bulunmuştur.
- Tasarlanan ürünlere gösterilmesi beklenen talebin tahmin edilmesinde “ilk odaklanılan ilgi alanı” ve “ilk odaklanma süresi” değişkenlerinin göz önünde bulundurulması, “toplam odaklanma sayısı” ve “toplam odaklanma süresi” değişkenlerine nazaran tasarım ve ürün geliştirme süreçlerinde karar desteği oluşturmada daha etkili olabilir. Bu farklılaşma, mobilyalara yönelik özellikle ilk izlenimin önemini vurgulamaktadır.
- Göz izleme çalışmaları, bu araştırmada da olduğu gibi dijital ortamda mobilya görüntülerinin kullanımıyla gerçekleştirilebilmekle birlikte (Ilhan ve Togay, 2023; Wan ve ark. 2018), bu çalışmalar gerçek ürünler üzerinden de yapılabilir (Göktaş ve ark., 2024) Bundan sonraki araştırmalarda görsel ilgi ile satış verileri arasındaki ilişki gerçek ürünler üzerinden de incelenerek alanyazına yeni bilgiler kazandırılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü ve Ersan Mobilya San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi arasında gerçekleştirilen Üniversite-Sanayi İş Birliği kapsamındaki proje çalışmasının (ER-001-2023) sonuçlarından üretilmiştir. Bu çalışma, 25-27 Ekim 2023 tarihlerinde gerçekleştirilen VII. Uluslararası Mobilya Kongresi'nde sunulan bildirinin genişletilmiş halidir. Araştırmamızın yazarları, çalışmaya dâhil olan gönüllü katılımcılara teşekkür ederler.

Yazar Katkıları

Osman Göktaş: Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), yöntemin belirlenmesi, araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, makale taslak oluşturma, makale yazma, inceleme ve düzenleme. **Engin Ergin:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), yöntemin belirlenmesi, araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, görselleştirme, makale taslak oluşturma, makale yazma **Kadir Cem Tuğcu:** Kavramsallaştırma (araştırma fikri ve amaçlarının geliştirilmesi), yöntemin belirlenmesi, araştırmanın yapılması, analizlerin yapılması, makale taslak oluşturma.

Finansal destek beyanı

Bu çalışma, Ersan Mobilya San. ve Tic. A.Ş. firması tarafından maddi olarak desteklenmiştir.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.




Kaynaklar

- Altunışık, R., Boz, H., Gegez, E., Koç, E., Sığırı, Ü., Yıldız, E., & Yüksel, A., (2022). *Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri: Yeni perspektifler*, Seçkin Yayıncılık.
- Berkin, G. (2021). *Tasarımda Orman Ürünleri Sözlüğü*, YEM Yayın.
- Bergstrom, J. R., & Schall, A. (Eds.), (2014). *Eye tracking in user experience design*, Elsevier.
- Bezgin, M., Tüfekçi, İ., & Atak, B., (2024). Üniversite öğrencilerinin NFT eser ve klasik esere odaklanma düzeyleri ve satın alma niyetlerinin belirlenmesi, *Yedi(Sanatta Dijitalizm [Özel Sayı])*, 253-266. DOI: [10.17484/yedi.1486913](https://doi.org/10.17484/yedi.1486913)
- Bozoklu, Ç. P. & Alkibay, S., (2017). *Nöropazarlama: Reklam Tasarımı ve Etik*. Siyasal Kitap. Ankara, 199s.
- Chen, T., Samaranayake, P., Cen, X., Qi, M., & Lan, Y. C., (2022). The impact of online reviews on consumers' purchasing decisions: Evidence from an eye-tracking study. *Frontiers in Psychology*, 13, 865702. DOI: [10.3389/fpsyg.2022.865702](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.865702)
- Coşkun, P. & Yücel, A., (2020). *Elektronik ticaret sitelerinin nöro tasarımı: eeg ve eye-tracking uygulaması*. Gazi Kitabevi.
- Devrimsel, M. Y., (2020). Renklerin indirim algısına etkisi üzerine bir nöro pazarlama araştırması, *Etkileşim* (6), 50-81. DOI: [10.32739/etkilesim.2020.6.75](https://doi.org/10.32739/etkilesim.2020.6.75)
- Er, E. H. (2024). Online alışveriş deneyiminin nöro görüntüleme yöntemleri ile incelenmesi. *Tirebolu İletişim Fakültesi Akademik Dergisi*, 1(1), 53-79.
- Georges, P. M., Bayle-Tourtoulou, A. S., & Badoc, M., (2013). *Neuromarketing in action: How to talk and sell to the brain*, Kogan Page Publishers.
- Giray, C., Yon, B., Alniacik, U., & Giriskan, Y., (2022). How does mothers' mood matter on their choice of organic food? Controlled eye-tracking study, *Journal of Business Research*, 144, 1175-1185. DOI: [10.1016/j.jbusres.2022.02.059](https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.02.059)
- Göktaş, O., Ergin, E., Çetin, G., Özkoç, H. H., Fırat, A., & Gazel, G. G., (2024). Investigation of user-product interaction by determining the focal points of visual interest in different types of kitchen furniture: An eye-tracking study, *Displays*, 83, 102745. DOI: [10.1016/j.displa.2024.102745](https://doi.org/10.1016/j.displa.2024.102745)
- Ilhan, A. E., & Togay, A., (2023). Pursuit of methodology for data input related to taste in design: Using eye tracking technology, *Displays*, 76, 102335. DOI: [10.1016/j.displa.2022.102335](https://doi.org/10.1016/j.displa.2022.102335)
- İnal M. E., Toksarı M., (2006). Mobilyacılık sektöründe karşılaşılan pazarlama sorunları ve bu sorunlara çözüm üretmeye yönelik bir araştırma: Kayseri örneği, *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt 2, Sayı 4, 105-121
- İnan, M., & Yücel, N., (2020). Yeşil Pazarlamaya Tüketici Gözüyle Bakmak: Eye-Tracking Çalışması, *Ekonomi Maliye İşletme Dergisi*, 3(2), 156-175. DOI: [10.46737/emid.778984](https://doi.org/10.46737/emid.778984)
- Janiszewski, C., (1998). The Influence of Display characteristics on visual exploratory search behavior. *J.Consum.Res.* 25(3), 290–301. DOI: [10.1086/209540](https://doi.org/10.1086/209540)
- Juárez-Varón, D., Mengual-Recuerda, A., Capatina, A., & Cansado, M. N., (2023). Footwear consumer behavior: The influence of stimuli on emotions and decision making. *Journal of Business Research*, 164, 114016. DOI: [10.1016/j.jbusres.2023.114016](https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114016)
- Lohse, G.L., (1997). Consumer eye movement patterns on yellowpages advertising. *J. Advert.* 26(1), 61-73. DOI: [10.1080/00913367.1997.10673518](https://doi.org/10.1080/00913367.1997.10673518)
- Mateja, A., (2023). Usability research of an online store using eye tracking: a comparison of product specification formats, *Procedia Computer Science*, 225, 3233-3242. DOI: [10.1016/j.procs.2023.10.317](https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.317)

- Monteiro, P., Guerreiro, J., & Loureiro, S. M. C., (2020). Understanding the role of visual attention on wines' purchase intention: An eye-tracking study, *International Journal of Wine Business Research*, 32(2), 161-179. DOI: [10.1108/IJWBR-03-2019-0017](https://doi.org/10.1108/IJWBR-03-2019-0017)
- Morin, C. (2011). Neuromarketing: The New Science of Consumer Behavior, *Society*, 48(2), 131-135. DOI: [10.1007/s12115-010-9408-1](https://doi.org/10.1007/s12115-010-9408-1)
- Özen, E., Aydoğan, K., Dalkılıç, B., Tatlı, & O. N., (2017). Mobilya İşletmelerinin Sorunları Ve Çözüm Önerileri, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 276-288.
- Özkara, B. Y., (2017). *Nöropazarlamada Elektroensefalografi (Eeg) Kullanımı*, Ekin Yayınevi.
- Paré, M., & Dorris, M. C., (2011). The Role of Posterior Parietal Cortex in the Regulation of Saccadic Eye Movements. in S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), *The Oxford Handbook of Eye Movements* (Pp. 257-278). New York: Oxford University Press.
- Pupil Labs (2023). <https://pupil-labs.com/> (Erişim Tarihi: 15 Ağustos 2023).
- Pupil Labs (2024). <https://pupil-labs.com/products/invisible> (Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024).
- Romero-Luis, J., Carbonell-Alcocer, A., Levratto, V., Gertrudix, M., Casado, M. D. C. G., & Hernandez-Remedios, A. (2023). Design and assessment of an experimental model for evaluating the effectiveness of audio visual products on the circular economy aimed at promoting environmental awareness. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138820, DOI: [10.1016/j.jclepro.2023.138820](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138820)
- Saygı, N. S. & Tor Kadioğlu, C., (2022). *Nöropazarlama Literatür Taraması (2012-2022)*. Gazi Kitabevi.
- Suomala, J., Palokangas, L., Leminen, S., Westerlund, M., Heinonen, J., & Numminen, J., (2012). Neuromarketing: understanding customers' subconscious responses to marketing. *Technology Innovation Management Review*, 12-21,2(2).
- Stone, S., & Brooker, G. (2014). *İç Mimarlıkta Yapı Bileşenleri ve Nesnelere*. Literatür Yayıncılık.
- T.C. Ticaret Bakanlığı (2024) "Mobilya" <https://www.kolayihracat.gov.tr/sectorler/mobilya> (Erişim Tarihi: 25 Kasım 2024).
- Taşçı, M. A., & Baygöl Özpınar, Ş., (2022). Pazarlama iletişimi stratejilerinde ambalaj: bir nöropazarlama araştırması. *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(1), 246-263. DOI: [10.47525/ulasbid.1054893](https://doi.org/10.47525/ulasbid.1054893)
- Toker, A., & Sulak, H., (2021). Farklı türde reklam filmlerinin etkinliğinin göz izleme ve anket yöntemi ile analizi. *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* (43), 61-91. DOI: [10.30794/pausbed.762837](https://doi.org/10.30794/pausbed.762837)
- Uyar A. & Uyar K., (2024) Göz izleme (eye tracking) analiz yöntemi ile doğal bal temalı reklamların etkinliğinin incelenmesi. *U.Arı D.-U.Bee J.* 24(1):126-41. DOI: [10.31467/uluaricilik.1438033](https://doi.org/10.31467/uluaricilik.1438033)
- Uyar, A., (2024). Banka afişlerinde ünlü kullanımının eye tracking yöntemiyle değerlendirilmesi, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi* (44), 169-188. DOI: [10.18092/ulikidince.1474198](https://doi.org/10.18092/ulikidince.1474198)
- Van Der Laan, L. N., Hooge, I. T., De Ridder, D. T., Viergever, M. A., & Smeets, P. A., (2015). Do you like what you see? the role of first fixation and total fixation duration in consumer choice, *Food Quality and Preference*, 39, 46-55. DOI: [10.1016/j.foodqual.2014.06.015](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.06.015)
- Wan Qian, W. Q., Wang GeGe, W. G., Zhang YaChi, Z. Y., Song ShaSha, S. S., Fei BenHua, F. B., & Li, X., H., (2018). Cognitive processing toward traditional and new Chinese style furniture: evidence from eye-tracking technology, *Wood research vol.* 63 (4), 727-740.



Ergonomic risk analysis with OWAS method on some machines used by students taking training on furniture in vocational high schools

Ahmet Çakıcı¹ , Abdurrahman Karaman^{2*} , Sait Dündar Sofuoğlu³ 

ABSTRACT: It is a fact that today, occupational accidents resulting from the use, structure and working principle of the planer, circular saw, vertical drilling, lathe and edge banding machines used in furniture production enterprises and vocational high school application workshops where furniture education is given lead to serious injuries. The main cause of work accidents and risks is machines which are incompatible with human ergonomics. In this thesis study, general information about ergonomics is given in the second chapter after the literature review. The third section mentions musculoskeletal system disorders that ergonomic incompatibilities may cause. In the fourth chapter, OWAS (Ovako Working Posture Analyzing System), which is an ergonomic risk assessment method based on simple observation, is mentioned. In the fifth chapter, general information is given about the Furniture and Interior Design Field in Vocational and Technical Anatolian High Schools affiliated with the Ministry of National Education and some of the machines used by students studying in this field in their application workshops. In the last part, an ergonomic risk analysis was carried out using the OWAS method to adapt the students to some machines they use while practising. This research aims to reveal, reduce, and, if possible, eliminate ergonomic risks in practice workshops. As a result, it was concluded that ergonomic arrangements should be made urgently in the machines used in the vocational high school furniture workshop.

Keywords: Ergonomic Risk Analysis, Ergonomics, OWAS, Vocational High Schools.

Meslek liselerinde mobilya eğitimi alan öğrencilerin kullandıkları bazı makinelerde OWAS yöntemi ile ergonomik risk analizi

ÖZ: Günümüzde mobilya üretimi yapan işletmelerde ve mobilya eğitimi verilen meslek lisesi uygulama atölyelerinde kullanılan makinelerin kullanımı, yapısı ve çalışma prensibinden kaynaklanan iş kazalarının ciddi yaralanmalara yol açtığı bir gerçektir. İş kazalarının ve risklerinin başlıca nedeni insan ergonomisine uygun olmayan makinelerdir. Bu tez çalışmada literatür taramasının ardından ikinci bölümde ergonomi hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde ergonomik uyumsuzlukların neden olabileceği kas-iskelet sistemi bozukluklarından bahsedilmektedir. Dördüncü bölümde basit gözleme dayalı ergonomik risk değerlendirme yöntemi olan OWAS'tan (Ovako Çalışma Duruşu Analiz Sistemi) bahsedilmiştir. Beşinci bölümde Milli Eğitim Bakanlığına bağlı Mesleki ve Teknik Anadolu Liselerinde Mobilya ve İç Mekân Tasarımı Alanı ve bu alanda eğitim gören öğrencilerin uygulama atölyelerinde kullandıkları bazı makineler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Son bölümde ise öğrencilerin uygulama yaparken kullandıkları bazı makinelere uyum sağlayabilmeleri için OWAS yöntemi kullanılarak ergonomik risk analizi yapılmıştır. Bu araştırma, uygulama atölyelerindeki ergonomik risklerin ortaya çıkarılmasını, azaltılmasını ve mümkünse ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ergonomik Risk Analizi, Ergonomi, OWAS, Meslek Liseler.

Article history, Received: 19.10.2024, Accepted: 15.12.2024, Published: 30.12.2024, *e-mail:abdurrahman.karaman@usak.edu.tr

¹Banaz Şehit Tuncay Durmuş Vocational and Technical Anatolian High School, Department of Interior Design, Uşak/Türkiye

²Usak University, Banaz Vocational High School, Department of Forestry, Uşak/Türkiye

³Kütahya Dumlupınar University, Simav Technology Faculty, Wood Works Industrial Engineering Department, Kütahya/Türkiye

To cite: Çakıcı, A., Karaman A., & Sofuoğlu, S.D., (2025), Ergonomic risk analysis with OWAS method on some machines used by students taking training on furniture in vocational high schools, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 7 (2), 220-233, DOI: [10.33725/mamad.1570267](https://doi.org/10.33725/mamad.1570267)

1 Introduction

Ergonomic risk factors are associated with employee risks caused by repetitive, continuous work and poor postures leading to Musculoskeletal Disorders (MSD) (Mulyati et al., 2019). Ergonomics is one of the important factors in industry. Ergonomic factors need to be taken seriously because they play an important role in the efficient operation of companies. (Balasundaram et al., 2017). Complaints about workers' body postures are very common and this is due to workers' lack of knowledge about the dangers of working in a non-ergonomic work environment. Musculoskeletal disorders (MSDs) cause pain symptoms in various body locations such as neck, shoulders, wrists, hips, knees, and heels (Cho et al., 2016). Good interaction between people and workplaces should be ensured through ergonomics which plays an important role in many fields such as manufacturing, agriculture, furniture, mining, services, and other industries to address this deficiency. (Jusoh and Zahid, 2018).

The furniture industry is one of the labour-intensive and generally the hand-made working industries. Production to be done by hand increases the physical work demands, it also brings musculoskeletal system diseases and risks. Therefore, furniture manufacture is one of the sectors where musculoskeletal disorders are intense, and it is one of the most experiencing sectors for lumbar, back, and shoulder problems (Özkaya et al., 2017). If the necessary improvements are not made and the issues are ignored, the increase in Musculoskeletal Disorders (MSDs) cannot be prevented. Additionally, there will be inefficiencies and even losses in the workforce due to KISR. This also means a waste of cost and time. For these reasons, ergonomic adjustments have gained significant importance recently to minimise MSD (Çiçek et al., 2018). The methods used to assess KISR risk can be classified as personal survey methods, methods based on systematic observations, and direct measurement methods (Özel and Çetlik, 2010). The methods used to quantitatively assess the KISR risk can also be divided into simple observation-based methods and advanced observation-based methods. Simple observation-based methods are NIOSH, RULA, SI, OCRA, QEC, REBA, OWAS. Advanced observation-based methods include Ergo-Man, 3DSSPP, Jack, RAMSIS Model, and AnyBody Modeling System (Koç and Testik, 2016). The OWAS (Ovako Working Posture Analysis System) method is an observation-based work posture analysis method used to identify the load on the employee's musculoskeletal system and the poor postures caused by the system. The OWAS method is designed as an analytical tool to serve work study practitioners and a work sampling tool based on the times occurring at each posture. The OWAS method allows the identification of poor postures and activities by comparing different systems based on the power expended by the workforce and predicting the most suitable work methods. Additionally, it ensures the evaluation of the workplace in terms of productivity, comfort, and occupational health as well as the systematic examination of the human-machine interface. OWAS is a method used to evaluate all body parts related to the musculoskeletal system, determine the load, identify improper postures, system-related repetitions, and the most suitable working methods. If the OWAS action class code is 3 or 4, corrective actions for improvement are urgently required. (Brandl et al., 2017)

In literature, there are studies in which OWAS has been used for the purpose of conducting work posture and ergonomic analyses. It is observed that these studies generally focus on sectors such as construction, manufacturing, furniture, repair-maintenance, health, agriculture and livestock, and transportation. (Esen, 2013). The OWAS method examined and addressed the posture problems of healthcare workers on ambulances. (Doormaal et al., 1995). Akay et al. (2003) analyzed the working postures of employees in a car maintenance service using a computer program with OWAS and determined that the frequency rates of certain working

postures could be reduced at high risk levels. Kurt and Erdem (2003) analysed working postures and strains on a lathe using OWAS. As a result of the study, the reasons for the inappropriate postures and the measures that should be taken according to ergonomic criteria have been determined. In addition, the proposed system's efficiency has been demonstrated. Ülker et al. (2004) analysed the working postures of students working on ships and at ports in Iran using OWAS. It was stated in the study that lost workdays occurred in the system and that work stoppages needed to be corrected to fix the errors in the system. Risk analysis of back and lower back pain in carpenters was conducted and recommendations were made to address strains caused by loading using the OWAS method. (Gilkey et al., 2007). Özel and Çetik (2010) analysed the movements and postures during loading operations at a tile factory in Kütahya using OWAS. Two different loading rounds used for analysis have been classified in terms of ergonomic risk. Sönmez (2011) analysed the working postures of students during manual apple harvesting in the orchards of Niğde, Isparta, and Afyon using OWAS. The study has shown that the work postures are mostly in the 1st and 2nd categories. Ülker and Burdurlu conducted another study (2012) in which the postures of body parts of workers operating some machines used in panel furniture production were categorised according to load and strain conditions and analysed using the OWAS method and it was determined that the adjustments made particularly regarding postures in the high load and strain categories resulted in a total reduction of 37% in the hazard category values. Koç and Testik (2016) have addressed musculoskeletal disorders in a multifaceted manner in a factory operating in the furniture sector. They conducted an ergonomic risk assessment analysis using the OWAS, REBA, QEC, and ManTRA methods. Alıcı et al., (2017) observed the tasks performed during the production phase in a furniture manufacturing workshop and the ergonomic risk assessment of pneumatic screwing and pneumatic stapling tasks, which are thought to have harmful effects on the musculoskeletal system of employees, was analysed using OWAS. Koç (2021) investigated some ergonomic risk assessment methods in a factory that produced wooden pallets and crates and conducted studies to determine the measures that could be taken in the mentioned workplace. Bachmid and Andesta (2023) applied the OWAS method to analyse worker postures in their study titled “Analysis of Improvement of Employee Work Posture Using the OWAS Method (Case study at PT. XYZ)”. Their findings revealed that cutting, marking, fitting up, and packing tasks were associated with a risk level 2.

The furniture industry is one of the sectors with the highest physical strain during operations. Nevertheless, the number of studies conducted in this sector in Turkey is low. In this study, the OWAS (Ovako Working Posture Analysis System) method, one of the most used risk assessment methods, was applied by observing the tasks performed on the sofa production line in a furniture manufacturing business. When the literature is examined, observational studies have been conducted in many sectors to measure the strain on employees' skeletal and musculoskeletal systems. However, it has been determined that there is no relevant study on students studying furniture and interior design in vocational high schools. Based on this, the aim of this study is to evaluate the ergonomic risk analysis of the machines used by vocational high school students for practical work by observing the working postures that occur while working with some of these machines.

2 Method

Every conceivable back, arm, and leg posture adopted by workers during their tasks was investigated and standardised as 'OWAS Working Postures' depicted in Figure 1. Four codes are used in back postures, 3 codes are used in arm postures and 7 codes are used in leg postures. Also, three codes are used for loading. The final scores obtained from the table of

action categories for different posture combinations assist in determining the action states in Table 1.












BACK POSTURES	Code 1  The condition where the angle between the shoulders and hips, as well as the line angle between the hip-leg and head, is less than 20 degrees.	Code 2  The forward and backward bending of the upper extremities at an angle of 20 degrees or more.	Code 3  The twisting or lateral bending of the back at an angle of 20 degrees or more.	Code 4  The bending and simultaneous rotation of the back.
	Code 1  Arms are completely below the level of the shoulders.	Code 2  Any arm being above or at the same level as the shoulders.	Code 3  Both arms are above shoulder level or at the same level.	
LEG POSTURES	Code 1  Supporting the body's weight above the hips.	Code 2  The knee angle is less than 150 degrees and the body's weight is supported on two straight legs.	Code 3  The knee angle is less than 150 degrees with weight supported on any straight leg	Code 4  The bending of both knees is less than 150 degrees with the body weight distributed on both legs due to the bending of the knees.
	Code 5	Code 6	Code 7	

Figure 1. Typical occupational stances are utilised in the OWAS approach (Whitford, 2005).

Table 1. Action Categories for Determined Different Posture Combinations (Whitford, 2005).

Back	Arm	Leg																				
		1			2			3			4			5			6			7		
		Load																				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	2
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	2	3	4
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4

International results:

1- No action required

2-Corrective actions required shortly

3-Corrective actions should be done as soon as possible

4-Corrective actions for improvement are required immediately

Corrective actions concerning the task and workplace to the action code are shown in Table 2.

Table 2. Action States in the OWAS Methodology (Whitford, 2005).

Action Code	Action State	Explanation
AC1	Harmless normal posture for the musculoskeletal system.	No action is required.
AC2	Postures with some harmful effects on the musculoskeletal system.	Corrective actions should be taken in the near term.
AC3	Posture with harmful effects on the musculoskeletal system	Corrective actions should be implemented promptly.
AC4	Postures with severe effects on the musculoskeletal system	Corrective actions must be applied urgently.

3 Results and Discussion

The ergonomic risk analysis evaluation of the applications on machine working postures was conducted using the OWAS method. The terms and definitions used in the OWAS task and posture combination analysis table are provided in Table 3.

Table 3. Analysis of OWAS task and posture combinations used in the study

Term	Description
Measurement No	The sequence number of the application performed.
Used Machine	The name of the machine on which the application is performed.
Operation Time	Refers to the observation period during which OWAS analyses are conducted.
OWAS Code	Refers to the values scored according to the OWAS coding table for the criteria of back, arm, leg, and load/force, respectively.
OWAS Action Code	Refers to the classification code found according to the action classes table.
OWAS Action Class	Specifies the sequence number of the 4 action classification criteria
Evaluation	Refers to the analysis result that emerges from the action classification.

The study made observations for three different applications: chip amount adjustment on the planer machine, first-stage planning operation, and second-stage planning operation. The analyses and evaluations of the 3 applications performed on the planer machine are presented in Table 4, and the planer machine is shown in Figure 2.



Figure 2. The planer machine.

Table 4. OWAS task table and findings related to the applications performed on the planer machine.

Analysis of stop combinations for chip quantity adjustment on a planer machine									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
1	5-10 second	Planer Machine	4	3	4	1	4	4	Ergonomic adjustment must be done urgently
Planer machine planing process first stage downtime combination analysis									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
2	5-10 second	Planer Machine	2	1	2	1	2	2	Requires ergonomic adjustment
Planer machine planing process second stage downtime combination analysis									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
3	5-10 second	Planer Machine	4	2	3	1	3	3	Ergonomic adjustments should be prioritised

For the first measurement, “Adjustment of Chip Amount on the Planer Machine”, the posture combination analysis indicates that ergonomic adjustments need to be made urgently.

For the second measurement, “First Stage Planing Operation on the Planer Machine”, the posture combination analysis indicates that ergonomic adjustments are necessary.

For the third measurement, “Second Stage Planing Operation on the Planer Machine”, the posture combination analysis indicates that ergonomic adjustments should be prioritised.

For the fourth measurement, “Pre-Operation Saw Height Adjustment on the Circular Saw Machine,” the posture combination analysis indicates that ergonomic adjustments are necessary.

3 applications were made with the circular saw machine for the pre-processing saw height adjustment, squaring operation, and width and length dimensioning operation in the study.

The analyses and evaluations of the 3 applications performed on the circular saw machine are presented in Table 5, and the circular saw machine is shown in Figure 3.

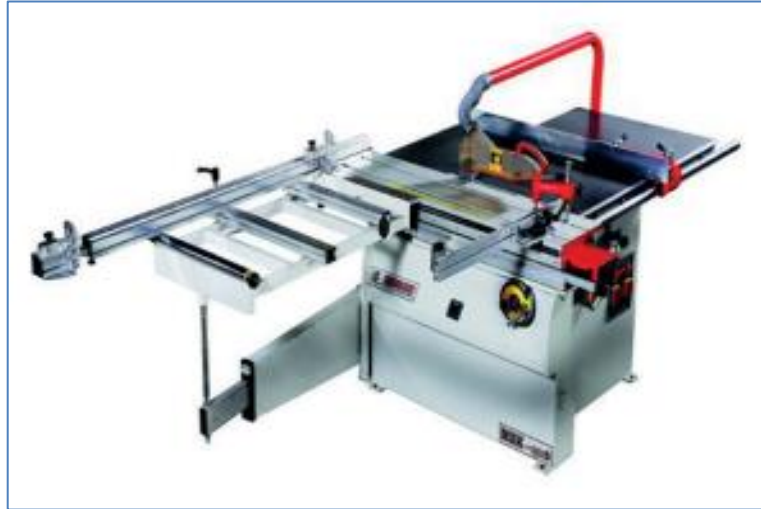


Figure 3. The circular saw machine.

Table 5. OWAS task table and findings related to the applications performed on the circular saw machine.

Analysis of stop combinations for pre-operation saw height adjustment in a circular saw machine									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
4	5-10 second	Circular Saw Machine	2	1	3	1	2	2	Requires ergonomic adjustment
Analysis of stop combinations for squaring operation on a circular saw machine									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
5	5-10 second	Circular Saw Machine	2	1	3	1	2	2	Requires ergonomic adjustment
Analysis of stance combinations for width and length measurement operations on a circular saw machine									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
6	5-10 second	Circular Saw Machine	2	2	2	1	2	2	Requires ergonomic adjustment

For the fifth measurement, “Squaring Operation on the Circular Saw Machine”, the posture combination analysis indicates that ergonomic adjustments are necessary.

For the sixth measurement, “Width and Length Measurement Operation on the Circular Saw Machine”, the posture combination analysis indicates that ergonomic adjustments are necessary.

2 applications were made for the drilling process to adjust the table height with a vertical drilling machine in the study. The analyses and evaluations of the 2 applications conducted on the vertical drilling machine are presented in Table 6, and the vertical drilling machine is shown in Figure 4.



Figure 4. The vertical drilling machine.

Table 6. OWAS task table and findings related to the applications performed on the vertical drilling machine.

Analysis of stop combinations for adjusting table height on a vertical drilling machine									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
7	30-60 second	Vertical Drilling Machine	2	1	2	1	2	2	Requires ergonomic adjustment
Analysis of stop combinations for drilling operations on a vertical hole machine									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
8	30-60 second	Vertical Drilling Machine	1	2	2	1	1	1	It does not require ergonomic adjustments.

One application was performed for the turning process using a lathe machine in the study. The analysis and evaluations related to the application on the wood lathe are presented in Table 7, and the lathe machine is shown in Figure 5.



Figure 5. The lathe machine.

For the seventh measurement, “Table Height Adjustment on the Vertical Drilling Machine”, the posture combination analysis indicates that ergonomic adjustments are necessary.

Table 7. OWAS task table and findings related to the applications performed on the lathe machine.

Analysis of stopping combinations for turning operations on a lathe machine								
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)		OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation	
9	30-60 second	Lathe Machine	1	1	2	1	1	It does not require ergonomic adjustments.

One application was performed for the linear edge banding process on the linear edge banding machine in the study. The analyses and evaluations of the application performed on the linear edge banding machine are presented in Table 8, and the edge banding machine.



Figure 6. The edge banding machine.

Table 8. OWAS task table and findings related to the applications performed on the lathe machine.

Analysis of stop combinations for edge banding process in a linear edge banding machine									
Measurement No	Operation Time	Used Machine	OWAS Posture Code (Back, Arms, Legs, Load)				OWAS Action Code	OWAS Action Class	Evaluation
10	30-60 second	Edge Banding Machine	1	1	2	1	1	1	It does not require ergonomic adjustments.

Healthcare professionals working in the ambulance were examined and postural problems were resolved using the OWAS method (Doormaal et al., 1995). The daily activities of the nursery workers were recorded on video, their action postures were examined, and precautions were taken against traumas that may occur in the musculoskeletal system (Grant et. al., 1995). A risk analysis of back and waist pain in carpenters was made and suggestions were made against strains arising from loading using the OWAS method (Gilkey et al., 2007). The postures of supermarket employees were examined and suggestions for ergonomic arrangements were made using the OWAS method (Carrasco et al.,1995).

4 Conclusion

In this study, applications were conducted on some machines used for educational purposes in the Furniture and Interior Design Field workshops of vocational education institutions, and ergonomic risk analyses were carried out by the OWAS technique with the stages being observed.

Based on the observations and analyses conducted, we can list the issues we identified as follows:

- Since the study was conducted with students, poor working postures have affected their physical development.
- The machines used in the application are old models and the lack of the necessary ergonomic equipment has also been an important factor.

- The machines used for practice are not different from those used in normal industry which means the developmental levels of the students are not taken into account during their design.
- The ergonomic compatibility in the design of the machines is not sufficiently considered.
- Students do not have enough knowledge about proper working postures.
- Due to the high number of students in the branches, they do not have enough chance and time to practice on the machines.
- They do not know that improper and inefficient working postures will become habitual over time and may cause temporary and/or permanent disorders and damages in the musculoskeletal system in the future.

It is a necessity to reduce or eliminate ergonomic risk factors arising from the mentioned reasons. If this is not done, students who practice improper and inefficient working postures will gradually develop habits that may lead to temporary and/or permanent disorders and damage to their musculoskeletal systems over time.

Regarding the necessary ergonomic adjustments and improvement efforts for this purpose,

- The machines to be used in the practical workshops of vocational training schools should be selected following the physical development of the students.
- The old-type machines in the application workshops should be replaced with new ones as much as possible.
- Machines designed for students should differ in size from those used by adults in the industry.
- Ergonomic compatibility should be considered in the design of machines, especially with the fact that students will be using them.
- More modern computer-controlled machines (CNC) should be preferred.
- Students should be given training on appropriate working postures. Appropriate and correct working postures should also be included in textbooks.
- In schools that provide practical education, the number of students in each class should not be too high, and each student should be able to practice sufficiently.
- While providing training on occupational health and safety, training on ergonomics and musculoskeletal disorders should be also given to the students.

Students who are still in the early stages of their vocational training will transfer the correct working postures they learn and make a habit of to their lives after their student years. In conclusion, it is important for students studying in the practical workshops of vocational high schools to be ergonomically compatible with the machines they work with as this is crucial for occupational health and safety in their future working lives. Non-ergonomic working postures negatively affect occupational health and safety. Inappropriate working postures will also increase the risk of workplace accidents and lead to musculoskeletal disorders. Preventing potential issues like this is only possible during the student years referred to as the initial learning phase of the profession.

Acknowledgement

This work is derived from the Ahmet Çakıcı master's thesis titled "Ergonomic risk analysis with OWAS method on some machines used by students taking training furniture in vocational high schools" conducted in Kutahya Dumlupınar University, Institute of Graduate Education, Kutahya, Turkey.

Author Contributions

Ahmet Çakıcı: Conceptualization, Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Validation, Visualization, Writing- original draft, Writing-review & editing, **Abdurrahman karaman:** Conceptualization, Investigation, Methodology, Resources, Validation, Visualization, Writing-original draft. **Sait Dundar Sofuoglu:** Formal Analysis, Investigation, Methodology, Visualization, Writing-original draft

Funding statement

No financial support was received for the study.

Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest.



References

- Akay, D., Dağdeviren, M., & Kurt, M., (2003). Çalışma duruşlarının ergonomik analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 73-84. DOI: [10.1007/11863649_18](https://doi.org/10.1007/11863649_18)
- Alicı, H., Atıcı-Uslusu, H., & Gündüz, T., (2017). Mobilya sektöründe pnömatik zımbalama ve vidalama işlerinin ergonomik risk değerlendirmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 211-226.
- Bachmid, Z. A. M., & Andesta, D., (2023). Analysis of improvement of employee work posture using OWAS method (Case study at PT. XYZ), *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 20(2), 603-610. DOI: [10.24014/sitekin.v20i2.21810](https://doi.org/10.24014/sitekin.v20i2.21810)
- Brandl, C., Mertens, A., & Schlick, C. M., (2017). Effect of sampling interval on the reliability of ergonomic analysis using the Ovako working posture analyzing system (OWAS), *International Journal of Industrial Ergonomics*, 57, 68–73. DOI: [10.1016/j.ergon.2016.11.013](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.11.013)
- Carrasco, C., Coleman, N., Healey, S., & Lusted M., (1995). Packing products for customers. An ergonomics evaluation of three supermarket checkouts, *Applied Ergonomics*, 26 (2), 101-109.
- Cho, K., Cho, H. Y., & Han, G. S., (2016). Risk factors associated with musculoskeletal symptoms in Korean dental practitioners. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(1), 56-62. DOI: [10.1589/jpts.28.56](https://doi.org/10.1589/jpts.28.56)
- Çiçek, E., Kazanç, N., & Kahya, E., (2018). Bir mobilya işletmesinin montaj hattında ergonomik risk analizi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 6(OS: Ergonomi2017)*, 67-82. DOI: [10.21923/jesd.359455](https://doi.org/10.21923/jesd.359455)
- Doormaal, M. T. A. J., Driessen, A. P. A., Landeweerd, J. A., & Drost, M. R., (1995). Physical workload of ambulance assistants, *Ergonomics*, 38(2), 361-376.

- Esen, H., & Fıglalı, N., (2013). Working posture analysis methods and the effects of working posture on musculoskeletal disorders, *Sakarya University Journal of Science*, 17 (1), 41-51.
- Grant, K. A., Habes, D. J., & Tepper, A. L., (1995). Work activities and musculoskeletal complaints among preschool workers. *Applied ergonomics*, 26(6), 405-410.
- Gilkey, D. P., Keefe, T. J., Bigelow, P. L., Herron, R. E., Duvall, K., Hautaluoma, J. E., & Sesek, R., (2007). Low back pain among residential carpenters: ergonomic evaluation using OWAS and 2D compression estimation. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 13(3), 305-321.
- Jusoh, F., & Zahid, M. N., (2018). Ergonomics Risk Assessment among support staff in Universiti Malaysia Pahang. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 319 (1), 0-6. DOI: [10.1088/1757-899X/319/1/012059](https://doi.org/10.1088/1757-899X/319/1/012059)
- Mulyati, G., Maksum, M., Purwantana, B., & Ainuri, M., (2019). Ergonomic risk identification for rice harvesting worker, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 355 (1), 102032. DOI: [10.1088/1755-1315/355/1/012032](https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012032)
- Özkaya, K., Kalınkara, V., & Polat, O., (2017). Mobilya sektörü çalışanlarında fiziksel zorlanmanın belirlenmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 1-12. DOI: [10.21923/jesd.82230](https://doi.org/10.21923/jesd.82230)
- Özel, E., & Çetık, O., (2010). Mesleki görevlerin ergonomik analizinde kullanılan araçlar ve bir uygulama örneği, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (22), 41-56.
- Koç, S., & Testik, O.M., (2016). Mobilya sektöründe yaşanan kas-iskelet sistemi risklerinin farklı değerlendirme metotları ile incelenmesi ve minimizasyonu. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(2), 2-27.
- Koç, B., (2021). Ahşap palet ve sandık imalatında ergonomik risk faktörlerinin reba, owas ve muri yöntemleri ile analizi ve incelenmesi. *Atatürk University, Institute of Science, Master's thesis*, Erzurum, Türkiye.
- Kurt, M., & Erdem, M. A., (2003). Çalışma duruşları ve zorlanmalar için OWAS metodu, *Karabuk University Engineering Science and Technology an International Journal*, 6 (1,2), 11-16.
- Saraji J. N., Hassanzadeh, M. A., Pourmahabadian, M., & Shahtaheri, S. J., (2004). Evaluation of musculoskeletal disorders risk factors among the crew of the Iranian ports and shipping organization's vessels, *Acta Medica Iranica*, 42(5), 350-354.
- Sönmez, N., (2011). *Ergonomic analysis of apple harvesting*, PhD. Thesis, Ankara University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.
- Ülker, O., & Burdurlu, E., (2012). Panel mobilya imalatında kullanılan bazı makinelerde OWAS yöntemi ile eylemsel duruş analizi. *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2), 291-300.
- Whitford, B. A., (2005). *Correlations*, Encyclopedia of Social Measurement, Pages 523-529.



Physiological and psychological effects of wooden materials used in sustainable alternative living spaces on human health

İsmail Derda Güler^{1*}, Önder Tor²

ABSTRACT: Regional population growth, depletion of natural resources, and environmental problems have caused people to rapidly turn to mobile spaces that consume less energy and are environmentally friendly living spaces. These mobile spaces should be designed within the scope of sustainability principles and offer innovative solutions. Elements such as energy efficiency, renewable energy sources, use of recyclable and sustainable materials, modular and flexible design, minimalist life and optimum the use of compact space, adaptation to climate and environmental conditions, social and economic sustainability, portability and low environmental impact are essential in the design and production of sustainable mobile living spaces. Wood is a natural, renewable, and sustainable material that solves these requirements. When evaluated in terms of physiological health, the thermal balance of wood material, moisture-regulating properties and natural fibre structure, and its harmony with the human body are the reasons for preference. Regarding psychological health, the natural atmosphere it creates in interior spaces, its stress-reducing, relaxing and peaceful effects, its air quality-improving properties, and low volatile organic compound emissions have positive effects. This study investigated the physiological and psychological effects of using wood, a frequently preferred living material in designing and producing mobile spaces with sustainable alternative living spaces suitable for road transportation and transport, on human health.

Keywords: Furniture, Mobilite Life, Caravan, Tinyhouse

Sürdürülebilir alternatif yaşam alanlarında kullanılan ahşap malzemelerin insan sağlığı üzerine fizyolojik ve psikolojik etkileri

ÖZ: Bölgesel nüfus artışları, doğal kaynakların tükenmesi ve çevresel sorunlar, insanların hızla, daha az enerji tüketen, çevre dostu yaşam alanı olan mobil mekanlara yönelmesine neden olmuştur. Bu mobil mekanlar sürdürülebilirlik ilkeleri kapsamında tasarlanmalı, yenilikçi çözümler sunmalıdır. Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynakları, geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir malzeme kullanımı, modüler ve esnek tasarım, minimalist yaşam ve kompakt alanın optimum kullanımı, iklim ve çevre koşullarına uyum, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik, taşınabilirlik ve düşük çevresel etki gibi unsurlar, sürdürülebilir mobil yaşam alanlarının tasarlanması ve üretiminde önemlidir. Bu gerekliliklere bir çözüm olarak ahşap, doğal, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir malzemedir. Fizyolojik sağlık açısından değerlendirildiğinde, ahşabın termal denge, nem düzenleyici özellikleri ve doğal lif yapısı, insan vücudu ile uyumu, tercih nedeni olmaktadır. Psikolojik sağlık açısından ise, iç mekanlarda oluşturduğu doğal atmosfer ile stres azaltıcı, rahatlatıcı ve huzur verici etkileri, hava kalitesini iyileştirici özellikleri ve düşük uçucu organik bileşik salınımı olumlu etkilere sahiptir. Bu çalışmada, sürdürülebilir alternatif yaşam alanlarına sahip, karayolu ile ulaşım ve taşımaya elverişli mobil mekanların üretiminde sık tercih edilen bir yaşam malzemesi olan ahşap malzeme kullanımının insan sağlığına fizyolojik ve psikolojik etkileri araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Mobilya, Mobil Yaşam, Karavan, Küçük ev

Article history: Received:20.10.2024, Accepted:21.12.2024, Published:30.12.2024, *email: i.derdaguler@gmail.com

¹Kastamonu University, Institute of Science, Forest Industry Engineering, Kastamonu/Türkiye

²Kastamonu University, Faculty of Forestry, Forest Industry Engineering, Kastamonu/Türkiye

To cite: Güler, İ.D., & Tor, Ö. (2024). Physiological and psychological effects of wooden materials used in sustainable alternative living spaces on human health, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 7(2), 234-249, DOI: [10.33725/mamad.1588883](https://doi.org/10.33725/mamad.1588883)

1 Introduction

Being on the move has become central to many individuals' and societies' lifestyle choices (McIntyre et al., 2006). The main reason for this situation is related to the fact that lifestyle mobility, which emerged based on the phenomenon of mobility, has a fluid, continuous and transitional meaning (Duncan et al., 2013). In addition, today's global mobility has made life more dynamic than in the past. When this situation is evaluated in the context of people's spatial belonging, and social identity, it has reshaped the definition and scope of the concepts of lifestyle, living space, travel, and tourism in societies. When the concept of mobility is evaluated in the context of living space, cheaper living costs, milder weather conditions, a more comfortable or peaceful lifestyle, the desire to see new places and cultures, and, in general, the desire for quality life constitute the main factors among the reasons for the adoption of the mobile lifestyle. The development of the human relationship with mobile devices is the essence of freedom of movement (Sager, 2006). This is because individuals are more accessible and flexible when planning vehicle trips. Which route they follow, where and when they stop, is up to the individual's initiative. These trips offer individuals freedom but also the opportunity to experience many emotions, such as loneliness, anonymity, intimacy, and escape, and trigger these emotions. However, personal-use vehicles are popular because they combine autonomous and independent mobility with privacy, power, and speed (Merriman, 2009).

Caravan and tiny house living is an economical choice in terms of having the least contact with the environment compared to classical residences, and it exhibits an environmentalist approach in terms of energy saving and complies with sustainability criteria as a vital activity. Regarding interior design, caravans and tiny houses offer a flexible understanding of space with efficient space solutions that can be produced in a limited area and likened to a mobile miniature house. In this respect, they combine comfort and freedom. Vehicles are designed with comfort in mind, offering a cozy living space and enhanced quality of life through materials, heating, lighting, ventilation, and the latest technological systems (Gürtekin, 2011).

Humans come into contact with the world through their bodies as physiological beings and psychologically through their souls, establishing a relationship and interacting with it. When people's relationship with the world is defined through the body in the physical sense, this situation is decisive for the formation of space. However, when this formation is evaluated in the triangle of the dynamic relationship between space, body and soul in interaction, the design can be realized effectively. The interaction of the body and the soul is not static in the space but is a moving, perceiving and responding mechanism. The human body, a static entity, maintains integrity with space design principles. To ensure sustainability, spaces should be designed from the user's perspective, providing physical and spiritual satisfaction, rather than mass-producing standards for the static body. This approach ensures a sustainable existence. Pallasmaa expresses this as "architectural space is lived space rather than physical space, and lived space transcends geometry and measurability".

Along with these factors, another important issue in space design is the harmony between the design materials, their arrangement and layout. All materials used in mobile space design should serve the purpose in a useful way and positively contribute to users' lives. Since one of the most important differences between mobile space designs compared to typical fixed space designs is to make a practical application with a quality design in a compact area, it is also imperative to evaluate the space volume most effectively (Er, 2023).

However, people's need for spiritual and psychological satisfaction is more important than physical satisfaction. While the physical demands of human beings are met with a certain

level of facilities, the level of satisfaction is generally high since spiritual and psychological needs are constantly changing. The fixed and routine use of the mobile living space after the architectural design and implementation of the mobile living space following the needs provides physical satisfaction, the desire to see new places, experience discoveries, and constantly change the location and view of the space by having a space that is continually on the move is the most obvious indicator of a much higher level of spiritual and psychological satisfaction. However, due to the limited living and movement space in the mobile space and the necessity to spend time in the interior space independent of the outdoor space for a certain period for accommodation purposes, it is important to use design and materials that are spiritually and psychologically spacious, peaceful and calming along with the provision of physical facilities in interior design and application. For example, factors such as taking anthropometric data as a reference when creating furniture used in mobile spaces, creating a psychological comfort distance for users in the interior space, and avoiding hard edges and angular designs in caravan furniture for safety reasons are physiologically meaningful. In psychological terms, caravan furniture is designed with different colour combinations. Natural wood tones are more compatible with the caravan concept, and users prefer mostly light colours or wooden furniture colours. Choosing light colours that do not strain the eyes in caravans, which are places with limited space, creates a feeling of spaciousness in users. Simple and easy on the eyes colours should be preferred in spaces integrated with nature. Such colours evoke a sense of order, calmness and confidence in users.

This study examined the physiological and psychological effects on human health of wood and wood-based materials used in mobile spaces with sustainable alternative living spaces, together with the issues of space as a living space, life in mobile space, design and application in mobile space. In particular, the contributions of wood and wood-based materials to the sustainability of mobile spaces and human health are focused. In addition, scientific research in the literature on the environmental effects of wood as a natural material and its effects on human psychology and physiology has been compiled. A perspective on using this material in sustainable alternative living spaces has been presented. In addition, since its natural structure offers many advantages in terms of both aesthetics and health, the psychological effects of wood material on individuals, its role in reducing stress and anxiety levels, its positive contributions to mood, creating a natural environment feeling with biomimetic designs, offering living space in harmony with human nature, improving indoor air quality, providing moisture balance and thermal comfort are detailed, and the design and technical advantages of using wood in the flexible and portable structure of mobile spaces are also evaluated.

2 Literature summary

2.1 The concept of mobile (dynamic) space

Human beings perform the act of voluntary or involuntary movement by nature. While this action may have many reasons, such as social, cultural, political, economic or natural disasters, spaces have been transformed, especially under the influence of conditions such as the global pandemic. Houses built by people for shelter and protection are designed with the desire to be mobile, mobile, easily relocatable and mobile, sometimes not being fixed due to technical impossibilities and nomadic culture, and sometimes moving by different needs (Tuncel, 2007). A shelter that has mobility, can be moved from one location to another by itself or with a motorized vehicle through the motorized parts it contains, and has the necessary equipment to carry out vital activities for short or long periods is defined as a mobile (mobile) space. The architectural structures presented in parallel with mobile life

involve a much more profound transformation as opposed to a temporary solution. As technological developments, materials and communication continue, these structures are fully included in everyday life. In this context, mobile and micro dwellings are also gaining importance (Er, 2023). In this direction, when the reasons for the increasing interest in mobile spaces are considered, reasons such as sustainability, motivation, productivity, belonging, individuality, and functionality have an essential place in people's adoption of the mobile lifestyle over time by bringing a different dimension to their habitual lifestyles every day (Buldaç, 2021).

2.2 Types of mobile spaces

Mobile spaces include offshore structures, containers, trailers, prefabricated structures, capsules, disaster housing and caravans (trailers and motorhomes). However, they are classified under two main headings: immobile (relocatable, removable) and mobile (portable) mobile spaces.

2.2.1 Immobile spaces

Stationary mobile spaces are those that are attached to the ground and can be dismantled and assembled. These spaces can be dismantled for specific purposes, reassembled and fixed in the same way in another location. Relocatable structures are constructed according to the conditions of the area, transported in sections and allow for the creation of larger spaces than other mobile spaces. The most commonly used types are tiny houses, THOW and containers (Figure 1.). They can be used in regions with different climatic conditions and are preferred for less material waste and sustainability. Solar energy systems run electricity and ventilation in the buildings in these spaces, providing ecological sustainability.

Tiny house (THOW): The term "tiny house" literally means "small house". Structures that are on wheels but cannot move on their own and are non-motorized are called "tiny houses" or "THOW (Tiny House on Wheels)" in English. Tiny Houses have wheels and chassis and are towed by connecting to another vehicle. These houses were built in specific sizes to enable overland travel (Evans, 2017).



Figure 1. Tiny house (Evans, 2017)

2.2.2 Mobile spaces

Movable mobile spaces can be towed or moved as a whole with the help of a vehicle without being divided into parts. Mobile dwellings can be transported by towing vehicles, railways, trucks and lorries, can be positioned horizontally or vertically in the area where they are transported, and can be added and removed due to their modular design. Movable mobile

spaces are lightweight structures that can be used in all seasons, personalised, easy to disassemble and install, and more economical than stationary dwellings. This is why mobile spaces are preferred over standard residences (Er, 2023).

Suppose it is necessary to classify these spaces according to their usage areas. In that case, it is usual to list them as caravans for permanent living, caravans for shelter, temporary caravans for emergency aid, caravans open to public use, caravans used for medical or scientific activities, caravans for use in different natural conditions. In Türkiye, caravans are predominantly used for tourism purposes. With the increasing population, reasons such as the desire to go to quiet places, changing lifestyles and consumption patterns, and natural disasters are essential in regaining the former attractiveness of the caravan culture. Especially considering the global pandemic process caused by the COVID-19 virus, the number of caravan users who leave their current living spaces and move to different areas for physical and mental relaxation and motivation, where people have to be isolated, has increased day by day. Despite the uniform/uniform housing solutions, caravans are designed with an approach that acts more holistically and includes all the necessary equipment. In addition, the fact that the interior space arrangement fulfils the maximum function: it is easy to clean, the responsibility is less than a conventional housing type, it has a lightweight carrier system, and the simultaneous and flexible use of the interior space with the exterior space, etc. can be seen as factors that increase the interest in caravans (Akgül, 2006). Caravan types designed for different purposes of use and showing change and development with the effect of time and technology are as follows;

Towing Caravans: These caravans are not equipped with moving equipment but are connected to a motorized vehicle with suitable fasteners and moved by towing. Users can detach their vehicles from the towing caravan at any time. Unlike relocatable and removable spaces, they can be moved by pushing and pulling. Users leaving their caravans in parking lots can travel with their vehicles. This is an important factor in the preference of towing caravans (Çolak, 2005).

Motorized caravans (Motocaravans): These caravans (Figure 2) are built on a chassis with a gear and engine system (Davidson, 1973). Among motorhomes, the type modified only inside the vehicle by preserving the standard features outside the vehicle is called an integrated Caravan (Figure 3). The type with various changes in exterior dimensions and interior positioning by placing composite blocks on the chassis is called Alkovenli Caravan, and the type with standard sizes and more limited living facilities with an upgradeable roof is called Campervan. In addition, these vehicles are defined as mobile living spaces that meet the standard dimensions of motor vehicles and can meet the actions that users need on a minimum scale. Campervans and alkoven caravans have interior designs with kitchen, toilet, shower, living, sleeping, and storage areas. Commercial vehicles are used for campervan models. Alkoven caravans have a bed area above the driver. Semi-integrated caravans have kitchen, toilet cabin, seating group, and dining table (Ören, 2021).



Figure 2. Alkoven Caravan (a), Campervan (b), (Kılıç, 2024)

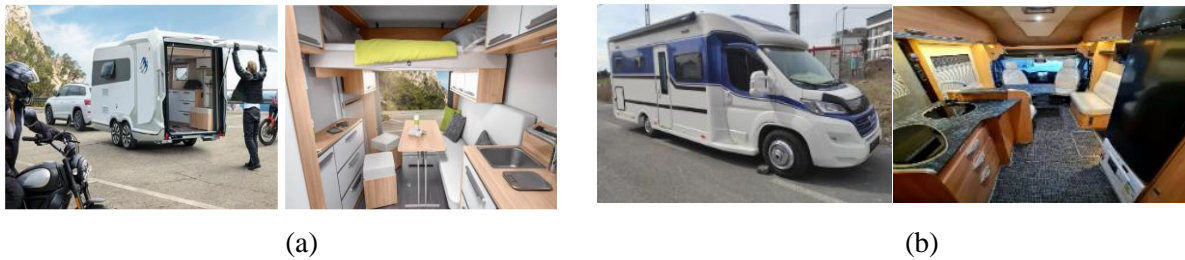


Figure 3. Trailer Caravan (a), Semi-integrated Caravan (b), (Kılıç, 2024)

2.3 Mobile space design criteria

From the user perspective, the following criteria are effective in space design:

Spatial Requirements: Static and dynamic anthropometric dimensions of the person in the space, their actions and behaviours, and how their actions are performed.

Thermal Requirements: Suitable temperature, humidity, radiation and air movements in the space.

Auditory Requirements: Suitable sound intensity and sound reflection-diffusion properties in the space.

Visual Requirements: Suitable light intensity-brightness levels in the space.

Tactile Requirements: Desire to satisfy the material texture used in the space.

Health Requirements: Provide clean water for the space, eliminate waste, and protect the user from microbes and pests.

Safety Requirements: Provide adequate structural strength of the space to protect against fire, disaster, theft, and accidents.

User Psychosocial Requirements: Positive reflection of the user's living space-environment relationship on their psychology.

Privacy Requirements: The space suits auditory, visual, personal and social privacy.

Behavioural Requirements: The distances that people need at the moment of their actions in the space are the individual limit of 45 cm, the distance between individuals is 45-120 cm, the distance within the community is 120-360 cm, and the public distance is the distances depending on the visual relationship that is greater than 360 cm.

Aesthetic Requirements: The appropriate form, colour and textural features of the space.

Social Requirements: The social relations in the space, the requirements of the social structure-organization.

Sustainable Energy Consumption and Low Carbon Emission Requirement: The use of energy-labelled white goods, the consumption of clean energy such as solar energy for electrical appliances and lighting, and the provision of low or zero carbon emission rates (Çolak, 2005).

2.4 Types of wood materials used in mobile spaces

Natural wood or solid wood material obtained without changing its characteristic features and wood-based material developed by changing its characteristic features for more efficient

use by utilizing technology, wood composite material obtained by combining woody material with a non-wood material, are used in mobile spaces, especially in the production of furniture and structural elements (Table 1).

Table 1. Types of Wooden Materials Used in Mobile Spaces (Kılıç, 2024)

1. Wood Based Panels
a) Plywood
b) Plyboard
c) Particleboard [Particleboard, Waferboard, Flakeboard, OSB (Oriented Strand Board)]
d) Fibreboard (MDF, HDF, Insulation Board)
2. Structural Composites
a) Structural composite timbers [PSL (Parallel Strand Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber), OSL (Oriented Strand Lumber), LVL (Laminated Veneer Lumber), GLULAM (Glued Laminated Timber)]
b) Structural board products [Structural plywood, structural flakeboards (waferboard, OSB)]
c) Wooden beams
3. Mechanically Laminated Elements
4. Molded Products
5. Wood-Non-Wood Material Reinforced Composites
d) Composites using inorganic materials as binders (Gypsum boards, magnesium cement boards, portland cement boards)
e) Wood fibre - thermoplastic composites (High thermoplastic content composites, low thermoplastic content composites, non-woven textile type composites)
f) Translucent wood
g) Wood-reinforced fibre cement panels
h) Waste wood and waste gypsum-based boards
i) Paper-reinforced wood products

2.5 Space from a physiological and psychological perspective

2.5.1 Spatial perception

Perception is an active process that takes place in the form of reading environmental information through the senses and a mental process (Ozen, 2006). In architecture, perception is mainly addressed from the ecological or spatial perception perspective, and the objective world is transferred to subjective consciousness through the senses. In this process, the perception of space and its elements consists of four elements: symbolic, visual, sensory and selective perception. A symbol that represents an element but has another quality automatically directs the person to a mental process and directs them to find the whole symbol and what it means. Symbols, important data of *Symbolic Perception* located in space, are learned "stimuli" that have value and meaning for the individual and have an abstract feature. Still, they are closely related to concrete space.

Visual perception is the mental acquisition of the mental image of any event or object through elements such as colour, texture, and form in space, using data from visual sensation. Visual perception is essentially a physiological process, but psychological factors influence its functioning and visual perception occurs when the individual selects from the chaos of images around them in line with their needs and motivations and performs the visual process (Inceoğlu, 2010).

Cognitive/mental perception is the process in which the individual conceptualizes the information they have obtained spontaneously due to psychological and mental transformations and creates it through coding, storage, recall and analysis (Ozen, 2006). *Sensory perception* is the experiencing of information received from the environment through sensory organs such as visual (light-colour), olfactory (smell), auditory (sound), tactile (texture-heat) and dimensional (Yazıcıoğlu, 2010).

Colour in visual perception: Experimental studies have determined that light colours illuminate the space they are used in; dark colours darken it and make it difficult to

understand (Brebner, 1985). The direction, intensity and glare level of the light used are practical for changes in the visible amount of the colour (Göler, 2009). Colours close to yellow have a warm effect, and colours close to blue have a cold effect.

Light in visual perception: Light is the primary physical perception related to colour. In general terms, colour cannot exist without light because the perception of colour is caused by energy in the form of light. The smaller a light source or, the more parallel the light beam emits, the more contrasting the light it gives, and the sharper and darker the shadows. Conversely, the larger the light source, the more widespread it emits, the less contrasting the light it gives, and the more transparent the shadows (Göler, 2009).

Auditory Perception: Auditory perception of space produces different effects according to the echo and reverberation (reflection) period. Depending on different form features, a long reverberation period creates the feeling of being in a small space. The fact that the materials used in forming the space have different absorption qualities due to their textural characteristics allows them to be used as a factor affecting auditory perception (Hede and Bullen, 1981).

Smell perception: Smell in the space creates positive and negative feelings in individuals. While unwanted smells such as sink drains, smoke, and food that occur due to the use of the space create negative emotions, natural smells found in natural environments or essential smells applied to make a positive effect on the environment have positive effects on the psychological health and morale of the person.

Heat in tactile perception: The yellow-red colour of fire creates a warm colour association; the blue-green colour of ice creates a cold colour association, which causes the colour, which is the visual variable of the space, to be divided into two as 'warm' and 'cold' colours. It has been determined through experiments that some textural features create a warmer or colder effect due to the perception of the space. While a smooth textured surface creates a freezing effect, a rough surface creates a warm effect. We generally perceive closed, narrow and low spaces as warm; open, comprehensive and high spaces as relaxed, crowded and secluded as warm (Porter, 1979).

Texture in tactile perception: Texture dramatically affects the visual values of the space and is a stimulating communication element that simultaneously activates two emotions, vision and touch, which characterize the space-surface-material relationship (Gezer, 2007). Textural features on surfaces of the same color and strength can create varying tone differences, with smooth textures causing a colder effect and rough textures causing a warm effect (Porter, 1979).

2.5.2 Spatial meaning

Living spaces and the meanings attributed to these spaces are one of the most critical elements of communication between the individual and the space and the interaction between the environment and the person. Physical space is an environment that transmits and affects the traditions, cultures, values, judgments, and worldviews of those living in it, and it contains many meanings. In other words, interaction with the lived space is individual. Therefore, the meanings attributed to the space change according to time, situation, and people. In architecture, it is possible to see the use of objects and their benefits in psychology studies on meaning, especially in studies on symbols that guide behaviour. In short, spatial meaning is used mainly in semantic models based on linguistics, in studies based on symbols, and in studies based on nonverbal communication in anthropology, psychology, and ethnology. The meaning of space, place identity, place attachment, and sense of place are also significant in studies on environmental psychology (Gustafson, 2001).

2.5.3 Spatial sustainability

Sustainability is physiologically and psychologically crucial in defining and implementing the spatial structure of designed interior spaces. To reduce *carbon emissions (carbon footprint)* to the atmosphere, it is necessary to use *biomimetic sustainable building materials* that are environmentally friendly and compatible with nature in these spaces. It is expected that the effectiveness of naturalness on interior space structures will be increased, the hidden carbon footprint in structures and products will be reduced, and sustainability will be contributed. *Biomimicry* is defined as taking inspiration from nature's forms and processes and imitating nature to solve people's design problems (Benyus, 1997). As Ataç (2019) mentioned in her thesis, the definition of biomimicry in architecture is expressed as using natural and ecological materials in structures. *Biomaterials* are materials that can be destroyed without causing natural destruction or are functionalized for reuse when the structure completes its useful life and thus do not create waste. Natural and ecological materials constitute the content of biomaterials, and microorganisms provide sustainable approaches to such structures.

Carbon footprint, in the 21st century, global warming accelerated by greenhouse gas (GHG) emissions, especially carbon dioxide, poses a crisis for the environment and human society (Solomon et al., 2007). Product design with a low carbon footprint has become the focus of scientific research and industrial production since the signing of the Kyoto Protocol (Xu et al., 2015). The Protocol, which includes a series of specifications such as ISO (14040/44/64/65/66/67) and PSA (2050/60), aims to regulate carbon emissions from products (Su et al., 2012) and forces companies and designers to modify products to meet low carbon requirements (Tang et al., 2017). Research shows that approximately 84% of greenhouse gases are obtained from carbon emissions from energy production (Park et al., 2009). Therefore, strategies that focus on researching the carbon footprint and developing low-carbon design strategies effectively reduce carbon emissions (Song and Lee, 2010). When analysing and designing a product for the carbon footprint of an interior space, it is often challenging to integrate low-carbon, innovative products with the conceptual design process. To solve this problem, the use of biomaterials, a new low-carbon design method based on multi-layered carbon footprint research, is becoming important in interior spaces (He and Hua, 2017). Based on this approach, using renewable materials in interior spaces, low-carbon ecological designs should be made. When the production processes of sustainable, low-carbon emission interior and exterior spaces are considered globally, they are essential for humanity's physiological and psychological health to last for centuries. When the carbon footprint decreases, every living creature in the natural habitat is positively affected.

3 Results and discussion

Physiological and psychological effects of using wood materials in space design : According to the World Health Organization constitution, health is defined as "a state of complete physical, mental and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity" (Colburn, 1968). How people perceive and interact with their environment can affect their well-being, stress levels and general health, and for most people, their living spaces are their primary environments (Wade and Tavis, 2000). Therefore, the psychological well-being component is also important within a person's health framework, and this needs to be added to the concept of healthy space. To fully understand the meaning of health in living spaces, it is essential to reveal its psychological effects. Recent scientific evidence shows a

strong connection between space and health (Krieger and Higgins 2002). For the user, the lived space is more than just a building; it constitutes a system in which many parts, including its structure, lighting, acoustics and air quality, are interdependent (Building Science Basics, 2001). A general framework for a healthy space includes environmental sustainability, universal design and consideration of user health (Spetic et al., 2005). Research on user health often considers indoor air quality, water quality, lighting, and acoustic properties, with improving indoor air quality being a key focus. (Spetic et al. 2005).

Building biology examines the relationship between structure, physiological, and psychological health. Negative factors in interior and exterior structures and the negative impact on health due to these factors should be considered. (Balanlı and Öztürk, 2006). When this situation is ignored, the Sick Building Syndrome develops the disease symptoms that occur during the construction and use of the structure as a living space and continue throughout its use. This disease, also called Plaza Disease, occurs because the materials preferred for various reasons during the interior design and production of the structure are not suitable for human nature and optimum quality of life, the amount of chemicals used in the production of the materials are high and harmful to human health, they are not preferred for indoor use, and there are insufficient space ventilation opportunities, and such reasons cause problems such as coughing, irritation, sneezing and upper respiratory tract disorders in humans. High carbon footprints in architecture materials like steel, concrete, aluminium, plastic, and glass contribute to greenhouse gas emissions whereas biomaterials, like wood, hemp, paper, flax, and cork, reduce these emissions. (Lippiatt, 2011).

The terms “green building”, “nature-connected design” and “biophilic design” refer to interior designs that use natural materials, shapes, forms and colours that give a sense of connection with nature. Wooden buildings are also relatively unique in their thermal properties and effects on light and noise conditions. However, wood is a renewable material that can store carbon in the structure for decades, and the production of wooden building materials is less CO₂-intensive than traditional building materials such as steel and concrete. Wood is also promoted as a material that enhances the sense of nature in interior spaces, thus increasing the comfort and well-being of the user. In addition, interdisciplinary studies in architecture and neuroscience have become widespread regarding how people perceive their built environment and how this affects their behaviour. Scientists have investigated how behaviour is affected by various stimuli, including in the built environment, and how this process can occur throughout life (Jarmusch, 2003).

However, many studies have investigated the *physiological and psychological effects* of using wood in interior spaces. In a study conducted in Finland with 729 participants, those living in log-framed houses reported their general health as “good” more often than those living in lightweight-framed houses or masonry/concrete houses (Anttila et al., 2012). This situation is also the case in mobile living spaces where wood is predominantly used in ceiling, wall and floor coverings and objects in the living space. Indeed, it is estimated that the positive effects of natural climatic external factors and the use of wood in the interior spaces of mobile spaces, generally located in rural areas, will contribute to further improvements in the users' health. A study among 87 workers in three old brick buildings and 42 workers in an old wooden building in Norway assessed tear film stability, subjective symptom frequency (often, sometimes or never), symptom indices (general, mucosal and dermal), and perceived indoor work environment (Bakke et al., 2011). Workers in wooden buildings reported lower fever, subjective symptoms, general and mucosal indices, and fewer complaints about air congestion compared to brick buildings, as shown in a Swedish study. (Walinder, 2001). These results show that solid wood materials used in the compact area of mobile space tend to

reduce upper respiratory tract discomfort. Solid wood products are important to improve the respiratory quality of mobile space with limited and narrow space due to limited oxygen amount. In a study conducted by Sakai et al. (2004), it was determined that although the common VOC (Volatile Organic Compound) emissions in modern non-wood (stone or concrete) houses in Nagoya with wooden structures were lower than other building types, formaldehyde concentrations were significantly higher than in wooden houses. This situation can be assumed as a fundamental reason why wood is preferred among various construction materials in mobile space. Using materials that have carcinogenic effects in mobile spaces where sheltering activities are carried out will cause significant problems.

Some studies have also reported the physiological effects of visual stimulation of wooden room interiors. Tsunetsugu et al. (2007) investigated the difference in physiological effects of visual stimulation of rooms with different designs and wood proportions. Actual rooms (13 m²) were constructed for the study. Living rooms in Japan usually contain about 30% wood. Based on this, four rooms (all 13 m² in area) were constructed for this study: a typical wooden living room (30% wood), a room with extra wood added to the walls (45% wood), and a room where almost all the walls and the entire floor and ceiling were covered with wood (90% wood). Visual stimulation with a 30% wood room decreased participants' diastolic blood pressure and pulse rate, indicating physiological relaxation effects in this room.

In contrast, visual stimulation with a 45% wood room increased pulse rate. In a 30% wood room with added wood columns and cross beams (a designed room that increased the total wood content to 40%), participants' pulse rates increased similarly to those in the 45% wood room, indicating physiological alertness. Sueyoshi et al. (1995) investigated the effects of auditory stimulation with wood on physiological response with a study involving experiments on floor impact sounds in a wooden house. The effects of light floor impact sound on the participants' EEG (Electroencephalography) values and systolic and diastolic blood pressure were investigated. The measurements were carried out in a room in an experimental two-story wooden house. Each participant, sitting on a chair in the middle of the room downstairs, was exposed to light floor impact sounds produced by a percussion machine upstairs for 5 minutes. Four light floor impact sounds at 54, 63, 73 and 78 dBA and a control (no impact sound, leaving an average background noise level of 47 dBA) were randomly generated for each participant. This showed that the frequency of alpha and theta waves in the EEG decreased as the level of the light floor impact sound increased and that the increase in systolic blood pressure immediately after exposure to light floor impact sounds depended on the level of the sounds. In Japan, several studies have focused on olfactory stimulation with Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*), a common and well-known coniferous tree, and Taiwan cypress (*Chamaecyparis taiwanensis*). Tsunetsugu et al. demonstrated the effects of olfactory stimulation with Japanese cedar wood chips on participants' prefrontal cortex activity and blood pressure. Following olfactory stimulation with Japanese cedar chips, participants showed decreased total haemoglobin (total Hb) concentration in the left and right prefrontal cortex and reduced systolic blood pressure. This indicated that olfactory stimulation has a physiologically relaxing effect.

In addition, in many studies, the general acoustic comfort level in wooden buildings is satisfactory (Bard et al., 2019). It has been observed that ground vibration is below the recognized human comfort thresholds. Späh et al. also found that the general acoustic satisfaction scores of the occupants in wooden buildings are high. (Späh et al., 2014). Along with the sound insulation provided by the material in mobile living spaces, the effect of sound elements on the living space's external environment is an important factor in determining the quality of the living space. At this point, studies show that the acoustic satisfaction level of

the user will increase, especially when wood is preferred for the coatings on the walls, ceiling and floors of the mobile space. Impact sound insulation in the low-frequency range is an important point regarding the satisfaction of the occupants of light wood-based buildings (Caniato et al., 2017). According to the data determined in all these studies, it is clear that using wood in mobile spaces affects respiration, blood pressure, light reflex, olfactory comfort, acoustic balance and other personal health improvements. Therefore, many positive effects of solid wood on physiological health have been proven.

Wooden interior spaces have been studied for psychological effects, with participants rated brighter and warmer in light brown and dark brown walls compared to simple white walls. (Zhang et al., 2016). In addition, Masuda (1992) found in his study that the natural variability of wood, especially across cultures, evokes different psychological feelings in individuals. For example, in Japan, knots are seen as defects or deficiencies, and people associate them with "cheapness". The Japanese prefer clean wood because it is more compatible with their fondness for "purity". On the contrary, in Europe and North America, wood products containing knots are widely preferred and associated with descriptors such as "natural" and "rustic". At this point, personal preference is prioritized in mobile spaces, and solid wood material cut in transverse, radial and tangential directions and solid panel wood material combined in a way that can create different visual qualities can respond to user preferences more than ever since it is obtained from different tree species.

Studies conducted in Japan have attempted to establish a scientific link between the use of wood and individual interpretations and feelings about the environments created by its use. The findings showed that interiors containing a high proportion of wood were generally described as "warm" and "calming". Interestingly, a positive relationship emerged between these descriptors and wood colour, significantly as its value increased in the yellow-red (YR) spectrum. Parallel to this study, the wood materials used in the interior design of mobile spaces are generally yellow-red and brown tones, offering a warm and calming effect to the user in various tones. In a study conducted in a room with an artificial climate at the Center for Environment, Health and Field Sciences, Chiba University, the results of the participants' subjective touch of an experimental combination of marble, tiles, stainless steel and cedar plywood were examined by measuring tactile stimulation. As a result, oxy-Hb concentrations in the left/right prefrontal cortex decreased immediately after touching white oak with the palm (Masuda et al., 1988).

Similarly, the mean oxy-Hb concentration was significantly lower in the right prefrontal cortex when touching white oak than when touching the other materials. In terms of "feeling of comfort," participants gave subjective reports of feeling "somewhat comfortable" after touching white oak but reported feeling "indifferent to slightly uncomfortable" after touching the other materials. Thus, touching white oak was significantly more comforting than touching other materials. Furthermore, in terms of "feeling of relaxation," participants reported feeling "slightly relaxed" when touching white oak but "indifferent to slight arousal" when touching tile and "slightly to moderately aroused" when touching marble and stainless steel. Thus, white oak was significantly more comforting than the other materials. The results of this exploratory study suggested that people have an innate understanding of wood environments as healthy environments, with wood rooms generally being positively perceived as "warm," "relaxing," "restful," "natural," and "inviting/relaxing" spaces. According to the data determined in all these studies, it is clear that the use of wood in mobile spaces has harmony, simplicity, balance, a peaceful and stress-free environment, and other relaxing and psychological healing effects. Therefore, many positive effects of solid wood on physiological health have been proven (Cohen et al., 2007).

In addition, many studies have proven that biophilic design, including wood, can improve human health and well-being. For example, the use of biophilia in interior design has been found to provide various physical benefits, including improved physical fitness, lower blood pressure, increased comfort, fewer disease symptoms, and improved health, as well as various mental benefits, such as increased satisfaction, motivation, less stress, anxiety, and improved problem solving, increased attention and concentration, improved social interaction, and less aggression and productivity (Yin et al., 2018).

4 Conclusion

- Incorporating innovative, low-carbon products into the conceptual design process can be challenging when assessing and creating the carbon footprint of an interior product. Applying biomaterials in interior design, a new low-carbon design approach based on a multi-layered carbon footprint study, becomes important to address this issue. This method suggests that interiors should be designed with renewable materials to create low-carbon ecological designs.
- The long-term physical and mental well-being of people should take into account the global production processes of sustainable, low-carbon indoor and outdoor environments. All living beings in their natural habitat benefit when the carbon footprint is reduced.
- The materials chosen for the interior design and construction of the building are not suitable for human nature and the best possible quality of life for a variety of reasons, including the high and hazardous chemical content of the materials' production, unsuitability for indoor use, lack of proper ventilation, etc. High levels of greenhouse gas emissions, materials such as steel, concrete, aluminium, plastic and glass and their production processes can be given as examples. These reasons lead to upper respiratory tract disorders, sneezing, coughing and discomfort. The primary cause of these problems is the high carbon footprint of materials used in buildings today.
- The increase in blood pressure resulting from contact with artificial materials such as metals and acrylic is significantly affected by the temperature of the material. Wood is a material that should be preferred, especially in interior spaces, because contact with it does not increase blood pressure, whether cold or at room temperature.
- Since they are obtained from different tree species, solid wood material is cut in tangential, radial and transverse directions and solid panel wood is combined to create various visual qualities that can respond to user preferences in mobile spaces.
- According to the findings of this exploratory study, individuals naturally view wooden spaces as healthy, and wooden rooms are generally viewed positively as "warm", "relaxing", "restful", "natural", and "inviting/relaxing" places. Personal preferences affect resource allocation, and wood's aesthetic appeal and technological advantages make it a superior choice for mobile living spaces.

Author Contributions

İsmail Derda Güler: Conceptualization, Determination of methodology, Conducting the research, Drafting the article, Writing the article, Resources. **Önder Tor:** Conceptualization, Determination of methodology, Conducting the research, Drafting the article, Writing the article, Review and editing. Supervision, Verification

Financial support statement

No financial support was received.

Conflict of interest

There is no conflict of interest among the authors.

References

- Akgül, A., (2006). Mimarlıkta mobilite kavramı: göçebe çingenelere ve sirk yaşamı üzerine bir inceleme, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi* İstanbul.
- Anttila, M., Pekkonen, M., & Averinen-Shaughnessy, U., (2012). *Housing health and satisfaction in log-frame houses - Report based on ALTTI survey*, Retrieved from Helsinki, Finland : <https://www.semanticscholar.org>
- Ataç, A., (2019). Mimarlıkta biyomalzemelerin kullanımı: Sıkıştırılmış toprak blokların performansının mikorizal mantar kullanılarak geliştirilmesi, *Bilgi Üniversitesi, Lisansüstü Programlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- Bakke, J., Moen, B., Norbäck, D., & Wieslander, G., (2011). *Differences in tear film break up time (NIBUT and SBUT) between workers in old brick buildings and in an old wooden building*, Paper presented at the 12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 2011, Austin, USA.
- Balanlı, A. & Öztürk, A., (2006). *Yapı biyolojisi-yaklaşımlar*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi.
- Benyus, J., (1997). *Biomimicry: innovation inspired by nature*. HarperCollins.
- Brebner, J., (1985). Personality theory and movement. In B. Kirkcaldy (Ed.), *Individual differences in movement* (pp. 27-43). Lancaster: Medical and Technical Press.
- Building Science Basics., (2001). *Healthy house Rx*. Online. Available: <http://www.HealthHouse.org>. 23 Feb. 2001.
- Buldaç, M., (2021). Küresel salgın sürecinde değişik mekân arayışı: karavan ve kullanıcı deneyimleri. *Yıldız J Art Desg*, 8(2), 90–104, December, 2021.
- Cohen, D., Meitner M.J., & Kozak, R., (2007). Appearance wood products and psychological well-being, *Wood and Fiber Science*, 38(4), 644 – 659.
- Colburn, H.N., (1968). *Health and Housing*. Canadian Welfare Council, Ottawa, Canada.
- Davidson, H.A., (1973). *Housing demand: mobile, modular or conventional?* van nostrand reinhold, 285, Wisconsin.
- Duncan, T., Cohen, S.A. & Thulemark, M., (Ed.) (2013). *Lifestyle mobilities: Intersections of travel, leisure and migration*, İngiltere: Ashgate.
- Er, D., (2023). Mobil konut ve mekan tasarımı bağlamında karavan, *Bahçeşehir Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul.
- Evans, K., (2017). *Integrating tiny and small homes into the urban landscape: History, land use barriers and potential solutions—Department of Geography, Geology and Planning, Missouri State University, USA*.
- Gezer, H., (2012). Mekan kavrama sürecin-de algılama bileşenleri, *İstanbul ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(21), 1-10.

- Göler, S., (2009). Biçim, renk, malzeme, doku ve ışığın mekân algısına etkisi, Mimar Sinan G.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Gustafson, P., (2001), Roots and routes exploring the relationship between place attachment and mobility, *Environment and Behavior*, 33(5), 667-686.
- Gürtekin, F.B., (2011). Mobil mekân kapsamında karavan-treyler tasarımının iç mekan organizasyonu yönünden incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü*, Ankara.
- He, B., & Hua, Y., (2017). Feature-based integrated product model for low-carbon conceptual design. *Journal of Engineering Design*, 28(6), 408-432.
- Hede, A.J., & Bullen, R.B., (1981). Community reaction to noise from horns by rifle range. NAL Report 84. National Acoustic Laboratories, Commonwealth Dept. of Health, Canberra, Australia. AUL-209.
- Inceoğlu, M., (2010). Tutum, algı ve iletişim, İstanbul, Beykent Üniversitesi Yayınları.
- Jarmusch, A., (2003). Mind-set: Research Project will study Architecture's Impact on the Brain. Online. Available: http://biology.ucsd.edu/news/article_050503.html. 11 July 2003.
- Kılıç, B., (2024). Mobil konut iç mekân tasarım anlayışının irdelenmesi: tiny house (küçük ev örneği). Bahçeşehir Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Krieger, J., & Higgins, D.L., (2002). Public health matters housing and health: time again for public health action. *Am. J. Public Health*. 92(5),758–768.
- Lippiatt, B.C., & Cialone, C., (2011). Life-cycle assessment of buildings: A review. In C. A. Brebbia & E. Beriatos (Eds.), *Sustainable development and planning*. (pp. 85-96).
- Masuda, M., (1992). Visual characteristics of wood and the psychological images. *Bull. Kyoto Univ. Forests* 38(12), 1075–1081.
- Masuda, M. & Yamamoto, N., (1988). The wood ratio in interior space and the psychological images. *Bull. Kyoto Univ. Forests* 60:285–298.
- McIntyre, N., Williams, D. & McHugh, K., (Ed.) (2006). *Multiple dwelling and tourism: Negotiating place, home and identity*. İngiltere: CABI.
- Merriman, P., (2009). Mobility. R. Kitchin ve N. Thrift (Ed.), *International encyclopedia of human geography* (ss. 134–43). Elsevier.
- Ören, O., (2021). Camper van nedir? Karavan önerisi. Erişim Tarihi: 28.05.2022. <https://www.arabam.com>
- Özen, A., (2006), Mimari Sanal Gerçeklik Ortamlarında Algı Psikolojisi, Bilgi Teknolojileri Kongresi IV, Akademik Bilişim, Denizli, <http://ab.org.tr/ab06/bildiri/81.doc>, 3.05. 2013.
- Park, C.W., Kwon, K.S., Kim, W.B., Min, B.K., Park, S.J., Sung, I.H., & Seok, J., (2009). Energy consumption reduction technology in manufacturing; A selective review of policies, standards, and research, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 10(5), 151-173.
- Porter, T., (1979). *How Architects Visualize*, Studio Vista, New York.

- Sager, T., (2006). Freedom as mobility: Implications of the distinction between actual and potential travelling, *Mobilities*, 1(3), 465-488.
- Sakai, K., Norback, D., Mi, Y., Shibata, E., Kamijima, M., Yamada, T., & Takeuchi, Y., (2004). A comparison of indoor air pollutants in Japan and Sweden: formaldehyde, nitrogen dioxide, and chlorinated volatile organic compounds, *Environ Res*, 94(1), 75-85.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., & Miller, H., (2007). IPCC Fourth Assessment Report (AR4). *Climate change*, 374.
- Song, J.S., & Lee, K.M., (2010). Development of a low-carbon product design system based on embedded GHG emissions, *Resources, Conservation and Recycling*, 54(9), 547-556.
- Späh, M., Liebl, A., & Leistner, P., (2014). Acoustics in wooden buildings—Evaluation of acoustic quality in wooden buildings: Listening tests and questionnaire field study.
- Spetic, W., Kozak, R.A. & Cohen, D.H., (2005). Willingness to pay and preferences for healthy home attributes in Canada. *Forest Prod. J.* 55(10), 19–24.
- Su, J.C., Chu, C.H., & Wang, Y.T., (2012). A decision support system to estimate the carbon emission and cost of product designs, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(7), 1037-1045.
- Sueyoshi S, & Miyazaki, Y., (1995). Physiological and psychological responses to light floor-impact sounds generated by a tapping machine in a wooden house, *Mokuzai Gakkaishi* 41, 293–30012
- Tsunetsugu, Y., Miyazaki, Y., & Sato, H., (2007). Physiological effects in humans induced by the visual stimulation of room interiors with different wood quantities. *Journal of Wood Science*, volume 53, pages 11–16.
- Tuncel, A., (2007). Mobil konutlarda iç mekân organizasyonu ve mobil mekânların tarihsel gelişim süreci, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yazıcıoğlu, Z., (2010). Kentsel mekân olarak caddelerin mekânsal karakterinin yürünebilirlik bağlamında irdelenmesi bağdat caddesi örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Yin, J., Zhu, S., Mac Naughton, P., Allen, J., & Spengler, J., (2018). Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment, *Building and Environment*, 132, 255– 262.
- Wade, C., & Tavis, C., (2000). *Psychology* 6th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. 654 pp.
- Walinder, R., Norbäck, D., Wieslander, G., Smedje, G., Erwall, C., & Venge, P., (2001). Acoustic rhinometry and lavage biomarkers in relation to some building characteristics in Swedish schools, *Indoor Air*, 11(1), 2-9.
- Zhang, X., Lian, Z., & Ding, Q., (2016). Investigation variance in human psychological responses to wooden indoor environments, *Building and Environment*, 109, 58-67.



Sustainability management practices in the furniture sector: an analytical study

M. Paşa Gültaş^{1*} 

ABSTRACT: This study presents an analysis to evaluate the sustainability performance of a company operating in the furniture sector and to shape its future strategies. Initially, critical data such as production volume, energy consumption, waste volume and business customer satisfaction were examined. A correlation and regression analysis was then carried out to determine the relationships between these data. The results of the analysis indicated that the company should focus on energy efficiency, waste management and customer satisfaction. In particular, the high correlation between energy consumption and production volume emphasizes the need for the company to review its energy efficiency measures. In addition, the negative relationship between waste volume and customer satisfaction suggests the development of waste management and recycling programs. This study highlights the importance of green innovation in determining the company's sustainability strategies. It can be said that green innovation can play a significant role in reducing environmental impacts and supporting sustainability goals.

Keywords: Sustainability Management, Furniture Sector Analysis, Green Production

Mobilya sektöründe sürdürülebilirlik yönetimi uygulamaları: analitik bir çalışma

ÖZ: Bu çalışma, mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin sürdürülebilirlik performansını satış sonrası müşteri memnuniyeti ölçütüyle değerlendirmek ve gelecekteki stratejilerini şekillendirmek amacıyla bir analiz sunmaktadır. İlk olarak, işletmenin üretim miktarı, enerji tüketimi, atık miktarı ve müşteri memnuniyeti gibi temel veriler toplanarak, bu veriler incelenmiştir. Ardından bu veriler arasındaki ilişkileri belirlemek için korelasyon ve regresyon gibi ilişki analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları, işletmenin enerji verimliliği, atık yönetimi ve müşteri memnuniyeti alanlarına odaklanması gerektiğini göstermektedir. Özellikle, enerji tüketimi ile üretim miktarı arasındaki yüksek korelasyon, işletmenin enerji verimliliği önlemlerini gözden geçirmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca atık miktarı ile müşteri memnuniyeti arasındaki negatif ilişki, atık yönetimi ve geri dönüşüm programlarının geliştirilmesi gerektiğini işaret etmektedir. Bu veriler çerçevesinde bu çalışma, işletmenin sürdürülebilirlik stratejilerini belirlerken yeşil inovasyonun da göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadır. Yeşil inovasyonun, çevresel etkilerin azaltılmasında ve sürdürülebilirlik hedeflerinin desteklenmesinde önemli bir rol oynayabileceği söylemek mümkündür.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilirlik Yönetimi, Mobilya Sektör Analizi, Yeşil Üretim.

Article history: Recieved:16.10.2024, Accepted:19.12.2024, Published:30.12.2024, *email: pasagultas@gmail.com.

¹Malatya Turgut Özal University, Doganşehir VKMYO, International Trade Program Malatya/Türkiye

To cite: Gültaş M.P., (2023). Sustainability management practices in the furniture sector: an analytical study, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 7 (2), 250-265, DOI: [10.33725/mamad.1568828](https://doi.org/10.33725/mamad.1568828)

1 Introduction

Today, businesses are increasingly prioritizing the adoption and implementation of sustainability principles. Sustainability is the effort of businesses to balance their environmental, social, and economic impacts to ensure long-term success and growth (Epstein, 2018). In this context, businesses operate with a focus on profit and consider their impacts on society and the environment (Barbosa et al., 2020).

Furthermore, the increasing awareness among consumers and their growing demands for environmental consciousness are directing businesses to focus more on sustainability principles (Kautish & Sharma, 2020). Today's consumers not only care about the quality and price of products but also consider the environmental and social impacts of the production process when making purchasing decisions, thus they form a more conscientious consumer base (Rustam et al., 2020). Therefore, businesses can respond to these changing consumer expectations and gain a competitive advantage by embracing sustainability principles (Boz et al., 2020). In this context, developing and implementing sustainability-focused strategies by businesses operating in the furniture sector can lead to environmentally and economically significant outcomes (Schiano et al., 2020).

The furniture sector holds significant threat in sustainability issues such as using natural resources, waste management, and energy consumption (Xiong, 2020). This sector can cause environmental impacts across various processes from raw material sourcing to the distribution of final products. Additionally, furniture products are generally expected to have a long lifespan, making the sustainability of production and consumption processes even more critical (Hartini et al., 2020).

This study in this context aims to evaluate the sustainability performance of a furniture manufacturer that produces chairs and shapes its future strategies. This company is a prominent player in the sector and prioritizes customer satisfaction. However, it has potential for improvement in certain areas to advance sustainability.

This study presents a series of analyses to understand a company operating in the furniture sector's sustainability performance and determine its future strategies. The analysis aims to identify areas where the company can improve, particularly in critical areas such as energy consumption, waste management, and customer satisfaction. In this way, it aims to contribute to achieving sustainability goals.

2 Conceptual Dimension

Sustainability in production entails a range of strategies aimed at mitigating businesses' environmental footprint and optimizing resource utilization (Appolloni et al., 2022). At its core lies green production which embraces eco-friendly practices and offers long-term competitive advantages to businesses. In this context, green manufacturing strategies encompass holistic approaches businesses adopt to achieve sustainability objectives (Madah, 2023). These strategies focus on implementing eco-conscious practices, enhancing energy efficiency, minimizing waste generation, and mitigating environmental impacts (D'Angelo et al., 2023). Their implementation on a global scale contributes to maintaining economic and ecological balance.

2.1 Energy Efficiency

Energy efficiency is a critical component of sustainable production practices driven by the need to reduce greenhouse gas emissions and mitigate climate change (Dell'Anna, 2021; Lu et al., 2020; Tennison et al., 2021). Sustainable production models focus on minimizing energy consumption while maximizing the output (Zhao et al., 2022). Key strategies include

deploying intelligent sensors and monitoring systems to track and optimize energy use in real time (Ma et al., 2020; Chinnathai & Alkan, 2023) and integrating energy-saving technologies such as upgrading equipment and adopting intelligent energy management systems (Akhtar et al., 2020; Rodriguez & Fumo, 2021).

In addition, businesses are increasingly adopting renewable energy sources including solar, wind, and hydroelectric power to reduce reliance on fossil fuels (Holechek et al., 2022; Li et al., 2021). The implementation of on-site solar panels has been demonstrated to result in a reduction in energy costs and carbon emissions, thereby contributing to the achievement of sustainability objectives (Brown et al., 2021). These measures not only reduce energy consumption and environmental impact but also enhance operational resilience, competitiveness, and resource conservation (Belkhir & Elmeligi, 2019; Ekinici et al., 2022).

2.2 Waste Management

The close relationship between energy efficiency and waste management demonstrates that optimizing energy use in production processes can also reduce waste generation. The alignment of production processes with energy efficiency goals serves to minimize waste at its source, and thus it ensures the sustainability of industrial operations (Vertakova & Plotnikov, 2019). Effective waste management entails the efficient utilization of resources, the reduction of pollution, and the minimization of ecosystem degradation (Dada et al., 2022).

The key strategies for the reduction of waste include the optimization of resource utilization, the prioritization of recyclable and reusable materials, and the integration of circular economy principles in product design (Nižetić et al., 2019; Das et al., 2019). The recycling and reuse of materials serve to enhance resource efficiency with businesses focusing on the collection, processing, and reintegration of materials into production (D'Adamo et al., 2022). Advanced technologies, such as intelligent sensors, offer new opportunities to monitor and reduce waste generation in production processes (RameshKumar et al., 2020; Kumar et al., 2020).

2.3 International Cooperation

International cooperation and standards are essential in sustainable production and green industrial transformation (Sachs et al., 2019). In this context, collaborating at international platforms and developing common standards have the potential to reduce environmental impact and ensure more efficient use of resources (Denters et al., 2023).

Additionally, international standards serve as a guide to achieving sustainability goals. Common standards make it easier for businesses to measure, report, and compare their environmental performance (Ikram et al., 2021). These standards promote sustainability in international trade and cooperation by ensuring reliability and transparency between businesses (Bryndin, 2023).

International cooperation and standards also support policy formulation and implementation for sustainability. Policymakers at national and local levels are guided by setting common goals on international platforms, and the development of more effective policies on sustainability is encouraged (Zarei & Mosavi Madani, 2020).

2.4 Literature Review

Today, sustainability has become an increasingly prioritized issue among the strategic goals of businesses. Especially, the furniture sector has an important role in minimizing environmental impacts such as the use of natural resources, energy consumption and waste management. Sustainability in furniture design processes is based on a holistic approach that

requires consideration of not only environmental factors but also economic and social dimensions. There are various studies in the literature that address the environmental benefits of sustainable production and design as well as its effects on customer satisfaction and operational efficiency. However, no standardized framework has yet been presented on how sustainability attributes should be applied in furniture design processes and how these should be integrated with these attributes into design decisions. In this context, addressing the existing gaps in the sustainability literature is critical for the development of sustainability practices in the furniture industry.

2.4.1 Literature review of previous studies

Suandi et al. (2022) reviewed 137 articles and identified 10 environmental, 17 economic, and 16 social sustainability characteristics in furniture design within the triple bottom-line framework. While environmental attributes were less implemented, social and economic aspects were more common highlighting the need for standardization in sustainability criteria. Ratnasingam and Ioras (2003) emphasized the role of industry liberalization and skilled labor in addressing stagnating productivity in the Asian wooden furniture sector. Similarly, Johann et al. (2022) found that operational and social sustainability practices positively impacted performance and competitiveness in Brazilian furniture companies while environmental practices showed limited effects.

Borowiecki et al. (2022) analyzed the competitive position of Polish small enterprises and developed a sustainable competitiveness model focusing on quality and quantitative measures. Feil et al. (2017, 2022) introduced systems for measuring sustainability in micro and small furniture enterprises identifying deficiencies in environmental aspects such as recycling, energy, and waste management. Hartini et al. (2020) proposed a sustainability index (MSI) using lean manufacturing and sustainability concepts while Michelsen and Fet (2010) presented a three-step method for SMEs to improve environmental performance in their supply chains.

Sustainability studies in the furniture sector require clearer frameworks despite the growing body of research. A bibliometric analysis can identify trends, gaps, and future research directions offering a structured approach to understanding the application of sustainability criteria within the triple bottom line framework.

2.4.2 Bibliometric Analysis

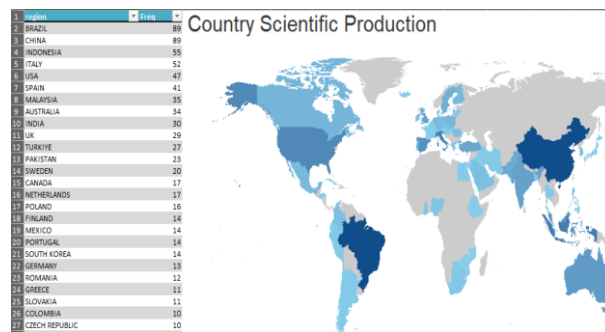
The literature search was conducted in the Scopus database using "Sustainability" and "Furniture" as keywords within titles, abstracts, and keywords. Relevant studies were selected and citation data was analyzed using Bibliometrix software to identify research trends, gaps, and the study's context. This review establishes the knowledge base and framework for the analyses and findings.

Table 1. Main Information

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	2014:2024
Sources (Journals, Books, etc)	158
Documents	245
Annual Growth Rate %	2.92
Document Average Age	4.14
Average citations per doc	12.89

This bibliometric analysis provides valuable insights into research conducted in the field of sustainability and the furniture industry. A total of 245 documents were examined with the contributions of 3 authors between 2014 and 2024. Most of these documents were authored by multiple individuals indicating a collaborative approach in research. The average number of co-authors per document is approximately 2.97 indicates underscoring the prevalence of collaboration. Additionally, the high average citation count per document (12.89) suggests that research in this area is deemed impactful and valuable. The annual growth rate of 2.92% indicates a steady increase in research activity reflecting sustained interest in sustainability and the furniture industry. However, the absence of specific author's keywords and international co-authorship may be considered notable weaknesses suggesting the need for a more comprehensive approach in future research endeavors.

Table 2. Country Scientific Production



Brazil and China are the leading countries in terms of sustainability research output in the furniture industry with 89 and 55 publications, respectively. Indonesia (55), Italy (52), and the USA (47) follow in this regard. Turkiye with 27 publications evinces a growing commitment to this field and the potential to make further contributions through research and innovation.

Despite the valuable insights provided by existing studies, many of them lack structured frameworks and standardized criteria, particularly about the integration of sustainability features into furniture design processes (Feil et al., 2020). This study addresses these gaps by presenting a comprehensive roadmap for the application of sustainability criteria within a triple bottom line framework. By focusing on detailed integration strategies, it offers a novel perspective on sustainability practices in furniture design.

3 Material and Methods

The objective of this study is to evaluate the operational performance of a furniture company. For this purpose, operational data and customer feedback collected in June 2024 were analyzed. The key performance indicators including production quantity, energy consumption and waste output were collected through automated tracking systems ensuring accuracy and real-time capture. Customer satisfaction was evaluated through structured post-purchase surveys targeting customers who had completed transactions within the previous six months.

The analysis identified strengths and weaknesses in areas such as energy efficiency, waste management, and customer satisfaction. Feedback mechanisms including surveys and follow-ups provided actionable insights into product and service quality. The findings will inform strategic improvements and support the company in creating a sustainable growth roadmap.

3.1 Company Information

The implementing company (X) is an enterprise operating in the furniture sector and is mainly known for producing chairs. The company has an annual production capacity of 2000

products with 120 employees and a factory area of 1500 square meters. However, it has been observed that approximately 1500 products are produced per year according to the analysis conducted in the last five years. This shows that the company needs to demonstrate an increasing operational efficiency performance to achieve its targets. Company X continuously strives to increase its operational efficiency and ensure customer satisfaction by adopting a sustainability and quality-oriented approach. These efforts contribute to the company maintaining its strong position in the sector and improving its competitive production capability.

3.2 Data

Table 3 shows the amount of product production, energy consumption, waste, and customer satisfaction rates over the last five periods of the business. This data will be evaluated to analyze the operational performance of the business and determine future strategies.

Table 3. Operational Information

Years	2019	2020	2021	2022	2023
Production Quantity (piece)	1450	1300	1600	1750	1850
Energy Cons. (kWh)	75000	68000	80000	85000	82000
Amount of Waste (tons)	20	15	17	19	20
Customer Sat. %	85	90	88	86	88

The data presented in Table 3 offers insights into the operational performance of the business over the past five years. While these figures provide a valuable foundation for understanding trends in production, energy consumption, waste generation, and customer satisfaction, it is important to recognize the inherent limitations in the data collection process. These limitations may influence the scope and accuracy of the analysis as well as the interpretation of the results. The following section outlines these methodological constraints to provide a clearer understanding of the study's framework and the potential impacts on the findings.

3.3 Methodological limitations

Certain limitations of this study's data collection and analysis methods may affect the scope of the research and the interpretation of its findings. These limitations are outlined below:

3.3.1 Data collection limitations

- **Energy Consumption and Waste Amount:** The energy consumption and waste data were collected through automated monitoring systems installed in the production facilities. While these systems provide high data collection accuracy, they only measure specific time intervals which means they may not capture short-term fluctuations or changes outside of the system's monitoring periods. Additionally, waste categorization relies on waste management software which carries the risk of misclassification.
- **Customer Satisfaction:** Customer satisfaction data were collected via post-purchase surveys. Since participation in these surveys is voluntary, this data collection method may be subject to participant bias. Dissatisfied customers may be less likely to participate, which can cause data to skew toward more positive feedback. Furthermore, the surveys only capture customer perceptions at a specific point in time and may not reflect longer-term satisfaction trends.

3.3.2 Correlation analysis limitations

The study employs correlation analysis to investigate the interrelationships between variables. However, it is essential to recognize that correlation does not imply causation (Smith, 2020; Willett, 2023). The identified correlations elucidate the associations between factors such as production quantity, energy consumption, and customer satisfaction; nevertheless, they do not establish the underlying cause-and-effect relationships. The general formula for calculating the correlation coefficient:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Therefore, caution should be exercised when interpreting these results and further research, potentially involving experimental or longitudinal studies, would be needed to establish causality.

3.3.3 Regression Analysis Limitations

While regression analysis is a valuable tool for understanding relationships between variables, it has certain limitations that should be considered within the formula:

$$Y = \beta^0 + \beta^1 X + \varepsilon$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

- **Model Assumptions:** The fundamental assumption of regression analysis is that the relationship between the dependent and independent variables is linear (Shi & Conrad, 2009). If the relationship between the variables is non-linear, the regression model may prove an inadequate representation of the data (Bates, 1988). In this study, a linear regression model was employed but the potential for non-linear relationships was not investigated.
- **Multicollinearity:** A further potential limitation of regression analysis is multicollinearity which occurs when the independent variables are highly correlated with each other (Daoud, 2017). The presence of multicollinearity can give rise to difficulties in estimating the regression coefficients which may ultimately result in the generation of unreliable results. Despite efforts to minimize multicollinearity, the possibility remains that it may have influenced the results.
- **Data Quality and Outliers:** The accuracy of the regression model can be affected by the presence of outliers or extreme data points (Li et al, 2024). Despite efforts to clean the data, outliers may still influence the regression results and affect the overall model's robustness. Identifying and handling outliers more effectively could enhance the model's accuracy.

By acknowledging these limitations, the study provides a more transparent and nuanced understanding of its findings guiding future research and practical applications in the field of sustainability management.

4 Evaluation of data

The data collection process was carefully planned and conducted through specialized systems.

- **Energy Consumption:** Real-time data were gathered using automatic monitoring systems in production facilities, tracking energy usage on a machine basis and identifying inefficiencies through monthly trend analysis.

- Waste Amount: Waste data were categorized by type (e.g., metal, plastic, wood) using waste management software and digital weighing systems ensuring accurate daily, weekly, and monthly reports.
- Customer Satisfaction: Feedback was collected via post-purchase surveys using a 5-point Likert scale to evaluate product quality, delivery time, and customer service. Responses were analyzed using an automated platform for consistency and reliability.

Data collection began in 2019 in line with the company's sustainability and digital sales strategies, and a comprehensive trend analysis was provided. Production generally increased from 2019 to 2023 except for a decline in 2020 due to the COVID-19 pandemic. In 2023, energy consumption decreased due to the adoption of energy-efficient lighting. Regression analysis (Table 4.) was employed to quantify relationships between variables and forecast trends providing valuable insights for strategic decision-making (Mooi et al., 2018).

Table 4. Regression Results

Dep. Variable:	energy consump.			R-squared:	0.937	
Model:	OLS			Adj. R-squared:	0.912	
Method:	Least Squares			F-statistic:	37.21	
Date:	Mon, 25 Apr 2024			Prob (F-statistic):	0.00946	
Time:	00:00:00			Log-Likelihood:	-37.586	
No. Observations:	5			AIC:	79.17	
Df Residuals:	3			BIC:	78.05	
Df Model:	1			Covariance Type:	nonrobust	
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	5.037e+04	1.17e+04	4.304	0.021	1.34e+04	8.74e+04
production	22.4156	3.673	6.102	0.009	11.528	33.303
Omnibus:	nan			Durbin-Watson:	1.852	
Prob(Omnibus):	nan			Jarque-Bera (JB):	0.609	
Skew:	0.000			Prob(JB):	0.739	
Kurtosis:	1.500			Cond. No.:	1.42e+04	

The regression results indicate the R-squared value is 0.937 indicating that the amount of production explains a large part of the variability in energy consumption. Moreover, the coefficient for the Quantity of Production is statistically significant ($p < 0.05$) indicating the quantity of production significantly impacts energy consumption. An increase in production quantity leads to an increase in energy consumption. This shows that the enterprise's energy needs also increase with the increase in production, and energy efficiency measures should be reviewed. According to the results of the regression analysis, it was necessary to look at the relationships between the amount of production and other variables and between the other variables themselves. For this, the correlation matrix was used.

Correlation analysis is essential for understanding the relationship between two or more variables (Cohen et al., 2013). It helps to determine whether and how strongly variables are related to each other. We can identify patterns, dependencies, and associations between different factors by examining correlations. Businesses can make strategic decisions by determining the relationships between variables through correlation analysis (Nicholas & Hilary, 2016). According to these results,

Table 5. Correlation Matrix

	Years	Quantity	Energy C.	Waste	Customer S.
Years	1.000000	0.890588	0.734770	0.291730	0.162221
Quantity	0.890588	1.000000	0.928794	0.654724	-0.277387
Energy C.	0.734770	0.928794	1.000000	0.639606	-0.480627
Waste	0.291730	0.654724	0.639606	1.000000	-0.792691
Customer Sat.	0.162221	-0.277387	-0.480627	-0.792691	1.000000

Correlations between Production Quantity and Other Variables

Production Quantity and Energy Consumption ($r=0.93$): The strong positive correlation (0.93) between production and energy consumption indicates that higher production leads to significant energy use, increasing costs and environmental impact. Adopting energy-efficient production methods such as optimizing machinery, using renewable energy, and implementing smart energy management systems can reduce energy consumption while maintaining production levels.

Production Quantity and Waste Quantity ($r=0.65$): A moderate positive correlation (0.65) suggests that increased production generates more waste. Strategies like lean manufacturing, recycling, and reusing by-products can minimize waste lowering costs and environmental impact while enhancing operational efficiency.

Production Quantity and Customer Satisfaction ($r=-0.28$): The weak negative correlation (-0.28) suggests that higher production may slightly decrease customer satisfaction due to quality or service issues. To address this, the company should maintain product quality and customer service standards through better quality control and streamlined processes.

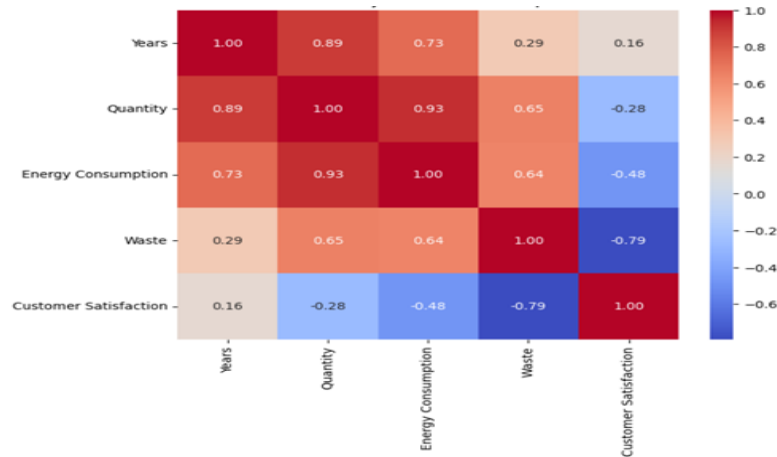
These findings highlight the interconnectedness of production, energy consumption, waste generation, and customer satisfaction. Strategic management of these factors can optimize processes, reduce environmental impact, and improve customer satisfaction.

Correlations between Other Variables

Energy Consumption and Waste Amount ($r=0.64$): The moderately positive correlation (0.64) suggests that higher energy consumption leads to increased waste generation highlighting inefficiencies in the production process. Adopting energy-efficient technologies and waste-reducing strategies can address this issue improving sustainability performance.

Energy Consumption and Customer Satisfaction ($r=-0.48$): The moderate negative correlation (-0.48) indicates that high energy consumption may reduce customer satisfaction possibly due to higher costs or environmental concerns. Implementing energy-saving measures and renewable energy sources can enhance the company's environmental image and appeal to eco-conscious customers.

Waste Amount and Customer Satisfaction ($r=-0.79$): The strong negative correlation (-0.79) reveals that waste generation significantly reduces customer satisfaction as modern consumers expect environmentally responsible practices. Strategies like recycling, using recyclable materials, and minimizing waste in production can improve brand reputation, reduce costs, and increase customer loyalty. These findings emphasize the need for integrated strategies to optimize energy use, reduce waste, and enhance customer satisfaction.



Graph.1. Correlation Matrix Heatmap

The correlation heatmap indicates a robust positive correlation between production and energy consumption ($r = 0.93$) and a moderate correlation with waste generation ($r = 0.65$). A strong negative correlation is observed between waste generation and customer satisfaction ($r = -0.79$) while a moderate negative correlation is evident between energy consumption and customer satisfaction ($r = -0.48$). These findings underscore the necessity of adopting sustainable production practices particularly about energy usage and waste management.

4.1 Discussion of results

The correlation analysis offers valuable insights into the company's production, energy consumption, waste generation, and customer satisfaction guiding strategic improvements for enhanced operational performance and sustainability.

The strong positive correlation between production and energy consumption (0.93) indicates that higher production levels are associated with increased energy use which is in accordance with the findings of Dell'Anna (2021) and Song et al. (2023). These studies emphasize the significance of energy efficiency in sustainable production. To address this issue, it would be prudent for the company to adopt energy-efficient methods such as optimizing machinery and utilizing renewable energy sources with a view to reducing costs and mitigating environmental impact.

Similarly, the moderate positive correlation between production and waste generation (0.65) indicates that increased production is associated with an increase in waste. This highlights the necessity for waste minimization strategies such as lean manufacturing and recycling in line with the findings of Luthra et al. (2022) and Simon et al. (2021) who stress the significance of effective waste management for sustainability.

The weak negative correlation between production and customer satisfaction (-0.28) indicates that higher production levels may have a detrimental impact on the quality of goods or services provided. Schiano et al. (2020) and Rustam et al. (2020) posit that sustainable production practices are pivotal for the maintenance of customer satisfaction and loyalty. Therefore, it is recommended that the company should focus on maintaining quality and streamlining production to ensure customer satisfaction as production scales.

Furthermore, the moderate negative correlation between energy consumption and customer satisfaction (-0.48) indicates that elevated energy utilization results in increased operational expenses which may have a detrimental impact on customer perceptions. The implementation of energy-saving measures can facilitate the enhancement of the company's environmental image and customer satisfaction as proposed by Singh et al. (2020).

The robust negative correlation between waste and customer satisfaction (-0.79) underscores the significance of efficacious waste management. Consumers are becoming increasingly aware of the environmental impact of products as observed by Schiano et al. (2020). Therefore, it is recommended that the company should give priority to recycling, the use of recyclable materials and the minimization of waste to align its activities with customer expectations and enhance its brand reputation.

These findings identify key areas for enhancing the company's sustainability efforts and operational performance. The company can maintain a competitive advantage and strengthen both its operational and sustainability performance as recommended in the literature by prioritizing energy efficiency, waste reduction, and customer satisfaction, (Dell'Anna, 2021; Luthra et al., 2022).

5 Conclusion and Recommendations

This study evaluated the relationships between production, energy consumption, waste generation, and customer satisfaction in a furniture manufacturing context, identifying key areas for improving sustainability and operational performance. The findings underscore the following:

Energy consumption and production: A strong positive correlation highlights the need for energy-efficient production methods to reduce costs and environmental impact.

Waste management: Increased production is moderately correlated with waste generation, highlighting the importance of waste minimization strategies such as recycling and lean manufacturing.

Customer satisfaction: The study found that higher energy consumption and waste generation negatively affect customer satisfaction, highlighting the importance of aligning operational practices with customer expectations.

Based on these findings, the following strategies are recommended to improve the company's sustainability and competitiveness:

- Stakeholder engagement: Actively engage stakeholders through consultations and feedback systems to align business practices with sustainability goals (Silva et al., 2019; Özözen, 2024).
- Regulatory compliance: Developing internal mechanisms to ensure compliance with global and local sustainability standards (Vigneau et al., 2015).
- Circular economic principles: Implement closed-loop production systems that focus on waste reduction, recycling, and sustainable design (Burke et al., 2023; Şenkal, 2023).
- Green innovation: Establish a green innovation fund to support sustainable materials and energy efficient technologies (Singh et al., 2020).

By systematically addressing these priorities, companies can achieve both environmental and economic sustainability while maintaining a competitive edge in the furniture industry.

Author Contribution

M. Paşa Gültaş: Conceptualization, Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Validation, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing.

Declaration of financial support

No financial support was received.

Conflict of interest

There is no conflict of interest between the authors.

References

- Akhtar, T., Rehman, A., Jamil, M., & Gilani, S. O., (2020). Impact of an energy monitoring system on the energy efficiency of an automobile factory: A case study, *Energies*, 13(10), 2577. DOI: [10.3390/en13102577](https://doi.org/10.3390/en13102577)
- Appolloni, A., Jabbour, C. J. C., D'Adamo, I., Gastaldi, M., & Settembre-Blundo, D., (2022). Green recovery in the mature manufacturing industry: The role of the green-circular premium and sustainability certification in innovative efforts, *Ecological Economics*, 193, 107311, DOI: [10.1016/j.ecolecon.2021.107311](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107311)
- Barbosa, M., Castañeda-Ayarza, J., & Ferreira, D. H. L., (2020). Sustainable strategic management (GES): Sustainability in small business, *Journal of Cleaner Production*, 258, 120880. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.120880](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120880)
- Bates, D. M., & Watts, D. G., (1988). *Nonlinear regression analysis and its applications*, V. 2, pp. 52-60. New York: Wiley.
- Belkhir, L., & Elmeligi, A., (2019). Carbon footprint of the global pharmaceutical industry and relative impact of its major players, *Journal of Cleaner Production*, 214, 185-194.
- Borowiecki, R., Siuta-Tokarska, B., Janas, M., Kruk, S., Krzemiński, P., Thier, A., & Źmija, K., (2022). The competitive position of small business furniture industry enterprises in Poland in the context of sustainable management: Relationships, interdependencies, and effects of activities, *Sustainability*, 14(15), 9368. DOI: [10.3390/su14159368](https://doi.org/10.3390/su14159368)
- Boz, Z., Korhonen, V., & Koelsch Sand, C., (2020). Consumer considerations for the implementation of sustainable packaging: A review, *Sustainability*, 12(6), 2192, DOI: [10.3390/su12062192](https://doi.org/10.3390/su12062192)
- Brown, M. A., Hubbs, J., Gu, V. X., & Cha, M. K., (2021). Rooftop solar for all: Closing the gap between the technically possible and the achievable, *Energy Research & Social Science*, 80, 102203. DOI: [10.1016/j.erss.2021.102203](https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102203)
- Bryndin, E., (2023). Transition of countries to currency and trade sustainable international cooperation on the BRICS platform, *Journal of World Economy*, 2(1), 1-6.
- Burke, H., Zhang, A., & Wang, J. X., (2023). Integrating product design and supply chain management for a circular economy, *Production Planning & Control*, 34(11), 1097-1113, DOI: [10.1080/09537287.2021.1983063](https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1983063)
- Chinnathai, M. K., & Alkan, B., (2023). A digital life-cycle management framework for sustainable smart manufacturing in energy-intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, 419, 138259, DOI: [10.1016/j.jclepro.2023.138259](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138259)
- Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S., (2013). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioural sciences*. Routledge.
- Dada, J. T., Adeiza, A., Ismail, N. A., & Arnaut, M., (2022). Financial development–ecological footprint nexus in Malaysia: the role of institutions, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 33(4), 913-937, DOI: [10.1108/MEQ-10-2021-0251](https://doi.org/10.1108/MEQ-10-2021-0251)
- Daoud, J. I., (2017). Multicollinearity and regression analysis, In *Journal of Physics: Conference Series*, 949(1), p. 012009. IOP Publishing.

- Das, S., Lee, S. H., Kumar, P., Kim, K. H., Lee, S. S., & Bhattacharya, S. S., (2019). Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability, *Journal of Cleaner Production*, 228, 658-678, DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.04.323](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.323)
- D'Adamo, I., Mazzanti, M., Morone, P., & Rosa, P., (2022). Assessing the relation between waste management policies and circular economy goals, *Waste Management*, 154, 27-35, DOI: [10.1016/j.wasman.2022.09.031](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.09.031)
- D'Angelo, V., Cappa, F., & Peruffo, E., (2023). Green manufacturing for sustainable development: The positive effects of green activities, green investments and non-green products on economic performance, *Business Strategy and the Environment*, 32(4), 1900-1913, DOI: [10.1002/bse.3226](https://doi.org/10.1002/bse.3226)
- Dell'Anna, F., (2021). Green jobs and energy efficiency as strategies for economic growth and the reduction of environmental impacts. *Energy Policy*, 149, 112031. DOI: [10.1016/j.enpol.2020.112031](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112031)
- Denters, E., Ginther, K., & De Waart, P. J. (Eds.), (2023). Sustainable development and good governance. Martinus Nijhoff Publishers.
- Ekinci, E., Mangla, S. K., Kazancoglu, Y., Sarma, P. R. S., Sezer, M. D., & Ozbiltekin-Pala, M., (2022). Resilience and complexity measurement for energy efficient global supply chains in disruptive events. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121634.
- Epstein, M. J., (2018). Making sustainability work: Best practices in managing and measuring corporate social, environmental, and economic impacts. Routledge.
- Feil, A.A., de Quevedo, D.M. & Schreiber, D., (2017). An analysis of the sustainability index of micro- and small-sized furniture industries, *Clean Techn Environ Policy* 19, 1883–1896 (2017). DOI: [10.1007/s10098-017-1372-7](https://doi.org/10.1007/s10098-017-1372-7)
- Feil, A. A., Reiter, I. de B., Oberherr, R., Strasburg, V. J., & Schreiber, D., (2022). Analysis and measurement of the sustainability level in the furniture industry, *Environment, Development and Sustainability*, 24(13657–13682). DOI: [10.1007/s10668-021-02010-4](https://doi.org/10.1007/s10668-021-02010-4)
- Hartini, S., Ciptomulyono, U., & Anityasari, M.S., (2020). Manufacturing sustainability assessment using a lean manufacturing tool: A case study in the Indonesian wooden furniture industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(5), 943-971, DOI: [10.1108/IJLSS-12-2017-0150](https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2017-0150)
- Holechek, J. L., Geli, H. M., Sawalhah, M. N., & Valdez, R. (2022). A global assessment: Can renewable energy replace fossil fuels by 2050? *Sustainability*, 14(8), 4792, DOI: [10.3390/su14084792](https://doi.org/10.3390/su14084792)
- Ikram, M., Zhang, Q., Sroufe, R., & Ferasso, M. (2021). Contribution of certification bodies and sustainability standards to sustainable development goals: An integrated grey systems approach, *Sustainable Production and Consumption*, 28, 326-345. DOI: [10.1016/j.spc.2021.05.019](https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.05.019)
- Johann, G. B., Silva, G., Mazzioni, S., & Casagrande, R. M., (2022). Sustainability practices, performance and competitiveness in the export furniture industry management, *Ambiente & Sociedade*, 25, e00292. DOI: [.1590/1809-4422asoc20210029r2r1vu2022L3OA](https://doi.org/1590/1809-4422asoc20210029r2r1vu2022L3OA)
- Kautish, P., & Sharma, R., (2020). Determinants of pro-environmental behavior and environmentally conscious consumer behavior: An empirical investigation from an emerging market, *Business Strategy & Development*, 3(1), 112-127, DOI: [10.1002/bsd2.82](https://doi.org/10.1002/bsd2.82)

- Kumar, M., Xiong, X., Wan, Z., Sun, Y., Tsang, D. C. W., Gupta, J., & Ok, Y. S., (2020). Ball milling as a mechanochemical technology for fabrication of novel biochar nanomaterials, *Bioresource Technology*, 312, 123613, DOI: [10.1016/j.biortech.2020.123613](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123613)
- Li, Q., Gao, J., Beck, J. L., Lin, C., Huang, Y., & Li, H., (2024). Probabilistic outlier detection for robust regression modeling of structural response for high-speed railway track monitoring, *Structural Health Monitoring*, 23(2), 1280-1296, DOI: [10.1177/14759217231184584](https://doi.org/10.1177/14759217231184584)
- Li, J., Chen, S., Wu, Y., Wang, Q., Liu, X., Qi, L., & Gao, L., (2021). How to make better use of intermittent and variable energy? A review of wind and photovoltaic power consumption in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110626, DOI: [10.1016/j.rser.2020.110626](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110626)
- Lu, Y., Khan, Z. A., Alvarez-Alvarado, M. S., Zhang, Y., Huang, Z., & Imran, M., (2020). A critical review of sustainable energy policies for the promotion of renewable energy sources, *Sustainability*, 12(12), 5078, DOI: [10.3390/su12125078](https://doi.org/10.3390/su12125078)
- Luthra, S., Sharma, M., Kumar, A., Joshi, S., Collins, E., & Mangla, S., (2022). Overcoming barriers to cross-sector collaboration in circular supply chain management: A multi-method approach, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 157, 102582, DOI: [10.1016/j.tre.2021.102582](https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102582)
- Ma, S., Zhang, Y., Liu, Y., Yang, H., Lv, J., & Ren, S., (2020). Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries, *Journal of Cleaner Production*, 274, 123155, DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.123155](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123155)
- Madah, N. A., (2023). The impact of green manufacturing strategies on organization competitive performance: A comparative study of opinions of a sample of departments operating in (Northern Cement Associate) and (Southern Cement State), *International Journal of Professional Business Review*, 8(5), 19, DOI: [10.26668/businessreview/2023.v8i5.1532](https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i5.1532)
- Michelsen, O., & Fet, A. M., (2010). Using eco-efficiency in sustainable supply chain management: A case study of furniture production, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12, 561–570. DOI: [10.1007/s10098-010-0221-6](https://doi.org/10.1007/s10098-010-0221-6)
- Mooi, E., Sarstedt, M., & Mooi-Reci, I. (2018). *Regression analysis*. Springer.
- Nicholas, A. I., & Hilary, A. C., (2016). Understanding the impact of regression and correlation analysis in enhancing decision making, *International Journal of Marketing and Technology*, 6(11), 17-34.
- Nižetić, S., Djilali, N., Papadopoulos, A., & Rodrigues, J. J. P. C., (2019). Smart technologies for promotion of energy efficiency, utilization of sustainable resources, and waste management, *Journal of Cleaner Production*, 231, 565-591, DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.04.397](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.397)
- Özözen S., (2024). Türkiye'nin mobilya sektöründe uluslararası rekabet gücü: seçilmiş ülkeler ile karşılaştırmalı analiz, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi* 7(1), 107-120. DOI: [10.33725/mamad.1483546](https://doi.org/10.33725/mamad.1483546)
- Rameshkumar, S., Shaiju, P., & O'Connor, K. E., (2020). Bio-based and biodegradable polymers-state-of-the-art challenges and emerging trends, *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 21, 75-81.

- Ratnasingam, J., Ioras, F., (2003) The sustainability of the Asian wooden furniture industry, *Holz Roh Werkst* 61, 233–237. DOI: [10.1007/s00107-003-0382-9](https://doi.org/10.1007/s00107-003-0382-9)
- Rodriguez, J., & Fumo, N., (2021). Zoned heating, ventilation, and air-conditioning residential systems: A systematic review, *Journal of Building Engineering*, 43, 102925, DOI: [10.1016/j.jobe.2021.102925](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102925)
- Rustam, A., Wang, Y., & Zameer, H., (2020). Environmental awareness, firm sustainability exposure, and green consumption behaviors, *Journal of Cleaner Production*, 268, 122016, DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.122016](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122016)
- Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., & Rockström, J., (2019). Six transformations to achieve the sustainable development goals, *Nature Sustainability*, 2(9), 805-814. DOI: [10.1038/s41893-019-0352-9](https://doi.org/10.1038/s41893-019-0352-9)
- Schiano, A. N., Harwood, W. S., Gerard, P. D., & Drake, M. A., (2020). Consumer perception of the sustainability of dairy products and plant-based dairy alternatives, *Journal of Dairy Science*, 103(12), 11228-11243, DOI: [10.3168/jds.2020-18406](https://doi.org/10.3168/jds.2020-18406)
- Shi, R., & Conrad, S. A., (2009). Correlation and regression analysis, *Ann Allergy Asthma Immunol*, 103(4), S34-S41.
- Silva, S., Nuzum, A. K., & Schaltegger, S., (2019). Stakeholder expectations on sustainability performance measurement and assessment: A systematic literature review, *Journal of Cleaner Production*, 217, 204-215, DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.01.203](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.203)
- Simon, N., Raubenheimer, K., Urho, N., Unger, S., Azoulay, D., Farrelly, T., & Weiland, L., (2021). A binding global agreement to address the life cycle of plastics, *Science*, 373(6550), 43-47, DOI: [10.1126/science.abi9010](https://doi.org/10.1126/science.abi9010)
- Singh, S. K., Del Giudice, M., Chierici, R., & Graziano, D., (2020). Green innovation and environmental performance: The role of green transformational leadership and green human resource management, *Technological Forecasting and Social Change*, 150, 119762, DOI: [10.1016/j.techfore.2019.119762](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119762)
- Smith, A. G. (2020). Correlation does not imply causation. Bradford Hill, Causative Inference, and Obesity-Related Neuropathy. *In Mayo Clinic Proceedings*, 95(7), 1306-1310, DOI: [10.1016/j.mayocp.2020.05.017](https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.05.017)
- Song, M., Zheng, H., & Shen, Z., (2023). Whether the carbon emissions trading system improves energy efficiency—Empirical testing based on China's provincial panel data, *Energy*, 275, 127465, DOI: [10.1016/j.energy.2023.127465](https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127465)
- Suandi, M. E. M., Amlus, M. H., Hemdi, A. R., Rahim, S. Z. A., Ghazali, M. F., & Rahim, N. L., (2022). A review on sustainability characteristics development for wooden furniture design, *Sustainability*, 14(14), 8748. DOI: [10.3390/su14148748](https://doi.org/10.3390/su14148748)
- Sun, Y., Gao, P., Tian, W., & Guan, W., (2023). Green innovation for resource efficiency and sustainability: Empirical analysis and policy, *Resources Policy*, 81, 103369. DOI: [10.1016/j.resourpol.2023.103369](https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103369)
- Şenkal, H., (2023), Mobilya endüstrisinde döngüsel ekonomiye geçiş: Değerlendirme yaklaşımı, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 6 (2), 146-161, DOI: [10.33725/mamad.1316221](https://doi.org/10.33725/mamad.1316221)
- Tennison, I., Roschnik, S., Ashby, B., Boyd, R., Hamilton, I., Oreszczy, T., & Eckelman, M. J. (2021). Health care's response to climate change: A carbon footprint assessment of the

- NHS in England. *The Lancet Planetary Health*, 5(2), e84-e92. DOI: [10.1016/s2542-5196\(20\)30271-0](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(20)30271-0)
- Xiong, X., Ma, Q., Wu, Z., & Zhang, M. (2020). Current situation and key manufacturing considerations of green furniture in China: A review, *Journal of Cleaner Production*, 267, 121957, DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.121957](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121957)
- Willett, C. L. (2023). *Why Correlation Doesn't Imply Causation: Improving Undergraduates Understanding of Research Design* (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).
- Vertakova, Y. V., & Plotnikov, V. A. (2019). The integrated approach to sustainable development: The case of energy efficiency and solid waste management, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(4), 194-201, DOI: [10.32479/ijeep.8009](https://doi.org/10.32479/ijeep.8009)
- Vigneau, L., Humphreys, M., & Moon, J. (2015). How do firms comply with international sustainability standards? Processes and consequences of adopting the global reporting initiative, *Journal of Business Ethics*, 131, 469-486, DOI: [10.1007/s10551-014-2278-5](https://doi.org/10.1007/s10551-014-2278-5)
- Zarei, S., & Mosavi Madani, N., (2020). International cooperation for environmental protection in the 21st century, *CIFILE Journal of International Law*, 1(2), 1-7. DOI: [10.30489/cifj.2020.210212.1010](https://doi.org/10.30489/cifj.2020.210212.1010)
- Zhao, L., Chau, K. Y., Tran, T. K. S., Xuyen, N. T. M., & Phan, T. T. H., (2022). Enhancing green economic recovery through green bonds financing and energy efficiency investments, *Economic Analysis and Policy*, 76, 488-501, DOI: [10.1016/j.eap.2022.08.019](https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.08.019)



Effects of utilizing olive pits and waste melamine-impregnated paper in particleboard manufacturing on board properties

İbrahim Halil Başboğa^{1*}, Sefer Budak¹, Emre Karatağ¹, Doğan Memiş¹

ABSTRACT: The demand for wood and wood-based products continues to rise steadily with the growth of the global population. Medium-density fiberboard (MDF), particleboard, and oriented strand board (OSB) are among the most sought-after materials. This increasing demand necessitates the more rational and sustainable utilization of forest resources. This study aimed to investigate the effects of replacing core layer particles with olive pit residues in particleboard production on the boards' physical properties. Additionally, waste melamine-impregnated paper (MIP), a by-product of the wood-based panel industry, was evaluated as an adhesive to determine its impact when combined with olive pits in particleboard production. Olive pits were incorporated into the core layer in five different proportions, and MIP was used exclusively as an adhesive at a fixed ratio of 25%. The particleboards' physical and mechanical properties were analyzed per the relevant TS EN standards. The results indicated that while the incorporation of olive pit residues improved the physical properties of the boards, a decline in their mechanical properties was observed. Consequently, it was concluded that blending olive pit residues with conventional core layer particles would be a more suitable approach rather than using them as a sole replacement.

Keywords: Olive pit, MIP waste, Particleboard, Physical properties

Yongalevha üretiminde zeytin çekirdeği ve atık melamin emdirilmiş kağıt kullanımının levha özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi

ÖZ: Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte ahşap ve ahşap bazlı ürünlere olan ilgi ve ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Artan ihtiyaçlar doğrultusunda en çok talep gören ürünlerin başında orta yoğunluklu lif levha (MDF), yonga levha ve yönlendirilmiş yonga levha (OSB) en çok aranan malzemeler arasındadır. Artan bu talepler orman kaynaklarının daha akılcı ve sürdürülebilir kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, yonga levha üretiminde çekirdek katman parçacıklarının zeytin çekirdeği artıkları ile değiştirilmesinin levhaların fiziksel özellikleri üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra yine bir ahşap bazlı levha sektörü üretim atığı olan atık melamin emdirilmiş kağıtları (MEK) çalışma kapsamında tutkal olarak değerlendirilerek zeytin çekirdeği ile birlikte yonga levha üretiminde kullanılmasının etkileri araştırılmıştır. Çekirdek tabakasına beş ayrı oranda zeytin çekirdekleri katılmış, yapıştırıcı olarak sadece atık MEK sabit %25 oranında kullanılmıştır. Yonga levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri ilgili TS EN standartlarına göre analiz edilmiştir. Çalışmanın çıktısı olarak zeytin çekirdeği atıklarının kullanımı ile levhaların fiziksel özellikleri iyileşirken mekanik özelliklerinde azalmalar söz konusu olmuştur. Sonuç olarak sadece zeytin çekirdeği atıkları orta tabaka yongası olarak kullanılması yerine orta tabaka yongaları ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılmasının daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Zeytin çekirdeği, Atık MEK, Yonga levha, Fiziksel özellikler

Article history: Received: 06.12.2024, Accepted: 25.12.2024, Published: 30.12.2024, *e-mail: ibrahim.basboga@btu.edu.tr
Bursa Teknik University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industrial Engineering, Bursa/Türkiye.

To cite: Başboğa, İ.H., Budak, S., Karatağ, & E., Memiş, D., (2024), Effects of utilizing olive pits and waste melamine-impregnated paper in particleboard manufacturing on board properties, *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 7 (2), 266-280, DOI: [10.33725/mamad.1597458](https://doi.org/10.33725/mamad.1597458)

1 Introduction

The demand for wood and wood-based products has been steadily increasing with the growth of the global population. Medium-Density Fiberboard (MDF), particleboard, and Oriented Strand Board (OSB) are among the most sought-after products. This rising demand necessitates the rational and sustainable usage of forest resources. Türkiye ranks fifth globally and third in Europe in particleboard production with an annual production volume of approximately 5 million cubic meters (ORSİAD, 2019). Türkiye imports a significant amount of wood chips from abroad due to its high production levels and the limited availability of domestic raw materials. This reliance on imports not only leads to substantial foreign currency outflows but also poses challenges to the national economy.

The conservation of natural resources and the reduction of carbon footprints have become increasingly important. Recycling waste materials into high-value-added products plays a critical role in achieving these goals. In this context, the reintegration of waste lignocellulosic materials into production processes can contribute to reducing the demand for forest resources to some extent.

The surfaces of the boards are coated with melamine-impregnated paper (MIP) to achieve an aesthetically pleasing appearance during particleboard production. The coating not only enhances the visual appeal of wood-based panels but also minimizes water absorption through the surface, thereby helping to maintain the panel's moisture content. Additionally, it improves the structural properties of the panels and acts as a barrier reducing the release of harmful substances such as formaldehyde and pesticides (Nemli et al., 2005). A medium-sized paper-impregnation factory generates approximately 400 tons of melamine-impregnated paper waste (MIPW) annually during MIP production (Le Fur et al., 2004). Researchers have explored the reutilization of this valuable waste which contains approximately 50–55% adhesive content (Le Fur et al. 2004, Alpár and Winkler 2006, Silva et al. 2012, Ayrılmış, 2012; Çavdar et al., 2013; Başboğa 2018; Sani and Enayati, 2020, Bozkurt et al. 2021; Kutluata et al., 2023; Zhang et al., 2023; Zhuo et al., 2024). Başboğa (2018) and Başboğa et al. (2018) demonstrated in their comprehensive studies that MIPWs could be effectively utilized in particleboard production. However, while the produced boards met or exceeded the mechanical strength requirements specified by standards, their physical properties such as thickness swelling and water absorption failed to meet the standard thresholds.

Global olive oil production is approximately 3.1 million tons annually (IOC, 2021). European Union countries lead global olive oil production with a production volume of around 2 million tons while Türkiye ranks third with an annual output of 227,500 tons (IOC, 2021). Olive oil production generates approximately 30% (Monteiro et al., 2009) to 60% (Valvez et al., 2021) solid waste posing significant storage challenges for producers and contributing to environmental pollution. Moreover, the disposal of these wastes into water or soil can result in severe environmental issues including contamination and increased greenhouse gas emissions (Sharma et al., 2019). Many of these wastes do not have a clear and viable economic recovery. On the other hand, waste management poses a significant challenge due to its high associated costs (Valvez et al., 2021).

Companies often utilize olive pit (OP) waste for electricity and/or thermal energy production due to the high costs associated with advanced technological solutions for waste disposal which require complex chemical processes (Valvez et al., 2021). Researchers are actively exploring alternative methods for repurposing (OP) waste. Some studies have investigated the effects of using OP waste as a lignocellulosic filler in thermoplastic-based composite production (Ayrılmış and Büyüksarı, 2010; Banat and Fares, 2015; Kaya et al.,

2018; Taşdemir and Kaştan, 2021; Jurado-Contreras et al., 2022). A review study highlighted the utilization of OP waste in composite production with various thermoplastics (polystyrene, polylactic acid, polyvinyl chloride, polypropylene, and polycaprolactone), thermosets (phenol-formaldehyde, unsaturated polyester, and epoxy), and rubbers (elastomers) such as acrylonitrile butadiene rubber (Valvez et al., 2021). Additionally, some researchers have focused on evaluating the potential of olive pit waste in cement-bonded particleboard (Aras et al., 2022) and particleboard production (Elbir et al., 2012; Farag et al., 2020; Nemli et al., 2023). Elbir et al. (2012) conducted a study in which olive pits from three different olive species were separately mixed with Maritime pine (*Pinus pinaster*) chips at four different ratios (0%, 5%, 10%, and 15%) to produce single-layer particleboards using urea-formaldehyde-based resin. The results indicated that the groups containing olive pit (OP) waste exhibited better decay resistance compared to the groups without OP waste. Farag et al. (2020) produced single-layer particleboards by combining unsaturated polyester with OP waste at an 80/20 ratio. Their findings demonstrated that the produced particleboards' physical and mechanical properties met European standards' requirements. In another study, Nemli et al. (2023) utilized OP waste at four different ratios (0%, 10%, 20%, and 30%) mixed with White Poplar (*Populus alba* L.) chips to manufacture three-layer particleboards using phenol-formaldehyde-based resin. The OP waste was incorporated only into the core layer. Additionally, OP waste was modified with sodium hydroxide and the effects of this modification were also examined. The study reported that incorporating 10% OP waste resulted in a slight reduction in the mechanical properties of the boards compared to the control group; however, this reduction was not statistically significant. Furthermore, increasing the amount of OP waste improved the physical properties of the boards.

This study aimed to evaluate the effects of incorporating OP waste, mixed with MIP waste and core layer particles, on the properties of three-layer particleboards. Previous studies demonstrated that particleboards produced using MIP waste successfully met the required mechanical properties outlined in standards, but failed to achieve satisfactory physical properties serving as a foundation for this research. Furthermore, the hydrophobic characteristics of OP waste attributed to its oil content and its reported ability to improve the physical properties of particleboards in earlier studies provided additional motivation for this investigation.

2 Materials and Methods

2.1 Materials

In this study, dry wood particle mixtures used in the commercial production of particleboards were obtained from Kastamonu Integrated Wood Industry factories (Balıkesir particleboard facilities) while olive pits were sourced from local olive oil production facilities in Bursa as lignocellulosic raw materials. The wood particles comprised 90% Turkish red pine (*Pinus brutia*) and 10% oak (*Quercus* spp.). Two different particle sizes were employed to produce three-layer particleboards: fine particles (Figure 1a) were used for the surface layers and coarse particles (Figure 1b) for the core layer. Olive pit residues (Figure 1c) were incorporated into the core layer at five different proportions (0%, 25%, 50%, 75%, and 100%) by mixing with the core particles. Waste melamine-impregnated paper (MIP) (Figure 1d) was utilized as the adhesive in board production, and no additional adhesive was used. The impregnation line of the Kastamonu Integrated Adana MDF Plant served as the MIP's supply. Furthermore, no water-repellent chemicals or hardeners were included in the study.

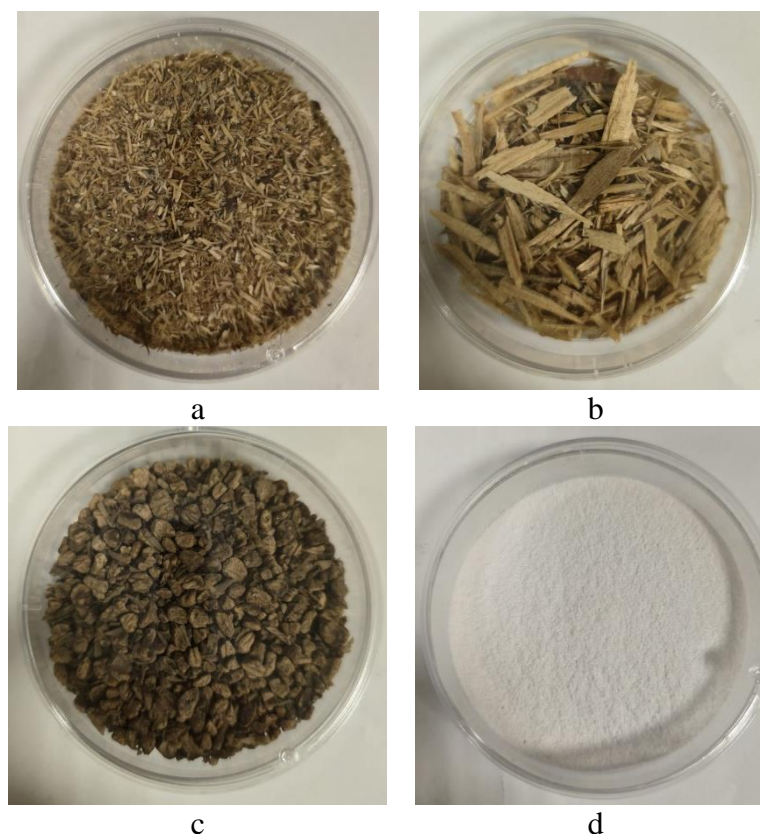


Figure 1. Main materials used in particleboard production: a-) fine particle, b-) coarse particle, c-) olive pit residues, d-) MIP

2.2 Methods

In the study, the moisture contents of the lignocellulosic materials and MIP wastes were first determined. The moisture content of the olive pit (OP) wastes designated as a replacement for core layer particles was approximately 14.93%. The OP wastes were dried at $80 \pm 2^\circ\text{C}$ for 48 hours to reduce this value. Following this treatment, the moisture contents of the OP wastes, coarse particles, fine particles, and MIP wastes utilized in particleboard production were determined to be approximately 4.37%, 3.781%, 4.214%, and 6.539%, respectively.

The melamine impregnation process involves two separate production lines. In the first line, alpha cellulose papers are saturated with adhesive while the surfaces are coated with melamine-formaldehyde adhesive in the second line. The waste MIP used in this study contained approximately 84% urea-formaldehyde adhesive and 16% melamine-formaldehyde adhesive from the first line. In the second line, 100% melamine-formaldehyde adhesive was applied. The waste MIP materials utilized in the study comprised approximately 52% solid adhesive content. Initially, the waste MIP was ground using a pulverizer equipped with a cooling system. Subsequently, the ground material was subjected to dimensional classification using a vibrating sieve. For the study, only MIP particles that passed through a 0.3 mm sieve but were retained on a 0.2 mm sieve were used. The composition in the core and surface layers based on the overall panel weight contained 25% MIPW which was reported as the best usage ratio in a previous study (Başboğa, 2018). The production formulation is presented in Table 1. In the scope of this study, only core layer particles were mixed with OP residues at specific ratios. Therefore, the production table includes only the variation rates of core layer particles.

Table 1. Content of the core layer particles

ID	Wood Particle Mixtures (%)	Olive Pits (%)
OP0	100	0
OP25	75	25
OP50	50	50
OP75	25	75
OP100	0	100

In the particleboard, the face layers constitute 33% of the total panel weight while the core layer accounts for 67%. The target density in the production of the panels was set at 700 kg/m³. The particles, OP and MIP wastes were dry-mixed in a high-intensity mixer to achieve a homogeneous blend. The obtained mixtures were laid into the frame of 350 mm X 300 mm by the production formula. The particleboards were produced using a Cemil Usta hot press with a pressure range of 50-80 Bar. The target thickness of the boards was set at 13 mm. The pressing process was carried out at a temperature of 190 °C for 240 seconds. The particleboards were conditioned at 20 °C and 65% relative humidity after pressing. The boards were trimmed on all four edges following the conditioning process. Test samples were then prepared in accordance with the relevant standards. Five different particleboard groups were produced for the study with each group consisting of three layers (two surface layers and one core layer). Two particleboards were produced for each group and five samples from each board were selected for testing to evaluate their properties. Ten samples were tested for each group to assess all the relevant attributes in total. The performance of the specimens was measured in a climate-controlled laboratory.

2.2.1 Determination of physical properties

The physical properties such as density, thickness swelling (TS), and water adsorption (WA) were also measured in compliance with the criteria in the standard. The densities of the boards were determined using the air-dried density method by the TS EN 323 (CEN 1999a) standard. The samples' TS and WA (2h and 24h) properties were determined according to the TS EN 317 standards.

2.2.2 Determination of mechanical properties

The mechanical properties such as bending strength, modulus of elasticity and internal bond strength were determined in accordance with TS EN 310 (CEN 1999b) and TS EN 319 (CEN 1999d), respectively. A Shimadzu AG-IC Universal testing machine was used to evaluate the mechanical properties. In all properties testing, ten samples were checked for each group and five of them were analyzed for each produced panel.

2.2.3 Data analysis

Design-Expert® Version 7.0.3 statistical software program was utilized to determine the interaction of OP rate on physical and mechanical properties of the manufactured board. ANOVA test was performed to determine the effects of the OP amount on the panels' properties. A total of 50 specimens, ten from each group, were experimented with for the physical and mechanical measurements. The effects of olive pit waste amount on

particleboards' physical and mechanical properties produced with waste MIP as an adhesive were investigated.

3 Results and Discussions

The production process was successfully completed using olive pit residues as core layer particles and melamine-impregnated paper wastes as an adhesive. The results of the mechanical and physical tests are summarized in Table 2.

Table 2. Summary of the results of the study

ID	Density (g/cm ³)	IBS (N/mm ²)	BS (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	TS (2h) (%)	TS (24h) (%)	WA (2h) (%)	WA (24h) (%)
OP0	0.683(0.056)*	0.51 (0.14)	10.87 (2.82)	1934 (249)	16.5 (2.38)	18.0 (1.83)	81.5 (13.23)	89.5 (13.18)
OP25	0.695 (0.037)	0.48 (0.22)	7.56 (0.85)	1420 (145)	14.5 (0.58)	16.3 (0.96)	78.8 (8.54)	85.5 (10.38)
OP50	0.690 (0.049)	0.26 (0.13)	5.18 (0.82)	979 (138)	14.5 (1.29)	17.3 (1.50)	76.0 (10.52)	81.8 (9.14)
OP75	0.659 (0.023)	0.10 (0.07)	2.54 (1.39)	466 (308)	12.8 (0.50)	15.8 (1.26)	79.0 (4.24)	83.8 (4.65)
OP100	0.734 (0.036)	0.02 (0.01)	1.50 (0.14)	250 (33)	12.5 (2.08)	16.50 (4.20)	69.8 (5.56)	77.5 (6.03)

*Values in parenthesis are standard deviations.

3.1 Results of physical properties

The density interaction graph for the panel groups is presented in Figure 2. Examining the graph reveals that the density values of the produced board groups are closely aligned. When analyzing the standard deviation values of the obtained density results, it is evident that all board groups exhibit close results. Statistical analysis indicated that the proportion of olive pit (OP) waste usage had no significant effect on the density values ($P = 0.2104$). The produced boards had density values ranging from 0.659 to 0.734 g/cm³.

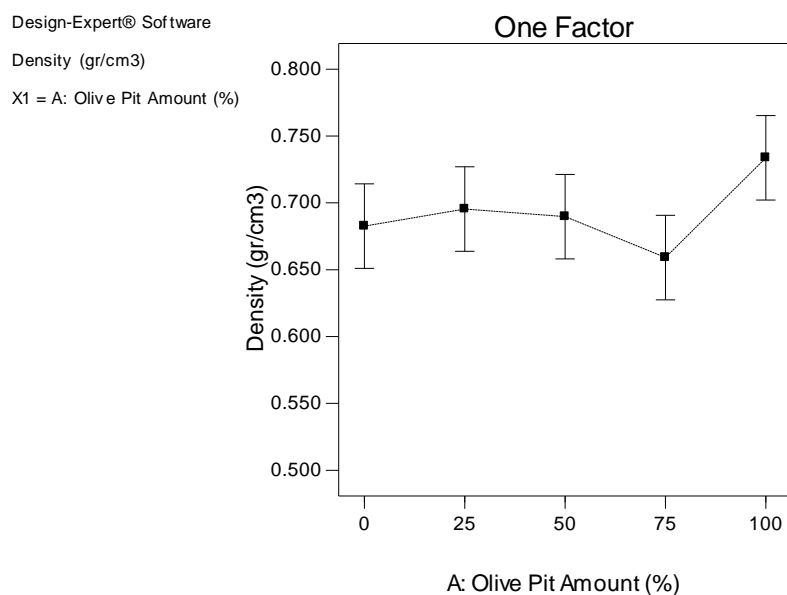


Figure 2. Interaction graph of density properties

The effects of OP waste content on the thickness swelling properties of the boards after 2 hours of water immersion are presented in the interaction graph in Figure 3. Statistical analysis revealed that the OP waste ratio significantly impacted thickness swelling properties (2 hours) ($P = 0.0094$). As the amount of OP wastes in the core layer increased, an improvement in the 2-hour thickness swelling values was observed.

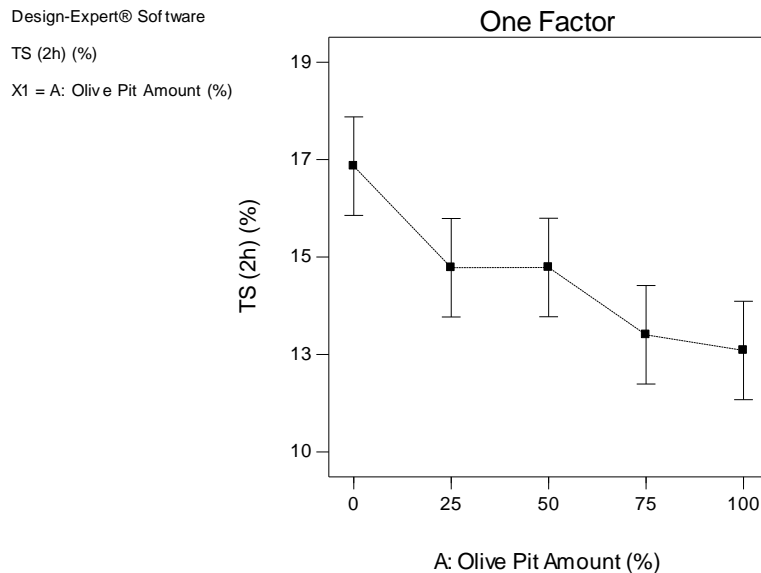


Figure 3. Interaction graph of thickness swelling properties for 2 hours

When testing physical properties such as thickness swelling and water absorption, particleboards typically begin absorbing water from their weakest point, the core layer. Due to their oily nature, OP residues in the core layer exhibited water-repellent characteristics, leading to reduced thickness swelling values. In contrast, wood particles, which have a more fibrous structure and abundant hydroxyl groups, readily bonded with water and absorbed it more easily. Unlike wood particles, olive pits lack these branched structures and have a dense and compact composition which likely contributed to their lower water absorption capacity. Additionally, previous studies have reported that OP waste contains a high concentration of phenolic compounds (Erbil et al., 2012; Nemli et al., 2023) which are known to act as water-repellent chemicals (Cameron and Pizzi, 1986; Baharoğlu et al., 2013). Furthermore, Nasser (2012) noted in his study that the oil compounds present in wood structures form a thin protective layer against water enhancing its moisture resistance. This explains the improvement of boards' thickness swelling properties as the amount of OP wastes increased. The oils within the olive pits further inhibited water penetration into the chips, thereby enhancing the thickness swelling properties. Boards containing 75% and 100% OP wastes demonstrated the best performance in this regard. While the control group failed to meet the maximum thickness swelling requirement of 15% specified for P2 particleboards, all boards containing OP wastes met the standard. The best result was achieved in the OP100 group, which used 100% OP wastes in the core layer, with a thickness swelling value of 12.57%.

The interaction graph in Figure 4 illustrates the effects of OP wastes on the 24-hour thickness swelling properties of the boards. The graph indicates that the boards containing OP wastes performed better thickness swelling than the control group. However, statistical analysis revealed that the ratio of OP wastes had no significant effect on the 24-hour thickness swelling properties ($P = 0.6940$).

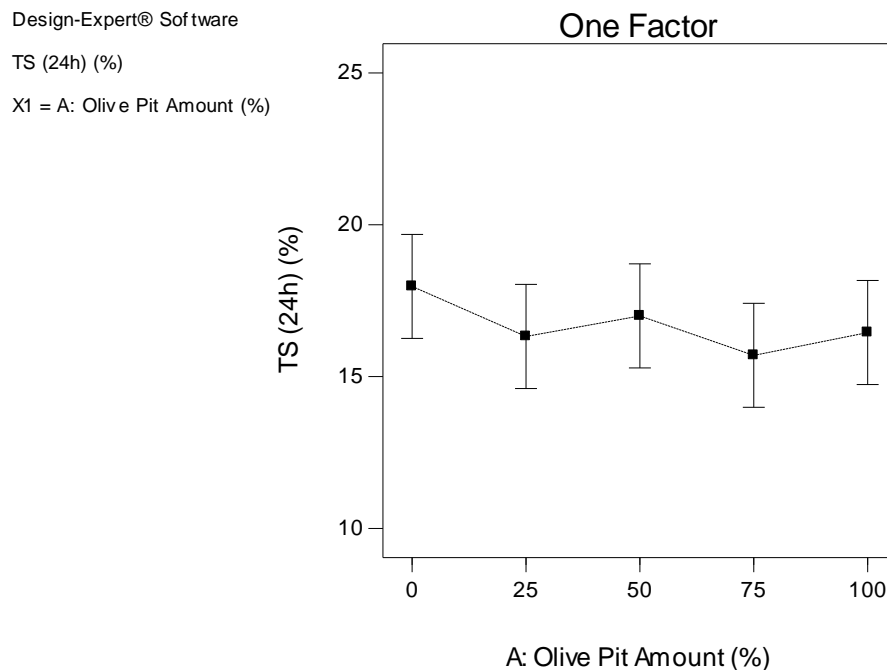


Figure 4. Interaction graph of thickness swelling properties for 24 hours

Although the usage of OP wastes in the core layer reduced the thickness swelling values, the amount of wastes used did not have a statistically significant impact on the 24-hour thickness swelling performance of the boards. Among all groups, the best 24-hour thickness swelling result was observed in the OP75 group where 75% OP wastes were used in the core layer. The thickness swelling value for this group was found to be 15.80%, slightly exceeding the maximum standard requirement of 15% by a margin of 0.80%. Despite this slight deviation, the result is close to the standard and reflects an improvement compared to the control group.

Figures 5 and 6 present the interaction graphs for the water absorption properties of the produced particleboards after 2 hours and 24 hours, respectively. The interaction graph in Figure 4 shows a slight decreasing trend in water absorption values with increasing amounts of OP wastes. However, the standard deviations of the groups indicate that the average water absorption values are within similar ranges. ANOVA analysis revealed that the amount of OP wastes had no statistically significant effect on the 2-hour water absorption properties of the boards ($P = 0.4264$). The boards containing 50% and 100% OP wastes exhibited the lowest water absorption rates. Water absorption increased rapidly during the 2-hour test but the water absorption rate began to slow as the 24-hour test approached completion. This slowdown is attributed to the voids within the boards becoming nearly saturated with water, after this point suggesting that additional water was absorbed primarily by the wood particles. The maximum allowable value specified in the standard for water absorption is 80%. All groups except the control group met this requirement. The best 2-hour water absorption performance was achieved by the OP100 group with a water absorption rate of 69.8%.

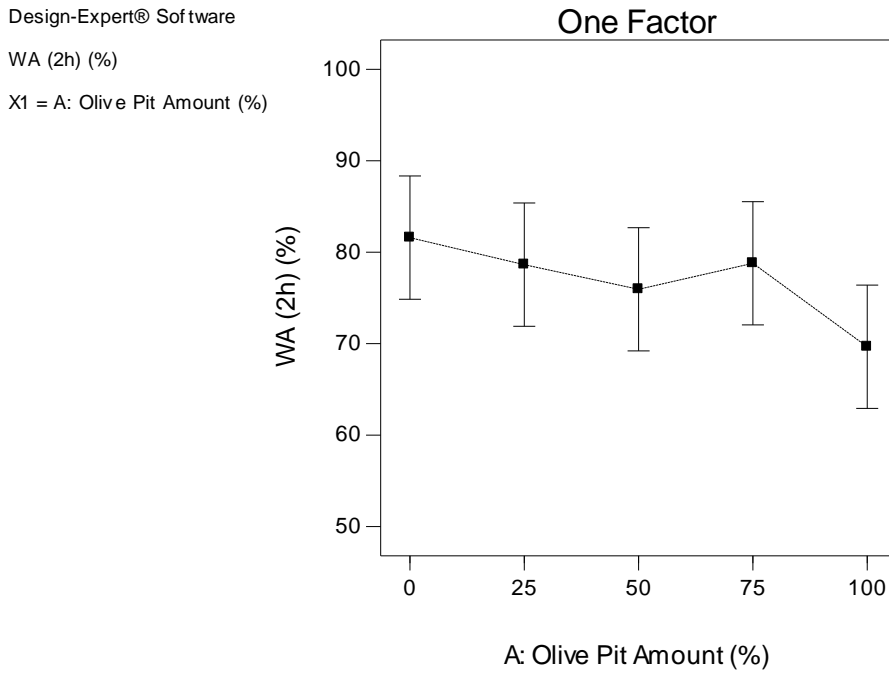


Figure 5. Interaction graph of water absorption properties for 2 hours

An analysis of the 24-hour water absorption properties of the particleboards revealed that the amount of OP wastes had no statistically significant effect on water absorption characteristics ($P = 0.4596$). As the duration of water exposure increased, the water absorption values also showed an upward trend. At the end of the 24-hour exposure period, the particleboard groups absorbed on average 8.6% more water. Among all groups, only the OP100 group demonstrated a water absorption value below the maximum allowable limit of 80%.

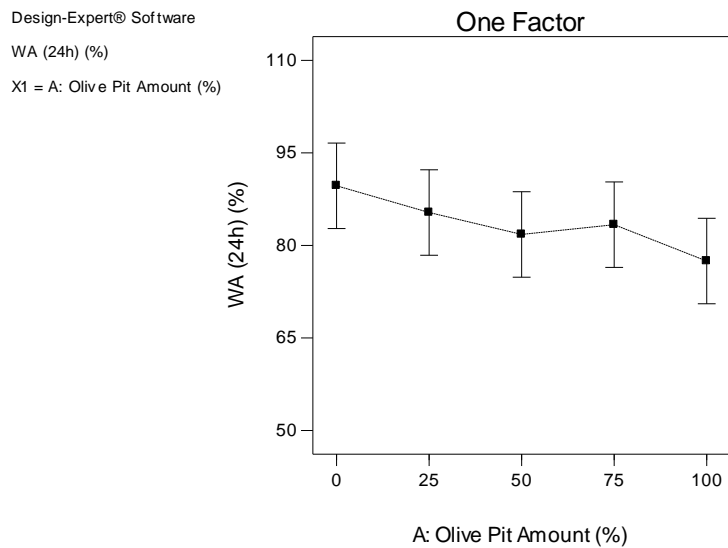


Figure 6. Interaction graph of water absorption properties for 24 hours

3.2 Results of mechanical properties

The interaction graph illustrating the effect of the amount of olive pit (OP) wastes on the internal bond (IB) strength of the particleboards is presented in Figure 7. ANOVA analysis revealed that the amount of OP wastes used in the core layer significantly influenced the IB strength values of the boards ($P < 0.0001$). Results comparable to the control group were obtained when OP wastes were used at a 25% ratio. However, as the amount of OP wastes continued to increase, a notable decrease in IB strength values was observed. This reduction is thought to result from the oils in OP wastes acting as a paraffin-like substance, adversely affecting adhesion strength. In the particleboard industry, paraffin and similar water-repellent chemicals coat the surface of particles hindering adhesive bonding. Excessive usage of such chemicals weakens the IB strength of the panels (Başboğa et al., 2024). A higher adhesive application is required to overcome this issue (Bozkurt and Göker, 1985; Baharoğlu et al., 2014). Weak bonding in the core layer ultimately leads to lower IB strength values.

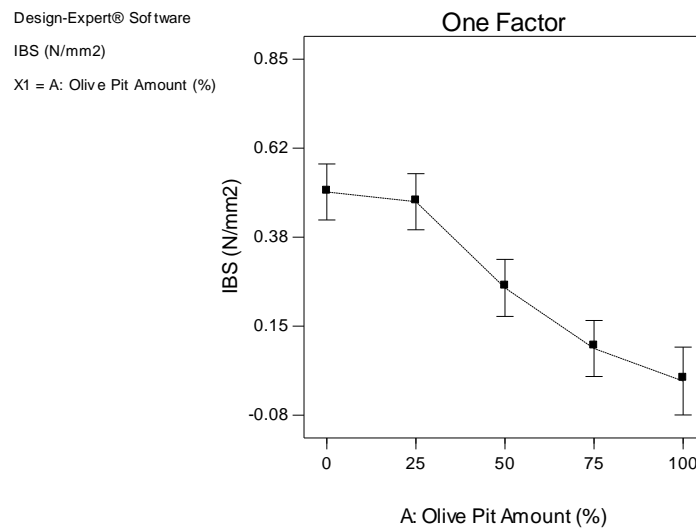


Figure 7. Interaction graph of internal bond strength properties

Furthermore, it is believed that increasing the proportion of olive pit (OP) waste, which possesses a coarser and harder texture compared to the long and soft fibers of core layer wood chips, leads to a more porous structure within the panels. This increased porosity is thought to contribute to the reduction in mechanical properties. Similar findings have been reported in the literature (Aras et al., 2022). Additionally, Cosereanu et al. (2015) stated that particles with a long and slender geometry and uniform structure tend to provide better bonding and a more homogeneous composition. Hashim et al. (2010) also emphasized that chip geometry significantly influences bending strength and internal bond strength. The sharp and coarse geometry of OP waste might have negatively affected the internal bond strength values. Observations in this study are consistent with findings reported in the literature (Nemli et al., 2023).

Among the produced board groups, the highest IB strength values were recorded in the control group and the group containing 25% OP wastes with values of 0.51 N/mm² and 0.48 N/mm², respectively. When the amount of OP wastes increased to 50%, the IB strength decreased by approximately 50% reaching 0.26 N/mm². After incorporating 25% OP wastes, further increases in their proportion resulted in a sharp decline in IB strength values. For particleboards manufactured for general-purpose use under the P2 classification, the standard requirement of 0.35 N/mm² for IB strength was met by the control group and the boards

containing 25% OP wastes. The boards with 50% OP wastes exhibited IB strength values close to the standard threshold.

The interaction graph for the bending strength (BS) (Fig. 8) indicates that the amount of OP waste significantly influenced the BS properties of the particleboards ($P < 0.0001$). As the proportion of OP wastes in the core layer increased, the BS values of the boards showed a marked decline. This reduction is believed to be due to the oils in the olive pits, which act as a paraffin-like substance, hindering adhesion between the particles.

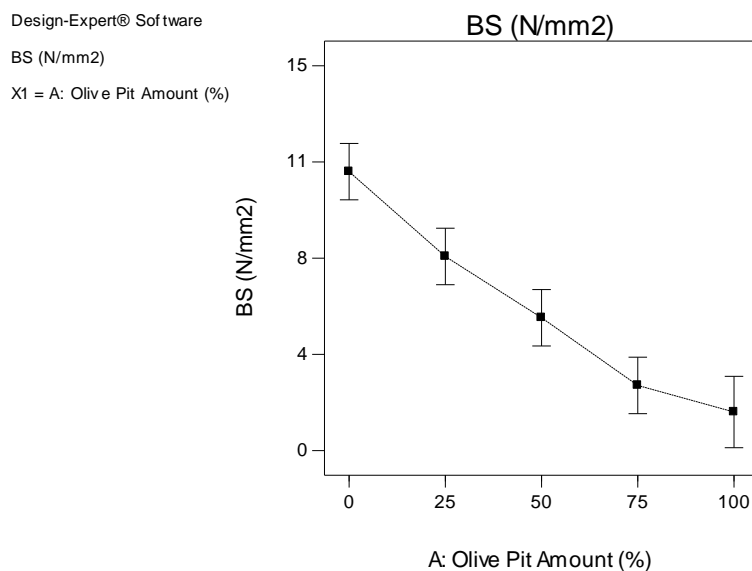


Figure 8. Interaction graph of bending strength properties

Additionally, the structure of wood particles allowed the dry waste MIP powder to adhere more effectively enabling a more uniform and higher-quality mat formation. However, the same performance was not achieved with olive pits which caused difficulties during mat formation. Due to their smaller particle size, the MIP powders tended to separate from the olive pits and settle into the lower layers. This segregation likely contributed significantly to the observed reduction in BS values. The highest BS value was observed in the control group boards with an average of 10.84 N/mm² while the lowest value, 1.50 N/mm², was recorded in boards where 100% OP wastes were used in the core layer. None of the produced board groups met the standard BS requirement of 11 N/mm² for P2 classification particleboards. Moreover, the control group boards exhibited BS values that were very close to the standard requirement.

The interaction graph for the modulus of elasticity (MOE) in Figure 9 shows a clear decrease in MOE values as the proportion of OP wastes in the core layer increased. It was determined that the usage ratio of OP residues affected the MOE values significantly ($P < 0.0001$). Results similar to those observed for the bending strength were noted. Among the produced boards, only the control group met the minimum MOE requirement of 1600 N/mm² specified for P2 general-purpose panels achieving a value of 1934 N/mm². The MOE value measured in boards containing 25% olive pit residue was 1420 N/mm² which is close to the standard.

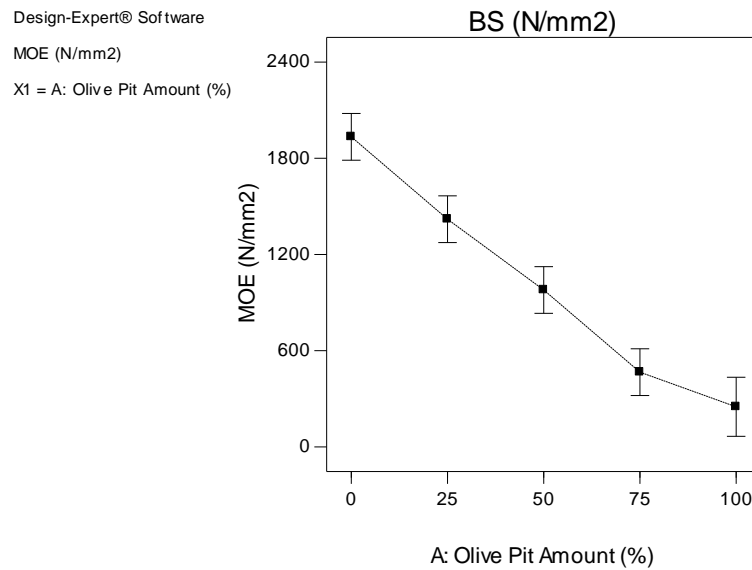


Figure 9. Interaction graph of MOE properties

4 Conclusions and Recommendations

As a result of this study, the production of particleboard groups utilizing olive pit wastes either mixed with core layer particles or used solo with melamine-impregnated paper (MIP) waste serving as an adhesive was successfully achieved. The findings of the study led to the following conclusions:

- The utilization of waste olive pits as a substitute for core layer particles positively influenced the physical properties of the produced boards while adversely affecting their mechanical strength properties.
- Increasing the ratio of waste olive pits particularly improved the thickness swelling characteristics. However, as the ratio of waste olive pits increased, a significant impact on mechanical performance was observed with all measured mechanical properties showing a noticeable decline.

In conclusion, while waste olive pits were successfully utilized alongside MIP waste in particleboard production, it is suggested that using lower proportions of olive pits could enhance the physical properties of the boards while minimizing adverse effects on their mechanical performance.

Acknowledgements

The authors would like to thank Kastamonu Integrated Adana MDF and Balıkesir Particleboard Facility for providing waste melamine-impregnated paper (MIP) and particles, respectively.

Author Contributions

İbrahim Halil Başboğa: Conceptualization, Methodology, Investigation, Data curation, Formal analysis, Validation, Visualization, Resources, Supervision, Writing – original draft. **Sefer Budak:** Conducting the research, Manufacturing panels, Performing the analyses, Resources, Drafting the manuscript. **Emre Karatağ:** Conducting the research, Manufacturing panels, Performing the analyses, Resources, Drafting the manuscript. **Doğan Memiş:**

Conducting the research, Manufacturing panels, Performing the analyses, Mechanical testing, Resources, Drafting the manuscript.

Declaration of financial support

No financial support was received.

Conflict of interest

There are no conflicts of interest among the authors.

References




- Alpár, T., & Winkler, A, (2006). Recycling of impregnated décor paper in particleboard. *Acta Silv. Lign. Hung*, 2(January 2006), 113–116.
- Aras, U., Kalaycıoğlu, H., Yel, H., & Kuştaş, S, (2022). Utilization of olive mill solid waste in the manufacturing of cement-bonded particleboard, *Journal of Building Engineering*, 49, 104055, DOI: [10.1016/j.jobbe.2022.104055](https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104055)
- Ayrılmış, N., & Büyüksarı, U, (2010) Utilization of olive mill sludge in manufacture of lignocellulosic/polypropylene composite, *Journal Material Science*, 45 (5), 1336-1342. DOI: [10.1007/s10853-009-4087-2](https://doi.org/10.1007/s10853-009-4087-2)
- Ayrılmış, N, (2012). Enhancement of dimensional stability and mechanical properties of light MDF by adding melamine resin impregnated paper waste, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Elsevier, 33, 45–49. DOI: [10.1016/j.ijadhadh.2011.11.001](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.11.001)
- Baharoğlu, M., Nemli, G., Sarı, B., Birtürk, T., & Bardak, S, (2013). Effects of anatomical and chemical properties of wood on the quality of particleboard, *Composites Part B: Engineering*, 52, 282-285. DOI: [10.1016/j.compositesb.2013.04.009](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.04.009)
- Baharoğlu, M., Nemli, G., Sarı, B., Ayrılmış, N., Bardak, S., & Zeković, E, (2014). Effect of paraffin application technique on the physical and mechanical properties of particleboard, *Science and Engineering of Composite Materials*, 21(2), 191–195. DOI: [10.1515/secm-2013-0074](https://doi.org/10.1515/secm-2013-0074)
- Banat, R., & Fares, M.M, (2015) Olive oil waste filled high density polyethylene bio-composite: mechanical, morphological and water absorption properties, *Journal of Composite Materials*, 5 (5), 133-141. DOI: [10.5923/j.cmaterials.20150505.05](https://doi.org/10.5923/j.cmaterials.20150505.05)
- Başboğa, İ.H, (2018). Utilization of melamine impregnated paper waste (MIP) in particleboard manufacturing, PhD Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam University.
- Başboğa, İ. H., Atar, İ., Karakuş, K., Yüce, Ö., & Mengeloğlu, F, (2018). Effectiveness of melamine impregnated paper (MIP) waste as an adhesive in particleboard manufacturing, *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(3), 292–303. DOI: [10.17475/kastorman.498896](https://doi.org/10.17475/kastorman.498896)
- Başboğa, İ.H., Varlıbaş Başboğa, H., Taşdemir, Ç., Atar, İ., Yüce, Ö., Karademir, A., & Mengeloğlu, F. (2024). Effects of alkyl-ketene dimer on physical, mechanical and formaldehyde emission properties of particleboard produced with melamine-impregnated paper waste, *Wood Material Science & Engineering*, 19(4), 966-975, DOI: [10.1080/17480272.2024.2338928](https://doi.org/10.1080/17480272.2024.2338928)
- Bozkurt, F., Avcı, B., & Mengeloğlu, F, (2021). Utilization of melamine impregnated paper waste as a filler in thermoplastic composites, *BioResources*, 16(2):3159–3170. DOI: [10.15376/biores.16.2.3159-3170](https://doi.org/10.15376/biores.16.2.3159-3170)

- Bozkurt, Y., & Göker, Y, (1985). Textbook of Particleboard Industry, Istanbul University Press, İstanbul, Türkiye.
- Cameron, F. A., & Pizzi, A, (1986). Tannin-induced formaldehyde release depression in urea-formaldehyde particleboard, *ACS Symposium Series*, 316(15), 198-201. DOI: [10.1021/bk-1986-0316.ch015](https://doi.org/10.1021/bk-1986-0316.ch015)
- CEN (1999a). TS EN 323 Wood- Based panels- Determination of density, Ankara, Türkiye.
- CEN (1999b). TS EN 317 Particleboards and fibreboards- Determination of swelling in thickness after immersion in water, Ankara, Türkiye.
- CEN (1999c). TS EN 310 Wood- Based panels- Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, Ankara, Türkiye.
- CEN (1999d). TS EN 319 Particleboards and fibreboards- Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board, Ankara, Türkiye.
- Cosereanu, C.N., Brenci, L.M.N., Zeleniuc, O.I., & Fotin, A.N, (2015). Effect of particle size and geometry on the performance of single-layer and three-layer particleboard made from sunflower seed husks, *BioResources*, 10(1), 1127-1136.
- Çavdar Dönmez, A., Yel, H., Kalaycıoğlu, H., & Hızıroğlu, S, (2013). Effect of waste melamine impregnated paper on properties of oriented strand board, *Materials and Design*, 51(October 2019), 751–755. DOI: [10.1016/j.matdes.2013.04.052](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.052)
- Elbir, M., Moubarik, A., Rakib, E. M., Grimi, N., Amhoud, A., Miguel, G., Hanine, H., Artaud, J., Vonlout, P., & Mbarki, M, (2012). Valorization of Moroccan olive stones by using it in particleboard panels, *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 14(3), 361-371, DOI: [10.4067/S0718-221X2012005000008](https://doi.org/10.4067/S0718-221X2012005000008)
- Farag, E., Alshebani, M., Elhrari, W., Klash, A., & Shebani, A, (2020). Production of particleboard using olive stone waste for interior design, *Journal of Building Engineering*, 29, 101119, DOI: [10.1016/j.jobbe.2019.10](https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.10)
- Hashim, R., Saari, N., Sulaiman, O., Sugimoto, T., Hızıroglu, S., Sato, M., & Tanaka, R, (2010). Effect of particle geometry on the properties of binderless particleboard manufactured from oil palm trunk, *Materials & Design*, 31(9), 4251-4257, DOI: [10.1016/j.matdes.2010.04.012](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.04.012)
- International Olive Council (IOC), (2021) World olive oil and table olive figures, <https://www.internationaloliveoil.org>
- Jurado-Contreras, S., Navas-Martos, F.J., Rodríguez-Liébana, J.A., Moya, A.J., & La Rubia, M.D, (2022). Manufacture and characterization of recycled polypropylene and olive pits biocomposites, *Polymers*, 14, 4206, DOI: [10.3390/polym14194206](https://doi.org/10.3390/polym14194206)
- Kaya, N., Atagur, M., Akyuz, O., Seki, Y., Sarikanat, M., Sutcu, M., Seydibeyoglu, M.O., & Sever, K, (2018). Fabrication and characterization of olive pomace filled PP composites, *Composites Part B: Engineering*, 150, 277-283. DOI: [10.1016/j.compositesb.2017.08.017](https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.08.017)
- Kutluata, N. Ö., Olgun, Ç., & Gür, M, (2023). A Laboratory trial on the usability of waste impregnated papers in standard quality high density fiberboard (HDF) production, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25(3), 369–377, DOI: [10.24011/barofd.1250747](https://doi.org/10.24011/barofd.1250747)
- Le Fur, X., Galhac, M., Zanetti, M., & Pizzi, A, (2004). Recycling melamine-impregnated paper waste as board adhesives, *Holz als Roh - und Werkstoff*, 62(6), 419–423. DOI: [10.1007/s00107-004-0519-5](https://doi.org/10.1007/s00107-004-0519-5)

- MDF and Particleboard Industrialists Association (ORSİAD), (2019). Board sector analysis. <https://orsiad.com.tr/levha-sektor-analizi.html> Access Date: 03.12.2024
- Monteiro, S., Lopes, F., Ferreira, A., & Nascimento, D, (2009). Natural-fiber polymer-matrix composites: cheaper, tougher, and environmentally friendly, *Journal Material Science*, 61: 17-22, DOI: [10.1007/s11837-009-0004-z](https://doi.org/10.1007/s11837-009-0004-z)
- Nasser, R.A, (2012). Physical and mechanical properties of three-layer particleboard manufactured from the tree pruning of seven wood species, *World Applied Sciences Journal*, 19 (5), 741-753, DOI: [10.5829/idosi.wasj.2012.19.05.2764](https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.19.05.2764)
- Nemli, G., Yildiz, S., & Gezer, E.D. (2005). Effects of melamine raw paper weight, varnish type and the structure of continuous pressed laminate (CPL) on the physical, mechanical properties and decay resistance of particleboard, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 56(3), 166–172. DOI: [10.1016/j.ibiod.2005.07.002](https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.07.002)
- Nemli, G., Aras, U., Kalaycıoğlu, H., & Kuştaş, S, (2023). Potential use of olive stone residues in particleboard production, *Drvna Industrija*, 74(2), 195-203, DOI: [10.5552/drvind.2023.0047](https://doi.org/10.5552/drvind.2023.0047)
- Sani, R.F., & Enayati, A.A, (2020). Reduced use of urea-formaldehyde resin and press time due to the use of melamine resin-impregnated paper waste in MDF, *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, Springer India, 17(1), 100–105, DOI: [10.1007/s13196-020-00261-1](https://doi.org/10.1007/s13196-020-00261-1)
- Sharma, A., Jakhete, A., Sharma, A., Joshi, J. B., & Pareek, V, (2019). Lowering greenhouse gas (GHG) emissions: Techno-economic analysis of biomass conversion to biofuels and value-added chemicals, *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 9(3), 454-473. DOI: [10.1002/ghg.1867](https://doi.org/10.1002/ghg.1867)
- Silva, A.P.L.D., D. Varanda, L., Luis Christoforo, A., & A. Rocco Lahr, F, (2012). Addition of impregnated paper residue to produce MDP wood panel: example of solid waste recycling, *International Journal of Materials Engineering*, 2(6), 75–79. DOI: [10.5923/j.ijme.20120206.01](https://doi.org/10.5923/j.ijme.20120206.01)
- Taşdemir, M., & Kaştan, A, (2021). Zeytin çekirdeği tozu ilave edilmiş polipropilen kompozitinin aşınma ve fiziksel özellikleri, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (2), 568-576.
- Valvez, S., Maceiras, A., Santos, P., & Reis, P.N.B, (2021). Olive stones as filler for polymer-based composites: a review. *Materials*, 14:845. DOI: [10.3390/ma1404084](https://doi.org/10.3390/ma1404084)
- Zhang, Y., Lin, X., Hu, C., & Yun, H, (2023). Activated carbon from melamine-impregnated paper, *BioResources*, 18(1), 1128–1140, DOI: [10.15376/biores.18.1.1128-1140](https://doi.org/10.15376/biores.18.1.1128-1140)
- Zhuo, Z., Li, Y., Liu, P., Sun, T., & Lei, T, (2024). Study on nitrogen migration during co-pyrolysis of melamine-impregnated paper waste and camellia oleifera shell, *Sustainability (Switzerland)*, 16(3). DOI: [10.3390/su16031197](https://doi.org/10.3390/su16031197)



Palmye ağacı yaprak kınlarının kompozit levha üretiminde değerlendirilmesi

Derya Ustaömer¹, Elif Topaloğlu^{2*}, Murat Öztürk³

ÖZ: Bu çalışma kapsamında palmye ağacı gövde kısmına yakın yaprak kınlarının kompozit levha üretiminde değerlendirilme imkânları araştırılmıştır. Kompozit levha üretimi için kullanılacak olan palmye ağacı yaprak kınları bir bıçak yardımıyla gövdeden tek parça halinde kesilmiştir. Levha taslağı içerisinde tabaka olarak kullanılan farklı sayılardaki yaprak kınları ve ticari kayın liflerinden üre formaldehit (ÜF) tutkalı ve parafin kullanılarak beş farklı kompozit levha üretilmiştir. Üretilen bu levha örneklerinin su alma (SA) ve kalınlığına şişme (KŞ) oranları, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri ilgili standartlara göre belirlenmiştir. Kompozit levhayı oluşturan palmye yaprak kını ve kayın liflerinin lif karakteristikleri Franklin maserasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Çalışma sonucunda üretimde kullanılan yaprak kını sayısına göre üretilen kompozit levhaların su alma ve kalınlığına şişme oranlarının kontrol örneğine kıyasla azaldığı, yaprak kınlarının levha taslağında bulunduğu yere göre eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, üretilen bu kompozit levhalar, inovatif yaklaşımlarla tasarım ve dekorasyon amaçlı kullanılabilir gibi mobilya üretiminde hafif ve dayanıklı bir malzeme olarak tercih edilebilir. Ayrıca, suya ve rutubete dayanıklı ortamlarda kullanıma uygun olup panel malzemeler olarak farklı amaçlarla değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: Palmye yaprak kını, kompozit levha, lif, fiziksel özellikler, mekanik özellikler

Evaluation of palm tree leaf sheaths in composite panel production

ABSTRACT: This study investigates the potential use of leaf sheaths from palm trees, located near the trunk, in the production of composite panels. The leaf sheaths intended for composite panel production were cut from the trunk in one piece using a knife. Five different composite panels were produced from different numbers of leaf sheaths used as layers in the panel mat and commercial beech fibers using urea formaldehyde (UF) resin and paraffin. The water absorption (WA) and thickness swelling (TS) rates, modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) values of these produced panel samples were determined according to the relevant standards. The fiber characteristics of the palm leaf sheaths and beech fibers that comprised the composite panel were determined using the Franklin maceration method. The results showed that the water absorption and thickness swelling ratios of the composite panels decreased in comparison to the control sample, depending on the number of leaf sheaths used in production. Additionally, the modulus of rupture and modulus of elasticity values varied based on the location of the leaf sheaths within the panel mat. As a result, these composite panels can be utilized for design and decoration purposes with innovative approaches and can also be preferred as a lightweight and durable material in furniture production. Additionally, they are suitable for use in water and moisture resistant environments and can be evaluated as panel materials for various purposes.

Keywords: Palm leaf sheath, composite panel, fiber, physical properties, mechanical properties

Makale tarihçesi: Geliş:23.10.2024, Kabul:21.12.2024, Yayımlanma:30.12.2024, *e-posta: elif.topaloglu@giresun.edu.tr.

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon/Türkiye,

²Giresun Üniversitesi, Giresun Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Giresun/Türkiye,

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon/Türkiye.

Atıf: Ustaömer D., Topaloğlu E., ve Öztürk M., (2024), Palmye ağacı yaprak kınlarının kompozit levha üretiminde değerlendirilmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 7 (2), 281-292, DOI:[10.33725/mamad.1572441](https://doi.org/10.33725/mamad.1572441)

1 Giriş

Son yıllarda, farklı alanlarda yapılan birçok çalışma ve araştırma açısından atık yönetimi ve sürdürülebilirlik önemli kavramlar olarak dikkat çekmektedir. Biyoatıkların bu anlamda çeşitli sektörlerde kullanılması, bir yandan atıkların etkili şekilde değerlendirilmesini ve çevresel sorunların azaltılmasını sağlarken bir yandan da doğal kaynakların verimli kullanılmasına ve korunmasına katkı sağlamaktadır. Kompozit levha üretiminde, özellikle tarım ve orman kaynaklı biyoatıkların hammadde olarak değerlendirilmesi, bu sektör için tüm endüstrilerde karşılaşılan hammadde probleminin çözümünde alternatif yollardan biridir.

Son 20 yıl içerisinde, kompozit malzemelerin üretiminde cam veya çeşitli geleneksel takviye malzemelerini kullanmak yerine, lignoselülozik doğal liflerin yapısal özelliklerinden faydalanılarak kullanılmasına olan endüstriyel ilgi giderek artmıştır. Doğal liflerle takviyeli kompozitlerin, hızlı parçalanabilirlik, yenilenebilirlik, erişilebilirlik, yüksek özgül özellikleri ile birlikte maliyetinin de düşük olması gibi avantajları bulunmaktadır (Li ve ark., 2020). Kompozit levha üretim sürecinde, yenilenebilir tarımsal bir atık olan palmiye biyokütlesinin kullanılmasının önemi artmaktadır. Bekhta (2023), özellikle yağ palmyesi (oil palm) gövdelerinin önemli atık ürünler arasında kabul edildiğini belirtmektedir. Alhijazi ve ark. (2020), her yıl yapılan palmye hasadı sonrasında dünya çapında tonlarca miktarda biyokütle lifli atık üretildiğini ve bu atık liflerin palmye-doğal lif kompozitlerinin geliştirilmesinde kullanılabildiğini belirtmektedir.

Palmye ailesi (*Arecaceae*), yaklaşık 184 cins ve 2400 tür içermektedir. Çoğu palmye türü, tropikal ve subtropikal bölgelerde özellikle tropikal Asya ve Amerika'da yaygın olup bazı türler ise Afrika'da bulunmaktadır (Zhai ve ark., 2013). Palm yağı, hindistancevizi ürünleri, hurma ve palmye şarabı gibi çeşitli ürünlerin kaynağı olan palmye ağaçları, süs bitkisi olarak da bahçecilikte ve peyzaj düzenlemesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Olotu ve ark. 2024). Palmyeler, sekonder kalınlaşma yapmayan uzun ömürlü bitkilerdir (Merev, 2003). Her yıl, palmye ağaçlarının yapraklarının bir kısmı kurumakta ve bunun sonucunda ağaç gövdesini kavrayan, kaba ve kahverengi yaprak kını liflerinden oluşan bir ağ oluşmaktadır. Palmye ağacı yaprak kını lifi, yüksek dayanıklılık ve mukavemet özellikleri nedeniyle şilteler, kanepeler, deniz ipleri, çuvallar ve geleneksel yağmurluklar gibi çeşitli ürünlerin yapımında kullanılmaktadır (Zhai ve ark. 2013; Li ve ark. 2020).

Yapılan literatür taramalarında, biyokütle atıklarının kompozit levha üretiminde değerlendirilmesi konusunda birçok araştırmanın mevcut olduğu görülmektedir. Özellikle palmye ağacının farklı kısımlarının MDF üretiminde kullanılmasıyla ilgili literatürde araştırmalar bulunmaktadır (Onuorah 2005; Jamaludin ve ark., 2005; Ibrahim ve ark., 2013; Ibrahim ve ark., 2014; Hosseinkhani ve ark., 2014; Jaber ve ark., 2016; Awang ve ark., 2023). Ancak, palmye ağacı yaprak kınlarının kompozit levha üretiminde kullanılması konusunda ise sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Taghiyari ve ark. (2018), Hurma palmyesi (*Phoenix dactylifera* L.) ağacının budama atıklarından elde edilen yaprakları liflendirerek odun liflerine karıştırmış ve karışıma üre formaldehit ve izosiyanat tutkalları ile üç farklı oranda karıştırılan nano-wollastonit ekleyerek ürettikleri orta yoğunluklu lif levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Selvaraj ve ark. (2024), Areca palmyesinin yaprak sapları ve dut liflerinden ürettikleri kompozit malzemenin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Dhakal ve ark. (2018), Hurma palmyesi yaprak kınından elde edilen liflerin kompozit malzemelerde alternatif takviye malzemesi olarak uygunluğunu araştırmışlardır. Bu çalışmanın amacı, palmye ağacı yaprak kınlarının kompozit levha üretiminde atık bir biyokütle olarak kullanım potansiyelini araştırmak ve levha özelliklerindeki etkilerini belirlemektir.

2 Materyal ve Metot

2.1 Materyal

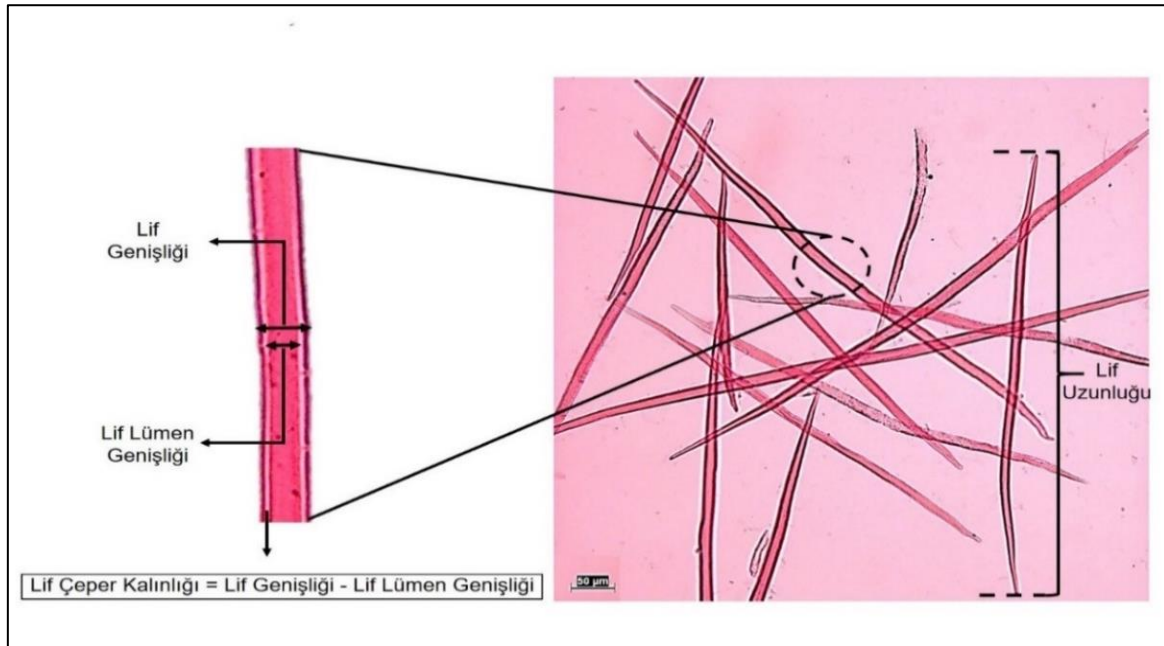
Bu çalışmada, lifsel hammadde olarak kullanılan kayın (*Fagus sp.*) lifleri Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret AŞ'den, atık materyal olarak kullanılan Marmara palmyesi/ Tüylü palmye/Sakallı palmye ağacı (*Rhapis excelsa* (Thunb.) A.Henry (Sin. *Chamaerops excelsa* Thunb.)) yaprak kınları Giresun'dan temin edilmiştir. Yaprak kınları, ağacın gövde kısmından kesilerek elde edilmiştir. Kompozit levha üretiminde kullanılan üre formaldehit (ÜF) tutkalı Çamsan Ordu Ağaç San. ve Tic. AŞ'den temin edilmiştir.

2.2 Metot

2.2.1 Kayın ve palmye lif karakteristiklerinin belirlenmesi

Kayın ve palmye lif karakteristiklerini belirleyebilmek için öncelikle lifler serbest hale getirilmiştir. Bu işlem için "Franklin" maserasyon yöntemi kullanılmıştır (Franklin, 1945). Öncelikle masere edilecek olan örnekler, kibrit çöpü kalınlığında parçalara ayrılarak deney tüplerine yerleştirilmiştir. Hazırlanan tüplere 1:1 oranında hidrojen peroksit (H_2O_2) ve glasiyal asetik asit (CH_3COOH) ilave edilmiştir. Deney tüplerinin ağızları parafilm ile kapatılmış ve ardından bu tüpler etüv içine yerleştirilmiştir. Daha sonra, örnekler 48 saat süre boyunca $60\text{ }^\circ\text{C}$ 'de tamamen beyaz renge alana kadar bekletilmiştir. Masere edilen lifler saf su ile yıkandıktan sonra beher içerisine alınarak mekanik karıştırıcı ile tamamen serbest hale gelmesi sağlanmıştır. Ardından süzme işlemi gerçekleştirilmiş ve filtre kâğıdı üzerinde kalan örnekler, safranin-gliserin içeren cam şişelere aktarılmıştır.

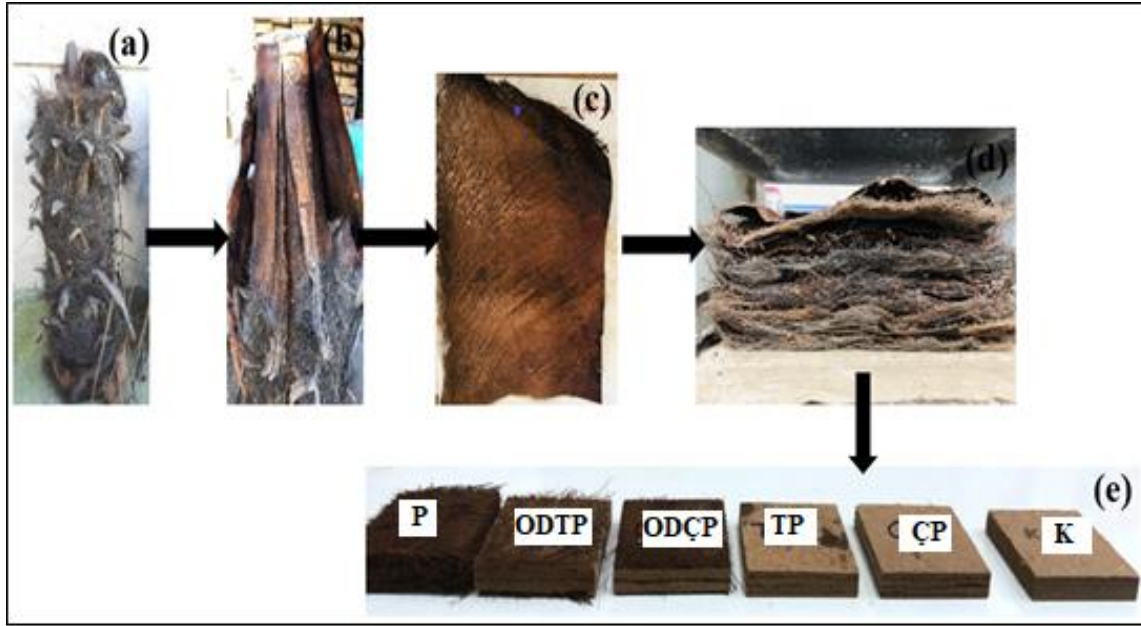
Ölçüme hazır hale getirilen lifler lam ve lamel arasında yerleştirilmiş, kamera entegre edilmiş Olympus BX50 dijital foto mikroskobu ve BS200pro görüntü analiz işleme sistemi kullanılarak mikro fotoğrafları çekilmiştir. Elde edilen görüntüler üzerinden BS200pro görüntü analiz yazılımı kullanılarak liflere ait lif hücre uzunluğu, lif genişliği, lif lümen genişliği ölçülmüş ve elde edilen verilerden lif çeper kalınlığı hesaplanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Palmiye lif hücrelerine ait ölçümü gerçekleştirilen anatomik özellikleri gösterir fotoğraf

2.2.2 Kompozit levhaların üretimi

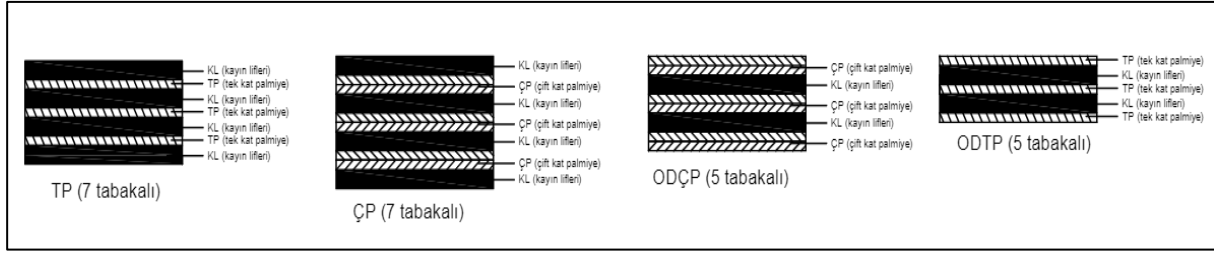
Palmiye yaprak kınları, bir bıçak yardımıyla palmiye ağacı gövdesinden ayrılarak doğal kurutmaya bırakılmıştır. Yaprak kınları (Şekil 2c) Çizelge 1’de belirtilen deneme desenine ve Şekil 3’te sunulan temsili gösterime uygun şekilde tek veya çift kat olarak lifler arasına ve/veya yüzeyine tabaka halinde yerleştirilmiştir. Tek kat palmiye yaprak kını lifleri örgülü-ağsı bir yapıya sahip olup, bu çalışmada tabaka içerisinde çift kat yaprak kını kullanımı ile lif yönü birbirine karşılıklı gelecek şekilde daha güçlü-rijit bir malzeme oluşturmak amaçlanmıştır. Kurutma fırınında %2-3 rutubete kadar kurutulan kayın lifleri ve yaprak kınları levhanın hedef yoğunluk değeri (800 kg/m^3) esas alınarak üretim öncesinde ağırlıkça tartılarak hazırlanmış ve %13 oranında ÜF tutkalı (katı madde oranı %58) ile tam kuru life oranla %1 oranında parafin emülsiyonu kullanılarak levha taslağı oluşturulmuştur. Daha sonra bu taslaklar, $170 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de 6 dakika süre ile sıcak preste preslenerek $30 \times 30 \times 0.8 \text{ cm}$ boyutlarında kompozit levha üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu levhalar iklimlendirme odasında 60 ± 5 bağıl nem ve $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık şartlarında klimatize edilmiş ve deneyler için gerekli boyutlarda kesilmiştir. Levha grupları ve içerikleri Çizelge 1’de; üretim prosesi, üretimde kullanılan palmiye ağacı gövdesi, yaprak kını, levha taslağı ve üretilen levha örnekleri Şekil 2’de belirtilmiştir.



Şekil 2. Üretim prosesi (a)-Palmiye ağacı gövdesi, (b)- Kesim işlemi sonrası yaprak kınları, (c)- Tek yaprak kını görseli, (d)-Hazırlanan taslağın presteki görseli, (e)-Üretilen levha örnekleri

Çizelge 1. Levha gruplarına ait deneme deseni

Levha grupları	İçerik
TP	7 tabaka (4 tabaka kayın lifi + 3 tabaka-tek kat palmiye yaprak kını)
ÇP	7 tabaka (4 tabaka kayın lifi + 3 tabaka-çift kat palmiye yaprak kını)
ODÇP	5 tabaka (2 tabaka kayın lifi + orta ve dış tabakalar çift kat palmiye yaprak kını)
ODTP	5 tabaka (2 tabaka kayın lifi + orta ve dış tabakalar tek kat palmiye yaprak kını)
P	%100 palmiye yaprak kını
Kontrol	%100 kayın lifi



Şekil 3. Levha taslaklarının (TP, ÇP, ODÇP, ODTP) temsili gösterimi

2.2.3 Su alma ve kalınlığına şişme oranlarının belirlenmesi

Su alma ve kalınlığına şişme oranlarının belirlenmesi için her bir gruptan 15 adet test örneğinin ilk ağırlık ve ilk kalınlıkları ölçülmüştür. Hazırlanan bu örnekler, 20°C saf suda 2 saat ve 24 saat süre için bekletilmiştir. Daha sonra suda bekletilen örneklerin ağırlık ve kalınlıkları tekrar ölçülmüştür. Ölçüm sonrası örneklerin su alma ve kalınlığına şişme oranları TS EN 317 (1999) standardında belirtilen formüle göre hesaplanmıştır.

2.2.4 Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün belirlenmesi

Üretilen levha örneklerinin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri TS EN 310 (1999) standardına göre Şekil 4'te gösterilen Zwick Roell Z050 universal test makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Zwick Roell Z050 universal test makinesi

2.2.5 İstatistik hesaplarının yapılması

Yapılan ilgili analizler sonucunda elde edilen verilere ait aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri SPSS Statistics 23 programı kullanılarak hesaplanmıştır.

3 Bulgular ve Tartışma

3.1.1 Kayın ve palmye lif karakteristikleri

Bu çalışmada kompozit levhaların üretiminde kullanılan kayın lifi ve palmye yaprak kını liflerinin bazı lif karakteristiklerine ait elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de belirtilmiştir.

Çizelge 2. Kayın ve palmiye yaprak kını lif karakteristikleri

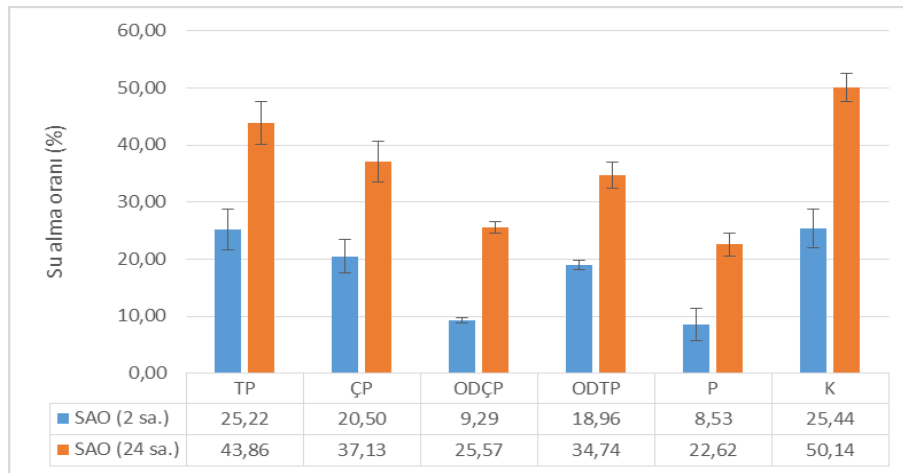
Hammadde	Lif Karakteristikleri			
	Lif uzunluğu (mm)	Lif genişliği (µm)	Lif lümen genişliği (µm)	Lif çeper kalınlığı (µm)
Kayın	1.08 (0.23) *	19.34 (3.93)	6.79 (2.01)	6.28 (1.61)
Palmiye	0.71 (0.12)	14.70 (1.70)	9.31 (1.41)	2.69 (0.52)

*Standart sapma değeri parantez içerisinde belirtilmiştir.

Bir lifin şeklini ve yapısını ifade eden lif morfolojisi, homojen yapıda bir levha taslağı oluşması açısından ve üretilen levhanın direnç özellikleri bakımından önemlidir (Akbulut ve Ayrılmış, 2001). Çizelge 2’de görüldüğü üzere lif hücre uzunluğu kayın lifi için 1.08 mm ve palmiye lifi için 0.71 mm olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre kayın liflerinin palmiye liflerinden oldukça uzun olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca palmiyenin lif lümeni, kayının lif lümeninden daha geniş olmasına rağmen kayın lifleri palmiyenin liflerinden daha geniş ve lif çeperi palmiyenin lif çeperinden daha kalındır (Çizelge 2). Abdul Khalil ve ark. (2008) Malezya’da yerel bir plantasyondan alınan Afrika yağ palmiyesinin gövde kısmındaki liflerin lif uzunluğunu 0.66 mm ve lif çapını 16.6 µm olarak belirlemişlerdir. Zhai ve ark. (2013), 18 adet palmiye türüne ait yaprak kınlarının anatomik karakteristiklerini araştırdıkları çalışmalarında *Rhapis excelsa*’nın lif uzunluğunu 0.74 mm, lif çapını 13.6 µm ve lif çeper kalınlığını 3.2 µm olarak rapor etmişlerdir. Kayın liflerinin ortalama lif uzunluğu Bozkurt ve Erdin (1989) tarafından 1 mm, Tank ve Akkayan (1987) tarafından ise 1.165 mm olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada belirlenen kayın ve palmiye liflerine ait sonuçlar, genel olarak literatürdeki değerlere benzerlik göstermektedir.

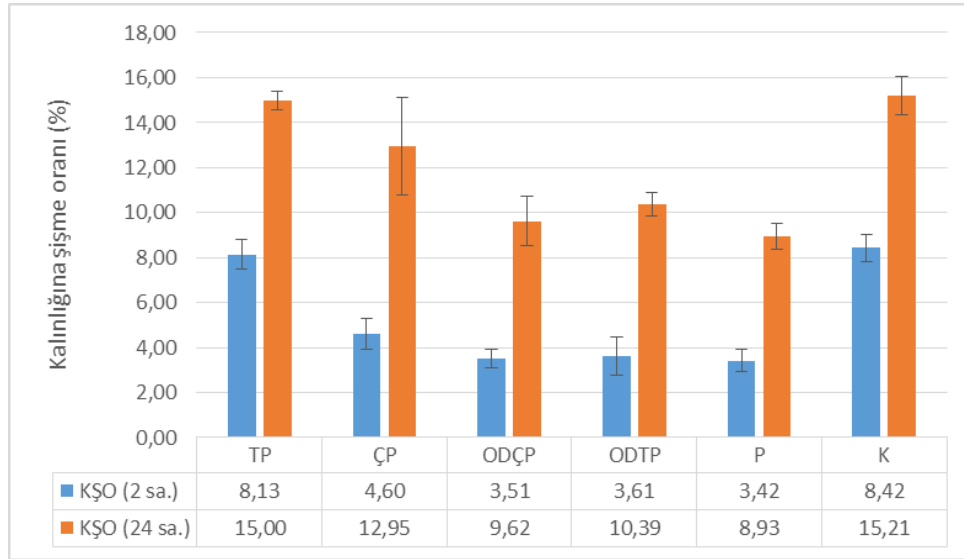
3.1.2 Su alma ve kalınlığına şişme oranları

Levha örneklerinin su alma ve kalınlığına şişme oranlarına ait ortalama değerler Şekil 5’te ve Şekil 6’da gösterilmiştir. Şekil 5’te görüldüğü üzere %100 kayın liflerinden üretilmiş kontrol levha örneklerinin 2 sa. ve 24 sa. su alma oranları en yüksek, % 100 palmiye liflerinden üretilmiş levhaların su alma oranları ise en düşük bulunmuştur. Levha örneklerinin su alma oranlarını şu şekilde sıralamak mümkündür: K > TP > ÇP > ODTP > ODÇP > P. Bu sonuçlara göre palmiye yaprak kını ilave edilmiş levha taslağındaki palmiye kat sayısı arttıkça levhaların su alma oranlarının kontrol örneğine kıyasla belirgin oranda azaldığı görülmektedir.



Şekil 5. Levha örneklerinin su alma oranları

Örnek levhaların kalınlığına şişme oranlarına ait sonuçlar su alma oranlarına ait sonuçlar ile uyumlu olarak bulunmuştur. Şekil 6'da görüldüğü üzere, %100 kayın liflerinden üretilmiş kontrol levha örneklerinin 2 sa. ve 24 sa. kalınlığına şişme oranları en yüksek, % 100 palmye liflerinden üretilmiş levhaların kalınlığına şişme oranları ise en düşük olarak bulunmuştur. Levha örneklerinin kalınlığına şişme oranları şu şekilde sıralanabilir: K > TP > ÇP > ODTP > ODÇP > P. Bu sonuçlar, palmye yaprak kını ilave edilmiş levha taslağındaki palmye kat sayısı arttıkça levhaların kalınlığına şişme oranlarının kontrol örneğine kıyasla azaldığını göstermektedir.



Şekil 6. Levha örneklerinin kalınlığına şişme oranları

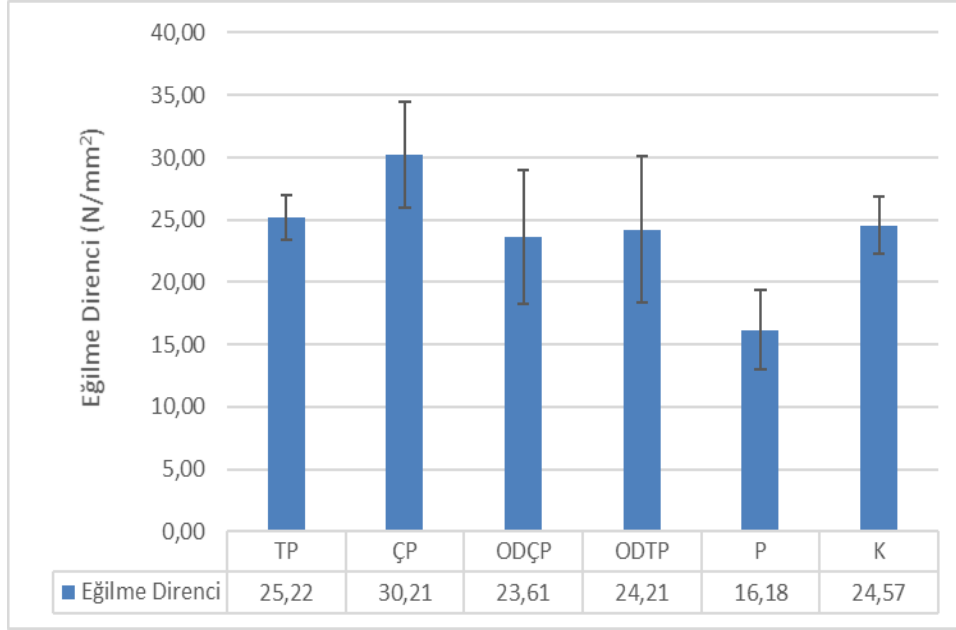
Çalışmada elde edilen su alma ve kalınlığına şişme oranları birlikte değerlendirildiğinde özellikle, palmye yaprak kını içeren levhaların su alma ve kalınlığına şişme oranlarının kontrol örneğine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç, palmye yaprak kınlarındaki iletim demetlerinin (vascular bundle) yapısına katılan liflerin özellikleri ile ilişkili olabilir. Palmye yaprak kınlarındaki iletim demetleri metaksilem, floem, protoksilem, ve lif demeti (fiber bundles) gibi kısımlardan meydana gelmektedir (Adzkie ve ark., 2020). Benzer iletim demeti yapısı palmyenin gövde kısmında da mevcut olup Nuryawan ve ark. (2022), lifli iletim demetlerinin düşük higroskopisite özelliklerine sahip olduğunu belirtmiştir.

Ayrıca, bu çalışmada belirlenen su alma ve kalınlığına şişme oranlarının standartta belirtilen değer aralıklarından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Özellikle, palmye takviyeli gruplarda düşük su alma ve kalınlığına şişme oranları test sonrası örneklerin ölçümü sırasında görsel olarak da gözlenmiştir. Çalışmada parafin kullanılmış olması da bu değerlerin önemli ölçüde azalmasında etkili olmuştur. Bununla birlikte, palmye liflerinin kimyasal yapısındaki farklılıkların, liflerin yerleşim düzeni ve ağsı yapısının yanı sıra, yaprak kını liflerinin tutkalla birleşerek sert ve rijit bir tabaka oluşturmasının, özellikle palmye liflerinin dış tabakalarda kullanıldığı levhalarda su alma ve kalınlığına şişme oranlarının azalmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Bu sonuçlar, üretilen kompozit levhaların suya ve rutubete maruz kalabilecek çeşitli kullanım alanları için uygun olabileceğini göstermektedir.

3.1.3 Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri

Levha örneklerinin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait ortalama değerler Şekil 7 ve 8'de sunulmuştur. En yüksek eğilme direnci değeri, orta tabakasında çift

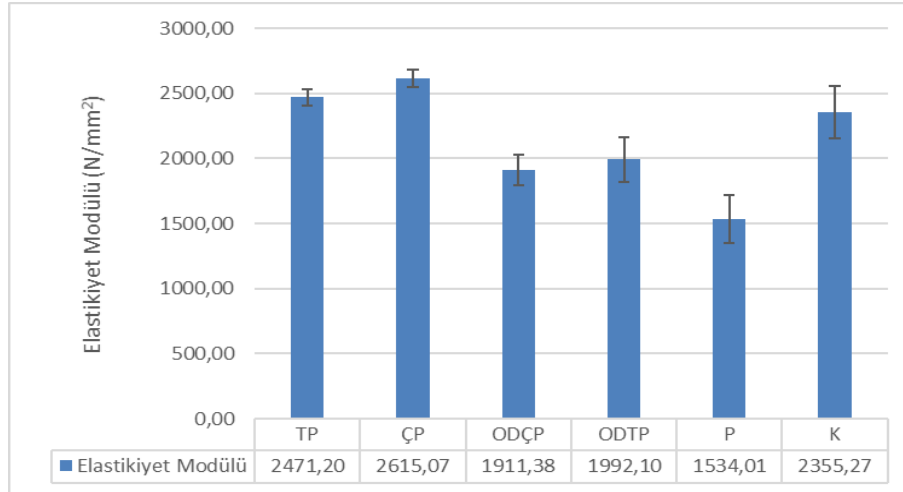
kat yaprak kını yerleştirilmiş levha grubuna (ÇP), en düşük eğilme direnci değeri ise %100 palmiye yaprak kınından üretilmiş levha grubuna (P) ait olarak bulunmuştur. Orta ve dış tabakada tek kat yaprak kını yerleştirilmiş levha grubu (ODTP) ile %100 kayın liflerinden üretilmiş kontrol örneklerinin eğilme direnci değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Şekil 7 incelendiğinde, levha taslağının sadece orta tabakasına tek ya da çift kat olmak üzere yerleştirilen palmiye yaprak kınlarının (TP ve ÇP) levhanın eğilme direncini kontrol örneğine kıyasla arttırdığı görülmektedir.



Şekil 7. Levha örneklerinin eğilme direnci değerleri

Şekil 8’de görüldüğü üzere, levha grupları arasında en yüksek elastikiyet modülü değeri, orta tabakasında çift kat yaprak kını yerleştirilmiş levha grubuna (ÇP) ait olup bu grubun değerini orta tabakasında tek kat yaprak kını yerleştirilmiş levha grubu (TP) takip etmektedir. En düşük elastikiyet modülü değeri ise %100 palmiye yaprak kınından üretilmiş levha grubuna (P) aittir. Orta ve dış tabakada hem tek kat hem de çift kat yaprak kını yerleştirilmiş levha gruplarının elastikiyet modülü değerleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte Jamaludin ve ark. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada palmiye ağacı gövde kabuklarının yongalanması metoduyla üretilen lif levhaların eğilme direnci değeri 15.19 N/mm², elastikiyet modülü değeri ise 1996.0 N/mm² olarak belirlenmiştir. Bahsedilen çalışmada elde edilen eğilme direnci değeri, bu çalışmada %100 palmiye yaprak kınından üretilen levhaların eğilme direnci değerine yakın olarak bulunmuştur.

Şekil 8 incelendiğinde levha taslağının sadece orta tabakasına tek ya da çift kat olmak üzere yerleştirilen palmiye yaprak kınlarının levhanın elastikiyet modülü değerlerini kontrol örneğine kıyasla arttırdığı sonucuna varmak mümkündür. Bu sonucun aynı grup levhaların eğilme direnci değerlerine ait sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 7). Ayrıca ÇP levha örneklerinin diğer levha örneklerinden daha yüksek eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerine sahip olması bu kompozit malzeme içerisindeki yaprak kını liflerinin kompozit matrisi içerisindeki düzeni ve yöneliminden kaynaklanıyor olabilir. Nitekim Dinakaran ve ark. (2019), kompozitteki liflerin hacim fraksiyonunun ve uygulanan yüke göre liflerin kompozitteki yönelim düzenlemesinin kompozitin direncini etkileyen iki önemli faktör olduğunu belirtmektedirler.



Şekil 8. Levha örneklerinin elastikiyet modülü değerleri

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, hem kayın liflerinin hem de palmye yaprak kınımnın vasküler iletim demetlerinin yapısındaki liflerin lif karakteristikleri ile ilişkili olabilir. Nitekim yapılan araştırmalarda parçacık boyutu, geometrisi, türü ve bileşiminin biyokompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyeceği belirtilmektedir (Hashim ve ark., 2011; Sahari ve ark., 2014; Widyarko ve ark., 2021). Ayrıca Wang ve ark. (2014), palmye ağacının vasküler iletim demeti yapısındaki liflerin ana organların destekleyici unsuru olduğunu ve bu nedenle vasküler dokunun yapısının palmyenin mekanik özelliklerini yönettiğini belirtmiştir.

Kayın ve palmye lif karakteristikleri karşılaştırıldığında kayın liflerinin lif uzunluğu, lif çeper kalınlığı gibi özelliklerinin palmye lifinden daha büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmanın sonucunda %100 kayın liflerinden üretilmiş levhaların MOR ve MOE değerlerinin %100 palmye liflerinden üretilmiş levhalarinkinden büyük olduğu belirlenmiştir. Nitekim, Ayrılmış (2002) çalışmasında MDF'nin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde lif uzunluğunun etkisinin önemli olduğunu, özellikle daha fazla bağlanma alanına sahip olan uzun lif kullanımı ile üretilen levhalarda daha iyi fiziksel ve mekanik özellikler sağlandığını belirtmiştir.

Özellikle bu çalışmada orta tabakasında tek ve çift kat yaprak kını yerleştirilmiş levha grubuna ait eğilme ve elastikiyet modülü değerleri, standartta belirtilen değer aralıklarına nispeten yakın olduğu için bu tip levhalar çok yüksek mekanik dayanım gerektirmeyen kullanım yerleri için uygun olabilir. Bununla birlikte %100 palmye liflerinden üretilmiş levhaların eğilme ve elastikiyet modülünün düşük olması, bu levhaların daha kırılğan ve elastik deformasyona karşı dirençsiz olduğunu göstermektedir.

4 Sonuçlar ve Öneriler

- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre kayın lifleri arasında kullanılan palmye kat sayısı arttıkça üretilen levhaların su alma ve kalınlığına şişme oranları azalmıştır.
- Özellikle levha taslağında orta tabakada kullanılan palmye yaprak kını kat sayısı arttıkça MOR ve MOE değerleri artmıştır.
- Sadece palmye yaprak kını liflerinden üretilen levhaların diğer levha gruplarına göre daha düşük su alma ve kalınlığına şişme oranına, MOR ve MOE değerlerine sahip olduğu bulunmuştur.

- Biyokütlenin etkili ve verimli değerlendirilmesi açısından önemli bir biyomalzeme olan palmye ağacı ve farklı kısımlarının levha sektöründe kullanılmasıyla ilgili daha fazla çalışma yapılması önerilmektedir. Özellikle bu levhalarda, farklı üretim parametrelerinin optimize edilmesiyle yalıtım ve yanma dayanımı gibi teknolojik özellikler de araştırılabilir ve yüksek performanslı kullanım için uygun levhaların üretim potansiyeli değerlendirilebilir.

Yazar Katkıları

Derya Ustaömer: 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. **Elif Topaloğlu:** 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. **Murat Öztürk:** Metodolojinin belirlenmesi, Araştırmanın yapılması, Analizlerin yapılması, Denetleme, Doğrulama, Görselleştirme

Finansal destek beyanı

Finansal destek alınmamıştır.

Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Abdul Khalil, H. P. S., Siti Alwani, M., Ridzuan, R., Kamarudin, H., & Khairul, A., (2008) Chemical composition, morphological characteristics, and cell wall structure of Malaysian oil palm fibers, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 47(3), 273-280, DOI: [10.1080/0360255070186684](https://doi.org/10.1080/0360255070186684)
- Adzkie, U., Nugroho, N., & Karlinasari, L., (2020). Anatomical feature of royal palm leaf sheath, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 399(1), 012061, DOI: [10.1088/1755-1315/399/1/012061](https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012061)
- Akbulut, T., & Ayrılmış, N., (2001). MDF üretiminde dikkate alınması gereken hususlar, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 51(2), 25-42.
- Alhijazi, M., Zeeshan, Q., Safaei, B., Asmael, M., & Qin, Z., (2020). Recent developments in palm fibers composites: A review, *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 3029-3054. DOI: [10.1007/s10924-020-01842-4](https://doi.org/10.1007/s10924-020-01842-4)
- Awang, R., Wahab, N. A., Ibrahim, Z., & Aziz, A. A., (2023). Medium density fibreboard (MDF) from oil palm fibre: A review, *Malaysian J Anal Sci*, 27(3), 626-640.
- Ayrılmış, N., (2002). Effect of tree species on some mechanical properties of MDF, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 1(52), 125-146.
- Bekhta, P., (2023). Recent Developments in Eco-Friendly Wood-Based Composites II, *Polymers*, 15(8), 1941. DOI: [10.3390/polym15081941](https://doi.org/10.3390/polym15081941)
- Bozkurt, Y., & Erdin, N., (1989). Odunsu lifler ve tanımı, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 39(4), 1-16.




- Dhakal, H., Bourmaud, A., Berzin, F., Almansour, F., Zhang, Z., Shah, D. U., & Beaugrand, J., (2018). Mechanical properties of leaf sheath date palm fibre waste biomass reinforced polycaprolactone (PCL) biocomposites, *Industrial Crops and Products*, 126, 394-402. DOI: [10.1016/j.indcrop.2018.10.044](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.044)
- Dinakaran, K., Ramesh, H., Joseph, A. D., Murugan, R., & Jothi, S., (2019). Development and characterization of areca fiber reinforced polymer composite, *Materials Today: Proceedings*, 18, 934-940. DOI: [10.1016/j.matpr.2019.06.528](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.528)
- Franklin, G. L., (1945). Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood, *Nature*, 155(3924), 51-51, DOI: [10.1038/155051a0](https://doi.org/10.1038/155051a0)
- Hashim, R., Said, N., Lamaming, J., Baskaran, M., Sulaiman, O., Sato, M., Hiziroglu, S., & Sugimoto, T., (2011). Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk, *Materials and Design*, 32(5), 2520-2525. DOI: [10.1016/j.matdes.2011.01.053](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.01.053)
- Hosseinkhani, H., Euring, M. & Kharazipour, A., (2014). Utilization of Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pruning residues as raw material for MDF manufacturing, *Journal of Materials Science Research*, 4(1), 46-62, DOI: [10.5539/jmsr.v4n1p46](https://doi.org/10.5539/jmsr.v4n1p46)
- Ibrahim, Z., Aziz, A. A., Ramli, R., Mokhtar, A., & Lee, S., (2013). Effect of refining parameters on medium density fibreboard (MDF) properties from oil palm trunk (*Elaeis guineensis*), *Open Journal of Composite Materials*, 3, 127-131. DOI: [10.4236/ojcm.2013.34013](https://doi.org/10.4236/ojcm.2013.34013)
- Ibrahim, Z., Aziz, A. A., Ramli, R., Mokhtar, A., Omar, R., & Lee, S., (2014). Production of medium density fiber board (MDF) from oil palm trunk (OPT), *Journal of Applied Sciences* 14(11), 1174-1179. DOI: [10.3923/jas.2014.1174.1179](https://doi.org/10.3923/jas.2014.1174.1179)
- Jaber, M. A., Hammadi, K. J., Karem, A. A. A., & Abd-Alrazak, M., (2016). Physical and mechanical properties of medium density fiber board made of palm fronds and trunks, *Asian Journal of Applied Sciences*, 4(4).
- Jamaludin, M. A., Razali Bujang, Y. H., Ramli, R., Nordin, K., & Ahmad, M., (2005). Physical and mechanical properties of fibreboards from oil palm fibres and polyethylene, *Science Letters*, 2(1), 43-54.
- Li, J., Zhang, X., Zhu, J., Yu, Y., & Wang, H., (2020). Structural, chemical, and multi-scale mechanical characterization of waste windmill palm fiber (*Trachycarpus fortunei*), *Journal of Wood Science*, 66, 1-9. DOI: [10.1186/s10086-020-1851-z](https://doi.org/10.1186/s10086-020-1851-z)
- Merev, N., (2003). *Odun Anatomisi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Genel Yayın No:209, Fakülte Yayın No:31, Trabzon.
- Nuryawan, A., Sutiawan, J., Rahmawaty, Masruchin, N., & Bekhta, P., (2022). Panel products made of oil palm trunk: A review of potency, environmental aspect, and comparison with wood-based composites, *Polymers*, 14(9), 1758. DOI: [10.3390/polym14091758](https://doi.org/10.3390/polym14091758)
- Olotu, P. N., Olotu, I. A., Datok, T., & Famojuro, T. I., (2024). A study on 74 varieties of palm trees used around the world as food and Ornaments, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 13(1), 102-119. DOI: [10.22271/phyto.2024.v13.i1b.14819](https://doi.org/10.22271/phyto.2024.v13.i1b.14819)

- Onuorah, E. O., (2005). Properties of fibreboards made from oil palm (*Elaeis guineensis*) stem and/or mixed tropical hardwood sawmill residues, *Journal of Tropical Forest Science*, 17(4), 497-507.
- Sahari, J., Nuratiqah, M. N., & Rao, M. M., (2014). Developing and prototyping of empty fruit bunch high density board,. *Journal of Advance Research Design*, 3(1), 1-8.
- Selvaraj, J., Pitchai, S. M., Kalyanasundaram, S., Nehru, S. K., & Soundhirarajan, S., (2024). Investigation on mechanical properties of Areca palm leaf stalk fiber and mulberry fiber reinforced composite material, *AIP Conference Proceedings*, 3192(1). DOI:[10.1063/5.0241911](https://doi.org/10.1063/5.0241911).
- Tank, T., ve Akkayan, C., (1987). *Populus tremula* L., (Titrek kavak) odununun lif morfolojisi, *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 37(2), 1-22.
- Taghiyari, H. R., Ghamsari, F. A., & Salimifard, E., (2018). Effects of adding nano-wollastonite, date palm prunings and two types of resins on the physical and mechanical properties of medium-density fibreboard (MDF) made from wood fibres, *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 335, 49-57. DOI:[10.19182/bft2018.335.a31517](https://doi.org/10.19182/bft2018.335.a31517)
- TS EN 310 (1999) Wood- Based panels- Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, Turkish Standards Institution, Ankara
- TS EN 317 (1999) Particleboards and fibreboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water, Turkish Standards Institution, Ankara.
- Wang, N., Liu, W., Huang, J., & Ma, K., (2014). The structure–mechanical relationship of palm vascular tissue, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 36, 1-11. DOI:10.1016/j.jmbbm.2014.04.001
- Widyarko, W., Nugroho, N., & Susanto, D., (2021). Natural fiber waste from palm oil tree: An overview of potential usage for Indonesia's affordable house building materials, *Journal of Architectural Research and Design Studies*, 5(1), 23-31, DOI:[10.20885/jars.vol5.iss1.art3](https://doi.org/10.20885/jars.vol5.iss1.art3)
- Zhai, S., Horikawa, Y., Imai, T., & Sugiyama, J., (2013). Anatomical and mechanical characteristics of leaf-sheath fibrovascular bundles in palms, *IAWA Journal*, 34(3), 285-300. DOI: [10.1163/22941932-00000024](https://doi.org/10.1163/22941932-00000024)



Effect of ethanol concentration as drying agent to the mechanical properties of oil palm lumber

Ahmad Fauzi Awang Othman^{1*} , Mohd Fadzil Arshad² , Junaiza Ahmad Zaki¹ ,

Nik Hazlan Nik Hashim¹ , Nur Hannani Abdul Latif¹ , Amran Shafie¹ 

ABSTRACT: This study examines the impact of ethanol on oil palm lumber as a drying agent. The mechanical characteristics of oil palm timber were assessed. The ethanol immersion process utilized concentrations of 91%, 70%, 85%, 55%, and 49% for both the internal and external layers of oil palm timber. The treated outside layer of oil palm lumber demonstrated superior strength compared to the untreated control. In contrast, the strength of the treated core layer diminished compared to that of the control oil palm timber. Our research demonstrates that the ethanol drying technique for oil palm trunk was efficacious. It shows that ethanol influenced the mechanical properties of both the outer and core layers of the trunk after 24 hours at 80°C in an oven with an optimal ethanol concentration of 55% recommended to attain superior mechanical properties.

Keywords: Oil palm trunk, ethanol, treatment, drying agent, mechanical properties

Yağ palmyesi kerestesinin mekanik özelliklerine kurutma maddesi olarak etanol konsantrasyonunun etkisi

ÖZ: Bu çalışmada etanolün yağ palmyesi kerestesi üzerinde kurutma maddesi olarak etkisi incelenmektedir.. Yağ palmyesi kerestesinin mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Etanol ıslatma için, işlem yağ palmyesi kerestesinin hem iç hem de dış tabakası için %91, %70, %85, %55 ve %49 konsantrasyonları kullanılarak gerçekleştirildi. İşlenmiş yağ palmyesi kerestesinin dış tabakası, işlenmemiş kontrole kıyasla daha üstün bir dayanıklılık gösterdi. Buna karşılık, işlenmiş çekirdek tabakasının mukavemeti, kontrol yağ palmyesi kerestesine kıyasla azaldı. Araştırmamız, yağ palmyesi gövdeleri için etanol kurutma tekniğinin etkili olduğunu göstermektedir. Etanolün, bir fırında 80°C'de 24 saat sonra gövdenin hem dış hem de çekirdek katmanlarının mekanik özelliklerini etkilediğini ve üstün mekanik özellikler elde etmek için %55'lik optimum etanol konsantrasyonunun önerildiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Yağ palmyesi gövdesi, etanol, kurutma maddesi, mekanik özellikler

1 Introduction

The drying of oil palm lumber (OPL) has consistently limited its broader use. The elevated green moisture content (about 300-500%) and significant density variation throughout the stem render the drying of OPL a laborious and energy-demanding procedure (Rais et al. 2021). No viable commercial drying schedule for OPL has existed until recently. The traditional drying technique of OPL in a kiln dryer requires 30-35 days and it is associated with various drying effects (Nadzim et al. 2021). Consequently, it is imperative to devise an effective technique for expediting the drying of OPL.

Ethanol may serve as a drying agent for OPL due to its volatility. Previous literature indicates that methanol and ethanol have been utilized as drying agents in the drying process of radiata pine (Pang, 2006). This action can avert the development of discoloration and staining in wood referred to as kiln brown stain (KBS), a significant drying fault of wood. The author stated that by drying radiata pine in methanol and ethanol solutions, brighter and KBS-free wood was obtained. Significantly, it permits the utilization of elevated temperatures without inducing surface discoloration, hence it enhances the efficiency of the drying process (Pang, 2006). The research demonstrated the viability of using evaporative agents such as alcohol in the drying process.

Consequently, this study employed ethanol as a desiccant for OPL. The OPL was immersed in ethanol solvent before undergoing the drying procedure. The impact of this drying technique on the mechanical properties of the OPL remains unexplored. There is concern that elevated stress will occur as ethanol enhances intracellular water removal leading to wood fracture and, consequently, detrimental effects on the mechanical properties of wood. This study aims to examine the impact of ethanol as a drying agent for OPL on the bending, shear, and compression strength of the material.

2 Material and Method

2.1 Material

A 25-year-old oil palm tree (OPT) was harvested from the oil palm plantation in UiTM Jengka, Pahang, Malaysia. The trunk was cut 3 m from the bottom of the tree. 95% denatured ethanol (Sigma-Aldrich) was used as a drying agent in this study.

2.2 Sample preparation

The logs were processed and flat sawn into boards with dimensions of 60 cm x 5 cm x 5 cm (length x width x thickness). The first process was cutting the OPT into a wood disc consisting of 60% core layer of the trunk and 40% of the outer layer. After that, the oil palm trunk was cut into two layers using a primary breakdown saw. Then, the lumber was immediately placed into a freezer to avoid fungi attack. Then, the OPL was removed from the freezer and placed into a box filled with different concentrations of ethanol, namely, 91%, 70%, 85%, 55%, and 49%. The ethanol was diluted using distilled water. The OPL was immersed in ethanol for 24 hours to allow proper penetration of the solvent into the OPL. After the immersion process, the sample was dried in an oven for 4 to 5 days at 80°C.

2.3 Mechanical properties evaluation

The OPL samples were cut into the required size for properties evaluation after drying. The samples were cut into dimensions of 20 mm x 20 mm x 300 mm in accordance with BS 373: for bending strength (1957). Meanwhile, the samples were cut into dimensions of 20 mm x 20 mm x 60 mm according to ASTM D143 for compression parallel to the grain (1991) The

shear sample sizes were cut according to ASTM D 143-94 (2000) which is 50.8 mm x 60.5 mm x 50.8 mm. Five replicates were prepared for each test.

2.4 Data analysis

Response Surface Methodology (RSM) is used to determine the influence of individual and interactive parameters on the mechanical properties of the samples.

3 Results and Discussion

3.1 Density

Figure 1 depicts the oven-dried density of the core and inner OPL before and after immersion in ethanol. The outer plexiform layer (OPL) generally exhibits a higher density than the inner OPL. After immersion in several concentrations of ethanol, the density of the oil palm lumber augmented for both inner and outer OPL in comparison to the control (untreated) OPL. The untreated inner and outer OPL exhibited densities of 202 kg/m³ and 303 kg/m³, respectively. The highest density after immersion in ethanol was recorded in OPL treated with 55% ethanol for 5 hours, resulting in a density of 309 kg/m³ for the inner layer and 530 kg/m³ for the outer layer. Ethanol, as a polar solvent, can interact with the substance and alter its molecular structure, perhaps resulting in a change in density.

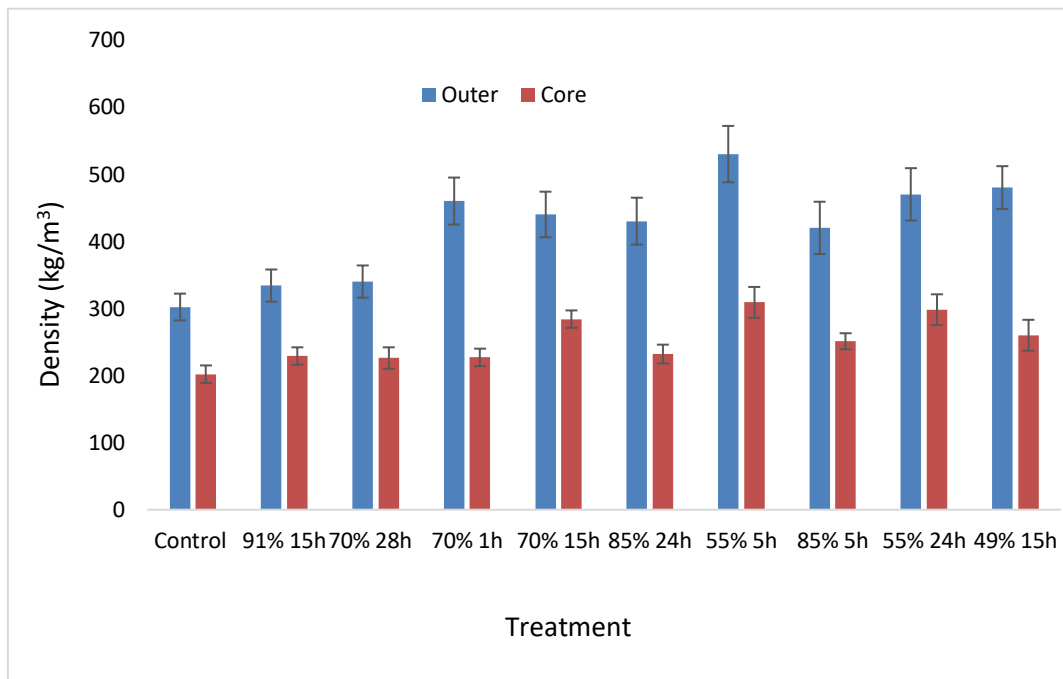


Fig. 1. Density of outer and core OPL samples soaked in different concentrations of ethanol solution and soaking time.

3.2 Mechanical strength

Figure 2 shows the effect of concentration and soaking time on the mechanical properties of OPL.

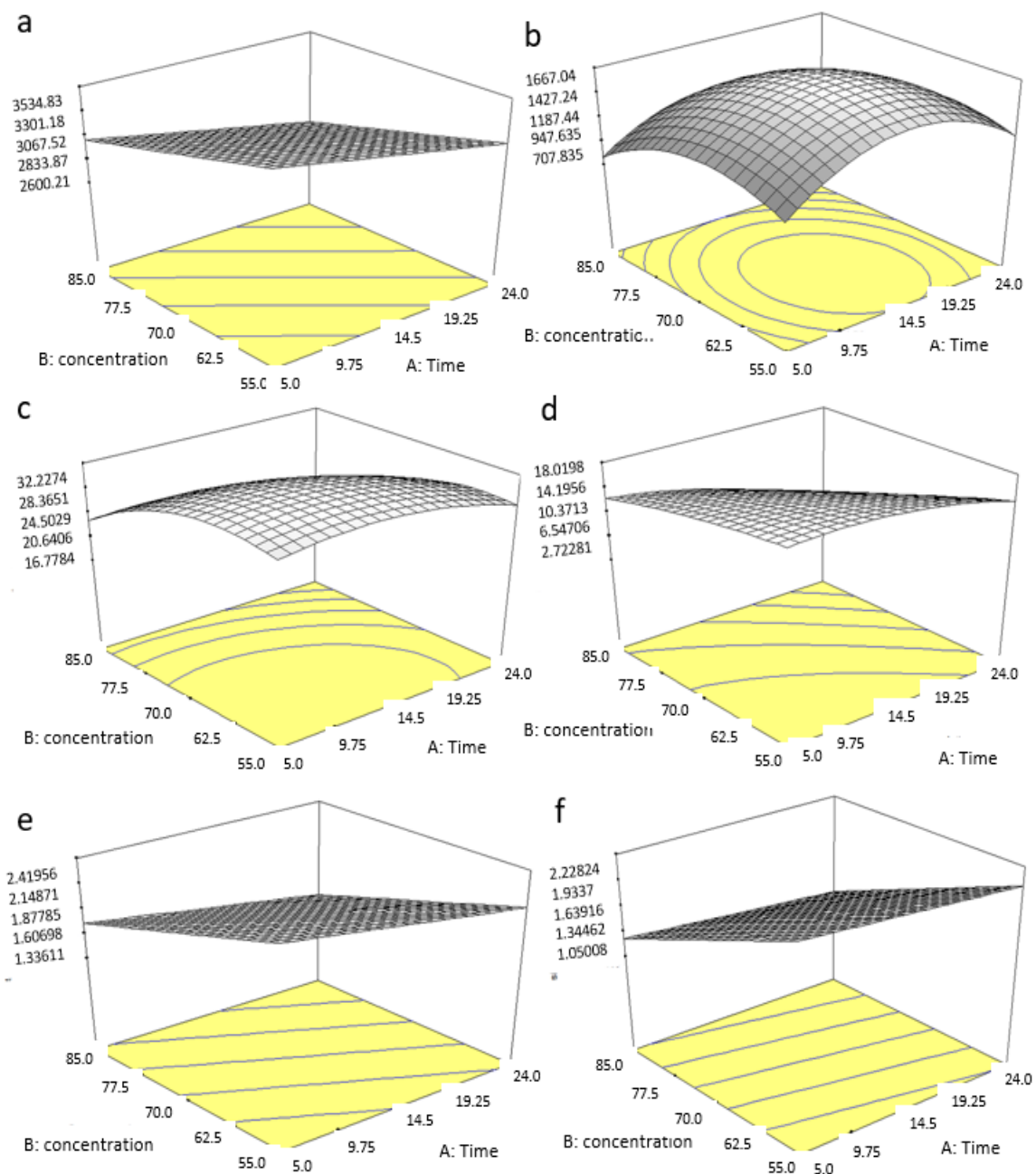


Fig. 2. The 3D-surface plots of (a) MOE of outer layer; (b) MOE of inner layer; (c) MOR of outer layer; (d) MOR of inner layer; (e) shear strength of outer layer; and (f) shear strength of inner layer, as function of alcohol concentration and soaking time

3.2.1 Modulus of elasticity (MOE)

Figure 2a illustrates the impact of concentration and soaking duration on the MOE of OPL. The MOE diminished with rising ethanol content and prolonged soaking duration. This may be due to the elevated concentration of ethanol employed as a drying agent, which could have compromised some parenchyma components in the outer layer of the oil palm trunk. Meanwhile, quadratic effects are demonstrated for the inner layer (Figure 2b). This finding indicates that the concentration of ethanol predominantly influenced the MOE, rather than the duration of soaking.

3.2.2 Modulus of rupture (MOR)

Figure 2c illustrates a quadratic effect on the MOR of the outer layer. MOR continues to rise with increasing ethanol content until it attains a maximal point. Beyond this threshold, the MOR value diminished in relation to concentration and soaking duration. The reduction in bending MOR was likely due to the medium concentration of ethanol adequately drying the outer layer of OPL, thereby stabilizing the vessel and fiber structure and potentially averting collapse and deformation post-soaking. A comparable observation was noted for the inner OPL, as illustrated in Figure 2d.

3.2.3 Shear Strength

Figure 2e illustrates the influence of ethanol content and immersion duration on the shear strength of the OPL outer layer. The ethanol concentration had relatively minimal effect on shear strength in comparison to soaking duration. The maximum concentration gave the lowest shear strength parallel to the grain, and this gradually increased with increasing soaking time. This was anticipated to result from the disparity in the quantity of parenchyma cells and vascular bundles across the layers with the peripheral zone (outer layer) consisting of a limited number of parenchyma cells and numerous vascular bundles which enhances the mechanical stability of the palm trunk (Lim and Gan 2005). Figure 2f illustrates that the inner OPL was influenced by both the ethanol content and the soaking duration similar to the outer layer. Nonetheless, the inner layer was more profoundly affected as evidenced by the steeper slope in Figure 2f.

3.2.4 Discussion

Ethanol as a polar solvent can interact with the material and change its molecular structure potentially leading to a change in density. This observation aligns with previous studies on the impact of solvents on material properties (Renders et al. 2016). In a study by Conner et al. (1993), the researchers explored the changes in wood extractives from oak cask staves during the maturation of Scotch malt whisky. Their investigation revealed that repeated exposure to aqueous ethanol led to compositional alterations in the lignin present in the wood. In a recent study by Wu et al. (2020), a novel approach utilizing eutectic solvents was introduced to prepare softened wood with several enhanced properties. This method yielded wood with a highly porous network structure, a reduction in lignin, hemicellulose, and cellulose content, a change in colour, decreased hardness, superior mechanical flexibility, and an impressive compression rebound rate of approximately 90%. The changes in chemical composition and density inevitably affected the mechanical properties of the OPL as discussed above.

4. Conclusion

The work described in this paper demonstrates that ethanol can effectively be a drying agent for oil palm lumber. From this overall research, it can be concluded that:

- The outer layer of OPL after treatment had more strength compared to control OPL.
- The strength of the treated core layer decreased compared to the control OPL.
- The drying method by soaking the OPL in ethanol for 24 hours at 80 °C was successfully performed and only 55% of ethanol concentration was required to achieve optimal properties of OPL.
- Nevertheless, the utilization of alcohol must be approached with caution due to its great flammability. Additional research is required to alleviate this risk.

Acknowledgement

This study was presented in PowerPoint slides at the 4th International Conference of Emerging Challenges in Engineering and Current Technology (ICECT IV), 30th to 31st October 2023, Permai Hotel, Kuala Terengganu, Terengganu, Malaysia.

Author Contributions

Ahmad Fauzi Awang Othman: Conceptualization, Data curation, Writing – original draft, Mohd **Fadzil Arshad:** Formal Analysis, Methodology, Supervision, Writing – review & editing, **Junaiza Ahmad Zaki:** Methodology, Resources, Writing – review & editing, **Nik Hazlan Nik Hashim:** Methodology, Resources, Writing – review & editing, **Nur Hannani Abdul Latif:** Methodology, Resources, Writing – review & editing, **Amran Shafie:** Investigation, Methodology, Resources

Funding statement

This project was self-funded.

Conflict of interest statement

The authors declare no conflict of interest.

References

- Conner, J., Paterson, A., & Piggott, J., (1993). Changes in wood extractives from oak cask staves through maturation of scotch malt whisky, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62, 169-174.
- Lim, S.C., & Gan, K.S., (2005). Characteristics and utilisation of oil palm stem, Timber Technology Bulletin No.35. Forest Research Institute Malaysia: Kepong, Selangor.
- Nadzim, M., Edi, S.B., Mojtaba, S., Zaidon, A., & Lee, S.H., (2021). Drying of oil palm lumber by combining air force drying and modified super-fast drying methods, *Journal of Oil Palm Research*, 33(3), 482-492, DOI: [10.21894/jopr.2021.0002](https://doi.org/10.21894/jopr.2021.0002)
- Pang, S., (2006). Using methanol and ethanol vapours as drying media for producing bright colour wood in drying of radiata pine, 15th International Drying Symposium (IDS 2006), Budapest, Hungary, 20-23 August 2006.
- Rais, M.R., Bakar, E.S., Ashaari, Z., Hua, L.S., Soltani, M., Ramli, F., & Bawon, P., (2021). Drying performance, as well as physical and flexural properties of oil palm wood dried via the super-fast drying method, *BioResources*, 16(1), 1674-1685, DOI: [10.15376/biores.16.1.1674-1685](https://doi.org/10.15376/biores.16.1.1674-1685)
- Renders, T., Van den Bosch, S., Vangeel, T., Ennaert, T., Koelewijn, S.F., Van den Bossche, G., Courtin, C.M., Schutyser, W., & Sels, B.F., (2016). Synergetic effects of alcohol/water mixing on the catalytic reductive fractionation of poplar wood, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(12), 6894-6904, DOI: [10.1021/acssuschemeng.6b01844](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01844)
- Wu, Y., Yang, L., Zhou, J., Yang, F., Huang, Q., & Cai, Y., (2020). Softened wood treated by deep eutectic solvents. *ACS Omega*, 5, 22163-22170, DOI: [10.1021/acsomega.0c02223](https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02223)