



KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM
ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN 1309-1751

Mühendislik Bilimleri Dergisi
Journal of Engineering Sciences

2021

SAYI / NUMBER : 1

CILT / VOLUME : 24



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Yazışma Adresi / Corresponding Address

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
46050, Onikişubat/Kahramanmaraş
TÜRKİYE

E - Posta

jes@ksu.edu.tr

Web

<http://jes.ksu.edu.tr/>

Bu dergi hakemli olup yılda 4 kez yayınlanır.

This journal is peer - reviewed and published 4 issues per year.



Sahibi / Owner

Prof.Dr. Niyazi CAN
KSU Rector

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ
htemiz@ksu.edu.tr

Baş Editör Yardımcısı / Vice Editor in Chief

Assist. Prof. Dr. Zeynep Banu ÖZGER
zeynepozger@ksu.edu.tr

Editörler / Editors

Prof. Dr. Ahmet Serdar YILMAZ
Electrical and Electronics Eng.
KSU Univ. TURKEY
asyilmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet ALKAN
Electrical and Electronics Eng.
KSU Univ. TURKEY
aalkan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet ÜNSAL
Civil Eng.
KSU Univ. TURKEY
munsal@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet KAYA
Mechanical Eng.
KSU Univ. TURKEY
kaya38@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Remzi ŞAHİN
Civil Eng.
Atatürk Univ., TURKEY
rsahin@atauni.edu.tr

Prof Dr. Yücel ÖZMEN
Mechanical Eng.
Karadeniz Teknik Univ., TURKEY
yozmen@ktu.edu.tr

Prof.Dr. Özlem TURGAY
Food Eng.
KSU Univ. TURKEY
ozlem@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU
Landscape Arc.
KSU Univ. TURKEY
fmengelo@ksu.edu.tr

Assoc.Prof.Dr. Suat ÇETİNER
Textile Eng.
KSU Univ. TURKEY
suatcetiner@ksu.edu.tr

Assoc. Prof.Dr.Tamer RIZAOĞLU
Geological Eng.
KSU Univ.
TURKEY
tamer@ksu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Çetin AKINCI
Electrical Eng.
İstanbul Teknik Univ,
TURKEY
akincitc@itu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Toni NIKOLIC
Civil Eng.
Univ. Dzemat Bijedic,
BOSNIA AND HERZEGOVINA
nikolic_t@yahoo.com

Assist.Prof.Dr. Yakup CUCİ
Environmental Eng.
KSU Univ. TURKEY
cuci@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Beril ÖZÇELİK
Mechanical Eng.
KSU Univ. TURKEY
bozcelik@ksu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. Hasan BADEM
Computer Eng.
KSU Univ. TURKEY
hbadem@ksu.edu.tr

Research Assist. Fahriye GEMCİ
Technical Editor
KSU Univ. TURKEY
fahriyegemci@ksu.edu.tr

Research Assist. Elif ÇELİK
Technical Editor
KSU Univ. TURKEY
elifcelik@ksu.edu.tr

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Cetin Kaya KOC

Dep. of Computer Eng.
Univ Of Cal.
Santa Barbara, USA
koc@cs.ucsb.edu

Prof. Dr. Ayhan ÖZDEMİR

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
Sakarya Univ. Sakarya,
TURKEY
aozdemir@sakarya.edu.tr

Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Dep. of Mechanical Eng.
ÇU Univ.
Adana, TURKEY
hakilli@cu.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet KORÜREK

Dep. Of Elcn & Comm Eng.
İTU Univ.
İstanbul, TURKEY
korurek@itu.edu.tr

Prof. Dr. Yasemin KORKMAZ

Dep. of Textile Eng.
KSU Univ.
TURKEY
ykorkmaz@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Ahmet PINARBAŞI

Dep. of Mechanical Eng.
Alanya Alaaddin Keykubat
Univ. Antalya, TURKEY
apinarbasi@alanya.edu.tr

Prof. Dr. S. Serhat ŞEKER

Dep. Of Elect. Eng.
İTU Univ. İstanbul.
TURKEY
sekers@itu.edu.tr

Prof. Dr. Şerafettin EREL

Dep. of Elect. & Elcn Eng.
YBU Univ.
Ankara, TURKEY
serel@ybu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ONAT

Dep. of Computer Eng.
Marmara Univ.
İstanbul, TURKEY
monat@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Eyüp DEBİK

Dep. of Environmental Eng.
Yıldız Technical Univ.
İstanbul, TURKEY
debik@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Fan MIZI

Dep. of Civil Eng.
Brunel Univ.
Uxbridge, UK
mizi.fan@brunel.ac.uk

Prof. Dr. A. Fevzi BABA

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ. İst.,
TURKEY
fbaba@marmara.edu.tr

Dr. Amit CHAUDHRY

Dep. of Microelectronics
Panjab Univ,
Chandigarh, India
amit_chaudhry01@yahoo.com

Assoc. Prof. Dr. Nazmi EKREN

Dep. of Elect. & Elcn. Eng.
Marmara Univ.
İstanbul, TURKEY
nekren@marmara.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa YAZICI

Dep. of Physics Education.
KSU Univ.
K.Maras, TURKEY
yazici@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Selim AY

Dep. Of Elect. Eng.
YTU Univ.
İstanbul, TURKEY
selimay@yildiz.edu.tr

Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN

Dep. of Physics
KSU Univ.
K.Maras, TURKEY
gogebakan@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Murat PALA

Dep. of Civil Eng.
Adiyaman Univ.
Adiyaman, TURKEY
pala@adiyaman.edu.tr

Prof. Dr. İ.Taner OKUMUŞ

Dep. of Computer Eng
KSU Univ.
K.Maras, TURKEY
iokumus@ksu.edu.tr



İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA MAKALESİ – RESEARCH ARTICLE

- Sinterleme Sıcaklıkları Ve Magnezyum Oksit İlavesinin Hidroksiapatitin Özelliklerine Etkisi**
The Effect of Sintering Temperatures and Magnesium Oxide Addition on the Properties of Hydroxyapatite 1-14
Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU, Oğulcan ALGAN
- Perlit Kullanımı İle Odun Plastik Kompozitlerin Fiziksel, Mekanik Ve Yüzey Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi**
Determination of Changes in Physical, Mechanical and Surface Properties of Wood Plastic Composites by Using Perlite 15-23
Ferhat ÖZDEMİR
- Ayçiçeği Sapı ile Odun Karışımından Üretilen Yonga Levhaların Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi**
Determination of Some Physical Properties of Particle Board Produced From Sunflower Stalks and Wood Mixture 24-33
İbrahim BEKTAŞ, Celal UĞUR, Ahmet TUTUŞ
- Retrogresyon Ve Yeniden Yaşlandırma İşlemi Uygulanmış 7075 Alüminyum Alaşımının Sertlik Davranışı**
Hardness Behavior of the Retrogressed and Reaged 7075 Aluminum Alloy 34-41
Recep Onur UZUN, Dilek ARSLAN
- İşyeri-Konut İç Mimarisinde Kullanılan Lif Levhaların Radyasyon ve Elektrik Yalıtımının İncelenmesi**
Investigation Of Radiation and Electrical Insulation of Fiber Boards Used In Workplace - House Interiorarchitecture 42-52
Cebrail AÇIK, Ahmet TUTUŞ



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 27.07.2020
Kabul Tarihi : 17.02.2021

Received Date : 27.07.2020
Accepted Date : 17.02.2021

SİNERLEME SICAKLIKLARI VE MAGNEZYUM OKSİT İLAVESİNİN HİDROKSİAPATİTİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF SINTERING TEMPERATURES AND MAGNESIUM OXIDE ADDITION ON THE PROPERTIES OF HYDROXYAPATITE

Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU^{1*} (ORCID: 0000-0002-7870-8418)
Oğulcan ALGAN² (ORCID: 0000-0002-3916-4665)

¹Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye

²Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul/Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU, spazarlioglu@marmara.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada farklı sinterleme sıcaklıkları (900-1300°C) ve farklı oranlardaki magnezyum oksit (MgO; ağırlıkça %0.5, %1 ve %2) ilavelerinin ticari saflıktaki bir hidroksiapatit (HA)' in mikroyapısal, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri incelendi. MgO ilavesiz HA' in basma dayanımı ve kırılma tokluğu özelliklerinin üç ana nedenden dolayı (dekompoze olma, aşırı tane büyümesi ve mikro çatlak oluşumu) 1100°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda azaldığı belirlendi. Tüm numunelerde ana faz olarak HA, eser faz olarak ise beta/alfa-trikalsiyum fosfat ve kalsiyum oksit (MgO ilavesiz HA' te) ile whitlockite (MgO ilaveli HA' te) tespit edildi. MgO ilavesi ile saf HA' te meydana gelen tane büyümesinin engellendiği görüldü. Ağırlıkça %1 oranında MgO ilaveli HA' te ait mikroyapıların, diğerlerine kıyasla daha homojen ve düzgün tanelerden oluştuğu tespit edildi. HA' e ağırlıkça %0.5 ve %1 oranlarında MgO ilavesinin tüm sıcaklıklarda saf HA' e ait özelliklerin artmasına katkı sağladığı belirlendi. Poroziteli yapısı nedeniyle, %2 MgO ilaveli HA tüm sinterleme sıcaklıklarında diğerlerinden daha düşük sinterlenebilirliğe ve özelliklere sahip olduğu belirlendi. %1 MgO ilaveli HA' nin, saf HA' e oranla %38 oranında daha fazla basma dayanımı (183.25±25.09 MPa) ve %53 oranında daha fazla kırılma tokluğuna (1.472±0.041 MPam^{1/2}) sahip olduğu, ancak düşük kırılma tokluğu nedeniyle insan vücudunda kullanıma uygun olmadığı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Hidroksiapatit, magnezyum oksit, sinterleme

ABSTRACT

In this study, the effects of different sintering temperatures (900-1300°C) and the addition of different amounts of magnesium oxide (0.5%, 1% and 2% by weight) to microstructural, physical and mechanical properties of a commercial purity hydroxyapatite were examined. Although the physical properties of hydroxyapatite without magnesium oxide increased with increasing sintering temperature, the compressive strength and fracture toughness properties decreased at temperatures above 1100°C due to three main reasons (decomposition, excessive grain growth and microcrack formation). While the main phase for all samples was hydroxyapatite; beta/alpha-tricalcium phosphate and calcium oxide in hydroxyapatite, and whitlockite in magnesium oxide added hydroxyapatites were detected as trace phase. It was determined that the average grain size of magnesium oxide added hydroxyapatites for all temperatures was lower than that of pure hydroxyapatite. However, the microstructures of 1% by weight of magnesium oxide HA are composed of more homogeneous and uniformly grains. The addition of magnesium oxide to hydroxyapatite in the ratio of 0.5% and 1% was found to contribute to the increase of physical and mechanical properties of pure hydroxyapatite at all temperatures. Due to its porous structure, 2% magnesium oxide added hydroxyapatite had lower sinterability than others. The 1% magnesium oxide added hydroxyapatite has 38% more resistant to compression strength (183.25±25.09 MPa) and has 53% more fracture toughness (1.472±0.041 MPam^{1/2}) than pure HA, but is not suitable for use in the human body due to its low fracture toughness.

Keywords: Hydroxyapatite, magnesium oxide, sintering

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Süleyman Serdar PAZARLIOĞLU, spazarlioglu@marmara.edu.tr

ToCite: PAZARLIOĞLU, S., S., & ALGAN, O., (2021). SİNERLEME SICAKLIKLARI VE MAGNEZYUM OKSİT İLAVESİNİN HİDROKSİAPATİTİN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 1-14.

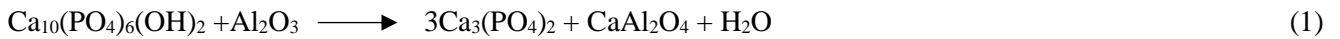
GİRİŞ

Hidroksiapatit (HA; $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$); implant malzemesi ile kemik ara yüzeyi boyunca güçlü bağ oluşumunu sağlama, yüzeyden itibaren kemik büyümesini hızlandırma ve implantın, çevresinde bulunan dokulara entegrasyonunu iyileştirme gibi özelliklere sahip ve biyoaktivite özelliği oldukça iyi bilinen bir malzemedir (Onder, & ark. 2013). Bu özellikleri sebebiyle, iş ve/veya trafik kazaları sonucu meydana gelen kırıkların yanı sıra yaşlılar veya osteopeni hastalarında görülen patolojik kırıkların onarımında kullanılabilir (Nie, & ark. 2019). Ancak; $1 \text{ MPam}^{1/2}$ ' nin altında kırılma tokluğu değerine sahip olan HA' in bu özelliği, kemiğe ($2-12 \text{ MPam}^{1/2}$) oranla bir hayli düşüktür. Bu nedenle insan vücudundaki kullanımı; düşük oranda mekanik gerilmelerin meydana geldiği, gözenekli implantların üretimi ve metalik biyomalzemelerin yüzeylerinin kaplanması ile sınırlıdır (Wojciech, & ark. 1997). HA' in insan vücudunda yüke dayanım gerektiren uygulamalarda kullanılabilmesi için sıcak presleme (Xihua, 2008), mikrodalga (Curran, 2011), spark plazma (Que, & ark. 2008) ve sıcak izostatik presleme (Aminzare, & ark. 2013) ile sinterleme gibi yaklaşımlar geliştirilmiştir. Ancak; bu yöntemlerle üretim pahalıdır ve HA' e ait kırılma tokluğu $1.2 \text{ MPam}^{1/2}$ ' ye kadar artırılabilmiştir. Bu yöntemlerle, HA' in kırılma tokluğunun kemiğin kırılma tokluğu değeri aralığına ulaşmasının birkaç nedeni vardır. Bunlar:

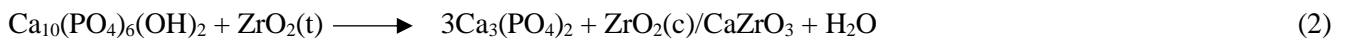
- HA' in doğası gereği gevrek olması,
- HA bünyesinde bulunan hidroksilin (OH^-), 1100°C ve üzerindeki sıcaklıklarda kararsız bir davranış sergilemesi,
- HA' in bu yöntemlerle sinterlenmesi sonucu %50' nin üzerinde dekompoze olması ve yoğunlaşmasının %90' nın altında kalmasıdır (Chun, & ark. 2010).

HA' in düşük kırılma tokluğu, kendisinden daha iyi mekanik özelliklere sahip zirkonyum oksit (ZrO_2), alumina (Al_2O_3), titanyum oksit (TiO_2) ve seryum oksit (CeO_2) gibi oksit seramik ilavesiyle artırılabilir. Ancak ilgili oksit seramikler üzerine yapılan araştırmalarda, belirtilen bu oksit seramikler sebebi ile ise aşağıda belirtilen problemler meydana gelmektedir:

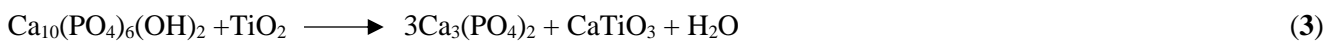
- HA' e Al_2O_3 ilavesi ile HA' in kırılma tokluğu $2.69 \text{ MPam}^{1/2}$ ' ye kadar artırılabilir. Ancak; HA ve Al_2O_3 arasında meydana gelen reaksiyon sonucu oluşan kalsiyum alüminat (örneğin CaAl_2O_4 , $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, $\text{Ca}_5\text{Al}_6\text{O}_{14}$) fazları nedeni ile HA' in dekompoze olma oranı (Reaksiyon 1) %90 civarına kadar çıkarmakta ve dekompoze olma sıcaklığı 900°C ' ye kadar düşmektedir (Evis, & Doremus, 2008).



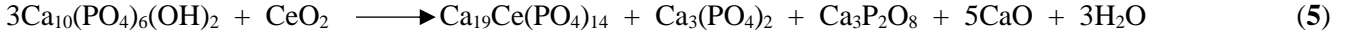
- HA' e ZrO_2 ilavesi ile HA' in kırılma tokluğu $1.88 \text{ MPam}^{1/2}$ ' ye kadar artırılabilir. Ancak; HA' e ZrO_2 ilavesi sonucu oluşan kalsiyum zirkonat (CaZrO_3) fazı nedeniyle, HA' in dekompoze olma oranı (Reaksiyon 2) %80' lere kadar artmakta ve dekompoze olma sıcaklığı 900°C ' ye kadar düşmektedir (Evis, 2007).



- HA' e TiO_2 ilavesi ile HA' in kırılma tokluğu $1.46 \text{ MPam}^{1/2}$ ' ye kadar artırılabilir. Ancak; HA' e TiO_2 ilavesi sonucu oluşan kalsiyum titanat (CaTiO_3) ve kassite $\text{CaTi}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$ fazları nedeniyle (Reaksiyon 3 ve 4), dekompoze olma oranı %45' e kadar artmaktadır (Nie, & ark. 2019).



- HA' e CeO₂ ilavesi, HA' in dekompoze olma sıcaklığını 900°C' ye kadar düşürmektedir (Reaksiyon 5). Ancak; diğer oksit seramiklere kıyasla HA' in daha düşük oranda dekompoze olmasına (yaklaşık %10-15 arasında) sebebiyet vermekte ve HA' in kırılma tokluğunun 2.50 MPam^{1/2}' ye kadar artmasına katkıda bulunmaktadır (Pazarlioglu, 2019).



Vücudumuzun %4' lük kısmı Çinko (Zn), bakır (Cu), demir (Fe), mangan (Mn), nikel (Ni), krom (Cr), kobalt (Co), molibden (Mo) ve selenyum (Se) gibi her biri birbirinden farklı hayati öneme sahip olan elementlerden oluşur (Falah, & Mohssan, 2017). Bu elementlerden birisi de magnezyumdur. İnsan vücudundaki toplam magnezyum (Mg) miktarının % 60-65' i kemiklerde ve dişlerde, geri kalan % 35-40' ı ise kas, sinir ve diğer yumuşak dokularda ve vücut sıvısında bulunur. Mg, kasların genişlemesi ve daralması, sinir sistemi ve istikrarlı ve güçlü bir kalp atış hızının sağlanması gibi vücudun önemli işlevlerine katkıda bulunur. Kalsiyum (Ca) ile birlikte Mg güçlü ve sağlıklı kemiklerin oluşumunu sağlar ve osteoporozite riskini azaltır. Her ne kadar enamel, dentin ve kemikte düşük konsantrasyonlarda bulunsun da (enamel, dentin ve kemiğin ağırlıkça %0.44, %1.23 ve % 0.72' si Mg' den oluşur), osteoblast proliferasyonunu tetiklediğinden dolayı kemik metabolizması üzerinde belirleyici bir role sahiptir ve kemiğin mineralizasyon yeteneğinin artırılmasına, aktif kalsiyum transportunun düzenlenmesine, kalsifikasyon sürecine katkıda bulunur. Mg eksikliği diş çürümesi ve kemiğin kırılma tokluğunun artmasına sebebiyet verir (Kim, & ark. 2003; Liga, & ark. 2014; Loreley, & ark.2019). Bredigite (Ca₇MgSi₄O₁₆), forsterit (Mg₂SiO₄) ve enstatite (MgSiO₃) gibi Mg elementini içeren HA' lı kompozitler, işlenebilir biyoseramik olarak hali hazırda kullanılmaktadır (Nikaido, & ark. 2015).

Mg' nin oksitli bileşiği olan magnezyum oksit (MgO); sahip olduğu yüksek ergime sıcaklığı (2800°C), yüksek mekanik özellikleri, toksik olmama ve alkali metallere karşı yüksek direnci nedeni ile başta endüstriyel fırınlar olmak üzere, boya, çimento, kağıt, plastik, kauçuk, ilaç, gübre ve hayvan yemlerinde katkı ve/veya dolgu maddesi olarak, gastrit, mide ülseri ve artan bağırsak fermantasyonunun tedavisinde asit nötrleştirici olarak ve vücuttaki Mg eksikliğini gidermek için Mg kaynağı olarak kullanılır (Pei, & ark. 2010; Reza, & ark. 2019; Zijun, & ark. 2020). Düşük oranlarda (ağırlıkça %1-10) MgO ilavesi; oksit, borür, karbür ve nitrür esaslı seramiklerin sinterlenebilme davranışları ve mekanik özelliklerinin artmasına katkıda bulunmaktadır (Gogolewski, & ark. 2009). Belirtilen bu oranlarda, MgO ilavesinin oksit, borür, karbür ve nitrür esaslı seramiklerin dışında kalan ve bir seramik malzeme olan HA' nın biyolojik özelliklerine etkisi üzerine de çok sayıda inceleme vardır. Örneğin; MgO ilaveli HA' in mineralizasyonun ilk aşamalarının iyileştirilmesine ve kemik-kemik çimentosu ara yüzey bölgesinin kırılma tokluğunun artırılmasına katkıda bulunduğu (Ahmed, & ark. 2012; Morshed, & ark. 2013) belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, ağırlıkça %1 oranında MgO ilaveli HA' e ait hücre kültürü testlerinde başarılı sonuçların alındığı (Rahmati, & ark. 2018) ve diş ve ortopedik enfeksiyonları önlemede HA ile birlikte antibakteriyel kemik ikamesi olarak kullanılabilmesi (Catarina, & ark. 2019) ispatlanmıştır. Ticari saflıkta, sentetik ve/veya biyolojik olarak üretilmiş olan HA' e ağırlıkça %0.1-20 arasında olmak üzere takviye malzemesi olarak kullanılmış olan MgO' in, Tablo 1' de görüleceği üzere; HA' in yoğunluk, sertlik, basma dayanımı, Young modülü ve kırılma tokluğu gibi mekanik özelliklerinin gelişmesine de katkıda bulunduğu belirlenmiştir:

Bu çalışmanın amacı; farklı sinterleme sıcaklıkları ve farklı oranlardaki MgO ilavesinin ticari saflıktaki bir HA' in sinterlenebilme, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerinin incelenmesidir. Bu amaçla HA' e ağırlıkça %0.5, %1 ve %2 oranlarında olmak üzere MgO ilave edilmiş ve beş farklı sıcaklıkta 4 saat süre ile sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işlemleri sonrası, sinterleme sıcaklıkları ve MgO oranına bağlı olarak HA' in özelliklerindeki değişimler farklı analiz teknikleri ve testlerle araştırılmıştır.

DENEYSEL İŞLEMLER

Numune Hazırlama ve Sinterleme

Bu çalışmada; HA ve MgO tozları kullanıldı. Tozların partikül boyutları Malvern Mastersizer cihazı ile faz analizleri ise Philips X'Pert marka XRD cihazında (25-50° lik 2θ aralığında 0.02° lik ilerleme hızında) belirlendi. HA' e sırasıyla ağırlıkça %0.5, %1 ve %2 oranlarında olmak üzere MgO ilave edilerek, 3 farklı oranda MgO ilaveli HA karışımı hazırlandı. Hazırlanan 3 farklı karışımın her biri, zirkonya kaplı paslanmaz çelik hazne içerisinde yüksek saflıkta etil alkol (Merck) ve 10 mm çapında zirkonya bilya (ağırlıkça bilya/toz oranı 7/1 olacak şekilde) ilavesi ile

Tablo 1 Farklı Türden HA' lere MgO İlavesinin Etkisi

| HA türü- MgO oranı (%ağırlıkça) | En iyi özelliklerin elde edildiği MgO oranı (%ağırlıkça) | Yoğunluk (g/cm ³) | Sertlik (HV) | Basma Dayanımı (MPa) | Kırılma Tokluğu (MPam ^{1/2}) | Elastite Modülü (GPa) | Referans No |
|--|--|----------------------------------|-----------------|----------------------------|--|-----------------------------|----------------------------|
| Nano HA/0.1-0.5 | 0.5 | 3.04 | - | 127.7 | 1.16 | 126.31 | (Gautam, & ark. 2016) |
| Sığır HA/5- 10 | 5 | 2.84 | 305 | 121.85 | - | - | (Oktar, & ark. 2007) |
| Ticari Safılıkta (Across Organics) HA/5Nb ₂ O ₅ /5 | 5 | 3.01 | 393 | 96 | - | - | (Demirkol, 2017) |
| Ticari Safılıkta HA (Across Organics)-5 ve 10 | 5 | 2.90 | 370 | 85 | - | - | (Demirkol, & ark. 2012) |
| Koyun HA/5 ve 10 | 10 | 2.99 | 458 | 116 | - | - | |
| Ticari Safılıkta HA (Sigma Aldrich)/β- TCP (10-20)- MgO (20-10) | 20 | - | 350 | 65 | - | - | (Camelia, & ark. 2019) |

180 rpm hızda 2 saat süre ile homojenize edildi. Zirkonya bilyalar ve paslanmaz çelik hazne homojenizasyon işlemi öncesi kontaminasyon oluşumunu engellemek için etil alkol ile temizlendi. Homojenizasyon işlemi sonrası her bir karışım 105°C' de 24 saat boyunca kurutuldu. Kurutma işlemleri sonrası, her bir karışımdan ve saf HA' dan 1.810 gram toz tartıldı. Tartılan tozlar, herhangi bir bağlayıcı ve/veya yağlayıcı kullanılmaksızın 3.38 ton yük altında 20 saniye süre ile 11 mm çapta ve yükseklikte olacak şekilde (Pazarlioglu, & Salman, ^a 2019) tek eksenli olarak preslendi. Presleme işlemi sonrası hazırlanan numuneler 105°C' de 24 saat boyunca kurutuldu ve 5°C/dakikalık ısıtma ve soğutma rejimlerinde sırasıyla 900, 1000, 1100, 1200 ve 1300°C sıcaklıklarda 4 saat süre ile sinterlendi.

Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Fiziksel özelliklerin belirlenmesinde ham yoğunluk, %porozite, sinter sonrası yoğunluk ve kısmi yoğunluk ölçümleri yapıldı. Preslenen numunelerin ham yoğunlukları; Formül 1 kullanılarak, ağırlık/hacim oranlarından bulundu. Sinter sonrası yoğunluk (Formül 2) ve %porozite oranları (Formül 3) Arşimet yöntemi ile belirlendi. Kısmi yoğunluk değerleri Formül 4 ile kısmi yoğunluk değerlerinin belirlenmesi için gerekli olan teorik yoğunluk değerleri ise Formül 5 ile belirlendi. (HA' nın teorik yoğunluğu 3.156 g/cm³, MgO' nun teorik yoğunluk değeri ise 3.580 g/cm³ olarak alındı).

$$d_h = \frac{w}{v} \quad (1)$$

d_h : Ham yoğunluk (g/cm³), w : Preslenmiş numunenin ağırlığı (g), v : Preslenmiş numunenin hacmi (cm³)

$$d_s = \frac{M_k}{M_a - M_s} \quad (2)$$

$$\rho = \left(\frac{M_a - M_k}{M_a - M_s} \right) \times 100 \quad (3)$$

d_s : Sinter yoğunluğu (g/cm^3), M_k : Kuru ağırlık (g), M_a : Askıdaki ağırlık (g), M_s : Sudaki ağırlık (g), p : Porozite miktarı (%)

$$d_k = \left(\frac{d_s}{d_t}\right) \times 100 \quad (4)$$

$$d_t = \frac{m_t}{\left(\frac{m_1}{d_1} + \frac{m_2}{d_2}\right)} \quad (5)$$

d_k : Kısmi yoğunluk (%), d_t : Teorik yoğunluk (g/cm^3), m_t : Toplam ağırlık (g), m_1 : Karışımdaki HA' nin ağırlıkça oranı (g), m_2 : Karışımdaki MgO' nun ağırlıkça oranı (g), d_1 : HA' nin teorik yoğunluğu (g/cm^3), d_2 : MgO' nun teorik yoğunluğu (g/cm^3)

Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde sertlik, kırılma tokluğu ve basma dayanımı testleri kullanıldı. Sertlik ve kırılma tokluğu ölçümleri 20 saniyelik test süresinde olmak üzere sırasıyla 200 gram ve 300 gram yük kullanılarak Future Tech FM 300 marka cihazda gerçekleştirildi. Sertlik ve kırılma tokluğu ölçümleri için 3 farklı numune yüzeyinden 10' ar adet ölçüm alındı ve Formül 6 ve Formül 7' de belirtilen eşitlikler kullanıldı. Sinterlenen numunelerin basma dayanımı, Devotrans marka test cihazında 2 mm/dakikalık hızda belirlendi ve her bir test için 5' er adet numune kullanıldı.

$$HV = 0.00018544(P/d^2) \quad (6)$$

HV : Sertlik değeri (MPa), P : Uygulanan kuvvet (N), d : Ortalama iz çapı (mm^2) (Khalil, & ark. 2007)

$$K_{ic} = 0.203(c/a)^{-1.5}(HV)(a)^{0.5} \quad (7)$$

K_{ic} : Kırılma tokluğu ($MPam^{-1/2}$), c : Oluşan çatlakın mikrosertlik izinin merkezine uzaklığı (m), HV : Sertlik (GPa), a : Mikrosertlik ölçümünde oluşan izin yarısı (m) (Niihara, 1985)

Mikroyapısal Özelliklerin Belirlenmesi

Sinterleme sıcaklıkları ve değişen MgO ilavelerine bağlı olarak meydana gelen fazlar, Philips X'Pert marka XRD cihazında 25-50° lik 2θ aralığında 0.02° lik ilerleme hızı ile belirlendi. Farklı sinterleme sıcaklıkları ve MgO ilavelerinin, HA' nin tane büyüklüğü ve yüzey morfolojisine yapmış olduğu etkiler, FEI Sirion XL30 marka taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntülendi. Tane boyutundaki değişimler lineal intercept metodu ile belirlendi (Sato, & ark. 2004).

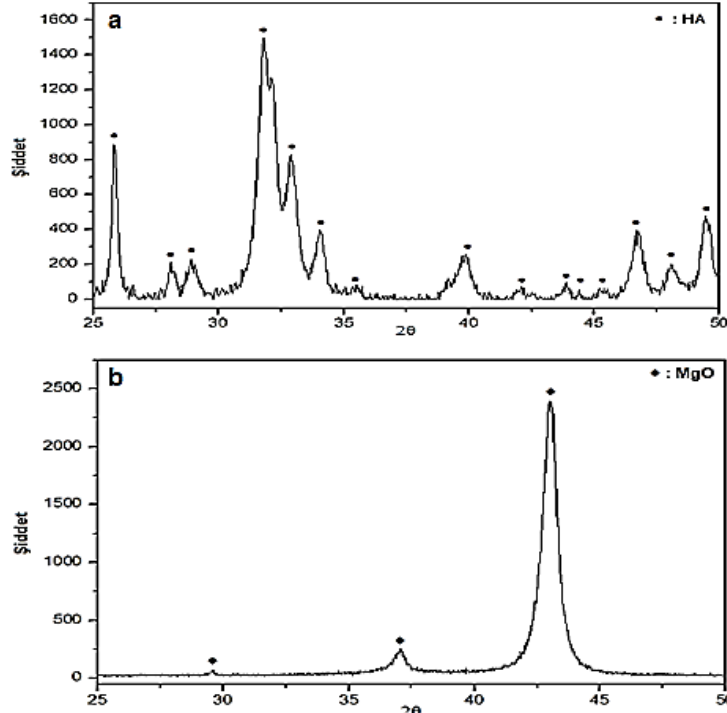
SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan HA ve MgO tozlarına ait özellikler ve faz analizleri, sırasıyla Tablo 2 ve Şekil 1' de görüldüğü üzeredir. Tablo 2' den görüleceği üzere; MgO küresel formda ve HA' dan daha düşük partikül boyutuna sahip olacak şekilde ve Across Organics firmasından temin edilen bu matris malzemesine yönelik gerçekleştirilen ve Tablo 1' de verilen ağırlıkça %5-10 oranından daha az olacak seçildi. Bunun nedeni; ilgili çalışmalarda kullanılan HA' lerin %5-10 oranlarında MgO ilaveleri neticesinde; yüksek oranda dekompoze olmaları ve insan vücudunda kullanılabilir nitelikte basma dayanımı (100-230 MPa) aralığına ulaşamamasıdır. Şekil 1' de görüldüğü üzere; her iki tozda herhangi bir süreksizlik içermemektedir. HA' in Ca/P molar oranı 1.67 olup stoikiometrik HA ile uyumludur (Joanna, & ark. 2015) ve daha önceki çalışmamızda da belirtildiği üzere; biyomedikal uygulamalarda kullanılacak kimyasal bileşime sahiptir (Pazarlioglu, & Salman. ^b 2019).

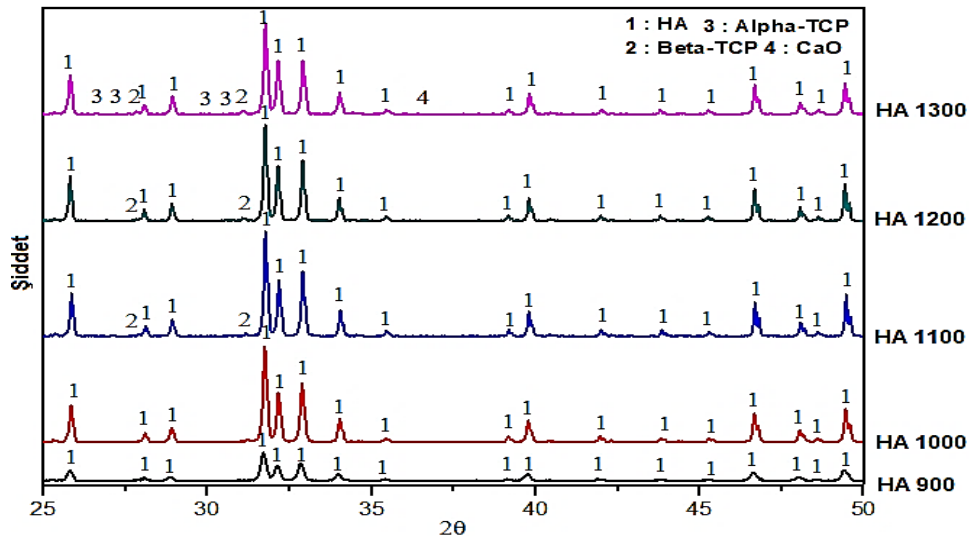
Şekil 2 MgO ilavesiz HA' in XRD analizini göstermektedir. MgO ilavesiz HA' de; 1100°C' den itibaren beta-trikalsiyum fosfat (β -TCP) fazı tespit edildi ve ilgili fazın şiddetinin artan sıcaklıklarla arttığı belirlendi. 1300°C' de ise ana faz olan HA' e ve β -TCP' a ek olarak (alfa-trikalsiyum fosfat) α -TCP ve kalsiyum oksit (CaO) fazlarının meydana geldiği tespit edildi.

Tablo 2 HA ve MgO Tozlarının Özellikleri

| | HA | MgO |
|-----------------------------|---|---|
| Temin edildiği firma | Across Organics, Belçika | Sigma Aldrich, A.B.D |
| Şekli | Düzensiz | Küresel |
| | D ₁₀ D ₅₀ D ₉₀ | D ₁₀ D ₅₀ D ₉₀ |
| Partikül boyutu (µ) | 1.843 7.096 28.649 | 1.390 3.266 8.575 |
| Safılık | Ticari saflıkta | %99.5 |

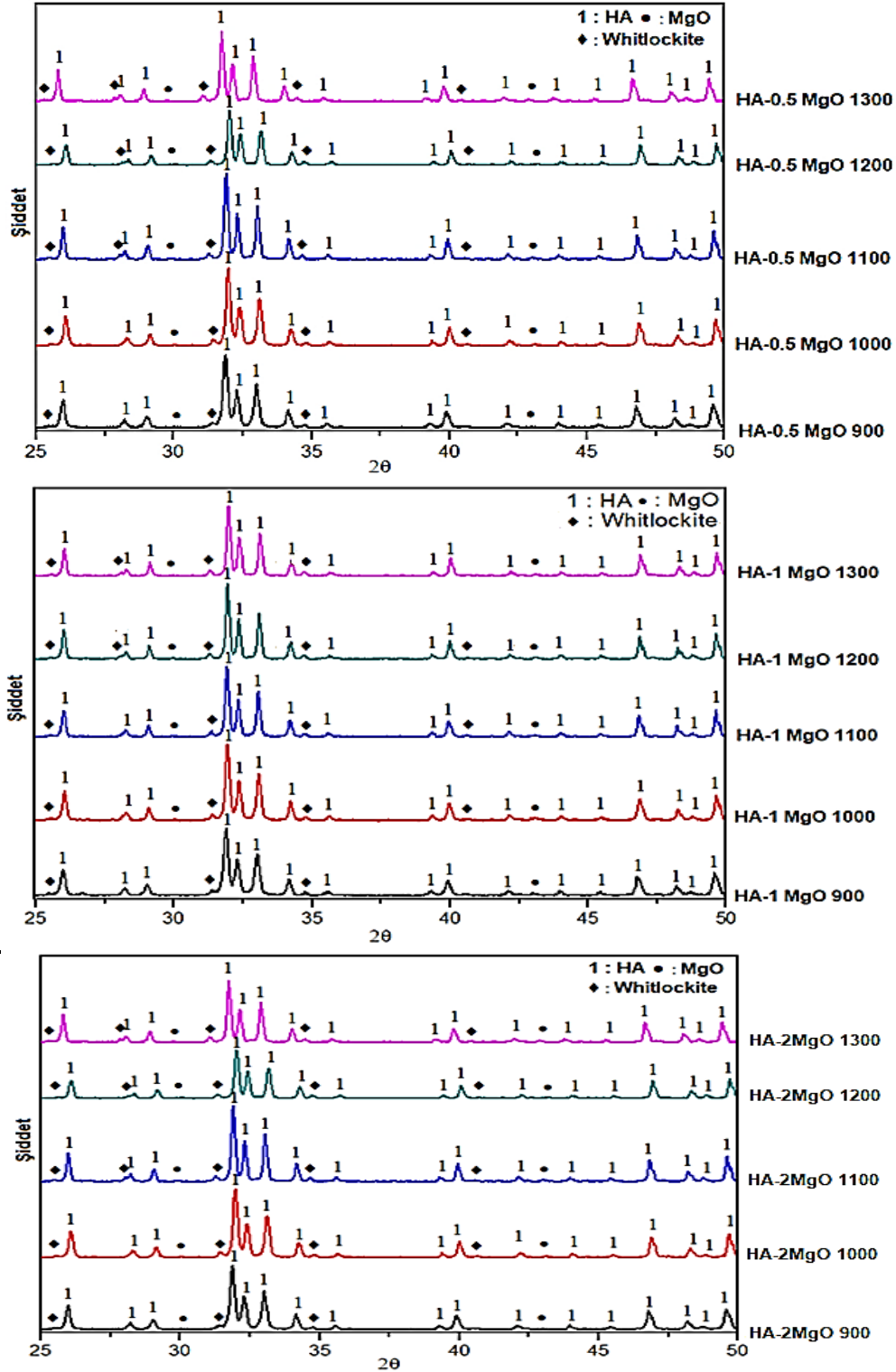


Şekil 1 a-) HA, b-) MgO Tozlarının Faz Analizleri



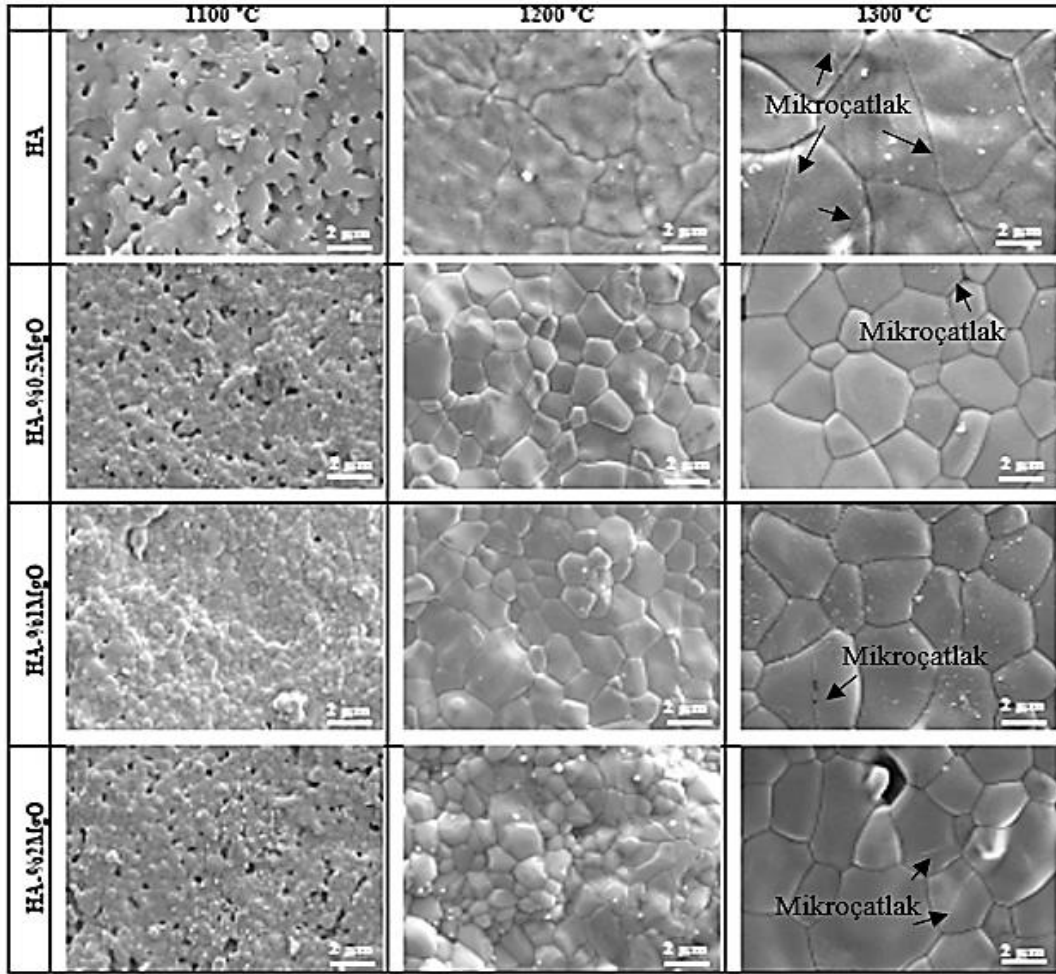
Şekil 2 MgO İlavetsiz HA' in XRD Analizi

Şekil 3 MgO ilaveli HA' lerin XRD analizlerini göstermektedir. MgO ilaveli HA' lerde, ana faz olan HA' e ilaveten MgO ve whitlockite ($\text{Ca}_{2.71}\text{Mg}_{0.29}(\text{PO}_4)_2$) fazı tespit edildi. Ancak; MgO ilavesiz HA' de oluşan β -TCP, α -TCP ve CaO fazlarının meydana gelmediği görüldü.



Şekil 3 MgO İlaveli HA' lerin XRD Analizleri

Şekil 4 1100°C ve üstündeki sıcaklıklarda sinterlenen MgO ilavesiz ve ilaveli HA' lerin yüzey morfolojilerine ait SEM mikroyapı görüntülerini göstermektedir. 1100°C' de sinterlenen tüm numunelerin, düşük oranlı boyunlardan oluşan tanelere sahip olduğu ve bu sıcaklığın tüm numunelerde yetersiz sinterleme etkisine sahip olduğu görüldü. Artan sinterleme sıcaklıkları ile MgO ilavesiz HA' in düzensiz, aşırı büyümüş (Tablo 3) ve iç kısımlarında boydan boya ilerleyen çatlakları ihtiva eden tanelerden oluştuğu belirlendi. 1200°C ve 1300°C' lik sıcaklıklarda MgO ilavesi ile HA' da meydana gelen aşırı tane büyümelerinin kısıtlandığı, ancak eş eksenli ve homojen dağılımlı tanelerin %0.5 ve %1 MgO ilaveleri ile elde edildiği belirlendi. Tüm sıcaklıklarda %2 MgO ilavesinin HA' nın sinterlenebilirliğini olumsuz yönde etkilediği, ancak MgO ilaveleri ile HA' da meydana gelen çatlak oluşum oranlarının azaldığı görüldü.



Şekil 4 1100°C ve Üstündeki Sıcaklıklarda Sinterlenen MgO İlaversiz ve İlaveli HA' in Yüzey Bölgelerine Ait SEM Mikroyapı Görüntüleri

Tablo 3 MgO İlaveli ve İlavesiz HA' nın Ortalama Tane Boyutunun Sinterleme Sıcaklıklarına Bağlı Olarak Değişimi

| Özellik | T (°C) | HA | HA-%0.5MgO | HA-%1MgO | HA-%2MgO |
|------------------|--------|----------------|--------------|-------------|-------------|
| Tane Boyutu (µm) | 1100 | 0.473±0.035 | 0.394±0.075 | 0.427±0.096 | 0.345±0.050 |
| | 1200 | 7.955±1.616 | 1.598±0.411 | 1.342±0.259 | 0.844±0.071 |
| | 1300 | 17.167 ± 2.156 | 2.262± 0.755 | 2.612±0.548 | 2.541±0.509 |

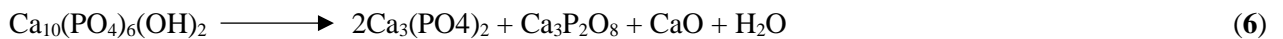
Tablo 4 MgO ilavesiz ve ilaveli HA' lerin fiziksel ve mekanik özelliklerini göstermektedir. Tablo 4' den görüleceği üzere; artan sinterleme sıcaklıklarına bağlı olarak MgO ilaveli ve ilavesiz HA' in %porozite oranları hariç fiziksel özellikleri artmaktadır. 1300°C' de sinterleme sonrası, yoğunluklarının 3 g/cm³' ün, kısmi yoğunlukların ise %95' in üzerine çıktığı belirlendi. Ayrıca; gerek MgO ilaveli gerekse ilavesiz HA' lerde artan sıcaklıklarla birlikte sertlik değerlerinin arttığı, kırılma tokluğu ve basma dayanımı değerlerinin ise MgO ilavesiz HA ve %2 MgO ilaveli HA' de 1100 °C, %0.5 ve %1 oranlarında MgO ilaveli HA' lerde ise 1200 °C' de en yüksek değerlerine ulaştığı ve artan sıcaklıklarla birlikte azaldığı belirlendi. %0.5 ve %1 MgO ilavesi ile HA' nın tüm sıcaklıklardaki fiziksel ve mekanik özelliklerinin artış gösterdiği, ancak %2 MgO ilavesinin olumsuz yönde etkiye sahip olduğu belirlendi. %1 MgO ilavesinin HA' nın basma ve kırılma tokluğunda diğer MgO ilave oranlarına kıyasla daha iyi etkiye sahip olduğu ve MgO ilavesiz HA' nın kırılma tokluğunda %38 oranında, basma dayanımında ise %53 oranında artışa katkıda bulunduğu belirlendi.

Tablo 4 MgO İlavessiz ve İvelveli HA' ların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

| Özellik | T (°C) | HA | HA- %0.5MgO | HA-%1MgO | HA-%2MgO |
|---|--------|--------------|----------------|--------------|--------------|
| Porozite (%) | 900 | 36.992±0.500 | 38.134±1.977 | 36.046±1.991 | 39.856±0.936 |
| | 1000 | 31.396±1.553 | 32.017±1.941 | 30.388±0.732 | 35.733±0.663 |
| | 1100 | 26.589±0.895 | 21.425±1.09 | 15.297±1.430 | 24.816±0.076 |
| | 1200 | 4.018±0.595 | 1.446±0.420 | 1.257±0.282 | 5.262±0.440 |
| | 1300 | 2.912±0.769 | 1.219±0.019 | 1.019±0.185 | 3.132±0.428 |
| Yoğunluk (g/cm ³) | 900 | 1.955±0.011 | 1.923±0.025 | 2.118±0.067 | 1.902±0.057 |
| | 1000 | 2.140±0.051 | 2.133±0.021 | 2.169±0.093 | 2.047±0.011 |
| | 1100 | 2.316±0.028 | 2.423±0.069 | 2.586±0.025 | 2.383±0.000 |
| | 1200 | 3.029±0.018 | 3.043±0.018 | 3.047±0.000 | 2.790±0.044 |
| | 1300 | 3.064±0.024 | 3.046±0.011 | 3.068±0.041 | 3.059±0.014 |
| Kısmi yoğunluk (%) | 900 | 61.971±0.376 | 60.890±0.814 | 67.094±2.135 | 60.141±1.821 |
| | 1000 | 67.828±1.618 | 67.533±0.668 | 68.704±0.295 | 64.868±0.175 |
| | 1100 | 75.365±0.284 | 78.101±0.210 | 81.885±0.822 | 75.364±0.158 |
| | 1200 | 97.817±0.464 | 96.334±0.570 | 96.535±0.232 | 88.216±0.141 |
| | 1300 | 98.353±0.176 | 96.450±0.118 | 97.885±1.312 | 96.735±0.456 |
| Sertlik (HV _{0.2}) | 900 | 0.764±0.012 | 0.873±0.038 | 0.896±0.052 | 0.749±0.095 |
| | 1000 | 1.130±0.029 | 1.128±0.043 | 1.184±0.032 | 0.817±0.061 |
| | 1100 | 1.512±0.053 | 1.892±0.018 | 2.071±0.041 | 1.557±0.133 |
| | 1200 | 4.768±0.166 | 4.773±0.304 | 4.785±0.223 | 2.714±0.331 |
| | 1300 | 4.871±0.151 | 4.988±0.644 | 5.036±0.385 | 4.148±0.466 |
| Kırılma tokluğu (MPa m ^{1/2}) | 900 | 0.689±0.054 | 0.708±0.078 | 0.911±0.086 | 0.500±0.092 |
| | 1000 | 0.887±0.097 | 0.806±0.081 | 0.939±0.058 | 0.776±0.051 |
| | 1100 | 0.961±0.056 | 0.890±0.069 | 1.160±0.019 | 1.118±0.264 |
| | 1200 | 0.927±0.065 | 1.229±0.139 | 1.472±0.041 | 0.806±0.099 |
| | 1300 | 0.717±0.066 | 0.911±0.131 | 0.860±0.036 | 0.754±0.023 |
| Basma gerilmesi (MPa) | 900 | 91.33±6.80 | 73.00±6.54 | 75.00±6.76 | 59.50±7.67 |
| | 1000 | 102.66±10.26 | 87.66±10.40 | 118.00±32.52 | 83.00±17.08 |
| | 1100 | 130.20±6.220 | 95.00±19.07 | 126.50±20.50 | 112.50±4.94 |
| | 1200 | 101.80±5.01 | 179.00±28.16 | 183.25±25.09 | 97.50±30.40 |
| | 1300 | 65.60±5.59 | 112.25±32.19 | 108.00±17.51 | 78.75±26.86 |

TARTIŞMA

Sahip olduğu üstün biyolojik özellikleri HA' i biyomedikal uygulamalarda kullanılabilirlik bakımından cazip kılar. Ancak; doğası gereği dekompoze olmakta ve dekompoze olma sıcaklıkları üretim yöntemi, sinterleme parametreleri ve ortamına bağlı olarak 700-1400°C arasında değişmektedir (Fathi, & ark. 2008). Bu çalışmada kullanılan HA' in 1100°C' den itibaren β-TCP fazını içerecek şekilde dekompoze olmaya başladığı belirlendi. 1300°C' de sinterlenmesi sonrası ise β-TCP' ye ek olarak α-TCP ve CaO fazlarını ihtiva ettiği belirlendi. Bu sıcaklıkta belirtilen bu fazların oluşumu Reaksiyon 6' da görüldüğü üzeredir:



Bünyesinde β-TCP, α-TCP ve CaO gibi fazları bulduran HA' in, in vitro ve in vivo ortama maruz kalması durumunda, HA' ya göre daha yüksek emilim özelliklerinden dolayı β-TCP (3-12 kat) ve α-TCP (> 12 kat) vücut tarafından emilir. Bu emilim nedeni ile oluşan boşluklardan dolayı HA' nın vücut içindeki mekanik özellikleri azalır (Lin, & ark. 2001). CaO ise vücut sıvısı ile etkileşime girer ve kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) fazı oluşur. Ca(OH)₂ fazı ise HA esaslı biyoseramiklerin dokulara bağlanma yeteneğinin azalmasına sebebiyet verir (Ślósarczyk, & Piekarczyk, 1999). Belirtilen sebeplerden dolayı bu fazların düşük oranlarda olması gerekir. Bu çalışmada; matris malzemesi olarak kullanılan HA' in daha önce yapmış olduğumuz çalışma belirttiğimiz üzere (Pazarlioglu, &

Salman, 2017); dekompozisasyon oranı 1100°C' den itibaren her bir sıcaklık için %10' nun altındadır. MgO ilavesiz HA' de toplam dekompozisasyon oranının %10' nun altında olmasının nedeni; sinterleme işlemlerinin 5°C/dak' lık ısıtma ve soğutma rejimlerinde yapılmasıdır (Torres, & ark. 2016).

MgO ilaveli HA' lerde MgO ve whitlockite fazları belirlendi. Whitlockite; Reaksiyon 7' de görüldüğü üzere, MgO içerisindeki Mg⁺² iyonunun β-TCP içerisine difüze olması sonucu oluşur ve β-TCP' nin stabilize olmasını sağlar (Xiaoheng, & ark. 2018). Bu etkisi nedeni ile HA matrisli biyoseramiklerin yoğunlaşma, biyoyumluluk ve mekanik özelliklerine katkıda bulunur. Ayrıyeten vücut içindeki çözünürlüğü β-TCP' ye oranla daha düşüktür (Maroua, & ark. 2019).



İnsan kemiğinin inorganik kısmının yaklaşık 1/3' ü whitlockite' ten oluşur. Whitlockite; osteojenik farklılaşmayı güçlendirir ve osteojenik proteinlerin çekimine izin veren negatif yüklü bir yüzey sunar (Bellucci, & ark. 2017). Bu özellikleri nedeni ile HA ve whitlockite fazlarının bir arada bulunması biyomedikal uygulamalarda arzu edilen bir birlikteliktir.

HA' e ağırlıkça %0.1-4 arasında Mg⁺² ikamesi; HA' in doğası gereği oluşan β-TCP, α-TCP ve CaO fazlarının oluşumunu engellemekte ve bu fazların yerine whitlockite fazının oluşumunu sağlamaktadır. Ancak; ağırlıkça %5 ve üstündeki oranlarda ilavesi ise HA' in büyük bir kısmının dekompoze olmasına sebebiyet vermektedir (Liga, & ark. 2013). Bu nedenle; bu çalışmada ağırlıkça %5' in altında olacak şekilde, MgO ilavesi yapılmıştır.

MgO ilavesiz HA' in 1200°C ve 1300°C' lik sıcaklıklarda sinterlenmesinin, Şekil 4' de görüleceği üzere; düzensiz, aşırı büyümüş ve iç kısımlarında boydan boya ilerleyen çatlakları ihtiva eden tanelerden oluşmasına sebebiyet verdiği, ancak MgO ilavesi ile hem tane büyümesinin hem de mikroçatlak oluşumlarının azaltılabileceği belirlendi. MgO ilavesi ile HA' in ortalama tane boyutundaki artışın engellenmesi; ilave malzeme olarak kullanılan MgO' in, matris malzemesi olarak kullanılan HA' e oranla daha düşük termal genişleme katsayısına sahip olmasıdır [MgO: 8.0x10⁻⁶K⁻¹ (Xiuhua, & ark. 2012), HA: 13.6x10⁻⁶K⁻¹ (Ślósarczyk, & ark. 2000)]. Mikroçatlak oluşum oranlarındaki azalmanın nedeni ise; ana faz olan HA ile α-TCP ve CaO fazlarının farklı kristal kafes yapılarına ve kafes parametrelerine sahip olması ve her ne kadar β-TCP ile aynı kafes yapısına sahip olsa da whitlockite' in HA kristal kafes yapısında daha az oranda gerinmeye neden olmasıdır (Tablo 5).

Tablo 5 HA İçerisinde Oluşan Eser Fazların Kristal Kafes Tipleri ve Kafes Parametreleri

| Faz Türü | Kristal Kafes Tipi | Kristal Kafes Parametreleri (Å) | Referans |
|-------------|--|------------------------------------|----------------------------|
| HA | Hegzagonal Sıkı Paket (P _{6/3m}) | a = b = 9.415, c = 6.879 | (Pazarlıoğlu, & ark. 2017) |
| Whitlockite | Hegzagonal Sıkı Paket (R _{3c}) | a = b = 10.337, c = 37.068 | (Schroeder, & ark. 1977) |
| β-TCP | Hegzagonal Sıkı Paket (R _{3c}) | a = b = 10.435, c = 37.403 | (Masatomo, & ark. 2003) |
| α-TCP | Monoklinik (P2 ₁ /a) | a = 12.887, b = 27.280, c = 15.219 | (Mathai, & Shozo, 2001) |
| CaO | Kübik | a = b = c = 4.797 | (Huang, & ark. 1994) |

Üç nedenden dolayı MgO ilaveli ve ilavesiz HA' lerde 1200°C' nin altındaki sıcaklıklarda düşük oranlarda fiziksel özellikler elde edilmiştir: Bunlar; yüksek oranda gözeneklilik, düşük oranda yoğunlaşma ve taneler arasında düşük oranda boyun oluşumlarının meydana gelmesidir. 1200°C' de sinterlemenin; yoğunlaşmada keskin bir artışa, gözenek miktarının %39 civarından %1.25' e kadar gerilemesine, ortalama tane boyutu değerlerinin ise artış göstermesine katkıda bulunduğu belirlendi. 1300°C sıcaklıkta sinterlenen MgO ilaveli HA' lere ait kısmi yoğunluk değerleri %95' in üzerindedir. Bu değerler; %5 MgO ilavesinin yapıldığı ve aynı sıcaklıkta sinterlenen HA-%40ZrO₂' ye ait kısmi yoğunluk değerinden (%60), ilgili çalışmada HA' nin α-TCP' ye dönüşmesi ve %83 oranında dekompozisasyonun meydana gelmesinden ötürü daha fazladır (Evis, & ark. 2009). Bu fazlalığın en büyük nedeni; whitlockite' in (3.13 g/cm³) (Hughes, & ark. 2006) α-TCP' ye (2.86 g/cm³) (Kim, & ark. 2003) oranla daha yüksek teorik yoğunluk

değerine sahip olmasıdır. MgO ilavesi ile HA' in ortalama tane boyutundaki artışın ve MgO ilavesiz HA' i oluşturan tanelerin bir ucundan diğer ucuna kadar ulaşan çatlak oluşumlarının önlenemediği ve HA' in fiziksel özelliklerinde artışa katkıda bulunduğu belirlendi. MgO ilavesi ile HA' in fiziksel özelliklerindeki artışın nedeni; sinterleme sırasında HA kristal yapısında bulunan Ca^{+2} ye (0.99 Å) oranla daha düşük oranda iyon yarıçapına sahip olan Mg^{+2} nin (0.66 Å), HA' nin kristal kafes hacminde küçülmeye neden olmasıdır (Bodhak, & ark. 2011). Genel olarak tüm sıcaklıklar için HA' e ağırlıkça %0.5 ve %1 oranlarında MgO ilavesinin saf HA' in sertlik değerlerinde artışa neden olduğu, ancak %2 oranında MgO ilavesinin azalmaya neden olduğu görülmektedir. Bunun 3 temel nedeni vardır:

- HA' e oranla MgO' nun daha sert olması ve bu özelliği nedeni ile indentasyon sırasında lokal matris deformasyonunu engellemesi (Mahraza, & ark. 2018).
- Ağırlıkça %0.5 ve %1 oranlarında MgO ilavelerinin HA' in yoğunluğunun artmasına katkıda bulunması.
- Ağırlıkça %1' in üzerinde MgO ilavesinin; porozite oranında artışa neden olması ve HA' in sinterlenebilirliğini olumsuz yönde etkimesidir (Tan, & ark. 2011). Timothy & Case' in belirttiği üzere; seramiklerin sertliği porozite oranının artması ile azalmaktadır (Timothy & Case, 2003).

Bu çalışmada en yüksek kırılma tokluğu değeri 1.472 ± 0.041 MPam^{1/2} ile 1200°C sıcaklıkta sinterlenen %1 MgO ilaveli HA' e aittir. Bu değer; 1150°C' de sinterlenmiş nano HA-%1MgO (Tan, & ark. 2013)' ya ait 1.48 ± 0.17 MPam^{1/2} lik değerle uyumludur. Ancak ilgili çalışmada matris malzemesi olarak kullanılan nano HA' in kırılma tokluğuna (1.08 ± 0.05 MPam^{1/2}) %1 oranında MgO ilavesinin %37' lik, bu çalışmada ise %53 oranında artışa katkıda bulunduğu belirlendi. Bu çalışmada; ağırlıkça %1 oranında MgO ilavesinin saf HA' in basma dayanımında %40 oranında artış sağladığı ve bu artış oranının %33.8 olan %1 MgO-nano HA' e (Kalita, & Bhatt, 2007) oranla biraz daha fazla olduğu belirlendi. Ağırlıkça %1 oranında MgO ilaveli HA' e ait kırılma tokluğu ve basma dayanımı değerlerinin gerek saf HA gerekse diğer HA-MgO' lardan daha yüksek olmasının nedeni; bimodal yani küçük ve büyük taneleri içeren bir mikroyapıya sahip olması nedeni ile tane sınırı alanının daha büyük olması ve yüksek sinterleme yoğunluğuna sahip olmasıdır (Ryu, & ark. 2004). Her ne kadar ağırlıkça %0.5 ve %1 oranlarında MgO ilaveli HA' in 1300°C' de sinterlenmesi sonrası basma dayanımı ve kırılma tokluğu değerlerinde azalmalar meydana gelse de, bu çalışmaya ait en yüksek yoğunluk, sertlik ve basma dayanımı özelliklerinin, Tablo 1' de sunulan çalışmalardan ve %0.5-2 oranlarında MgO ilaveli nano HA' e ait tüm fiziksel ve mekanik özelliklerinden (Kumar, & ark. 2020) daha yüksek olduğu ve kemiğe ait basma dayanımı (100-230 MPa) aralığında basma dayanımı değerlerinin elde edilebildiği belirlendi. Ancak; sahip olduğu düşük kırılma tokluğu değeri nedeni ile insan vücudunda kullanımı uygun değildir.

DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada 5 farklı sinterleme sıcaklığı ile 3 farklı oranda MgO ilavesinin HA' in sinterlenebilme, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri incelendi. Yapılan incelemeler neticesinde aşağıda belirtilen bulgulara ulaşıldı:

- MgO ilavesiz HA' in fiziksel özellikleri artan sıcaklıklarla artmakta iken, en iyi mekanik özellikler 1100°C sıcaklıkta elde edildi.
- MgO ilavesiz HA' in 1100°C' den itibaren dekompoze olmaya başladığı belirlendi.
- MgO ilavesiz HA' in 1200°C ve 1300°C sıcaklıklarda sinterlenmesi sonrası, aşırı tane büyümesi ve mikroçatlak oluşumları nedeni ile mekanik özelliklerinin azaldığı belirlendi.
- MgO ilaveli HA' lerde, ana faz olan HA' e ilaveten MgO ve whitlockite fazları belirlendi.
- Ağırlıkça %0.5 ve %1.0 oranlarında MgO ilavesi ile tüm sinterleme sıcaklıkları için HA' in fiziksel ve mekanik özelliklerinin artırılabilirdiği belirlendi.
- MgO ilavesi ile HA' de meydana gelen aşırı tane büyümelerinin ve mikroçatlak oluşum oranlarının azaltıldığı belirlendi.
- Ağırlıkça %1 oranında MgO ilaveli HA' in her ne kadar en iyi basma mukavemetine sahip olsa da, insan vücudunda kullanılabilir nitelikte kırılma tokluğu değerine sahip olmadığı tespit edildi.

KAYNAKLAR

Ahmed A.N., Rawlinson, S., Hill, R.G. (2012). The role of magnesium oxide on thermal properties, structure and bioactivity of bioactive glass coating for dental implants. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 358, 3019-3027.

Aminzare, M., Eskandari, A., Baroonian, M.H., Berenov, A., Hesabi, Z.R., Taheri, M., Sadmezha, S.K. (2013).

- Hydroxyapatite nanocomposites: Synthesis, sintering and mechanical properties. *Ceramics International*. 39, 2197-2206.
- Bellucci, D., Sola, A., Salvatori, R., Anesi, A., Chiarini, L., Cannillo, V. (2017). Role of magnesium oxide and strontium oxide as modifiers in silicate-based bioactive glasses: Effects on thermal behaviour, mechanical properties and in-vitro bioactivity. *Materials Science & Engineering C*. 72, 566-575.
- Bodhak, S., Bose, S., Bandyopadhyay, A. (2011). Influence of MgO, SrO, and ZnO Dopants on Electro-Thermal Polarization Behavior and In Vitro Biological Properties of Hydroxyapatite Ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*. 94(4), 1281-1288.
- Camelia T., Iulian A., Goller, G., Yavas, B., Dan, G., Aurora A., Ion, C., Augustin S., Raiciu, A.D., Ioan C. (2019). The Sintering Behaviour and Mechanical Properties of Hydroxyapatite-Based Composites for Bone Tissue Regeneration. *Materiale Plastice*. 56(3), 644-648.
- Catarina C.C., Rita A., Paulo A.Q., S.R. Sousa, F.J. Monteiroa. (2019). Antibacterial bone substitute of hydroxyapatite and magnesium oxide to prevent dental and orthopaedic infections. *Materials Science & Engineering C*. 97, 529-538.
- Chun, Y., Ying-kui, G., Mi-lin, Z. (2010). Thermal decomposition and mechanical properties of hydroxyapatite ceramic. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 20, 254-258.
- Curran, D.J., Fleming, T.J., Towler, M.R., Hampshire, S. (2011). Mechanical parameters of strontium doped hydroxyapatite sintered using microwave and conventional methods. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 4, 2063-2073.
- Demirkol, N. (2017). Bioactivity Properties and Characterization of Commercial Synthetic Hydroxyapatite-5wt.% Niobium (V) Oxide-5 wt.% Magnesium Oxide Composite. *Acta Physica Polonica A*. 132(3), 786-788.
- Demirkol, N., Meydanoglu, O., Gokce, H., Oktar, F.N., Kayali, E.S. (2012). Comparison of Mechanical Properties of Sheep Hydroxyapatite (SHA) and Commercial Synthetic Hydroxyapatite (CSHA)-MgO Composites. *Key Engineering Materials*. 493-494, 588-593.
- Evis, Z. (2007). Reactions in hydroxylapatite-zirconia composites. *Ceramics International*. 33, 987-991.
- Evis, Z., & Doremus, R.H. (2008). Effect of AlF₃, CaF₂ and MgF₂ on hot-pressed hydroxyapatite-nanophase alpha-alumina composites. *Materials Research Bulletin*. 43 (2008) 2643-2651.
- Evis, Z., Usta, M., Kutbay, I. (2009). Improvement in sinterability and phase stability of hydroxyapatite and partially stabilized zirconia composites. *Journal of the European Ceramic Society*. 29 621-628.
- Falah S.A., & Mohssan, S.N. (2017). Essential Trace Elements and Their Vital Roles in Human Body, *Indian Journal of Advances in Chemical Science*. 5(3), 127-136.
- Fathi, M.H., Hanifi, A., Mortazavi, V. (2008). Preparation and bioactivity evaluation of bone-like hydroxyapatite nanopowder. *Journal of Materials Processing and Technology*. 202, 536-542.
- Gautam, C.R., Kumar, S., Biradar, S., Josec, S., Mishra, V. K. (2016). Synthesis and enhanced mechanical properties of MgO substituted hydroxyapatite: a bone substitute material. *Royal Society of Chemistry Advance*. 6, 67565-67574
- Gogolewski, P., Klimke, J., Krell, A., Beer, P. (2009). Al₂O₃ tools towards effective machining of wood-based materials. *Journal of Materials Processing Technology*. 209, 2231-2236.
- Huang, Q., Chmaissem, O., Capponi, J.J., Chaillout, C., Marezio, M., Tholence, J.L., Santoro, A. (1994). Neutron powder diffraction study of the crystal structure of HgBa₂Ca₄Cu₅O_{12+δ} at room temperature and at 10 K. *Physica C: Superconductivity*. 227(1-2), 1-9.
- Hughes, J.M., Jolliff, B.L. and M.E. Gunter. (2006). The atomic arrangement of merrillite from the Fra Mauro Formation, Apollol 143 lunar mission: The first structure of merrillite from the Moon. *American Mineralogist*, 91, 1547-1552.
- Joanna K., Agnieszka K., Aneta Z., Anna Ś. (2015). Alpha-tricalcium phosphate synthesized by two different routes: Structural and spectroscopic characterization. *Ceramics International*. 41, 5727-5733.
- Kalita, S.M., Bhatt, H.A. (2007). Nanocrystalline hydroxyapatite doped with magnesium and zinc: Synthesis and characterization. *Materials Science and Engineering C*. 27, 837-848.

- Khalil, K.A., Kim, S.W., Dharmaraj, N., Kim, K.W., Kim, H.Y. (2007). Novel mechanism to improve toughness of the hydroxyapatite bioceramics using high-frequency induction heat sintering. *Journal of Materials Processing and Technology*. 187-188, 417-420.
- Kim, S.R., Lee, J.H., Kim, Y.T., Riu, D.H., Jung, S.J., Lee, Y.J., Chung, S.C., Kim, Y.H. (2003). Synthesis of Si, Mg substituted hydroxyapatites and their sintering behaviors. *Biomaterials*. 24, 1389-1398.
- Kumar, S., Gautam, C., Chauhan, B.S., Srikrishna, S., Yadav, R.S., Rai, S.B. (2020). Enhanced mechanical properties and hydrophilic behavior of magnesium oxide added hydroxyapatite nanocomposite: A bone substitute material for load bearing applications. *Ceramics International*. 46, 16235-16248.
- Liga, S., Kristine S.A., Dmitrijs J., Natalija B., Liga B.C. (2013). The Study of Magnesium Substitution Effect on Physicochemical Properties of Hydroxyapatite. *Material Science and Applied Chemistry*. 28, 51-57.
- Liga S., Kristine S.A., Natalija B., Marina S., Dmitrijs J., Liga B.C. (2014). Characterization of Mg-substituted hydroxyapatite synthesized by wet chemical method. *Ceramics International*. 40, 3261-3267.
- Lin, F.H., Liao, C.J., Chen, K.S., Sun, J.S., Lin, C.P. (2001). Petal-like apatite formed on the surface of tricalcium phosphate ceramic after soaking in distilled water. *Biomaterials*. 22, 2981-2992.
- Loreley M.A., Carolina M., Lucia N., Müller, W.D. (2019). Electrochemical deposition of Sr and Sr/Mg-co-substituted hydroxyapatite on Ti-40Nb alloy. *Materials Letters*. 248, 65-68.
- Mahraza, Z.A.S., Sahara, M.R., Ghoshala, S.K., Md Saad, A.P., Syahrom, A. (2018). Sol-gel grown MgO-ZnO-tricalcium-phosphate nanobioceramics: Evaluation of mechanical and degradation attributes. *Corrosion Science*. 138, 179-188.
- Maroua T., Ibrahim A., Algarni, H., Ayed, F.B., Yousef, E.S. (2019). Mechanical and tribological properties of the tricalcium phosphate-magnesium oxide composites. *Materials Science & Engineering C*. 96, 716-729.
- Masatomo Y., Atsushi S., Takashi K., Akinori H. (2003). Crystal structure analysis of β -tricalcium phosphate $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ by neutron powder diffraction. *Journal of Solid State Chemistry*. 175(2), 272-277.
- Mathai, M., Shozo, T., Structures of Biological Minerals in Dental Research. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 106(6), 2001, 1035-1044.
- Morshed K., Yanling L., Tracy M. (2013). Micro and nano MgO particles for the improvement of fracture toughness of bone-cement interfaces. *Journal of Biomechanics*. 46, 1035-1039.
- Nie, J., Zhou, J., Huang, X., Wang, L., Liu, G., Cheng, J. (2019). Effect of TiO_2 doping on densification and mechanical properties of hydroxyapatite by microwave sintering. *Ceramics International*. 45, 13647-13655.
- Niihara, K. (1985). Indentation microfracture of ceramics-its application and problems. *Journal of Ceramic Society of Japan*. 20, 12-18.
- Nikaido, T., Tsuru, K., Munar, M., Maruta, M., Matsuya, S., Nakamura, S., Ishikawa, K. (2015). Fabrication of β -TCP foam: Effects of magnesium oxide as phase stabilizer on its properties. *Ceramics International*. 41, 14245-14250.
- Oktar, F.N., Agathopoulos, S., Ozyegin, L.S., Gunduz, O., Demirkol, N., Bozkurt, Y., Salman, S. (2007). Mechanical properties of bovine hydroxyapatite (BHA) composites doped with SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , and ZrO_2 . *Journal of Materials Science-Materials in Medicine*. 18, 2137-2143.
- Onder, S., Kok, F.N., Kazmanli, K., Urgen, M. (2013). Magnesium substituted hydroxyapatite formation on (Ti, Mg)N coatings produced by cathodic arc PVD techniques. *Material Science & Engineering C*. 33, 4337-4342.
- Pazarlıoğlu, S., & Salman, S. (2017). Sintering effect on the microstructural, mechanical, and in vitro bioactivity properties of a commercially synthetic hydroxyapatite. *Journal of The Australian Ceramic Society*. 53, 391-401.
- Pazarlıoğlu, S. (2019). Hydroxyapatite/Cerium Oxide Composites: Sintering, Microstructural, Mechanical and In-vitro Bioactivity Properties. *International Journal of Advance in Engineering and Pure Science*. 4, 295-304.
- Pazarlıoğlu, S., & Salman, S. ^a (2019). Effect of lanthanum oxide additive on the sinterability, physical/mechanical, and bioactivity properties of hydroxyapatite-alpha alumina composite. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 55, 1195-1209.

- Pazarlioglu, S., & Salman, S. ^b (2019). Effect of yttria on thermal stability, mechanical and in vitro bioactivity properties of hydroxyapatite/alumina composite. *Journal of the Ceramic Processing and Research*. 20(1), 99-112.
- Pei, L.Z., Yin, W.Y., Wang, J.F., Chen, J., Fan, C.G., Zhang, Q.F. (2010). Low Temperature Synthesis of Magnesium Oxide and Spinel Powders by a Sol-Gel Process. *Materials Research*. 13(3), 339-343.
- Que, W., Khor, K.A., Xu, J.L., Yu, L.G. (2008). Hydroxyapatite/titania nanocomposites derived by combining high-energy ball milling with spark plasma sintering processes. *Journal of European Ceramic Society*. 28, 3083-3090.
- Rahmati, M., Fathi, M., Ahmadian, M. (2018). Preparation and structural characterization of bioactive Bredigite ($\text{Ca}_7\text{MgSi}_4\text{O}_{16}$) nanopowder. *Journal of Alloy and Compounds*. 732, 9-15.
- Reza P., Hassanzadeh-Tabrizi, S.A., Reza, E.-K., Alhaji, A., Abbas, A., Nourbakhsh, A. (2019). Polycrystalline infrared-transparent MgO fabricated by spark plasma sintering. *Ceramics International*. 45, 18943-18950.
- Ryu, H.S., Hong, K.S., Lee, J.K., Kim, D.J., Lee, J.H., Chang, B.S., Lee, D., Lee, C.K., Chung, S.S. (2004). Magnesia-doped HA/ β -TCP ceramics and evaluation of their biocompatibility. *Biomaterials*. 25, 393-401.
- Schroeder, L.W., Dickens, B., Brown, W.E. (1977). Crystallographic studies of the role of Mg as a stabilizing impurity in β - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. II. Refinement of Mg-containing β - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. *Journal of Solid State Chemistry*. 22(3), 253-262.
- Sato, K., Yugami, H., Hashida, T. (2004). Effect of rare-earth oxides on fracture properties of ceria ceramics. *Journal of Material Science*. 39, 5765-5770.
- Ślósarczyk, A., Piekarczyk, J. (1999) Ceramic materials on the basis of hydroxyapatite and tricalcium phosphate. *Ceramics International*, 25, 561-565
- Ślósarczyk, A., Klisch, M., Błażewicz, M., Piekarczyk, J., Stobierski, L., Rapacz-Kmita, A. (2000). Hot pressed hydroxyapatite-carbon fibre composites. *Journal of the European Ceramic Society*. 20, 1397-1402.
- Tan, C.Y., Ramesh, S., Tolouei, R., Sopyan, I., & Teng, W.D. (2011). Synthesis of High Fracture Toughness of Hydroxyapatite Bioceramics. *Advanced Materials Research*. 264-265, 1849-1855.
- Tan, C.Y., Yaghoubi, A., Ramesh, S., Adzila, S., Purbolaksono, J., Hassan, M.A., Kutty, M.G. (2013). Sintering and mechanical properties of MgO-doped nanocrystalline hydroxyapatite. *Ceramics International*. 39, 8979-8983.
- Timothy P.H., Case, E.D. (2003). The influence of the microstructure on the hardness of sintered hydroxyapatite. *Ceramics International*. 29, 699-706.
- Torres, P.M.C., Abrantes, J.C.C., Kaushal, A., Pina, S., Döbelin, N., Bohner, M., Ferreira, J.M.F. (2016). Influence of Mg-doping, calcium pyrophosphate impurities and cooling rate on the allotropic $\beta \leftrightarrow \alpha$ -tricalcium phosphate phase transformations. *Journal of the European Ceramic Society*. 36, 817-827.
- Wojciech, S., Masatomo, Y., Masato K., & Masahiro Y. (1997). Hydroxyapatite ceramics with selected sintering additives. *Biomaterials*. 18, 923-933.
- Xiaoheng, G., Xiao L., Huichang G., Xuetao S., Naru Z., Yingjun W. (2018). Hydrothermal growth of whitlockite coating on β -tricalcium phosphate surfaces for enhancing bone repair potential. *Journal of Materials Science and Technology*. 34, 1054-1059.
- Xiuhua G., Kexing S., Shuhua L., Cuihua Z. (2012). Thermal expansion behavior of MgO/Cu composite with lower MgO volume fractions. *Materials Research Bulletin*. 47, 3211-3215.
- Xihua, Z., Changxia, L., Musen, L., Yunqiang, B., Junlong, S. (2008). Fabrication of hydroxyapatite / diopside / alumina composites by hotpress sintering process. *Ceramics International*. 35, 1969-1973.
- Zijun, P., Xudong L., Zhipeng X., Mengmeng Y. (2020). Sintering behavior and mechanical properties of spark plasma sintering SiO_2 -MgO ceramics. *Ceramics International*. 46, 2585-2591.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :15.09.2020
Kabul Tarihi :28.12.2020

Received Date :15.09.2020
Accepted Date :28.12.2020

PERLİT KULLANIMI İLE ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİN FİZİKSEL, MEKANİK VE YÜZEY ÖZELLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF CHANGES IN PHYSICAL, MECHANICAL AND SURFACE PROPERTIES OF WOOD PLASTIC COMPOSITES BY USING PERLITE

Ferhat ÖZDEMİR¹ (ORCID: 0000-0002-2282-1884)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ferhat ÖZDEMİR, ferhatozd@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmada odun plastik kompozit üretiminde, perlit kullanımının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla odun unu, polipropilen ve farklı oranlarda perlit karışımı elde edilmiştir. Odun-plastik kompozit (OPK) malzemelerin üretimi doğrudan pres yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen OPK kompozit malzemelere ait test numunelerinin fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri belirlenmiştir. İlgili standartlara bağlı kalınarak OPK levhaların fiziksel (su alma ve kalınlık şişme), mekanik (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve şok direnci) ve yüzey pürüzlülüğü testleri yapılmıştır. Sonuç olarak perlit ilave edilerek üretilen OPK malzemenin perlit ilave oranının artmasına bağlı olarak fiziksel, mekanik ve yüzey pürüzlülüğü özelliklerinin belirli oranlarda olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Tüm özellikler için en olumlu etki kontrol numunelerinde tespit edilirken en olumsuz etki miktarı ise %20 perlit kullanım oranlarında belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Perlit, sarıçam, kompozit, fiziksel özellikler.

ABSTRACT

In this study, the effect of using perlite in wood plastic composite (WPC) production was investigated. For this purpose, a mixture of wood flour, polypropylene and perlite was obtained. The production of wood-plastic composite (OPK) materials was carried out with Flat-pressed method. The physical and mechanical properties of the test samples of the produced OPK composite materials were determined. Physical (water intake and thickness swelling), mechanical (modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and impact strength) and surface roughness tests have been carried out in accordance with the relevant standards. As a result, it was determined that the OPK material produced by adding perlite had a negative impact on the physical, mechanical and surface roughness properties at certain rates due to the increase in the perlite addition rate. While the most positive effect was determined in control samples for all properties, the most negative effect was determined at 20% perlite usage rates.

Keywords: Perlite, scotch pine, composite, physical properties.

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ferhat ÖZDEMİR, ferhatozd@hotmail.com

ToCite: ÖZDEMİR, F. (2021). Perlit Kullanımı İle Odun Plastik Kompozitlerin Fiziksel, Mekanik Ve Yüzey Özelliklerindeki Değişimlerin Belirlenmesi, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 15-23.

GİRİŞ

Günümüzde kompozit terimi çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzeme farklı tutkal ve yapıştırıcılar kullanılarak iki ve daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi ile elde edilmektedir. Kompozit malzeme türleri farklı olup ahşap esaslı odun kompozit malzeme ise son yıllarda kullanılmaya başlanılan yaygın bir terim olmuştur. Ahşap esaslı odun kompozit malzeme odun esaslı bir materyalin ya odun esaslı bir malzeme ya da farklı bir malzeme ile değişik yöntemler kullanılarak bir araya getirilmesi ile elde edilmektedir (Güller, 2001).

Kompozit malzemenin tarihteki en eski kullanımı çamur ile samanın karıştırılması ile elde edilen briketlerin inşaat sektöründe kullanımı ile olmuştur. Bugün ise samanın yerine demir, taş, çimento vb. inorganik ve organik malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır (Arkaz, 2016).

Odun hammaddesinin birçok sektörde kullanım miktarının artmasına rağmen odun varlığının aynı oranda artmaması bazı kullanım alanları için problem teşkil etmeye başlamaktadır. Bu nedenle kompozit malzemelerde kullanımları artmaya başlamıştır. Kullanılan kompozit malzemelerde de malzeme performansına çok olumlu etkiler yapmaktadır. Günümüzde odun malzemesinin en çok kullanıldığı malzemelerin biri de Odun Plastik Kompozitleridir (OPK). Kullanım miktarı her geçen gün artan OPK malzemelerde de odun hammaddesinin yanı sıra diğer organik ve inorganik maddeler kullanılarak yeni kompozit malzeme üretim çalışmaları devam etmektedir. Odun plastik kompozit terimi (OPK) termoplastik veya termoset ile güçlendirilmiş polimerik matris ile odun ürünlerinden oluşan iki fazlı malzemeler olarak ifade edilmektedir (Azeez, 2017). Odun plastik kompozitlerde kullanılan odun hammaddesi nihai üründen beklenen özellikler doğrultusunda lif, talaş ve odun unundan oluşmaktadır (Javier et al. 2015). OPK üretiminde geri dönüşümü daha kolay olduğu için termosetler yerine termoplastikler daha yaygın olarak kullanılmaktadır. OPK kompozitlerin de kullanılan odun esaslı dolgu malzemeleri ise zaten doğada çözünebildiği için sorun teşkil etmezler (Javier et al. 2015). Odunun termoplastikler ile bağ yaparak birleşmeleri için doğru ısının verilmesi son derece önemlidir. Odun ve termoplastik arasında termal birleşme prosesi süresince plastiğin yumuşama veya erime sıcaklığının odunun bozunma sıcaklığı olan 210°C'yi aşmamasına dikkat edilmelidir (Azeez 2017). Bu hassas termal süreç aşamasında çalışabilecek termoplastikler poliolefinler olarak adlandırılan düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen, polivinil klorür ve polistiren gibi polimerlerle sınırlı bırakılmıştır. Sıcaklık ayarının 210°C'yi aşmamasının yanı sıra odun ununun erimiş polimer içerisinde homojen dağılımının gerçekleşmesi de önemli bir kriterdir. Karışımın homojen olmasının sağlanması malzeme kalitesi üzerine önemli bir etki yapmaktadır (Azeez 2017). Karıştırma derecesi, özellikle kısa lif takviyeli kompozitlerin hazırlanmasında çok hassas bir parametredir. Az veya fazla karıştırma, ürünlerin mekanik özellikleri üzerine zararlı bir etkiye neden olabilir. Odun ve plastik arasında yetersiz karıştırma zayıf bağlanma ile sonuçlanırken, aşırı karıştırma ise liflerin ciddi şekilde hasar görmesine neden olabilir (Wolcott 2001).

OPK maliyetlerinin düşürülmesi ile kullanım miktarı ve alanlarının artacağı düşünülerek cam, mika, kalsiyum karbonat, talk ve wollastonite gibi değişik dolgu ve katkı maddeleri ile araştırmalar yapılmıştır (Nielsen and Landel 1994; Demjén et al. 1998; Karrad et al. 1998; Baral et al. 1999; Pastorini and Nunes 1999; Gan et al. 2001a, 2001b, 2001c; Pinto et al. 2001; Thio et al. 2002; Li et al. 2003; Švab et al. 2007; Meng et al. 2008; Huang et al. 2013; Lopez et al. 2012; Erden et al. 2010; Alam et al. 2010; Mathew et al. 2017; Atagür et al. 2018). OPK kompozitlerin fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri kullanım yeri ve amacına göre önem arz etmektedir. Bu çalışmada doğada, çok bulunan ve rezerv kaynakları Türkiye'de bol olan (Uluatam 1991; Tekin, et al. 2006) perlit OPK üretiminde kullanılmıştır.

Perlit volkanik bir cam olup yapısında belirli oranda su tutar ve kendine özgü bir dokusu bulunmaktadır (Orhun, 1969; Atagür et al. 2018). Yapısında kristalleşmiş mineral (%3-10) obsidyen parçalar içerir. Yapısında organik madde, sülfat, ağır metaller, radyoaktif maddeler ve fosfor içermediği için saf malzemedir. Yapısı amorf olup bol miktarda silisyum dioksit, alüminyum oksit ve demir oksit içerir. Isı ile genişleyerek hafif ve gözenekli bir hal alabilir (Yılmaz, Erçikdi and Cihangir, 2017). Perlitin gözenekli yapısına bağlı olarak, ısı ve ses yalıtımı, kimyasal inert özelliği ve yanmaya direncini artırması sebebiyle endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak OPK üretiminde birçok mineral madde kullanılmış ama literatürde perlitin kullanımı ile çok az çalışma bulunmaktadır.

Odun Plastik Kompozit malzeme üretiminde perlit kullanılması ile elde edilen malzeme ülkemizin sahip olduğu perlit kaynaklarının kullanımı için yeni bir kullanım alanı ortaya çıkaracaktır. Ayrıca perlit ile içeriği geliştirilen OPK malzemeler yeni tasarlanan ürünlerde kullanılabilir.

Bu çalışmada amaç, odun unu ve polipropilen ile üretilen Odun Plastik Kompozit malzemelere farklı oranlarda perlit katılarak OPK malzemeler üretmek ve üretilen OPK malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine perlitin etkisini belirlemek olacaktır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Odun Plastik Kompozit üretiminde odun hammaddesi olarak Kahramanmaraş mobilya atölyelerinden elde edilen 60 mesh boyutundaki sarıçam odun unu kullanılmıştır. Polimer olarak Özen kimyadan elde edilen polipropilen (yoğunluk; 0.855 g/cm^3 , erime noktası $130-171 \text{ }^\circ\text{C}$) kullanılmıştır. Perlit (Fiziksel özellikler: boyut: 200 mesh, yumuşama noktası: $870-1100^\circ\text{C}$ - Ergime noktası: $1260-1343 \text{ }^\circ\text{C}$ - Özgül ısı: $0.2 \text{ Cal/g}^\circ\text{C}$, Özgül ağırlık: $2200-2400 \text{ Kg/m}^3$, Kimyasal özellikler: bileşiminde en fazla olanlar SiO_2 %71.0 - 75.0, AlO_3 %12.5 - 18.0 ve Na_2O_3 %2.9 - 4.0) ise ticari bir firmadan elde edilmiştir.

Metot

Sarıçam talaşı öğütülmüş ve 60 mesh boyutunda elenmiştir. Etüvde bir gün $103 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de kurutularak nem içeriği üretim için %3-4 oranına getirilmiştir. Kurutma işlemi yapılan sarıçam odun unu Tablo 1' de verilen karışım oranlarına göre polipropilen ve perlit ile mümkün olduğu kadar homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlar etüvde kurutulmuş ve daha sonra sıcak basınçlı kalıplama tekniği kullanılarak doğrudan pres yöntemi ile Kahramanmaraş Orman Fakültesi Laboratuvarında bulunan Carver marka pres ile $250 \times 250 \times 2 \text{ mm}$ ebatlarında OPK levhalar elde edilmiştir. Her bir parametre için 3 levha üretilmiştir. Levhaların fiziksel testleri olarak su alma (ASTM D 792) kalınlık şişme (ASTM D1037), mekanik testler olarak ise eğilme (ASTM 6109) ve şok direnci (ASTMD 256) testleri ilgili standartlara göre boyutlandırılmış ve standartlara uygun şekilde testleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik testler Zwick Roell Z10 test cihazı ile Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi Odun Mekaniği test laboratuvarında yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü testi ise ISO 4287 standardına göre Marsurf M300 cihazı ile tespit edilmiştir. Levhalara ait üretim parametreleri Tablo 1'de, üretimi ile ilgili fotolar ise Şekil 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Üretim Parametreleri

| Örnek No | Odun Unu (%) | Polipropilen (%) | Perlit (%) | Wax (%) | MAPP (%) | Toplam Miktar (%) |
|----------|--------------|------------------|------------|---------|----------|-------------------|
| 1 | 30 | 69 | 0 | 1 | 0 | 100 |
| 2 | 30 | 64 | 5 | 1 | 0 | 100 |
| 3 | 30 | 59 | 10 | 1 | 0 | 100 |
| 4 | 30 | 54 | 15 | 1 | 0 | 100 |
| 5 | 30 | 49 | 20 | 1 | 0 | 100 |
| 6 | 30 | 66 | 0 | 1 | 3 | 100 |
| 7 | 30 | 61 | 5 | 1 | 3 | 100 |
| 8 | 30 | 56 | 10 | 1 | 3 | 100 |
| 9 | 30 | 51 | 15 | 1 | 3 | 100 |
| 10 | 30 | 46 | 20 | 1 | 3 | 100 |

BULGULAR VE TARTIŞMA

MAPP kullanılan ve MAPP kullanılmayan OPK numunelerinin su alma oranlarına ait ölçüm değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Numunelerin su alma oranı ilk ölçüm günlerinde daha hızlı olmasına rağmen devam eden günlerde su alma oranlarındaki artışın azaldığı görülmektedir. OPK levhalarda odun unu oranı sabit tutulmuş polipropilen oranı azalmış ve perlit oranı artmıştır. Levhalarda perlit kullanım oranı artışına bağlı olarak su alma oranı 10, 20 ve 30 günlük ölçümlerde artmıştır. Bu artışın perlitin yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Perlit gözenekli yapısından dolayı su tutma özelliğine sahiptir. Üretiminde MAPP kullanılan numune gruplarında su alma oranları gün sayısının yükselmesine bağlı olarak artmaktadır. MAPP katkısının su alma değerini başlangıç günlerinde çok

az seviyede azalttığı görülmektedir. Ancak MAPP kullanımının da su alma üzerine etkisinin çok fazla olmadığı görülmektedir.



Şekil 1. OPK Malzemelerin Üretim Hazırlıkları ve Bazı Testlerle İlgili Görseller

Tablo 2. Su Alma Oranlarına Ait Ölçüm Değerleri

| | Gün | Test grupları | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Ağırlık (%) | 10 | *ort | 8.20 | 10.1 | 21.5 | 25.0 | 32.8 | 10.2 | 11.3 | 12.9 | 26.8 | 34.8 |
| | | *sd | 0.47 | 0.55 | 1.13 | 1.36 | 1.87 | 0.59 | 0.55 | 0.56 | 1.23 | 1.33 |
| | 20 | ort | 12.5 | 12.7 | 25.6 | 27.0 | 34.0 | 11.4 | 13.7 | 14.1 | 28.0 | 41.5 |
| | | sd | 0.73 | 0.64 | 1.49 | 1.36 | 1.86 | 0.53 | 0.69 | 0.78 | 1.48 | 2.33 |
| | 30 | ort | 12.5 | 14.3 | 26.8 | 27.0 | 39.4 | 14.1 | 14.1 | 15.3 | 29.1 | 43.5 |
| | | sd | 0.61 | 0.44 | 1.13 | 1.13 | 1.57 | 0.47 | 0.45 | 0.55 | 1.23 | 1.78 |

OPK malzemelerin kalınlık artış oranlarına ait değerler Tablo 3’de verilmiştir. 1 ve 6 numaralı kontrol gruplarında perlit kullanılmamıştır. 1 numaralı grupta MAPP kullanılmaz iken 6 numaralı grupta ise MAPP kullanılmış ve MAPP in etkisi de belirlenmiştir. Kalınlık artışının hem gün sayısına hem de perlit kullanım miktarının artışına bağlı olarak arttığı fakat MAPP kullanımının ise etkili olmadığı belirlenmiştir. Gün sayısına bağlı olarak en düşük değerler kontrol örneklerinde bulunmuştur. Numune gruplarında perlit kullanım oranları %5 oranlarında artırılmış ve numunelerde ki değişimler belirlenmiştir. En yüksek kalınlık şişme değerleri MAPP kullanılmayan 5 numaralı grupta ve MAPP kullanılan 10 numaralı gruplarda tespit edilmiştir.

Kontrol örneğine kıyasla OPK levhaların su alma miktarlarındaki artışın nedeni kompozit malzemede kullanılan odun unudur. Çünkü su lignoselülozik materyaller tarafından absorbe edilir (Adhikary vd., 2008; Ghasemi ve Kord, 2009). Bir diğer faktör ise perlitin yapısından dolayıdır. Çünkü perlit su tutma dokusuna sahip olup bu amaçla tarım sektöründe de kullanılmaktadır. Polipropilen ve eski gazete kağıtları ile üretilen OPK malzemelerin 75 günlük bir maruziyet sonrası su alma ve kalınlık artış miktarları incelenmiş ve lif oranının artması ile kalınlık ve su alma miktarlarında artış olduğu belirlenmiştir (Shakeri ve Ghasemian, 2010). Elde edilen sonuçlar bu bakımdan literatüre uygundur.

Tablo 3. Kalınlık Artış Oranı

| | Gün | Test grupları | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Kalınlık Şişme (%) | 10 | *ort | 0.95 | 1.67 | 2.12 | 2.63 | 5.26 | 1.14 | 2.20 | 2.72 | 3.11 | 4.30 |
| | | *sd | 0.05 | 0.09 | 0.15 | 0.16 | 0.35 | 0.09 | 0.18 | 0.20 | 0.13 | 0.22 |
| | 20 | ort | 2.15 | 2.39 | 2.97 | 3.34 | 6.41 | 2.05 | 2.93 | 3.59 | 4.31 | 6.92 |
| | | sd | 0.17 | 0.52 | 0.15 | 0.29 | 0.33 | 0.15 | 0.23 | 0.28 | 0.18 | 0.55 |
| | 30 | ort | 2.15 | 4.03 | 4.11 | 4.30 | 6.41 | 3.19 | 4.15 | 4.55 | 6.35 | 6.92 |
| | | sd | 0.19 | 0.18 | 0.27 | 0.33 | 0.45 | 0.15 | 0.31 | 0.21 | 0.33 | 0.39 |

Ort: ortalama, sd: standart sapma

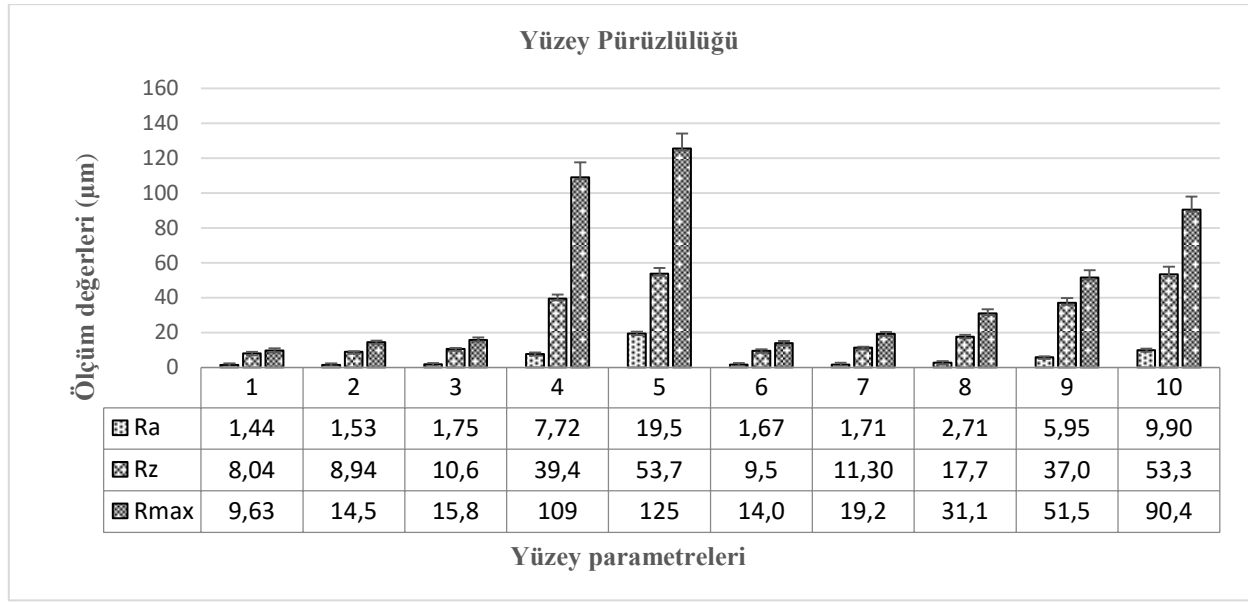
Sarıçam, PP ve perlit katkılı OPK malzemelerin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve şok direnci ölçüm değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. OPK Malzemelere Ait Eğilme Direnci, Eğilme Elastikiyet Modülü ve Şok Direnci Ölçüm Değerleri

| Grup | Eğilme Direnci (N/mm ²) | Elastikiyet Modülü (N/mm ²) | Şok direnci (kJ/m ²) |
|------|--|--|-------------------------------------|
| 1 | 25,09 (6,66) | 1644 (192) | 1,97 |
| 2 | 23,30 (6,19) | 1613 (135) | 1,92 |
| 3 | 7,29 (2,07) | 620 (179) | 1,91 |
| 4 | 6,73 (2,33) | 569 (281) | 1,73 |
| 5 | 6,37 (1,58) | 490 (170) | 1,48 |
| 6 | 26,54 (0,53) | 2078 (178) | 1,95 |
| 7 | 25,54 (1,75) | 2065 (310) | 2,12 |
| 8 | 18,92 (5,45) | 1484 (341) | 2,06 |
| 9 | 18,04 (6,77) | 1435 (496) | 1,90 |
| 10 | 4,34 (1,67) | 404 (227) | 1,85 |

MAPP kullanılmayan numunelerin eğilme direnç değerleri 25.09 ile 6.37 N/mm² arasında değişmektedir. MAPP kullanılan levha gruplarında ise bu değerler 26,54 ve 4,34 N/mm² arasında değişmektedir. MAPP kullanımı eğilme direncini küçük oranda geliştirmiştir. Fakat perlit kullanımının artması ile eğilme direncinde hızlı bir şekilde azalma meydana gelmiştir. Tablo 4’de verildiği üzere şok direnci değerleri OPK numune grupları arasında MAPP kullanılmayan numunelerde 1.97- 1.48 kJ/m² arasında değiştiği görülür. Üretiminde MAPP kullanılan levha gruplarında ise 2.06 ve 1.85 kJ/m² değiştiği görülür. MAPP kullanılmayan numunelerde tedrici bir düşüş elde edilirken MAPP kullanılan numunelerde ise önce bir artış daha sonra ise düşüş olduğu belirlenmiştir. 1 nolu kontrol numunesinde perlit kullanılmamıştır. Buna bağlı olarak en yüksek eğilme direnci, elastikiyet modülü ve şok direnci değerlerine sahiptir. Sırasıyla, %5, %10, %15 ve %20 oranında perlit kullanılan MAPP kullanılmayan numunelerde ise kullanılan perlit miktarının artmasıyla ters orantılı olarak eğilme direnci, elastikiyet modüllü ve şok direnci değerlerinde azalmalar gözlemlenmiştir. Bunun nedeni perlit parçacıklarının kompozit matrisi içerisinde homojen bir dağılım gösterememesidir. Artan perlit miktarı aynı zamanda kompozit matrisinin içerisinde perlitin disperse olmasını engellemiş buda homojen bir şekilde iletilmesi gereken yük transferinin zayıflamasına ve kompozit yapının direnç gösterememesine neden olmuştur. 6-10 numunelerinde %3 oranında MAPP kullanılmıştır. Ayrıca, MAPP kullanılan numunelerde sırasıyla, %5, %10, %15 ve %20 oranında perlit kullanılmıştır. Bu numuneler arasında 6 nolu numune hiç perlit içermemektedir ve elastikiyet modülü ile eğilme ve şok direnci değerleri MAPP kullanılan numuneler arasında en yüksek değere sahiptir. 7, 8, 9 ve 10 nolu numunelerde kullanılan perlit oranlarındaki artış MAPP kullanımının iyileştirme etkisi olsa da ekstruder kullanılmamasından kaynaklı bir disperse verim düşüklüğü gözlemlenmiştir. Atagür ve grubunun 2018’de yaptığı çalışmada yüksek yoğunluklu polietilenin (HDPE) gerilme mukavemeti 21.4 ± 0.3 (MPa) iken %5 oranında perlit ilavesi ile bu değer artarak 25.0 ± 3.2 (MPa) ile en yüksek değere ulaştığı ve sonrasında yapılan sırasıyla %10 , %20 ve %30 oranında perlit ilave edilen numunelerde ise gerilme mukavemet değerlerinde artan perlit miktarı ile ters orantılı bir heterojen dispersiyona bağlı sırasıyla 25.0 ± 0.3 (MPa), 22.1 ± 0.9 (MPa) ve 20.0 ± 0.6 (MPa) şeklinde azalma gözlemlenmiştir. Bulunan değerler literatür ile uyum içerisindedir (Öktem and Tincer 1993; Atagür et al. 2018). Ayrıca, şok direnci testi üzerine dolgu maddesi ya da karışımda kullanılan malzemelerin tanecik boyutu, mikro derecede yapısı ve sıcaklık gibi faktörler önemli olmaktadır. Bu yüzden çalışmalar oda sıcaklığında yapılmıştır. Malzemelerin gevrekliği ve sünme özelliği üzerine şok direnci belirleyici bir özelliştir.

ISO 4287 standardına göre Marsurf M300 yüzey pürüzlülüğü cihazı ile yapılan testlerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Ra: ortalama yüzey pürüzlülüğünü, Rz: en yüksek ve en düşük 5 noktadan alınan ortalama değeri ve Rmax: en yüksek ve en derin nokta arasındaki mesafe hakkında bilgi veren yüzey parametreleridir. ISO 4287 standartlarına uygun olarak yapılan odun plastik kompozitlerin yüzey ölçüm değerleri Şekil 2’de verilmiştir.

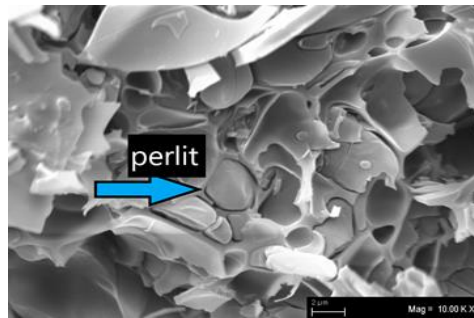


Şekil 2. Odun Plastik Kompozitlerin Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

İlk 5 örnek, uyumlaştırıcı MAPP kullanılmadan üretilmiştir. MAPP kullanılmadan üretilen numunelerde sırasıyla kullanılan %5, %10, %15 ve %20 perlit oranlarının yüzey pürüzlülüğünü artırdığı özellikle 4 ve 5 nolu numuneler için açıkça görülmektedir (Şekil 2). 6 ve 10 numaralı kompozit numunelerin üretiminde %3 oranında uyumlaştırıcı MAPP kullanılmıştır. Ayrıca MAPP kullanılan numunelerde MAPP kullanılmayan numunelere göre daha düzgün bir yüzey elde edildiği belirlenmiştir. Bunun nedeni ekstruder ve enjeksiyon kullanılmadan sıcak basınçlı kalıplama tekniği ile üretilen odun plastik kompozitlerin MAPP kullanılmasıyla, kompozit matrisinin daha homojen bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır (Öktem and Tincer 1993; Atagür et al. 2018).

Taramalı Elektron Mikroskopi Fotosu

Perlit katkılı test numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskopi fotosu elde edilmiştir (Şekil 3). Elde edilen fotoda perlit, odun unu ve polipropilen arasındaki uyum görülmektedir. Taramalı Elektron Mikroskopi foto görüntüleri %20 perlit kullanım oranına ait numunelerin enine kesitinden alınmıştır.



Şekil 3. OPK Malzemelerin Taramalı Elektron Mikroskopi Fotosu

Fiziksel, mekanik ve yüzey özelliklerindeki azalmanın nedeni Şekil 3'te görülen kullanım miktarına bağlı olarak polipropilen arasındaki perlit ve odun unudur. Gözenekli yapıya sahip olan mineral maddeler mekanik özellikleri olumlu etkilerken sahip olduğu yapı nedeniyle perlit mekanik özellikleri olumsuz etkilemiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Odun unu, polipropilen ve farklı oranlarda perlit karışımı ile elde edilen OPK numunelerine ait test sonuçlarından elde edilen verilere göre; kalınlık şişme ve su alma gibi fiziksel özellikler perlit kullanımı ile olumsuz etkilenmişlerdir. Eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, şok direnci gibi mekanik özellik değerleri perlit kullanım miktarının artması ile azalma eğilimi göstermiştir. MAPP kullanımı kalınlık şişme ve su alma gibi fiziksel

özellikler üzerine küçük miktarlarda olumlu etkilemiştir. Ayrıca perlit kullanımı yüzey pürüzlülüğü değerlerini de olumsuz etkilemiştir. Kullanım miktarının artmasına bağlı olarak bu olumsuz etki artmaya devam etmiştir. Ülkemizdeki perlit rezervi sebebiyle perlit kullanımı OPK malzemelerde belirli oranlarda mümkündür. Ancak perlit katkısı için malzemenin kullanım amacı ve perlit katkı oranının belirlenmesinde dikkat edilmelidir. Sıcak basınçlı kalıplama tekniği yöntemi ile üretilen OPK levhalarda homojen bir karışım elde edilmesi çok zor olmaktadır. Bu nedenle fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri ile ilgili kullanım yerindeki gerekli olan kriterlere göre perlit kullanım miktarı belirlenmelidir.

TEŞEKKÜR

2018/1-8 M proje numaralı bu çalışma KSU BAP birimi tarafından desteklenmiştir

KAYNAKLAR

- Adhikary, K. B., Pang, S., Staiger M. P. (2008). Long-term moisture absorption and thickness swelling behaviour of recycled thermoplastics reinforced with Pinus radiata sawdust, *Chemical Engineering Journal*, 142 (2), 190-198.
- Alam, S., Habib, F., Irfan, M., Iqbal, W., Khalid, K. (2010). Effect of orientation of glass fiber on mechanical properties of GRP composites. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 32: 265–269.
- Arkaz, H. H. (2016). Superhydrophobic coatings with improved mechanical robustness based on polymer brushes, *Surface and Coatings Technology*, 162-168.
- ASTM D 1037, 1998. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Materials. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- ASTM D 256, 2005b. Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- ASTM D 6109, 2005a. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic Lumber and Related Products American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- ASTM D 792, 2007. Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Atagür, M., Sarikanat, M., Uysalman, T., Polat, O., Elbeyli, İ. Y., Seki, Y., & Sever, K. (2018). Mechanical, thermal, and viscoelastic investigations on expanded perlite-filled high-density polyethylene composite. *Journal of Elastomers & Plastics*, 50(8), 747–761.
- Azeez, A.T. (2017). A Review of Wood Plastic Composites effect on the Environment Journal of Babylon University, Engineering Sciences, 25 (2) pp. 360-367.
- Baral, D., De, P., & Nando, G. B. (1999). Thermal characterization of mica-filled thermoplastic polyurethane composites. *Polymer Degradation and Stability*, 65(1), 47–51.
- Demjén, Z., Pukánszky, B., & Nagy, J. (1998). Evaluation of interfacial interaction in polypropylene/surface treated CaCO₃ composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29(3), 323–329.
- Erden, S., Sever, K., Seki, Y., and Sarikanat M. (2010). Enhancement of the mechanical properties of glass/polyester composites via matrix modification glass/polyester composite siloxane matrix modification. *Fibers and Polymers* 11: 732–737.
- Gan, D., Cao, W., Song, C., & Wang, Z. (2001a). Mechanical properties and morphologies of poly(ether ketone ketone)/glass fibers/mica ternary composites. *Materials Letters*, 51(2), 120–124.
- Gan, D., Lu, S., Song, C., & Wang, Z. (2001b). Mechanical properties and frictional behavior of a mica-filled poly(aryl ether ketone) composite. *European Polymer Journal*, 37(7), 1359–1365.

- Gan, D., Lu, S., Song, C., & Wang, Z. (2001c). Physical properties of poly(ether ketone ketone)/mica composites: effect of filler content. *Materials Letters*, 48(5), 299–302.
- Ghasemi, I., Kord B. (2009). Long-term water absorption behaviour of polypropylene/wood flour/organoclay hybrid nanocomposite, *Iranian Polymer Journal*, 18 (9), 683-691.
- Güler, C. (2001). Pamuk Saplarından Yonga Levha Üretimi Olanaklarının Araştırılması. Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 150s, Bartın.
- Huang, R., Kim, B.-J., Lee, S., Zhang, Y., & Wu, Q. (2013). Co-extruded wood-plastic composites with talc-filled shells: morphology, mechanical, and thermal expansion performance. *BioResources*, 8(2).
- ISO 4287, 1997. Geometrical Product Specifications Surface Texture Profile Method Terms. Definitions and Surface Texture Parameters, International Standart Organization.
- Javier, C., Sergio, A., Roberto, Z. and Jorge, D., (2015). Optimization of the Tensile and Flexural Strength of a Wood-PET Composite. *Ingeniería, Investigación Tecnología*, 16(1), pp.105-112.
- Karrad, S., Lopez Cuesta, J., & Crespy, A. (1998). Influence of a fine talc on the properties of composites with high density polyethylene and polyethylene/polystyrene blends. *Journal of Materials Science* 33, 453–461.
- Li, Z., Shen, S. Y., Peng, J. R., & Yang, C. R. (2003). Mechanochemical Modification of Wollastonite and its Application to Polypropylene. *Key Engineering Materials*, 249, 409–412.
- Lopez, F.A., Martin, M.I., Alguacil, F.J., Alguacil, J. M., Rincón, T. A. (2012). Centeno, and M. Romero, Thermolysis of fiber glass polyester composite and reutilization of the glass fiber residue to obtain a glass-ceramic material. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 93: 104–112.
- Mathew M.T., Padaki N.V., Rocha, L.A., Gomes, J. R., Alagirusamy, R., Deopura, B. L., and Fangueiro, R. (2007). Tribological properties of the directionally oriented warp knit GFRP composites. *Wear* 263: 930–938.
- Meng, M.R., & Dou, Q. (2008). Effect of pimelic acid on the crystallization, morphology and mechanical properties of polypropylene/wollastonite composites. *Materials Science and Engineering: A*, 492(1-2), 177–184.
- Nielsen, L.E., and Landel, R.F. (1994). Mechanical properties of polymers and composites. *New York:Marcel Dekker Textile Research Journal*, 64(11), pp.696–696.
- Orhun, O. (1969). Perlit. *MTA Madencilik Dergisi*, 8(4), 213-222.
- Öktem, G. A., & Tincer, T. (1993). A study on the yield stress of perlite-filled high-density polyethylenes. *Journal of Materials Science*, 28(23), 6313–6317.
- Pastorini M.T., and Nunes R.C.R. (1999). Mica as a filler for ABS/polycarbonate blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 74: 1361–1365.
- Pinto, U. A., Visconte, L. L. Y., & Reis Nunes, R. C. (2001). Mechanical properties of thermoplastic polyurethane elastomers with mica and aluminum trihydrate. *European Polymer Journal*, 37(9), 1935–1937.
- Shakeri, A., and Ghasemian, A. (2010). Water absorption and thickness swelling behavior of polypropylene reinforced with hybrid recycled newspaper and glass fiber, *Applied Composites Materials*, 17,183-193.
- Švab, I., Musil, V., Šmit, I., & Makarovič, M. (2007). Mechanical properties of wollastonite-reinforced polypropylene composites modified with SEBS and SEBS-g-MA elastomers. *Polymer Engineering & Science*, 47(11), 1873–1880.
- Tekin, N., Kadıncı, E., Demirbaş, Ö., Alkan, M., Kara, A., & Doğan, M. (2006). Surface properties of poly(vinylimidazole)-adsorbed expanded perlite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 93(1-3), 125–133.
- Thio, Y. S., Argon, A. S., Cohen, R. E., & Weinberg, M. (2002). Toughening of isotactic polypropylene with CaCO₃ particles. *Polymer*, 43(13), 3661–3674.

Uluatam, S. S. (1991). Assessing Perlite as a Sand Substitute in Filtration. Journal - American Water Works Association, 83(6), 70–71.

Wolcott, M. P. (2001). Wood–Plastic Composites. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 9759–9763.

Yılmaz, T., Erçıkıd, B., Cihangir, F. (2017). Yüksek fırın cürufu ve perlit ikamesinin çimentolu macun dolgunun mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkisi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, (32): 2, 239 – 252.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi :26.09.2020
Kabul Tarihi :28.12.2020

Received Date :26.09.2020
Accepted Date :28.12.2020

AYÇİÇEĞİ SAPI İLE ODUN KARIŞIMINDAN ÜRETİLEN YONGA LEVHALARIN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF SOME PHYSICAL PROPERTIES OF PARTICLE BOARD PRODUCED FROM SUNFLOWER STALKS AND WOOD MIXTURE

İbrahim BEKTAŞ¹ (ORCID: 0000-0002-0617-6926)

Celal UĞUR^{2*} (ORCID: 0000-0002-3278-3674)

Ahmet TUTUŞ¹ (ORCID: 0000-0003-2922-4916)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Celal UĞUR, celal_ugur27@hotmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, laboratuvar şartlarında genel amaçlar için ayçiçeği saplarından (*Helianthus annuus* L.) ve kızılçam odunu yongalarından muhtelif oranlarda (% 100, 75, 50, 25 ve 0) üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen yonga levhaların fiziksel özellikleri incelenmiştir. Levhaların üretiminde % 65'lik üre formaldehit tutkalı, sertleştirici madde olarak % 33'lük amonyum klorür kullanılmıştır. Üretilen levhalarının pres sıcaklığı 185 °C, pres süresi 7 dk, pres basıncı 4 N/mm², levha kalınlığı 18 mm olacak şekilde tek tabakalı levhalar üretilmiştir. Üretilen levhalar ASTM-D 1037 standardına göre değerlendirilmiştir. Ayçiçeği sapı ve odun yongası karışımından üretilen test levhalarının 650 kg/m³ yoğunlukta üretilen levhalarda 2 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı (KA) % 20-26, su alma miktarı (SA) % 68-84, 24 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı % 22-32, su alma miktarı % 81-95, 96 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı % 29-36, su alma miktarı % 108-120, 336 saat suda bekletme sonucu kalınlık artışı % 34-41, su alma miktarı % 112-132 olarak elde edilmiştir. İstatistik analiz sonuçları, test levhalarında su alma miktarı ve kalınlık artışlarının, ayçiçeği sapı oranının artmasıyla arttığını gösterdi. Bu data ve değerlendirmelere göre, ayçiçeği saplarının genel amaçlı yongalevha üretimi için alternatif bir hammadde olabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Yongalevha, ayçiçeği sapı, kızılçam yongaları, su alma miktarı, kalınlık artışı

ABSTRACT

In this study, physical properties of particleboards (650 kg/m³) produced using urea sunflower stalks and red pine wood chips (100, 75, 50, 25 and 0 %) for general purposes under laboratory conditions were investigated. For production of particleboards, urea formaldehyde resin (65 %) and as hardening agent ammonium chloride (33 %) were used. Single layer particleboards were produced the press conditions and production properties of particleboards were as follows; press temperature: 185 °C, pressing time: 7 min, pres pressure: 4 N/mm², thickness: 18 mm of the board thickness. The manufactured boards were evaluated according to ASTM-D 1037 standards. At the particleboards are produced from a mixture of sunflower stalks and wood at a density of 650 kg/m³, the increasing in thickness (TS) and water absorption (WA) for 2 hours also ranged from 20 to 26 % and from 68 to 84 %, for 24 hours also ranged from 22 to 32 % and from 81 to 95 %, for 96 hours also ranged from 29 to 36 % and from 108 to 120 %, for 336 hours also ranged from 34 to 41 % and from 112 to 132 %, respectively. It was noted that increase in sunflower stalks content resulted increase in water absorption and thickness swelling values. According to these data and evaluations, it can be said that sunflower stalks can be an alternative raw material for general purpose of manufacture of particleboards.

Keywords: Particleboard, sunflower stalks, red pine wood chips, water absorption, thickness swelling

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Celal UĞUR, celal_ugur27@hotmail.com

To Cite:BEKTAŞ, İ., UĞUR, C.,&TUTUŞ, A., (2020). AYÇİÇEĞİ SAPI İLE ODUN KARIŞIMINDAN ÜRETİLEN YONGALEVHALARIN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (1), 24-33.

GİRİŞ

Orman kaynaklarının gün geçtikçe azalması nedeniyle alternatif kaynaklara yönelim büyük önem kazanmıştır. Alternatif hammadde kaynaklarının sektörde kullanım olanakları günümüzde İnsan popülasyonunun her geçen gün artmasına paralel olarak tüketiminde artmasına neden olmakta ve bu durumda eldeki kaynakların hızlı bir şekilde azalmasına ve maliyetlerin artmasına yol açmaktadır. Günümüzde, gelişmekte olan ülkeler alternatif kaynakların araştırılması için çeşitli çalışmalar yapmakta ve bu çalışmalar desteklenmektedir. Tarımsal atıkların değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Yıllık bitkilerin lignoselülozik yapıları ve kimyasal bileşenlerinin belirlenmesi de oldukça önemlidir. Son yıllarda, alternatif hammadde olarak yıllık bitkilerin kullanılıp levha üretimi gerçekleştirilmesi oldukça yaygınlaşmıştır.

Ülkemizde tarımı yapılan bitki sapsularının bir yılda elde edilen olası miktarları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Türkiye Lif Kaynakları Potansiyeli (Güler, 2015).

| Yıllık bitki | Yıllık bitki sapı potansiyeli (Milyon Ton/Yıl) |
|----------------|---|
| Buğday sapı | 18 |
| Arpa sapı | 8 |
| Pamuk sapı | 3,5 |
| Ayçiçeği sapı | 3 |
| Mısır sapı | 2,5 |
| Kendir-kenevir | 2 |
| Tütün sapı | 0,3 |
| Çavdar sapı | 0,24 |
| Pirinç sapı | 0,2 |
| Göl kamışı | 0,2 |
| Toplam | 36,94 |

Ülkemizde hasadı yapılan ve tarımsal atık elde edilen yıllık bitkiler toplam 37 milyon ton düzeyindedir. Ülkemizde her yıl 36.940.000 ton tarımsal atık elde edilmektedir. Bu atıklar; 18 milyon tonu buğday sapı, 8 milyon tonu arpa sapı, 3,5 milyon tonu pamuk sapı, 2,5 milyon ton mısır sapı, 3 milyon ton ayçiçeği sapı, 200 bin ton pirinç sapı, 240 bin ton çavdar sapı, 300 bin ton tütün sapı, 200 bin ton göl kamışından meydana gelmektedir. Bu bilgilere göre, Türkiye dünyanın sayılı yıllık bitkileri üreticisi ülkeler arasında bulunmaktadır (Güler, 2015).

Hasat sonrası ayçiçeği üretim alanlarından yüksek miktarlarda tarımsal atık oluşmaktadır. 2005 yılında elde edilen verilere göre bu değer 2.26 milyon ton olmuştur (Başçetinçelik vd., 2005). Ancak, daha sonraki yıllarda teknolojinin gelişmesine bağlı olarak ayçiçeği üretimindeki % 59’luk artışın çıkan atık miktarını da önemli ölçüde artıracığı düşünülmektedir.

Tarlada bırakılan ayçiçeği sapsuları genellikle üreticiler tarafından tarladan toplanarak kış aylarında yakacak olarak kullanılmakta, bir parçalayıcı yardımı ile parçalanarak toprağa karıştırılmakta veya tarla içerisinde toplandıktan sonra yakılmaktadır. Ülkemizde, bitkisel yağ, lif kaynağı, gıda sektörü ve bağlı endüstrilerin hammaddesi olarak üretilen ayçiçeğinin, sap ve atıkları hayvan yemi olarak, tarlada bırakılarak veya yakılarak ekonomiye katkısı azaltılmaktadır. Ayçiçeği, orman ürünleri endüstrisi dışında, kağıt, plastik, boya, sabun ve kozmetik alanlarında değerlendirilmektedir (İlisulu, 1973).

Yonga levha üretimi ana hammaddesi oduna dayalı bir endüstridir. Hammadde bulma konusunda karşılaşılan zorluklar, yongalevha üretiminde odun yerine yıllık bitkilerin kullanılması amacıyla son zamanlarda çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bir çalışmada (Güler, 2015a), fındık zuru, fıstık kabuğu, pamuk sapı ve mısır sapı

artıklarından yapılan levhalarda da su alma miktarı 24 saat için % 37-93, kalınlık artışı, % 13-31 arasında tespit edilmiştir. Meyan kökü ve karaçam artıkları ile yapılan diğer çalışmalarda, levhaların su alma miktarı 2 saat için % 39.07-48.25, 24 saat için % 54.90-59.69, kalınlık artışı ise, 2 saat için % 13.25-17.12, 24 saat için % 17.65-20.68 olarak belirlenmiştir (Güler 2015b).

Bu çalışmanın amacı, hammadde olarak büyük oranda oduna dayalı yongalevha endüstrisinde gerek hammadde problemlerine çözüm, gerekse yakılarak veya açık alanda bırakılarak çürümeye terk edilen ayçiçeği sapı atıkları ile endüstriyel odun yongası atıklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılmasına yardımcı olabilmektir. Bu durum endüstrinin hammadde açığına yeni bir çözüm bulmanın yanı sıra, ormanlara olan talebi de azaltabilecektir.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada test materyali olarak Doğu Akdeniz Yöresinden temin edilen ayçiçeği sapları (*Helianthus annuus* L.) ve yonga olarak temin edilen kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odunu yongaları kullanılmıştır. Kullanılacak olan ayçiçeği sapları hasat sonrası toplanıp önemsiz yaprak ve dallardan temizlendikten sonra dört bıçaklı yongalama makinesinde üretim için 5-10 mm boyutlara getirilmiştir. Daha sonra elde edilen yongalar eleme işleminden geçirilerek, kurutma fırınında, 110 C' de % 3 rutubete kadar kurutulmuştur.

Levhaların üretiminde, üre formaldehit tutkalının % 65'lik çözeltisi (Tablo 2) ve sertleştirici madde olarak amonyum klorür çözeltisi kullanılmıştır. Tek tabakalı olarak üretilen levhalarda tam kuru yonga ağırlığının % 10'u kadar tam kuru tutkal ve tam kuru yonga ağırlığına oranla % 1 sertleştirici (NH₄Cl) katılmıştır.

Tablo 2: Üre Formaldehit Tutkalının Özellikleri

| Özellik | Değer |
|--|---------|
| Katı madde miktarı (120 C'de 2 saat (%)) | 65.21±2 |
| Yoğunluk (20 C) gr/cm ³ | 1.275 |
| PH (25 C) | 7.5-8.5 |
| Vizkozite (20 C) cP | 160 |
| Kullanma süresi (gün) | 30 |
| 33 % NH ₄ Cl (max.%) | 1 |
| Gel point(100 C.sec.) | 25-30 |
| Depolama süresi (25 C.max:gün) | 90 |
| Akma zamanı (25 C.sn.) | 25-40 |

Levha taslağı için 50×50 cm ebatlarında kare şeklinde ahşap bir şekillendirme çerçevesi ve 18 mm kalınlığında, kalınlık çubukları kullanılmıştır. Ayrıca ön sıkıştırma işlemi içinde aynı ebatlara sahip ahşap çerçeve kullanılmıştır.

Tek tabakalı üretim reçetesi olarak hazırlanan levha taslağı daha sonra 60×60 cm tabla ölçümlerine sahip sıcak pres makinesinde yaklaşık 7 dk presleme yapılmıştır. Pres sıcaklığı 185 °C, pres basıncı 4 N/mm² ve 90 çekiçleme kuvvetiyle presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Süre sonunda presten çıkartılan levhalar oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra 20 ± 2 C sıcaklıkta ve bağıl nemi % 65 ± 5 olan iklimlendirme dolabında 21 gün süreyle bekletilerek TS 642-ISO 554 de istenen standarda göre klimatize edilmiştir. Elde edilen levhalara ait üretim şeması Tablo 3'de gösterilmektedir.

Her gruptan üçer adet ve toplamda on beş adet olarak üretilen levhalardan iklimlendirme işleminden sonra standartta istenen ebatlara göre örnekler alınmış ve her bir fiziksel test için 30 adet numune hazırlanmıştır.

Daha sonra fiziksel testlerden kalınlık artımı ve su alma ASTM-D 1037, numune alma işlemi TS-EN 326-1 standardına göre yapılmıştır.

Yongalevhaların fiziksel özelliklerindeki istatistiksel farklılıkları ortaya koymak için % 95 güven düzeyinde varyans analizi (ANOVA) ve Duncan testi uygulanmıştır.

Tablo 3. Test Levhalarının Karışım Oranları ve Üretim Şartları

| Levha grubu | Ayçiçeği sapı oranı (%) | Çam odunu yongası oranı (%) | Pres | |
|-------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------|
| | | | Basıncı (N/mm ²) | Süresi (dk) |
| A | 0 | 100 | 4 | 7 |
| B | 25 | 75 | 4 | 7 |
| C | 50 | 50 | 4 | 7 |
| D | 75 | 25 | 4 | 7 |
| E | 100 | 0 | 4 | 7 |

BULGULAR VE TARTIŞMA

Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi amacıyla yapılan ANOVA-Duncan testi sonuçları Tablo 4’ te verilmiştir.

Aşağıda Tablo 4’ten anlaşılacağı üzere, ayçiçeği sapı içeren B, C, D ve E levha grupları içerisindeki ayçiçeği sapı yüzdesi arttıkça, su alma miktarları da artmaktadır.

Belirlenen bekleme süreleri içerisinde maksimum su alma miktarı % 100 ayçiçeği saptarından üretilen E grubu levhalarında (% 132.70), minimum su alma değeri ise % 100 odun yongalarından üretilen A grubu levhalarda (% 63.29) elde edilmiştir. Ayçiçeği saptarlarının yoğunluğu düşük ve permeabilitesinin yüksek olması nedeni ile yoğunluğu daha az olan levhalarda su alma miktarı fazladır. Levhanın yoğunluğunun artırılmasıyla difüzyon zorlaşmış ve su alma miktarında bir azalma olmuştur. Literatürde, yoğunluğun artırılması ile su alma miktarında bir azalma olduğu belirtilmektedir (Kalaycıoğlu vd., 1994).

Standartlarda su alma miktarı ile ilgili bilgi verilmemiştir. Kalınlık artışı, standartlarda 24 saat için TS-EN 312-6 (Anonim 1999)’da % 14 olarak belirlenmiştir. Literatürde, ayçiçeği, tütün sapı ve çay fabrikası atıklarından yapılan levhalarda da su alma miktarı 2 saat için % 37-48, 24 saat için % 60-71, kalınlık artışı, 2 saat için % 17-29, 24 saat için % 22-37 arasında olduğu görülmüştür (Kalaycıoğlu 1992). Keten sapı levhalarda kalınlık artışı % 20, kenevirde % 25 olduğu belirtilmektedir (Kozlowski vd., 1987). Bu araştırmalara göre ayçiçeği sapı yongalevhalarında, kalınlık artışı ve su alma miktarı standart değerlerden yüksek, ancak literatür değerlere yakın olduğu söylenebilir.

Odun yongaları ve ayçiçeği sapı atıklarından elde edilen levhaların karışım oranlarının üretilen yongalevhaların tüm su alma süreleri (1. 2. 3. 24. 48. 72. 96 ve 336 saat) için yapılan varyans analizi sonucuna göre gruplar arasındaki farkın % 5 yanılma ihtimali ile önemli olmadığı Tablo 4’ten anlaşılmaktadır. Bu durum, aynı tabloda verilen varyans kaynakları ortalamalarının Duncan testi sonuçları ile de doğrulanmıştır. Ayçiçeği sapı oranının % 0’dan % 100’e çıkarılması ve suda bekletme süresinin uzamasına bağlı olarak su alma miktarı artmıştır.

Tablo 4. Test Levhaların Su Alma Değerleri Analiz Sonuçları

| LG ^a | SA(sa.) ^b | ORTALAMA(%) | SS ^c | SH ^d | R ^e | VK(%) ^f | P ^g |
|-----------------|----------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------|
| A | 1 | 63.29a | 16.98 | 3.10 | 71.54 | 26.82 | |
| B | 1 | 65.39a | 9.44 | 1.72 | 37.11 | 14.44 | |
| C | 1 | 67.98a | 13.13 | 2.40 | 66.42 | 19.31 | * |
| D | 1 | 72.69a | 33.99 | 6.21 | 133.18 | 46.76 | |
| E | 1 | 75.21a | 36.64 | 6.69 | 184.01 | 48.72 | |
| A | 2 | 68.01a | 16.10 | 2.94 | 63.57 | 23.67 | |
| B | 2 | 76.00ab | 8.34 | 1.52 | 32.38 | 10.97 | |
| C | 2 | 78.76ab | 12.76 | 2.33 | 50.78 | 16.20 | * |
| D | 2 | 83.33b | 38.13 | 6.96 | 148.48 | 45.76 | |
| E | 2 | 84.21b | 23.52 | 4.29 | 85.92 | 27.93 | |
| A | 3 | 71.64a | 14.22 | 2.60 | 54.81 | 19.85 | |
| B | 3 | 78.90ab | 9.09 | 1.66 | 34.67 | 11.52 | |
| C | 3 | 85.43b | 15.61 | 2.85 | 75.71 | 18.27 | * |
| D | 3 | 86.33b | 46.36 | 8.46 | 205.35 | 53.70 | |
| E | 3 | 89.33b | 24.66 | 4.50 | 125.52 | 27.60 | |
| A | 24 | 81.97a | 26.67 | 4.87 | 128,76 | 32.53 | |
| B | 24 | 86.91a | 10.86 | 1.98 | 41,76 | 12.50 | |
| C | 24 | 91.77a | 27.64 | 5.05 | 116,32 | 30.12 | * |
| D | 24 | 93.15a | 50.10 | 9.15 | 225,18 | 53.78 | |
| E | 24 | 95.66a | 27.01 | 4.93 | 129,45 | 28.24 | |
| A | 48 | 98.35a | 17.02 | 3.11 | 70,94 | 17.30 | |
| B | 48 | 100.00a | 15.28 | 2.79 | 59,31 | 15.28 | |
| C | 48 | 103.88a | 34.89 | 6.37 | 162,20 | 33.59 | * |
| D | 48 | 105.96a | 38.97 | 7.11 | 177,40 | 36.78 | |
| E | 48 | 108.20a | 24.19 | 4.42 | 110,91 | 22.35 | |
| A | 72 | 104.67a | 17.04 | 3.11 | 64,66 | 16.28 | |
| B | 72 | 105.57a | 20.03 | 3.66 | 91,00 | 18.97 | |
| C | 72 | 110.17a | 36.61 | 6.68 | 167,22 | 33.23 | * |
| D | 72 | 114.79a | 38.73 | 7.07 | 208,76 | 33.74 | |
| E | 72 | 116.85a | 31.77 | 5.80 | 177,27 | 27.19 | |
| A | 96 | 108.49a | 16.71 | 3.05 | 67,34 | 15.41 | |
| B | 96 | 109.85a | 20.36 | 3.72 | 92,76 | 18.54 | |
| C | 96 | 111.16a | 39.30 | 7.18 | 171,37 | 35.36 | * |
| D | 96 | 117.27a | 43.78 | 7.99 | 195,46 | 37.33 | |
| E | 96 | 120.73a | 31.23 | 5.70 | 174,58 | 25.87 | |
| A | 336 | 112.77a | 20.30 | 3.71 | 78,93 | 18.00 | |
| B | 336 | 115.23a | 24.81 | 4.53 | 104,12 | 21.53 | |
| C | 336 | 118.19ab | 41.95 | 7.66 | 179,12 | 35.49 | * |
| D | 336 | 131.02b | 29.50 | 5.39 | 97,84 | 22.52 | |
| E | 336 | 132.70b | 18.39 | 3.36 | 78,71 | 13.86 | |

(*)Numune sayısı: 30, ^aLevha grubları, ^bSuda bekletme süresi (%), ^cStandart sapma, ^dStandart hata, ^eDağılım genişliği (%), ^fVaryasyon katsayısı (%), ^gÖnem düzeyi, (***) Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan Testine göre önemli bir fark yoktur.

Tablo 5. Test Levhaların Kalınlık Artış Değerleri Analiz Sonuçları

| LG ^a | KA(sa.) ^b | ORTALAMA(%) | SS ^c | SH ^d | R ^e | VK(%) ^f | P ^g |
|-----------------|----------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------|----------------|
| A | 1 | 18.61a | 14.75 | 2.69 | 64,62 | 79.25 | |
| B | 1 | 21.21a | 5.27 | 0.96 | 21,76 | 24.84 | |
| C | 1 | 22.66a | 16.64 | 3.04 | 89,92 | 73.45 | * |
| D | 1 | 23.23a | 19.50 | 3.56 | 89,15 | 83.96 | |
| E | 1 | 25.14a | 35.82 | 6.54 | 198,29 | 142.44 | |
| A | 2 | 20.05a | 17.26 | 3.15 | 86,64 | 86.08 | |
| B | 2 | 22.54a | 14.07 | 2.57 | 80,64 | 62.43 | |
| C | 2 | 24.18a | 36.98 | 6.75 | 188,13 | 152.96 | * |
| D | 2 | 25.17a | 9.61 | 1.76 | 40,21 | 38.19 | |
| E | 2 | 26.79a | 21.42 | 3.91 | 108,51 | 79.93 | |
| A | 3 | 20.02a | 18.33 | 3.35 | 94,38 | 91.53 | |
| B | 3 | 23.20ab | 15.34 | 2.80 | 79,26 | 66.12 | |
| C | 3 | 24.60ab | 9.44 | 1.72 | 32,16 | 38.37 | * |
| D | 3 | 25.89ab | 13.00 | 2.37 | 70,49 | 50.22 | |
| E | 3 | 27.93b | 11.02 | 2.01 | 55,04 | 39.44 | |
| A | 24 | 22.22a | 18.32 | 3.35 | 93,95 | 82.45 | |
| B | 24 | 27.93ab | 9.06 | 1.65 | 41,58 | 32.45 | |
| C | 24 | 28.17ab | 12.16 | 2.22 | 52,91 | 43.17 | * |
| D | 24 | 30.06ab | 14.29 | 2.61 | 60,03 | 47.52 | |
| E | 24 | 32.09b | 16.64 | 3.04 | 92,00 | 51.84 | |
| A | 48 | 24.44a | 24.07 | 4.39 | 118,98 | 98.48 | |
| B | 48 | 28.21a | 5.75 | 1.05 | 26,25 | 20.38 | |
| C | 48 | 30.32a | 18.58 | 3.39 | 85,61 | 61.26 | * |
| D | 48 | 32.09a | 18.90 | 3.45 | 95,71 | 58.88 | |
| E | 48 | 33.62a | 19.11 | 3.49 | 100,31 | 56.83 | |
| A | 72 | 27.35a | 17.28 | 3.16 | 85,31 | 63.19 | |
| B | 72 | 29.11a | 5.10 | 0.93 | 22,49 | 17.52 | |
| C | 72 | 31.95a | 19.14 | 3.49 | 107,36 | 59.91 | * |
| D | 72 | 33.78a | 15.83 | 2.89 | 73,35 | 46.86 | |
| E | 72 | 35.23a | 16.34 | 2.98 | 78,59 | 46.37 | |
| A | 96 | 29.25a | 17.10 | 3.12 | 83,12 | 58.48 | |
| B | 96 | 31.58a | 4.56 | 0.83 | 19,55 | 14.44 | |
| C | 96 | 33.73a | 18.45 | 3.37 | 105,01 | 54.69 | * |
| D | 96 | 34.43a | 8.85 | 1.62 | 32,43 | 25.72 | |
| E | 96 | 36.87a | 14.54 | 2.66 | 77,66 | 39.45 | |
| A | 336 | 34.77a | 10.16 | 1.86 | 59,67 | 29.23 | |
| B | 336 | 35.56a | 11.47 | 2.09 | 64,17 | 32.26 | |
| C | 336 | 36.83a | 16.28 | 2.97 | 86,77 | 44.20 | * |
| D | 336 | 37.09a | 16.99 | 3.10 | 94,31 | 45.80 | |
| E | 336 | 41.18a | 11.79 | 2.15 | 45,05 | 28.64 | |

(*) Numune sayısı: 30, ^a Levha grubları, ^b Suda bekletme süresi (%), ^c Standart sapma, ^d Standart hata, ^e Dağılım genişliği (%), ^f Varyasyon katsayısı (%), ^g Önem düzeyi, (***) Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan Testine göre önemli bir fark yoktur.

Yukarıdaki Tablo 5 incelendiğinde, deney levhalarının üretiminde kullanılan ayçiçeği sapının katılım oranının artmasıyla tüm bekletme sürelerinde kalınlığına artış miktarı da artmıştır.

İstatistiksel değerlendirmeye göre; karışımdaki ayçiçeği sapı yüzdesindeki artış, ayçiçeği sapı ve odun yongası kullanılarak üretilen yonga levhalar için daha yüksek kalınlık artışı ile sonuçlanmıştır. Uygulanan su alma süreleri içerisinde en yüksek kalınlık artış miktarı % 100 ayçiçeği saptarından üretilen E grubu levhalarında (% 41.18), en düşük kalınlık artış miktarı ise % 100 odun yongalarından üretilen A grubu levhalarda (% 18.61) hesaplanmıştır. Bilindiği gibi, yonga levhalarda kalınlığına artış ve su alma değerleri, doğrudan doğruya üretimdeki değişkenlere bağlıdır. Levhanın yoğunluğu, levhanın kalınlığına artış miktarı üzerinde etkilidir. Yoğunluğu fazla olan levhalarda kalınlığına artış miktarı az, düşük yoğunluktaki levhalarda ise nispeten daha yüksektir. Varyans analizi sonuçlarına göre gruplar arasındaki farkın % 0.1 yanılma ihtimali ile önemli olmadığı görülmüştür. Varyans kaynakları ortalamalarının Duncan testi sonuçlarında da benzer veriler elde edilmiştir (Tablo 5). TS EN 312 (2012) standardına göre, kuru şartlarda kullanılan yük taşıyıcı levhaların kalınlık artımı (24 sa. için) değerinin en yüksek % 15 olması ön görülmektedir. Ancak, çalışmada üretilen levhaların ölçülen kalınlık artımı (24 sa. için) değerlerinin (% 22-32), standardın söz konusu limitlerini karşılayamadığı görülmektedir.

Öte yandan kaynaklarda (Özen, 1980), levha üretiminde levhaların sıkıştırılmasının önemli olduğu ifade edilmektedir. Yoğunluğu düşük odundan üretilmiş yongalardan levha preslerken sıkıştırma faktörü yüksek seçilebileceği de belirtilmektedir. Bu öneriden hareketle, ayçiçeği sapı gibi yoğunluğu düşük lignoselülozik materyalden levha üretirken sıkıştırma etkeninin yüksek seçilmesi önemlidir. Sıkıştırma etkeninin yükseltilmesi ile yongalar arasındaki temas ve tutkal ile yonga arasındaki adhezyon kuvvetlerinde artış meydana gelmektedir (Güler ve ark, 2001). Bu durum fiziksel özellikleri olumlu yönde etkiler. Bu nedenle, gruplar arasında % 100 ayçiçeği sapı içeren E grubu örneklerden maksimum kalınlık artış değerinin (% 41.18) ve % 100 odun yongası içeren A grubu örneklerinden minimum kalınlık artış yüzdesi (% 18.61) elde edilmiştir. Yongalevha üretiminde odun dışı lignoselülozik materyallerin kullanılmasının üretilen levhaların su alma ve kalınlığına artım değerlerini oduna nazaran artırdığı, daha önceki çalışmalarda da teyit edilmiştir (Kalaycıoğlu, 1992; Karakuş, 2007; Çopur vd., 2007; Güler vd., 2008; Yaşar ve İçel, 2016).

Ayçiçeği saptarlarının değişen oranlarda odun yongaları ile karışımından üretilen test levhalarından elde edilen su alma ve kalınlığına artış değerleri, diğer bazı tarımsal artıklardan ölçülen değerler ile Tablo 6'da mukayese edilmiştir.

Tablo 6'da karşılaştırılan literatür verileri ele alındığında, su alma (SA) ve kalınlık artımı (KA) değerlerinde, ayçiçeği saptarlarından üretilen yonga levhaların daha yüksek sonuçlar gösterdiği anlaşılabilir.

Tablo 6. Bu Çalışmada Ölçülen Su Alma ve Kalınlık Artım Değerlerinin Diğer Bazı Tarımsal Artıklarla Kıyaslanması

| Materyal türü | SA (%) | | KA (%) | | Yoğunluk (kg/m ³) | Kaynak |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------------------|
| | (2 sa.) | (24 sa.) | (2 sa.) | (24 sa.) | | |
| Ayçiçeği sapı/Çam yongası | 68.0-84.2 | 81.9-95.6 | 20.0-26.7 | 22.2-32.0 | 650 | Tespit |
| Meyan kökü/Karaçam | 39.1-48.3 | 54.9-59.7 | 13.3-17.1 | 17.7-20.7 | 700 | (Güler, 2015b) |
| Ayçiçeği sapı/Kızılçam | 57.2-66.1 | 74.7-82.2 | 15.6-19.2 | 21.2-25.1 | 700 | (Güler ve ark, 2006) |
| Ayçiçeği sapı/Akkavak | 42.5-65.4 | 52.7-82.2 | 12.2-19.2 | 18.0-25.1 | 700 | (Bektaş ve ark, 2005) |
| Pamuk saptarı | 61.3 | 83.1 | 18.63 | 28.29 | 700 | (Güler, 2001) |
| Yabani hindiba /Kızılçam | 40.3-46.5 | 53.2-59.7 | 20.4-22.6 | 24.6-26.3 | 670 | (Güler ve ark, 2018) |

Yukarıdaki Tablo 6’da yer alan literatür çalışmalarında, levha yoğunluklarının 650-700 kg/m³ bandında seyrettiği ve aralarında önemli bir fark olmadığı da görülmektedir.

Üretilen levhaların SA ve KA özelliklerine ait sonuçların farklı olmasının temel nedenleri arasında, tabaka sayısı, odun ile karışım oranları ve diğer üretim faktörleri sayılabilir. Bu durumla ilgili olarak, Özen (1981)’de tabaka sayısı arttığında KA ve SA yüzdelерinin azaldığını ve bunun sebebini de suyla temas eden tabakaların sayısının toplam tabaka sayısına oranının azalması olarak belirtmektedir. Bu tespite göre, diğer faktörlerin yanı sıra, Ayçiçeği saplarından üretilen levhaların tek tabakalı olması da, KA ve SA değerlerinin beklenenden yüksek çıkmasının nedenleri arasında kabul edilebilir. Bilindiği gibi, yonga levhalarda kalınlık artışı ve su alma değerleri, doğrudan doğruya üretimdeki değişkenlere bağlıdır.

Yoğunluk, levhanın kalınlığına artış miktarı üzerinde etkilidir. Yoğunluğu fazla olan levhalarda kalınlık artış miktarı az, düşük yoğunluktaki levhalarda ise nispeten daha yüksektir. Genel olarak ayçiçeği sapından üretilen levhalarda porozitenin fazla olmasından dolayı kalınlık artışı ve su alma miktarı odundan üretilenlerden daha yüksektir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, laboratuvar şartlarında genel amaçlar için ayçiçeği sapı ve kızılçam odunu yongalardan farklı oranlarda (% 100, 75, 50, 25 ve 0) üre formaldehit tutkalı kullanılarak 650 kg/m³ yoğunlukta üretilen yongalevhaların bazı fiziksel özellikleri araştırılmıştır.

Yapılan testlerde, üretilen yongalevhalarda ayçiçeği sapı oranının artması ile birlikte levhaların su alma miktarı ve kalınlığına artış değerlerinin arttığı görülmüştür. Aynı zamanda, yapılan istatistiki analiz sonuçları, test edilen fiziksel özelliklerde her beş levha grubunda da numune içerisindeki hammadde katılım oranının, fiziksel özellik üzerine $p < 0.000$ güven düzeyinde etki etmediği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ayçiçeği sapı yongalevhalar da, kalınlık artışı ve su alma miktarı standart değerlerden yüksek, ancak bazı çalışmalarda ölçülen değerlere yakın olduğunu göstermektedir.

Ayçiçeği sapları ve kızılçam odunu yongalarından üretilmiş olan levhalar üzerinde yapılan fiziksel testlerde, ayçiçeği saplarının daha poroz yapıları nedeniyle odundan elde edilen yonga levhalara nazaran bünyelerine daha yüksek miktarda su aldıkları ve kalınlık artımlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sakınca, yongalevhaların üretilmesi esnasında belirli oranda parafin gibi su itici maddelerin kullanılması veya levhaların laminatlar ile kaplanmasıyla azaltılabilir.

Yongalevha yüzeylerinin laminat gibi yüzey kaplama malzemeleri ile kaplanması, yongalevhanın fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkileyecektir. Üretilmiş levhaların ahşap kaplanması ve dış yüzeylerinin laminat ile kaplanması durumunda fiziksel özellikler önemli ölçüde artacaktır. Bu nedenle, bu çalışmada üretilmiş olan yongalevhaların yüzey kaplama malzemeleri ile kaplanması durumunda teknolojik özelliklerinin belirgin oranda iyileşeceği beklenmektedir.

Bu çalışmayla, yakarak yok edilen veya toprakta bırakılarak çürütülen ayçiçeği saplarının levha sektöründe kullanılarak yüksek katma değerli ürünlere dönüştürülmesi, hem bölge hem de ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır.

Teşekkür: Bu makale, KSU-BAP birimi tarafından 2018/2-39 D numaralı proje ile finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

ANONİM, (1999). Pamuk Tohumu Çeşit Denemeleri, Pure Cotton Tekstil Sanayi ve Tic. A.Ş., Gaziantep.

Başçetinçelik, A., Karaca, C., Öztürk, H. H., Kaçıra, M., Ekinci, K. (2005). Agricultural biomass potential in Turkey. 9th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture and 27th International Conference of CIRG Section IV, İzmir, Turkey, pp. 195-199.

Bektaş, İ., Güler, C., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F., Nacar, M. (2005). The manufacture of Particleboard Using Sunflower Stalk sand Poplar Wood. *Journal of Composite Materials*, 39(5): 467-473. DOI: 10.1177/0021998305047098

Çopur, Y., Güler, C., Akgül, M., Taşcıoğlu, C. (2007). Some Chemical Properties of Hazelnut and Its Suitability for Particleboard Production. *Building and Environment*, 42: 2568-2572. DOI: [10.1016/j.buildenv.2006.07.011](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.011)

Güler, G., Beram, A. (2018). Yabani Hindiba (*Cichorium intybus* L.) Saplarından Üretilen Yongalevhaların Fiziksel, Mekanik ve Yüzey Pürüzlülük Özelliklerinin İncelenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20 (2): 216-222, DOI: [10.24011/barofd.426424](https://doi.org/10.24011/barofd.426424).

Güler, C. (2015a). Odun Esaslı Kompozit Malzeme Üretiminde Bazı Yıllık Bitkilerin Değerlendirilmesi, Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Müh. Bölümü

Güler, C. (2015b). Production of particleboards from licorice (*Glycyrrhiza glabra*) and European black pine (*Pinus Nigra* Arnold) wood particles, Department of Forest Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Wood Science and Technology, Duzce University, 81620 Duzce, Turkey. DOI: [10.5897/SRE2015.6193](https://doi.org/10.5897/SRE2015.6193)

Güler, C., Çopur, Y., Taşcıoğlu, C. (2008). The Manufacture of Particleboards Using Mixture of Peanut Hull (*Arachis hypogaea* L.) and European Black Pine (*Pinus nigra* Arnold) Wood Chips. *Bio resource Technology*, 99: 2893-2897. DOI: [10.1016/j.biortech.2007.06.013](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.013)

Güler, C., Özen, R., ve Kalaycıoğlu, H. (2001). Pamuk Saplarından Üretilen Yongalevhaların Bazı Teknolojik Özellikleri, KSÜ, Fen ve Mühendislik Dergisi, 4 (1) : 99-108

Güler, C., Bektaş, I., Kalaycıoğlu, H. (2006). The Experimental (*Helianthus annuus* L.) and Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.). *Forest ducts Journal*, 56(4): 56-60. DOI: 10.1177/0021998305047098

Güler, C. (2001). Pamuk Saplarından (Cotton Stalks) Yongalevha Üretimi Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, ZKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 152 s.

İlisulu, K. (1973). Yağ Bitkileri ve Islahı, Çağlayan kitabevi, s. 84-137, İstanbul.

Kalaycıoğlu, H. (1992). Utilization of Annual Plant Residues in the Production of Particleboard. ORENCO 92, 1st Forest Product Symposium, Trabzon-Turkey, pp. 288-292.

Kalaycıoğlu, H., Çolakoğlu, G. (1994). Çeşitli Ağaç Türlerinden Üretilmiş Kontrplak ve Yonga Levhalardan, Üretim Şartlarına Bağlı Olarak Formaldehit Çıkışının Sınırlandırılması İmkanları, Proje No: TOAG-935, Trabzon.

Karakuş, B. (2007). Çeşitli Bitkisel Sera Atıklarının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstisüsü Orman Endüstri Mühendisliği Ana bilim dalı, Isparta, 96s.

Kozłowski, R., Piotrowski, R. (1987). Produkcja Plyty Pazdzierzowo-Trocinowych (Flax Shives SawDust Production) Praca Instytut KrajowychWłokien Naturalnych (Works of the Institute of Natural Fibers) Vol. XXXI pp. 132-142.

Özen, R., Kalaycıoğlu, H., Güler, C. (2002). Yongalevha üretiminde alternatif hammaddelerin kullanılması ve genel bir değerlendirme. II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler Kitabı 15-17 Mayıs 2002, Cilt III., s. 858-867, Artvin.

Özen, R. (1980). Yonga Levha Endüstrisi Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No : 30 Trabzon.

Özen, R., (1981). Çeşitli faktörlerin kontrplağın fiziksel ve mekanik özelliklerine yaptığı etkilere ilişkin araştırmalar, KTÜ, Orman Fakültesi Yayınları, Fakülte yayın No:120

Maloney, T.M. (1977). Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing. San Francisco, USA

ASTM-D 1037, (1993). American society for testing and materials. Standard methods of evaluating the properties of wood base fiber and particle panel materials, Philadelphia.

TS 642-ISO 554, (1997). Kondisyonlama ve/veya deney için standart atmosfer-özellikler, TSE, Ankara.

TS-EN 326-1, (1999). Ahşap esaslı levhalar, numune alma kesme ve muayene, Bölüm 1: Deney numunelerinin seçimi, kesimi ve deney sonuçlarının gösterilmesi, TSE, Ankara.

TS EN 312, (2012). Yonga levhalar - Özellikler, TSE, Ankara

Yaşar S, İçel, B. (2016). Alkali modification of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) stalks and its effect on properties of produced particleboards. Bio resources, 11(3): 7191-7204.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 12.11.2020
Kabul Tarihi : 10.12.2020

Received Date : 12.11.2020
Accepted Date : 10.12.2020

RETROGRESYON VE YENİDEN YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANMIŞ 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ SERTLİK DAVRANIŞI

HARDNESS BEHAVIOR OF THE RETROGRESSED AND REAGED 7075 ALUMINUM ALLOY

Recep Onur UZUN¹ (ORCID: 0000-0002-1042-0493)

Dilek ARSLAN^{2*} (ORCID: 0000-0003-0198-0787)

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, H.F.T. Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

^{2*}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Dilek ARSLAN, da.dilekarlan@gmail.com

ÖZET

Metallerin mekanik özellikleri ısıtma işlemi uygulanması ile artırılabilir. Alüminyum ve alaşımlarının sertlik dayanımlarını artırabilmek için yaşlandırma işlemi uygulanabilir. Bu çalışmada da 7075 alüminyum alaşımına retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Uygun çözeltiliye alma ve suni olarak yaşlandırma işlemi olan T6 ısıtma işleminin gerçekleştirilmesi için öncelikle 7075 alüminyum alaşımı, 480°C'de 2 saat çözeltiliye bekletilip ardından soğutulularak; oda sıcaklığında doğal olarak yaşlandırılmıştır. T6 ısıtma işlemi ve sonrasında T6 işleminden daha yüksek 150°C, 170°C, 190°C sıcaklıklarda; 60 dakika, 180 dakika ve 300 dakika sürelerde retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işleminde sıcaklık ve süredeki değişikliklerin 7075 alüminyum alaşımının sertlik değerlerine etkisi araştırılmıştır. Çünkü ısıtma işleminin sıcaklık ve bekletme süresi; alüminyum alaşımlarının mikroyapısında meydana getirdiği değişikliklerden dolayı alaşımların sertlik değerlerini etkilemektedir. Çalışma sonuçları; yeniden yaşlandırma sıcaklığı ve süresindeki artışın, alüminyum alaşımının sertlik değerinde artış sağladığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum alaşım, 7075, T6 ısıtma işlemi, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma, sertlik

ABSTRACT

Mechanical properties of metals can be advanced by applying heat treatment. Aging can be applied to increase the hardness strength of aluminum and its alloys. In this study, retrogression and reaging process was applied to 7075 aluminum alloys. The investigated AA7075 was firstly kept in solution at 480 °C for 2 hours, then cooled and aged naturally at room temperature, in short it was T6 tempered. Then, retrogression was performed at 150 °C, 170 °C, 190 °C, for 60 minutes, 180 minutes and 300 minutes, respectively. The effects of different retrogression and reaging temperatures and times on the hardness values of 7075 aluminum alloy were investigated. Because the temperature and holding time of the heat treatment affect the hardness values of the alloys due to the changes they cause in the microstructure of the aluminum alloys. The hardness values of aluminum alloys increased depending on the increase in resolution temperature and time at the end of the aging process.

Keywords: Aluminum alloy, 7075, T6 heat treatment, retrogression and reaging process, hardness

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Dilek ARSLAN, da.dilekarlan@gmail.com

ToCite: UZUN, R.O., & ARSLAN, D., (2021). YAŞLANDIRMA İŞLEMİ UYGULANMIŞ 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (1), 34-41.

GİRİŞ

7xxx serisi Al alaşımları; yüksek mukavemet, süneklik, düşük yoğunluk, yorulma direnci ve tokluk gibi üstün mekanik özellikleri sayesinde başta havacılık endüstrisi olmak üzere endüstrinin birçok alanında yapısal malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Rendigs, 1997; Heinz vd., 2000; Williams vd., 2003). Jin-feng vd. (2008) yaptıkları çalışmada; çeşitli ısı işlemlerin özellikle ikincil yaşlandırma ve yüksek sıcaklık ön-çökeltme (HTPP) yaşlandırmasının 7075 Al alaşımlarının çekme özellikleri, korozyon davranışları ve mikroyapıları üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. T6 işlemi ile karşılaştırıldığında, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (RRA) ve T616 işlemleri sadece 7075 Al alaşımının yüksek mukavemetini korumakla kalmayıp; aynı zamanda taneler arası korozyona ve pullanma korozyonuna karşı direncini de arttırdığını tespit etmişlerdir. T73 ve HTPP yaşlandırma işlemlerinin ise korozyon direncini arttırdığını ancak mukavemeti düşürdüğünü rapor etmişlerdir. Vishwakarma vd. (2017); çözeltiye alma süresini, yaşlandırma sıcaklığını ve yaşlandırma süresini değiştirmek için 6082 Al alaşımının termal özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaşlandırma parametrelerini optimize etmek için termal özelliklerin optimum değerlerini tespit etmişlerdir. Cheng vd. (2007) geliştirdikleri yeni bir proses protokolü sayesinde 2024 Al alaşımında hem yüksek mukavemet hem de yüksek sünekliği bir arada elde etmişlerdir. Bu yeni proses protokolü; çözeltiye alma, kriyoroleme ve yaşlandırma işlemlerini kapsamaktadır. Nageswara ve Jayaganthan (2012), haddeleme sonrası sıcak haddeleme ve yaşlandırmanın 6061 Al alaşımının mekanik özellikleri ve mikro yapısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kang vd. (2010), gerinimle sertleşebilen 5052 Al alaşımını araştırmışlardır. Sıcak haddeleme ve kriyoroleme işlemlerinin kombine uygulanmasıyla mukavemetinde artış olduğunu bildirmişlerdir. Haddelenmiş numunelerin deformasyon sonrası tavlanması ile mukavemetini kaybetmeden sünekliğinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Yan vd. (2016), 5xxx alüminyum alaşımlarının mikroskobik mekanizmalarını mekanik testlerle geniş bir aralıktaki gerinim hızlarında araştırmışlar ve gerinim hızının fonksiyonları olarak aktivasyon hacmi, dislokasyon yoğunluğu ve gerilmenin göreceli modellerini oluşturmuşlardır.

Araştırmacılar son zamanlarda çözeltiye alma işlemi uygulanmış alüminyum alaşımları ile ilgili birçok çalışma yapmışlardır. Xu vd. (2012), 7xxx alüminyum alaşımında çeşitli partiküllerin çözündürme işlemleriyle çözülmesini incelemişler ve optimize edilmiş çözeltiye alma sıcaklığı ve zaman aralıklarını belirlemişlerdir. Ashrafizadeh vd. (2017), rutin tek aşamalı çözeltiye alma işlemi karşılaştıran iki aşamalı bir çözeltiye alma işlemi uygulamışlardır. AA6063'ün mikroyapılarını ve mekanik özelliklerini geliştirmişlerdir. Ma vd. (2015), AA6082'nin farklı çözelti sıcaklıklarında mukavemetini ve tokluğunu incelemişler ve optimize edilmiş süreçleri önermişlerdir. Zhou vd. (2019), 7075 alüminyum alaşımının çözeltiye alma ile indüklenen dinamik gerilme yaşlandırması altında mekanik davranışlarını ve deformasyon mekanizmalarını araştırmışlardır. Yaşlandırmanın aynı anda mukavemeti ve tokluğu arttırabileceğini rapor etmişlerdir.

Clark vd. (2005), T6 işlemi görmüş 7075 alüminyum alaşımında ısı süreç parametreleri ile alaşımların mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Aydın ve Tunçel (2019), 7075 alüminyum alaşımlarında çözme tavlama sıcaklığının yaşlandırmaya etkisini araştırmışlardır. Sertleşme yüzdesinin arttığını ifade etmişlerdir. Özer ve Karaaslan (2017), T6 koşullarındaki 7075 alüminyum alaşımının yaşlandırılmasının mekanik özelliklere olan etkisini incelemişlerdir.

Literatürde yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde metallerin sahip oldukları mekanik özellikler, ısı işlemlerin uygulanmasıyla artabilmektedir. Alüminyum alaşımlarının da mekanik özelliklerinin yaşlandırma işlemi ile arttırıldığı görülmektedir. Çalışmamızda T6 koşullarındaki 7075 alüminyum alaşımına farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Süre ve sıcaklık artışının alüminyum alaşımına olan etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve belirtilen sürelerdeki yaşlandırmanın, mekanik özellikleri ne düzeyde arttırabileceğine dair literatüre katkıda bulunulmuştur.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada 7075 kalite alüminyum alaşımına retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış ve bu ısı işleminin 7075 alüminyum alaşımının sertlik ve mikroyapısal özelliklerine etkileri incelenmiştir. İzleyen bölümlerde, kullanılan alüminyum alaşımının özellikleri ve deneysel çalışmanın detayları açıklanmıştır.

Deneylerde hazırlanan numunelere sırasıyla ısı işlemler uygulanmış olup; mikroyapı incelemeleri ve mikrosertlik testleri yapılmıştır.

Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde, kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilen 7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Kullanılan 7075 alüminyum alaşımı, deneylerin yapılabilmesi açısından geometrik olarak uygun bir şekilde hazırlanmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2).

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan 7075 Alüminyum Alaşımının Kimyasal Bileşimi

| Elementler | Al | Si | Fe | Mn | Cu | Mg | Zn | Cr | Zr |
|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Ortalama Ağırlık | %89,6 | %0,403 | %0,549 | %0,014 | %1,568 | %2,596 | %5,480 | %0,0125 | %0,0305 |

AA7075 malzemeye retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi yapılmıştır. T6 ısıl işlemi için 7075 alüminyum alaşımı numuneler ilk önce 480 °C’de 2 saat çözeltiye alındıktan sonra fırından oldukça çabuk alınmış, ardından soğuk suya daldırılıp ani soğutma yapılarak oda sıcaklığında doğal olarak yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işlemi alüminyum alaşımlarında ani soğutma sonrasında başladığından dolayı 15 dakika içerisinde yapılmalıdır. T6 ısıl işlemi ve ardından T6 işleminden yüksek sıcaklıklarda 150 °C, 170 °C ve 190°C sıcaklıklarda, 60, 180 ve 300 dakika sürelerde yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Isıl İşlem Sıcaklıkları ve Süreleri

| Çözeltiye Alma Sıcaklığı (°C) | Süre (saat) | Yeniden Yaşlandırma Sıcaklığı (°C) | Süre |
|-------------------------------|-------------|------------------------------------|------------|
| 480 °C | 2 saat | 150 °C, 170 °C, 190 °C | 1-3-5 saat |
| | | Oda Sıcaklığı | 1 gün |

Metalografik İnceleme

Metalografik incelemeleri yapılacak numuneler 600, 800, 1000 ve 1200 grit zımparalar ile yüzeyleri hazırlanarak; 3 ve 6 µm’lik parlatıcılar ile parlatılmıştır.

Numuneler bakalite alınıp kalıplandıktan sonra standart metalografik yöntemlerle hazırlanarak parlatılmış ve Keller çözeltisiyle dağlanmış. Sonrasında numunelerin yüzeyi su ile yıkanıp kurutulmuştur ve Nikon Eclipse LV150N marka optik ışık mikroskobunda içyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Alüminyum dağlama çözeltisi olan Keller çözeltisinde bekleme süresi 25-30 sn’dir. Dağlama çözeltisinin kimyasal kompozisyonu Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Keller Çözeltisinin Kimyasal Kompozisyonu

| Dağlayıcı | Kompozisyon |
|-------------------------|-------------------------|
| Keller Çözeltisi Deneyi | Saf Su (100 ml) |
| | Nitrik Asit (5 ml) |
| | Hidroklorik Asit (3 ml) |
| | Hidroflorik Asit (2 ml) |

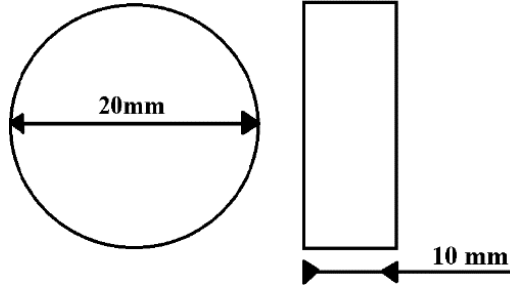
Sertlik Deneyleri

Isıl işlem sonrası numunelerin mekanik özelliklerinde oluşan değişiklikleri incelemek için numunelere mikrosertlik deneyi yapılmıştır. Sertlik değerlerinin ölçülmesinde Brinell sertlik metodu kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri için

cihaza girilen parametreler; bilya çapı için 2,5 mm ve uygulanan kuvvet için ise 187,5 kg'dır. Mikroyapıları incelenen numunelerin üç farklı bölgesinden Brinell sertlik ölçümleri yapılarak ortalamaları alınmıştır.



Şekil 1. Sertlik Deneyleri Öncesi Isıl İşlem Numuneleri



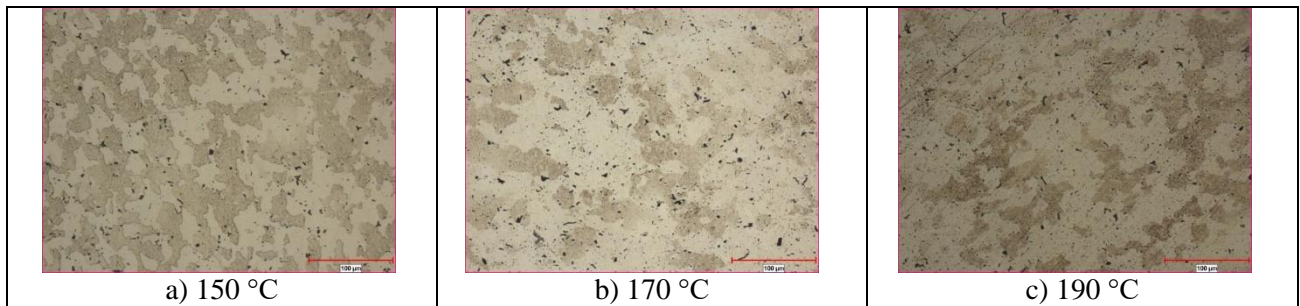
Şekil 2. Sertlik Numunesi Boyutları

DENEYSEL BULGULAR VE SONUÇLAR

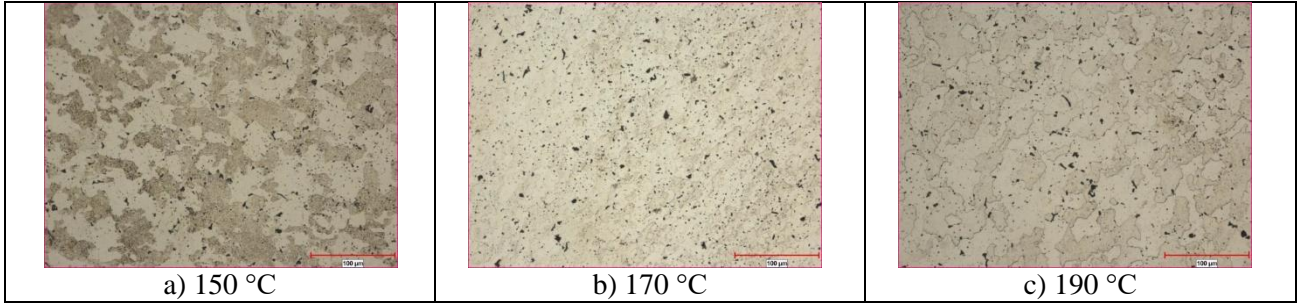
Bu çalışma kapsamında 7075 alüminyum alaşımına uygulanan retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemi sonrası yapılan metalografik ve mikroyapı çalışmaları ile sertlik deneylerinin sonuçları izleyen bölümlerde anlatılmıştır.

Metalografik İnceleme Sonuçları

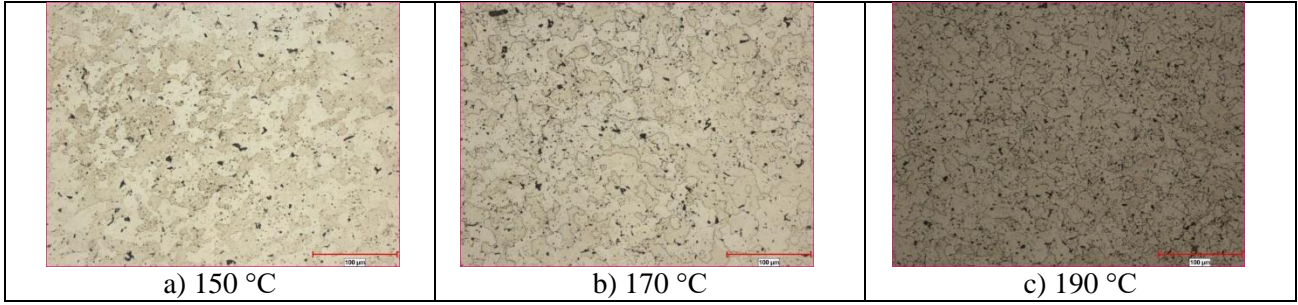
Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işlemleri, 480 °C sıcaklıkta 2 saat çözeltiye alma işlemi sonrası en az 1 gün oda sıcaklığında doğal yaşlandırmadan oluşan T6 temperleme işlemi ve sonrasında 150, 170, 190 °C' de 1, 3, 5 saat yeniden yaşlandırma ısıl işlemi şeklinde uygulanmış 7075 kalite alüminyum alaşım numunelerine ait optik mikroskop sonuçları Şekil 3-5'te verilmiştir.



Şekil 3. 1 Saat Çözeltiye Alınmış Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri (x200)



Şekil 4. 3 Saat Çözeltiye Alınmış Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri (x200)



Şekil 5. 5 Saat Çözeltiye Alınmış Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri (x200)

Optik mikroskopta yapılan içyapı incelemelerinde, 7075 alüminyum alaşımlarında T6 ısıl işlemiyle yaşlandırma yapılmış mikroyapılar arasında tane boyutu açısından belirgin bir fark bulunmamaktadır.

Sertlik Ölçümü Sonuçları

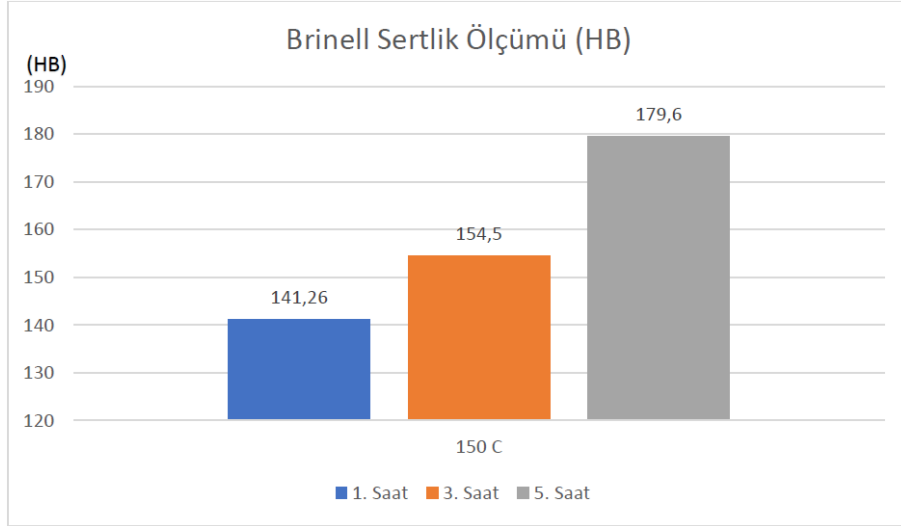
Sertlik deneyinin sonuçlarında, farklı yaşlandırma sıcaklık ve sürelerinin mikrosertlik üzerindeki etkileri Şekil 6-8'de görülmektedir.

7075 alüminyum alaşımında, yaşlandırma sonrası alaşımın sertliği ilk olarak düşmekte ve en düşük değerine ulaşmaktadır. Yeniden yaşlandırma süresinin yükselmesiyle birlikte yeniden artan sertlik, daha uzun yaşlandırma sürelerinde tekrar düşmektedir. Sertliğin minimum değerine ulaştığı yeniden yaşlandırma süresi, yeniden yaşlandırma sıcaklığının artmasıyla kısalmaktadır.

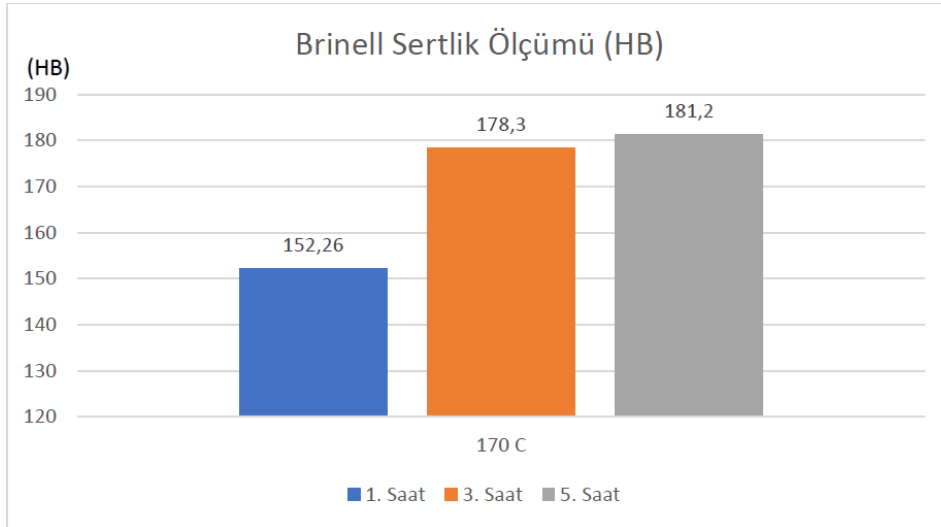
Yeniden yaşlandırma ısıl işlemi esnasında oda sıcaklığında doğal yaşlandırılmış numunelerden üçer ölçüm alınarak sertlik değerlerinin ortalaması 1 saat için 150 °C'de 141,26 HB, 1 saat için 170 °C'de 152,26 HB, 1 saat için 190 °C'de 158 HB olarak ölçülmüştür. Yeniden yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda oda sıcaklığında doğal yaşlandırılmış numunelerden üçer ölçüm alınarak sertlik değerlerinin ortalaması 3 saat için 150 °C'de 154,5 HB, 3 saat için 170 °C'de 178,3 HB, 3 saat için 190 °C'de 182,6 HB olarak ölçülmüştür. Yeniden yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda oda sıcaklığında doğal yaşlandırılmış numunelerden üçer ölçüm alınarak sertlik değerlerinin ortalaması 5 saat için 150 °C'de 179,6 HB, 5 saat için 170 °C'de 181,2 HB, 5 saat için 190 °C'de 180,9 HB olarak ölçülmüştür (Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8).

SONUÇLAR

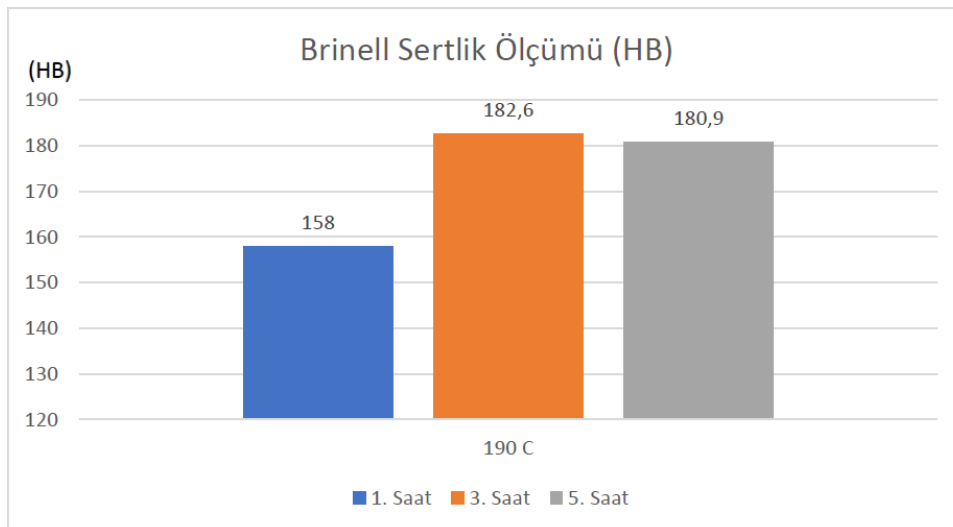
Bu çalışmada retrogresyon ve yeniden yaşlandırmaya tabi tutulan 7075 alüminyum alaşımı (AA7075), 20 mm çapında ve 10 mm kalınlığında silindirik numunelere T6 temperleme ısıl işlemi için 480 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile çözeltiye alma yapıldıktan sonra, farklı sıcaklıklarda (150, 170, 190 °C) ve sürelerde (60-180-300 dakika) yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma işleminin AA7075 malzemesinin sertliğine etkisini incelemek üzere gerçekleştirilen mikrosertlik testlerinde ise aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.



Şekil 6: Numunelerin 150°C'deki 1, 3, 5 Saat Aralıklı Brinell Sertlik Ölçümü Değerlerinin Grafiği



Şekil 7: Numunelerin 170°C'deki 1, 3, 5 Saat Aralıklı Brinell Sertlik Ölçümü Değerlerinin Grafiği



Şekil 8: Numunelerin 190°C'deki 1, 3, 5 Saat Aralıklı Brinell Sertlik Ölçümü Değerlerinin Grafiği

Yeniden yaşlandırma işlemiyle, T6 ısıl işlemine göre aynı veya daha yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Mikrosertlik değerleri, yeniden yaşlandırma işleminin değişen süre ve sıcaklıklarına göre farklılık göstermiştir.

7075 alüminyum alaşımı numunelerde 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıkta çözeltiye alınıp, yeniden yaşlandırma işlemi yapılan numunelerin tüm ısıl işlem sürelerinde yüksek sertlik dayanımı değerlerine ulaşılmıştır. En yüksek sertlik dayanımı değerleri 150 °C sıcaklıkta 300 dakika, 170 °C sıcaklıkta 300 dakika, 190 °C sıcaklıkta 180 dakika ısıl işleme tabi tutulan numunelerde tespit edilmiştir. En düşük sertlik dayanımı değerleri ise 150 °C, 170 °C ve 190 °C sıcaklıklarda 60 dakika ısıl işlem süresinde saptanmıştır.

Mikroyapı incelemeleri sonucunda yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin tane bağ sayısı, tane büyüklüğü ve tane dağılımı özelliklerinin de sertlik dayanımlarını değiştirdiği tespit edilmiştir. Çünkü numunenin yüksek sıcaklıkta tutulmaya devam edilmesi tanelerde zamanla büyümeye neden olmaktadır. Mukavemeti ve tokluğu azaltan tane büyümesinin önüne geçebilmek adına yeniden yaşlandırma işlemiyle dislokasyon hareketleri engellenerek; mikrosertliğin artması sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Ashrafizadeh, S. M., Eivani, A. R., Jafarian, H. R. & Zhou, J. (2017). Improvement of mechanical properties of AA6063 aluminum alloy after equal channel angular pressing by applying a two-stage solution treatment. *Materials Science & Engineering A*, 27, 54–62.

Aydın, H. & Tunçel, O. (2019). AA7075 Alüminyum alaşımında çözme tavlama sıcaklığının yaşlanma davranışına etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1), 317-330.

Cheng, S., Zhao, Zhu, Y. T. & Ma, E. (2007). Optimizing the strength and ductility of fine structured 2024 Al alloy by nano-precipitation. *Acta Materialia*, 55(17), 5822–5832.

Clark, R., Coughran, B., Traina, I., Hernandez, A., Scheck, T. & Etuk, C. (2005). On the correlation of mechanical and physical properties of 7075-T6 Al alloy. *Engineering Failure Analysis*, 12, 520–526.

Heinz, A., Haszler, A., Keidel, C., Moldenhauer, S., Benedictus, R. & Miller W. S. (2000). Recent development in aluminium alloys for aerospace applications. *Materials Science Engineering A*, 280(1), 102-107.

Jin-feng, L., Peng Z., Chao-xing, L., Zhi-qiang, J., Chen, W. & Zheng, Z. (2008). Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18, 755-762.

Kang, U. G., Lee, J. C., Jeong, S. W. & Nam, W. J. (2010). The improvement of strength and ductility in ultrafine grained 5052 Al alloy by cryogenic and warm rolling. *Journal of Material Science*, 45, 4739–4744.

Ma, W. Y., Wang, B. Y., Yang, L., Tang, X. F. & Xiao, W. C. (2015). Influence of solution heat treatment on mechanical response and fracture behaviour of aluminium alloy sheets: an experimental study. *Materials & Design*, 25, 1119–1126.

Nageswara rao, P. & Jayaganthan, R. (2012). Effects of warm rolling and ageing after cryogenic rolling on mechanical properties and microstructure of Al 6061 alloy. *Materials and Design*, 39, 226–233.

Ozer, G. & Karaaslan, H. (2017). Properties of AA7075 aluminum alloy in aging and retrogression and reaging process. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27, 2357–2362.

Rendigs, K. H. (1997). Aluminium structures used in aerospace-status and prospects. *Materials Science Forum*, 242, 11-24.

Vishwakarma, D. K., Kumar, N. & Padap, A. K. (2017). Modelling and optimization of aging parameters for thermal properties of Al 6082 alloy using response surface methodology. *Materials Research Express*, 4(4), 46502–46513.

Williams, J. C. & Jr Starke E.A. (2003). Progress in structural materials for aerospace systems. *Acta Materials*, 51(19), 5775-5799.

Xu, D. K., Rometscha, P.A. & Birbilis, N. (2012). Improved solution treatment for an as-rolled Al-Zn-Mg-Cu alloy. Part II. Microstructure and mechanical properties. *Materials Science & Engineering A*, 534, 244–252.

Yan, S. L., Yang, H., Li, H. W. & Yao, X. (2016). Variation of strain rate sensitivity of an aluminum alloy in a wide strain rate range: mechanism analysis and modeling. *Journal of Alloys and Compounds*, 688, 776–786.

Zhou, P., Songa, Y., Hua, L., Lu, J., Zhang, J. & Wang, F. (2019). Mechanical behavior and deformation mechanism of 7075 aluminum alloy under solution induced dynamic strain aging. *Materials Science & Engineering A*, 759, 498–505.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 02.12.2020
Kabul Tarihi : 10.12.2020

Received Date : 02.12.2020
Accepted Date : 10.12.2020

İŞYERİ-KONUT İÇ MİMARİSİNDE KULLANILAN LİF LEVHALARIN RADYASYON VE ELEKTRİK YALITIMININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF RADIATION AND ELECTRICAL INSULATION OF FIBER BOARDS USED IN WORKPLACE - HOUSE INTERIOR ARCHITECTURE

Cebrail AÇIK^{1*} (ORCID: 0000-0002-1094-6946)

Ahmet TUTUŞ² (ORCID: 0000-0003-2922-4916)

¹ 125.Yıl Meslek Okulu, Mobilya ve İç Mekân Tasarım Alanı, Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman endüstri mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Cebrail AÇIK, cebrail46@hotmail.com

ÖZET

Son yıllarda küresel çapta dijital teknolojinin artması, çevrimiçi uygulamaların yaygınlaşması, pandemi gibi birbirine bağlı sebeplerden dolayı, hayatın büyük bir bölümü iç mekânlarda geçmektedir. Bu nedenle yaşam konforu ve güvenliği açısından parke, lambri gibi iç mekân donatılarının radyasyon veya elektrik akımları karşısındaki yalıtım kabiliyetlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, işyeri-konut iç mimarisinde en çok kullanılan farklı özelliklerdeki lif levhalara, 8.9 mCi aktiviteli (663 keV enerjili) Cs-137 gama radyoizotop kaynağından ışınlama ve 1000 Volt doğru gerilim uygulanmıştır. Lif levhaların kalınlık, malzeme yoğunluğu ve farklı yüzey kaplama değişkenlerine bağlı, radyasyon ve elektrik yalıtım kabiliyetleri incelenmiştir.

Sonuç olarak, lif levhaların kalınlığı, yoğunluğu ve yüzey kaplamasının, malzemelerin radyasyon ve elektriksel yalıtım kabiliyetlerini farklı oranlarda etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç mimari, lif levha, yalıtım

ABSTRACT

Due to interdependent reasons such as the increase in digital technology globally in recent years, the pandemic and the widespread use of online applications, a large part of life passes indoors. For this reason, it is necessary to know the insulation properties of interior fittings such as parquet, paneling against radiation or electric currents in terms of life comfort and safety.

In this study, irradiation from a Cs-137 gamma radioisotope source with 8.9 mCi activity (663 keV energy) and 1000 Volt direct voltage were applied to the most commonly used fiberboards in workplace-residential interior architecture. Radiation and electrical insulation capabilities of fiberboards depending on thickness, material density and different surface coating variables were investigated.

As a result, it was determined that the thickness, density and surface coating of the fiberboards affect the radiation and electrical insulation capabilities of the materials at different rates.

Keywords: Interior architecture, fiberboard, insulation

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Cebrail AÇIK, cebrail46@hotmail.com

ToCite: AÇIK, C., & TUTUŞ, A., (2021). İŞYERİ-KONUT İÇ MİMARİSİNDE KULLANILAN LİF LEVHALARIN RADYASYON VE ELEKTRİK YALITIMININ İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (1), 42-52.

GİRİŞ

Günümüzde oldukça yaygın kullanılan cep telefonları, bilgisayarlar, saç kurutma makineleri, mikrodalga fırınlar, televizyonlar, ütüler, klima ve elektrikli ısıtıcılar, fotokopi makineleri, otomobiller, yüksek gerilim hatları, baz istasyonları, elektronik haberleşme ağları, radyo ve televizyon vericileri, uydu iletişim sistemleri, askeri savunma sistemleri, radarlar, otomobil ateşleme sistemleri, tıbbi cihazlar ve daha pek çok elektrik-elektronik cihazlar ve sistemler çalışırken kasıtlı veya kasıtsız olarak çevreye elektromanyetik radyasyon yayarlar. Çeşitli frekans aralıklarındaki ışınımlar elektronik cihazların çalışma verimlilikleri üzerinde bozucu etki oluşturdukları gibi bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerinde de olumsuz etkiler oluşturabilirler (Demiröz, 2020).

Elektronik sistemler ve cihazlar üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinen elektromanyetik alanlar, insan sağlığı açısından da tehlike oluşturmaktadır. Bu nedenle, elektromanyetik alanların neden olduğu zararları azaltmak amacıyla birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir kısmını istenmeyen elektromanyetik dalgaların kalkanlanması amacı ile oluşturulan yeni malzemelerin üretilmesi oluşturmaktadır (Kaya ve Çiftçi, 2017).

Birbirlerinin zayıf yönlerini dengeleyerek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denilmektedir. Kompozit malzemelerin kullanımı metallere göre sağladıkları üstün özellikler nedeni ile gün geçtikçe artmaktadır. Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük oluşu, bu malzemelerin hafif konstrüksiyonlarda kullanımında büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında lif takviyeli kompozit malzemelerin korozyona dayanımları, ısı, ses ve elektrik ızalasyonu sağlamaları da ilgili kullanım alanları için bir üstünlük sağlamakta ve iç mekân dekorasyonunda kullanımını artırmaktadır (Yılmaz, 2014).

Mehagany (*Swietenia macrophylla*), yağmur ağacı (*Albizia saman*) ve mango (*Mangifera indica*) ağaçlarından elde edilen ahşap örneklerinin, düşük ve yüksek enerjili gama ve nötron ışınları karşısındaki zayıflatma katsayıları, cam elyafı ve hint keneviri elyafı takviyeli polimer kompozit numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Cam elyaf ve hint keneviri kompozitlerinin, nötron ışını karşısında daha iyi bir koruma değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yağmur ağacı odununun, düşük ve yüksek enerjili gama foton ışınları karşısında tatmin edici bir zayıflatma kapasitesi sergilediği açıklanmıştır (Shamsuzzaman vd., 2019).

Borik asitle empenye edilmiş karaçam (*Pinus nigra Arnold subsp. pallasiana*) odununun radyasyon lineer zayıflatma katsayısı ile kütle zayıflatma katsayısının foton enerjisi arttıkça azaldığı bulunmuştur. Emprenyeli odunun radyasyonu zırlama özellikleri, yüksek yoğunluğu ve bor elementi içeren kimyasal bileşimi nedeniyle empenyesiz türünden daha yüksek çıkmıştır (Özkan, 2020).

İç mimaride kullanılan dekor amaçlı ticari olarak üretilmiş olan dört farklı duvar kâğıdının elektromanyetik kalkanlama etkinlikleri araştırılmıştır. Ancak ticari duvar kâğıtlarının pratikte elektromanyetik kalkanlama özelliklerinin olmadığı tespit edilmiştir (Demiröz, 2020).

Farklı yoğunluklarda ve çeşitli kalınlıklarda duvar kâğıtları hazırlanarak, kurşun nitrat kaplamalı duvar kâğıtlarının radyasyon soğurma özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bu duvar kâğıtlarının soğurma özellikleri kalınlığa bağlı olarak artmış ve kurşun nitrat kaplı duvar kâğıtlarının diğer malzemelerle birlikte radyasyon zırlamada kullanılabileceği belirtilmiştir (Kavun, 2019).

Atık asidik linter lifleri üzerine, nano boyutta metal oksitler kimyasal olarak çöktürülmüş, karakterize edilmiş ve duvar kâğıdı kuşe harcında kullanılarak elde edilen duvar kâğıdının radyasyon geçirgenliği ölçülmüştür. Çeşitli nano boyutta metal oksitlerle kaplanmış atık asidik linter liflerinden, çeşitli oranlarda alınarak elde edilen tüm kuşe duvar kâğıtlarının radyasyon zırlamasında olumlu sonuçlar alınmıştır (Öz, 2019).

Farklı oranlarda sodyum tungstat ve sodyum molibdat ile kaplanmış duvar kâğıtlarının beta radyasyon soğurma özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre duvar kâğıtlarının yüzeyini kaplamak için kullanılan kaplama materyallerinde tungstat ve sodyum molibdat yoğunluğu arttıkça ve kaplama kalınlığı arttıkça bu kâğıtların beta radyasyonu soğurma özelliklerinin arttığı görülmüştür (Kavun vd., 2019)

Bir malzemenin radyasyon kalkanlaması ile elektrik iletkenliği veya elektrik yalıtım kabiliyeti birbiriyle ilişkilidir. Radyasyon yalıtımı amacı ile kullanılacak malzeme, dalgaların malzemeye nüfuzunu minimize etmeli ve yüksek manyetik geçirgenliğe ve iyi elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır. Çünkü manyetik enerji ısıya çevrilerek absorbe

edilebilir. Yüksek elektrik iletkenliğine sahip malzemeler yüksek frekans aralığında (>300 MHz) elektromanyetik kalkan olarak kullanılabilirler (Yılmaz, 2014).

Selüloz, kâğıt, karton ve diğer selüloziklerin elektrik yalıtkanlığı, moleküler yapılarına, fiziksel yapılarına ve kimyasal bileşimlerine bağlıdır. Ayrıca, malzemenin özelliklerini karakterize eden yoğunluk, nem içeriği, ağaç türleri, anizotropi, yapıdırma ve doldurma maddeleri gibi özellikler ahşap esaslı malzemelerin elektrik yalıtkanlığını etkiler (Torgovnikov, 1993).

Liflerdeki nem içeriği kompozitlerin elektrik iletkenliğini artırır. Isıl işlemin, lif takviyeli kompozitlerin elektrik direncini artırdığı bulunmuştur. Sıcaklıkla birlikte elektrik yalıtım direncinin artması, yüksek sıcaklıkta çift kutuplu moleküler zincirin daha fazla hareket serbestliğinden kaynaklanmaktadır (Pathania ve Singh, 2009).

Yapılan literatür taramalarında malzemenin radyasyon yalıtım özellikleri ile elektriksel özelliklerinin ilişki olduğu açıklanmıştır. Elektromanyetik dalgaların zırhlanması için, kurşun, bakır, kül, bor, sodyum vb. değişik maddelerle ahşap kombinasyonlar hazırlanarak yeni nesil malzemeler üretilmeye çalışılmıştır. Ancak yaygın piyasa koşullarında iç mimaride kullanılabilen elektromanyetik dalgaların zırhlanması amacına yönelik yeni nesil malzemeler pratik hayatta yerini alamamıştır. Çünkü sadece bu amaca yönelik bir malzeme, ekonomiklik, estetik, ısı ve ses yalıtımı, dayanıklılık gibi diğer faktörler karşısında çok özel kalmaktadır. Ayrıca iç mekân donatılarında çok yoğun bir şekilde kullanılan piyasadaki lif levhaların, elektromanyetik dalgaların zırhlama kabiliyetlerinin mevcut pozisyonu yeterince açıklanmamıştır. Bu çalışmada ise, elektromanyetik dalgaların zırhlanması amacına yönelik, mevcut malzemelere bu özelliği kazandırabilecek çalışmalara temel olmak amacıyla, işyeri-konut iç mimarisinde piyasada sıklıkla kullanılan mevcut lif levhaların kalınlık, malzeme yoğunluğu ve farklı yüzey kaplama değişkenlerine bağlı, radyasyon ve elektrik yalıtım kabiliyetleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda tasarım ve kullanıcılara yönelik öneriler getirilmiştir.

MATERYAL VE METOD

Deneme Materyalleri ve Hazırlanması

Orta ve yüksek yoğunlukta lif levhalar (MDF ve HDF): Kastamonu lif levha fabrikasında üretilen, 8 mm kalınlığında 183x366 cm boyutlarında, 1. sınıf kalitede, 0.90 gr/cm³ yüksek yoğunlukta lif levhalar ve 0.75 gr/cm³ orta yoğunlukta lif levhalar deneme örneği olarak kullanılmıştır.

Yüksek basınç laminatı (HPL): GBS GENTAŞ 4236 marka, 0,8 mm kalınlığında, zeytin ağacı desenli yüksek basınç laminatı, bir grup örnekte yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır.

Yüksek basınç laminatı kaplanmış orta ve yüksek yoğunlukta lif levhalar (MDF+HPL ve HDF+HPL): Yukarıda özellikleri belirtilen yüksek basınç laminatı, 165 bar basınç altında, 87 °C sıcaklıkta, 5 dakika süreyle, üre formaldehit tutkalıyla presleme makinesinde, yukarıda özellikleri belirtilen lif levhaların her iki yüzeyine kaplanmıştır.

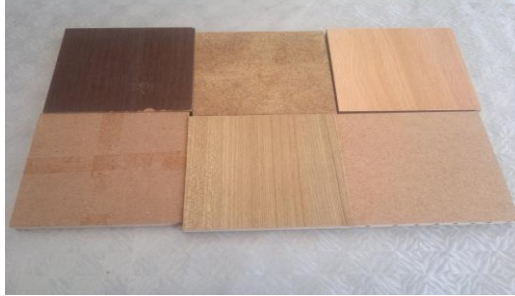
Polivinil klorür (PVC): BAYTEK BAYLAR marka, 0,4 mm kalınlığında wenge desenli Polivinil klorür, bir grup örnekte yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır.

Polivinil klorür kaplanmış orta ve yüksek yoğunlukta lif levhalar (MDF+PVC ve HDF+PVC): Yukarıda özellikleri belirtilen Polivinil klorür yüzey kaplama malzemesi, 695 vakumda, 50 °C sıcaklıkta, 4 dakika süre kullanılarak, üre formaldehit tutkalıyla, vakumlu preslerde lif levhaların her iki yüzeyine kaplanmıştır.

Melamin reçineli kâğıt (MRK): Kastamonu entegreden temin edilen 0,18 mm kalınlığında, yoğunluğu 70gr/m² olan, melamin reçinesiyle emprenye edilmiş, kayın ağacı desenli kâğıtlar, bir grup örnekte yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır.

Melamin reçineli kâğıt kaplanmış orta ve yüksek yoğunlukta lif levhalar (MDF+MRK ve HDF+MRK): Yüzey kaplama kâğıtları, 100 bar basınçta, 91 °C sıcaklıkta, 5 dakika süre kullanılarak, üre formaldehit tutkalıyla lif levhaların her iki yüzeyine kaplanmıştır.

Örnekler Kahramanmaraş'ta faaliyet gösteren Şahanlar Ahşap işletmesinde üretilerek 10x10cm boyutlarında kesilmiş olup, deneyler iki farklı yoğunlukta lif levhalara ve bu levhaların üç farklı malzemeyle kaplanmasıyla elde edilen numunelerle birlikte toplam sekiz değişik numenin her çeşidinden 3 tane örneğine uygulanmıştır. Radyasyon ve elektrik yalıtım direnci ve ölçümü için hazırlanmış lif levha ve kaplanmış lif levha örnekleri Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1 Lif levha ve kaplanmış lif levha örnekleri

Metot

Radyasyon yalıtım direnci belirleme metodu

Çalışma, mevcut piyasa koşullarındaki lif levha ve kaplanmış lif levha örneğinin radyasyon geçirgenliklerini incelemeye yönelik olduğundan, herhangi bir standart sınırlaması olmaksızın, oldukça geniş pazar payına sahip Kastamonu lif levha fabrikasında üretilen yarı mamulden, eşit koşullarda işlem yapılarak istenen mamül haline getirilmiştir. Ölçümler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı Radyasyon Ölçümleri ve Radyoizotop Laboratuvarlarının imkânları kullanılarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan gama radyoizotop kaynağı; 8.9 mCi aktiviteli (663 keV enerjili) Cs-137 gama radyoizotop kaynağıdır. Deneyler yapılırken; sıcaklık 30°C ve nemlilik oranı %60 olarak ölçülmüş ve tüm deneyler aynı şartlarda yapılmıştır. Ölçümler; 1401K Model Sintilatör dedektör ve çok kanallı analizör ile yapılmıştır. Polimaster marka 1401K Model Sintilatör dedektör radyasyon iletkenliği ölçme cihazı aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Radyasyon iletkenliği ölçüm cihazı ve deney düzeneği

Radyasyon ışın sayımları, dakikada gönderilen ışın sayım sayısına (cpm) göre alınmıştır. İlk önce malzeme olmaksızın yani kalınlık 0'a göre dakikadaki sayım sayısı (tam geçirgenlik) 1.000 kabul edilmek üzere (I_0) belirlenmiştir. Daha sonra malzemenin her kalınlığı için (tek kat, iki kat, üç kat) ayrı ayrı üç net sayımı alınmış ve söz konusu üç sayımın ortalaması (I) alınarak başlangıç sayımına bölünmüştür. Böylelikle malzemenin her kalınlığı için bağıl sayım (I/I_0) değerleri ortaya çıkarılmıştır. Malzemenin radyasyon zırlama kapasitesi bu yöntemle ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra her bir malzeme grubu için kalınlık-bağıl sayım grafikleri çizilmiştir. Excel ortamında çizilen bu grafikler eksponansiyel denklem olarak fit edilmiş ve Beer's Lambert formülüne uyumlu hale getirilmiştir. Radyasyon yalıtım direnci aşağıda formül (1)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Burada;

I: malzeme varken radyasyon sayımı,

I_0 : Malzeme yokken radyasyon sayımı,

x: malzeme kalınlığı,

μ : Lineer zayıflatma katsayısını,

ifade etmektedir. Excel ortamında çizilen ve eksponansiyel olarak fit edilen bu denklemlerden hareketle, her bir malzemenin lineer zayıflatma katsayısı hesaplanmıştır. Lineer zayıflatma katsayısı malzemenin radyasyon zırlama kapasitesini ifade eden en önemli parametrelerden biridir.

Elektrik yalıtım direnci belirleme metodu

Çalışma, mevcut piyasa koşullarındaki lif levha ve kaplanmış lif levha örneğini incelemeye yönelik olduğundan, herhangi bir standart sınırlaması olmaksızın, oldukça geniş pazar payına sahip Kastamonu lif levha fabrikasında üretilen yarı mamulden, eşit koşullarda işlem yapılarak istenen mamül haline getirilmiştir. Elektrik yalıtım direnci testi; İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümü, Yüksek Gerilim Laboratuvarında yapılmıştır. Bir yalıtkanın kaçak akıma karşı gösterdiği direnç anlamında değerlendirilen yalıtım direnci, ortam sıcaklığı 23 °C, bağıl nem %63, hava basıncı 757 mm/Hg ortam koşullarında, yalıtım direnci ölçerle 1000 Volt doğru gerilim uygulanarak elde edilmiştir. Yukarıda özellikleri belirtilen örneklerin her iki yüzünün ortasına 3x3 cm boyutlarında bakır folyo yapıştırılarak akım verilmiştir. Deneilerin yapıldığı ISOLATIONSMESSER marka yalıtım direnci ölçer, aşağıda Şekil 3'de gösterilmiştir. Elektrik yalıtım direnci aşağıda formül (2)'deki gibi hesaplanmıştır.

$$R_i = V/I \quad (2)$$

Burada;

I: Kaçak akımı,

V: Doğru gerilimi,

R_i: Elektrik yalıtım direncini, MΩ(Megaohm) olarak ifade etmektedir.



Şekil 3 Elektrik yalıtım direnci ölçme cihazı

ARAŞTIRMA BULGULARI

Lif Levhaların Radyasyon Yalıtım Direncine Ait Bulgular

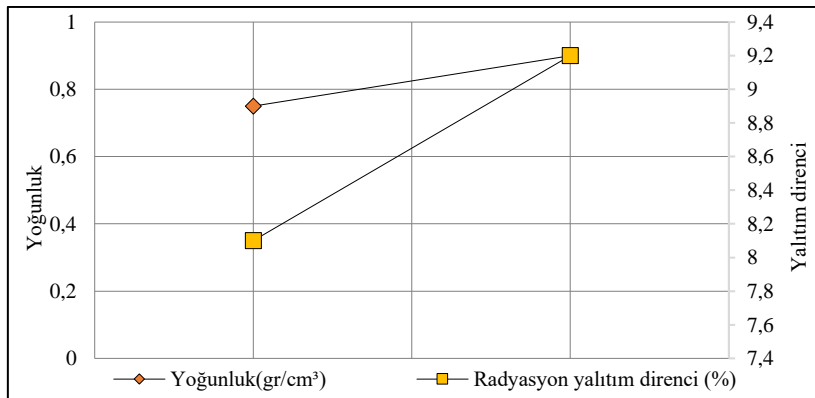
Orta yoğunlukta lif levhaların(MDF), yüksek yoğunlukta lif levhaların(HDF), melamin reçineli kâğıt (MRK) kaplanmış lif levhaların, yüksek basınç laminatı (HPL) kaplanmış lif levhaların ve polivinil klorür (PVC) kaplanmış lif levhaların radyasyon yalıtım direncine ait bulgular aşağıda Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Lif levhaların radyasyon yalıtım direncine ait bulgular

| Malzeme | Kalınlık (cm) | Ortalama Sayım (cpm) | Standart Sapma | Bağıl Sayım | Radyasyon yalıtım direnci (%) | Malzeme | Kalınlık (cm) | Ortalama Sayım (cpm) | Standart Sapma | Bağıl Sayım | Radyasyon yalıtım direnci (%) |
|---------|---------------|----------------------|----------------|-------------|-------------------------------|---------|---------------|----------------------|----------------|-------------|-------------------------------|
| MDF | 0 | 1772 | 30 | 1,000 | 0 | HDF | 0 | 1772 | 30 | 1,000 | 0 |
| | 0,81 | 1714 | 6 | 0,967 | 3,3 | | 0,77 | 1701 | 11 | 0,960 | 4 |
| | 1,62 | 1658 | 26 | 0,935 | 6,5 | | 1,55 | 1640 | 16 | 0,925 | 7,5 |
| | 2,44 | 1604 | 21 | 0,905 | 9,5 | | 2,32 | 1566 | 30 | 0,883 | 11,7 |
| MDF+MRK | 0 | 2155 | 14 | 1,000 | 0 | HDF+MRK | 0 | 2155 | 14 | 1,000 | 0 |
| | 0,84 | 2068 | 5 | 0,960 | 4 | | 0,80 | 2047 | 29 | 0,950 | 5 |
| | 1,68 | 1977 | 16 | 0,917 | 8,3 | | 1,61 | 1956 | 7 | 0,907 | 9,3 |
| | 2,54 | 1888 | 29 | 0,876 | 12,4 | | 2,43 | 1864 | 10 | 0,865 | 13,5 |
| MDF+HPL | 0 | 2155 | 14 | 1,000 | 0 | HDF+HPL | 0 | 2155 | 14 | 1,000 | 0 |
| | 0,96 | 2059 | 15 | 0,955 | 4,5 | | 0,90 | 2056 | 12 | 0,954 | 4,6 |
| | 1,91 | 1935 | 17 | 0,898 | 10,2 | | 1,81 | 1926 | 13 | 0,894 | 10,6 |
| | 2,87 | 1836 | 31 | 0,852 | 14,8 | | 2,73 | 1846 | 22 | 0,856 | 14,4 |
| MDF+PVC | 0 | 1772 | 30 | 1,000 | 0 | HDF+PVC | 0 | 1772 | 30 | 1,000 | 0 |
| | 0,90 | 1708 | 13 | 0,964 | 3,6 | | 0,85 | 1672 | 9 | 0,943 | 5,7 |
| | 1,81 | 1619 | 21 | 0,914 | 8,6 | | 1,71 | 1575 | 4 | 0,889 | 11,1 |
| | 2,72 | 1557 | 20 | 0,878 | 12,2 | | 2,57 | 1537 | 16 | 0,867 | 13,3 |

Tablo 1'e göre, kaplanmamış 8 mm kalınlığındaki orta yoğunlukta lif levhaların radyasyon yalıtım direncinin %3,3 olduğu, yüksek yoğunlukta lif levhaların radyasyon yalıtım direncinin ise %4 olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit, lif levhaların kaplama malzemesi, tutkal, pres basıncı vb. etkileri olmaksızın yoğunluk- radyasyon yalıtım ilişkisini belirleyen en yalın tespit olduğu söylenebilir. Ayrıca MDF ve HDF levhaların yoğunluk farkıyla(%16,6),radyasyon yalıtım direnci farkının (%17,5) yaklaşık aynı olması, yoğunluk ile radyasyon yalıtım direnci arasında doğru orantılı tam bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu tespite paralel olarak, Başyigit ve Kaçar (2006), yapı malzemesi olarak aynı sınıfa giren malzemelerin yoğunluklarıyla radyasyon geçirgenliklerinin doğrudan ilişkili ve doğru orantılı olduğunu belirtilmişlerdir. Ayrıca Ero ve Adebo (2012), 22 adet farklı ağaç türlerinden elde ettiği örneklerle, 0.101 Mev ile 3.212 Mev' lik farklı oranlarda enerji ışınlayarak örneklerin radyasyon zırlamasını ölçmüştür. Soğurma oranının enerji miktarı ile ters, yoğunlukla doğru orantılı olduğunu açıklamışlardır.

Tablo 1'deki MDF ve kaplanmış MDF levhalar ile HDF ve kaplanmış HDF levhaların tüm kalınlıklardaki ortalama değerlerine göre, malzeme yoğunluğu ile radyasyon yalıtım direnci ilişkisi aşağıda Şekil 4'de gösterilmiştir.

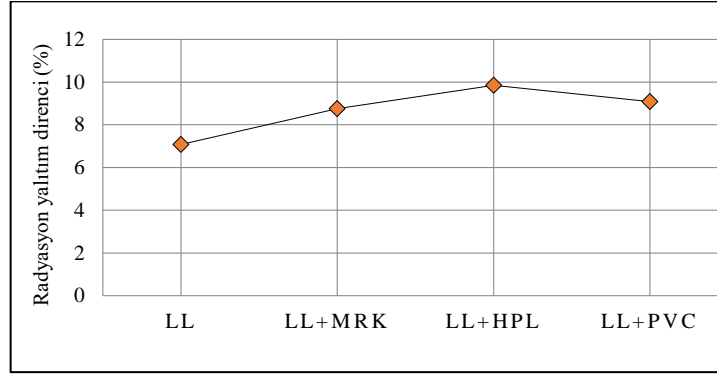


Şekil 4. Malzemelerin yoğunluk- radyasyon yalıtım direnci ilişkisi

Şekil 4'e göre, kaplanmış MDF levhaların radyasyon yalıtım direncinin %8,1 olduğu, kaplanmış HDF levhaların radyasyon yalıtım direncinin ise %9,2 olduğu saptanmıştır. HDF'nin yoğunluğu (0,90 gr/cm³), MDF'nin yoğunluğuna (0,75 gr/cm³) göre %16 fazla olup, bu yoğunluk artımı radyasyon yalıtım direncini %13,4 artırmıştır.

Bu değer, kaplanmamış lif levhalarda %17,5 olduğundan, yüzey kaplama işlemi radyasyon yalıtımı açısından MDF levhalara HDF levhalardan yaklaşık %4 daha fazla değer kattığı söylenebilir.

Tablo 1'deki verilere göre, MDF ve HDF (LL), melamin reçineli kâğıt kaplanmış lif levhaların(LL+MRK), yüksek basınç laminatı kaplanmış lif levhaların(LL+HPL), ve polivinil klorür kaplanmış lif levhaların(LL+PVC) tüm kalınlıklarının ortalamasına göre, ortalama radyasyon yalıtım dirençleri aşağıda Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Malzemelerin radyasyon yalıtım dirençleri

Şekil 5'e göre, malzemelerin radyasyon yalıtım dirençleri, lif levhalarda(LL) %7,08, melamin reçineli kâğıt(MRK)kaplanmış lif levhalarda %8,75, yüksek basınç laminatı (HPL)kaplanmış lif levhalarda %9,85, polivinil klorür (PVC) kaplanmış lif levhalarda %9,08 olarak elde edilmiştir. Yani radyasyon yalıtım direnci olarak LL < LL+MRK < LL+PVC < LL+HPL bağıntısı görülmektedir. Bu bağıntı oranının, MDF ve HDF levhaların kalınlığı ile iki yüzeylerinin de farklı kalınlıklardaki (MRK 0,18 mm, PVC 0,4 mm ve HPL 0,8 mm) malzemelerle kaplanması sonucu elde edilen kalınlık ölçüsü oranına paralel olduğu görülmektedir. Bu ilişkiye göre, kaplanmış lif levhaların radyasyon yalıtım direncinin artmasının nedeni, kaplama malzemesi ve tutkallama sonucu kalınlık artımından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ayrıca kaplama malzemesi çeşitliliklerinin ve özelliklerinin radyasyon yalıtım direncini etkilemediği değerlendirilmektedir.

Demiröz (2020), Ticari olarak piyasada en çok kullanılan dört farklı duvar kâğıdı numunelerinden, elektromanyetik akımlara karşı, ölçüm cihazının hassasiyetinden dolayı kalkanlama etkinliği farklarının olduğunu, ancak bunun anlamlı olmadığını ve pratikte kalkanlama sayılamayacağını, bu amaçla kullanılamayacağını belirtmiştir. Bu çalışmada ise, literatürdeki dekor kâğıtlarına benzeyen lif levha yüzey kaplama malzemelerinin, aynı şekilde radyasyon yalıtım direncini etkilemediği görülmektedir.

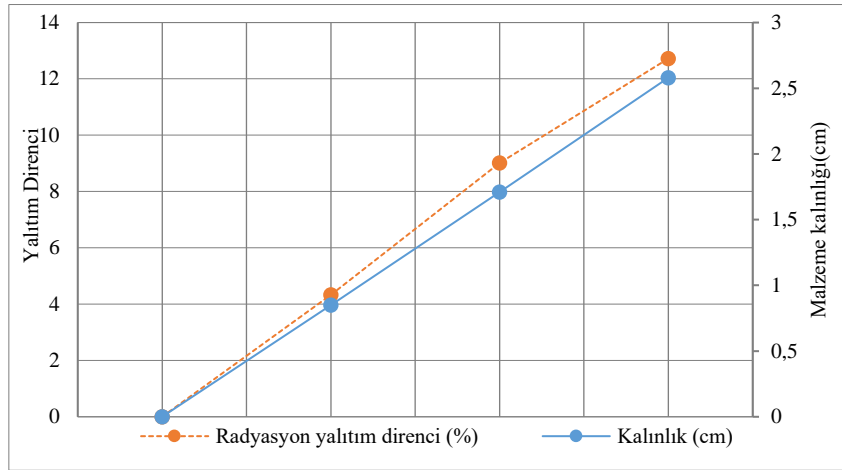
Kaya ve çiftçi (2017) yaptıkları bir çalışmada, 0,01 mm kalınlığında bakır folyo kaplanmış 10 mm kalınlıklarındaki, yoğunluğu 0,75 gr/cm³ MDF, yoğunluğu 0,67 gr/cm³ yönlendirilmiş yonga levha (OSB) ve yoğunluğu 0,68 gr/cm³ kontrplak malzemelerin elektromanyetik kalkanlama kabiliyetini araştırmışlardır. Malzemelerin radyasyon kalkanlama kabiliyetlerinin yaklaşık %50 oranında olduğunu ve çoktan aza doğru kontrplak, OSB ve MDF olarak sıralamışlardır. Bu çalışmada kullanılan, literatürdeki bakır folyoya benzer kalınlıktaki yüzey kaplama malzemelerinin, farklı yapısal özelliklerinin radyasyon yalıtım direncini etkilemediği görülmektedir.

Kavun (2019), bir çalışmasında, kurşun(II) nitrat Pb(NO₃)₂ kaplamalı duvar kâğıtlarının radyasyon soğurma özelliklerini araştırmıştır. Farklı yoğunluklarda ve çeşitli kalınlıklarda (0.176-0.236 mm) Pb(NO₃)₂ kaplanmış kâğıtlara 4 MeV-enerjili ışınlama uygulamıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bu duvar kâğıtlarının soğurma özellikleri kalınlığa bağlı olarak arttığını ve Pb(NO₃)₂ kaplı duvar kâğıtlarının diğer malzemelerle birlikte radyasyon zırhlamada kullanılabileceğini belirtmiştir. Kavun vd. (2019), diğer bir çalışmada ise, duvar kâğıtları üzerine sodyum tungstat ve sodyum molibdat kaplayarak (0.172-0.258 mm aralığında) duvar kâğıtlarının radyasyon soğurma özelliklerini incelemişlerdir. 4 MeV enerjili elektronlar ile kâğıtlar ışınlanmış, elde edilen sonuçlara göre duvar kâğıtlarının yüzeyini kaplamak için kullanılan kaplama materyallerinde sodyum tungstat ve sodyum molibdat yoğunluğu arttıkça ve kaplama kalınlığı arttıkça bu kâğıtların beta radyasyonu soğurma özelliklerinin arttığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada yaklaşık benzer kalınlıktaki lif levha yüzey kaplama malzemelerinin radyasyon zırlamasını etkilememesine rağmen, literatürdeki çalışmada yaklaşık altı katı daha fazla ışınlama yaparak radyasyon zırlaması yapılabilmesi, duvar kâğıtlarının içerisindeki kurşun nitrattan, sodyum tungstat ve sodyum molibdat maddelerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Öz (2019), 50 mCi şiddetinde ve 59.543 keV enerjili fotonlar yayınlayan radyoizotop kaynağından çıkan fotonlar ile, çeşitli nano boyutta metal oksitlerle kaplanmış atık asidik linter liflerinden, çeşitli oranlarda alarak elde ettiği farklı özellikte kuşe duvar kâğıtlarının radyasyon zırlamasını ölçmüş ve olumlu sonuçlar almıştır. Bu çalışmadaki ışınlanan enerji miktarından, literatür çalışmasındaki enerji miktarı yaklaşık on bir kat daha az olduğundan, bu çalışmaya göre ölçülebilir düzeyde farklar olabileceği gibi, duvar kâğıtlarındaki katkı maddelerinden de kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Tablo 1'deki verilerin her bir kalınlığın tamamının ortalamalarına göre elde edilmiş değerlere göre, lif levha ve kaplanmış lif levhaların kalınlık-radyasyon yalıtım direnci ilişkisi aşağıda Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'ya göre, malzeme kalınlığıyla düzgün doğrusal olarak radyasyon yalıtım direncinin arttığı görülmektedir. Yani ışınlama bir dakika süresince yapıldığından bu sürede artan malzeme kalınlığının, radyasyon iletimini zayıflatmadığı görülmektedir.



Şekil 6. Malzemelerin kalınlık- radyasyon yalıtım direnci ilişkisi

Özkan (2020), yoğunluğu 0,44 cm³/gr karaçam odununun, 661,7 keV enerjili Cs-137 radyoizotop kaynağından ışınlama yaparak, ışınlanan enerjinin yarısını soğurmak için gereken kalınlığın 19,4 cm olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmadaki 663 keV enerjili Cs-137 gama radyoizotop kaynağından, yoğunluğu 0,65-0,90 gr/cm³ arasındaki lif levhalara ışınlanan enerjinin yaklaşık %10'unun soğurulduğu tespit edilmiştir. Bu sonuca göre, ahşap masif malzemelerin, sabit deney şartlarında kompozit lif levha malzemelerden daha iyi radyasyon zırlama kapasitesine sahip olduğu söylenebilir.

Shamsuzzaman vd. (2019), 1332 keV enerji gücünde gama radyasyon kaynağı ile, mehangany (*Swietenia macrophylla*), yağmur ağacı (*Albizia saman*) ve mango (*Mangifera indica*) ağaçlarından elde edilen ahşap örnekleri ile cam elyafı ve hint keneviri elyafı takviyeli polimer kompozit numunelerinin, 1cm, 1,5 cm, ve 2,5 cm kalınlıklarındaki zırlama kapasitelerini ölçülmüşlerdir. Çalışma sonucunda, çeşitli tür ve kalınlıklardaki ahşap ve ahşap esaslı kompozitlerin radyasyon yalıtım direncinin %3 ile % 22 arasında değiştiği ve kalınlıkla doğru orantılı olduğunu belirlemişlerdir. Literatürdeki çalışmada kullanılan malzemelerin hem kalınlık miktarları, hem de radyasyon yalıtım dirençleri, bu çalışmada kullanılan 0,8 cm, 1,6 cm ve 2,4 cm kalınlığındaki lif levha malzemelerden elde edilen, %3-%15 arasında değişen radyasyon yalıtım dirençleri değerleriyle örtüştüğü belirlenmiştir.

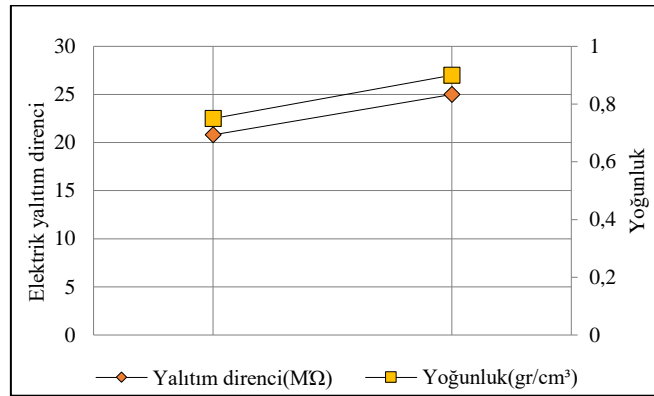
Lif Levhaların Elektrik Yalıtım Direncine Ait Bulgular

Orta yoğunlukta lif levhaların(MDF), yüksek yoğunlukta lif levhaların(HDF), melamin reçineli kâğıt (MRK) kaplanmış lif levhaların, yüksek basınç laminatı (HPL) kaplanmış lif levhaların, ve polivinil klorür (PVC) kaplanmış lif levhaların elektrik yalıtım direncine ait bulgular aşağıda Tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Lif levhaların elektrik yalıtım direncine ait bulgular

| Malzeme | Elektrik Yalıtım Direnci Ri(MΩ) | | | |
|---------|---------------------------------|------|------|-----|
| | min | max | x | s |
| MDF | 21 | 21 | 21 | 0 |
| MDF+MRK | 21 | 23.6 | 22.3 | 1.1 |
| MDF+HPL | 21 | 21 | 21 | 0 |
| MDF+PVC | 19 | 19 | 19 | 0 |
| HDF | 23 | 23 | 23 | 0 |
| HDF+MRK | 28 | 30 | 29 | 1 |
| HDF+HPL | 32 | 33 | 32.6 | 0.5 |
| HDF+PVC | 23 | 23 | 23 | 0 |

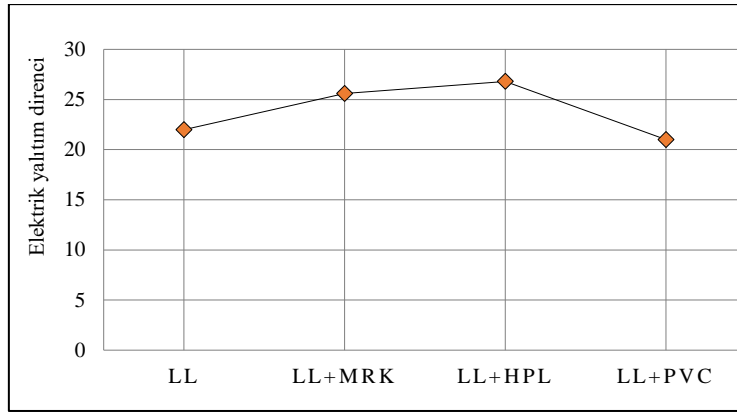
Tablo 2'ye göre kaplanmamış 8 mm kalınlığındaki orta yoğunlukta lif levhaların elektrik yalıtım direncinin 21 MΩ olduğu, yüksek yoğunlukta lif levhaların elektrik yalıtım direncinin ise 23 MΩ olduğu tespit edilmiştir. Tablo 2'deki kaplanmamış ve kaplanmış MDF ve HDF levhaların ortalama değerlerine göre, malzeme yoğunluğu ile elektrik yalıtım direnci ilişkisi aşağıda Şekil 7'de gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Malzemelerin yoğunluk- elektrik yalıtım direnci ilişkisi

Şekil 7'ye göre, MDF ve kaplanmış MDF'lerin ortalama elektrik yalıtım direncinin 20,8 MΩ olduğu, HDF ve kaplanmış HDF'lerin elektrik yalıtım direncinin ise 25 MΩ olduğu saptanmıştır. HDF'nin yoğunluğu (0,90 gr/cm³), MDF'nin yoğunluğuna(0,75 gr/cm³) oranı %16,6 fazla olup, bu yoğunluk artımı elektrik yalıtım direncini yaklaşık aynı oranda %16,8 artırmıştır. Bu değer, kaplanmamış lif levhalarda yaklaşık yarısı (%8,6) olduğundan, yüzey kaplama işlemi radyasyon yalıtımı açısından HDF levhalara MDF levhalardan yaklaşık %8 daha fazla değer kattığı söylenebilir.

Örs ve Keskin (2001), tam kuru ahşabın iyi bir yalıtkan olduğunu, iletken olmadığı, elektriksel direncin genel olarak öz ağırlık arttıkça azaldığı, hava boşluğu arttıkça arttığı belirtilmiştir. Ancak bu çalışmada lif levhaların yoğunluğu ile elektrik yalıtım direnci arasında düzgün doğrusal bir eğilim elde edilmiştir. Bunun nedeninin ahşabın anatomik yapısıyla, lif levhalarda bulunan kimyasal ahşap dışı bileşenler ve üretim yönteminin doğurduğu suni yapıdaki farktan kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 2'deki verilerin ortalamalarına göre elde edilmiş lif levhaların(LL), melamin reçineli kâğıt kaplanmış lif levhaların(LL+MRK), yüksek basınç laminatı kaplanmış lif levhaların(LL+HPL), ve polivinil klorür kaplanmış lif levhaların(LL+PVC) elektrik yalıtım dirençleri aşağıda Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Malzemelerin elektrik yalıtım dirençleri

Şekil 8'e göre malzemelerin elektrik yalıtım dirençleri, lif levhalarda 22 MΩ, melamin reçineli kâğıt(MRK) kaplanmış lif levhalarda 25,6 MΩ, yüksek basınç laminatı (HPL)kaplanmış lif levhalarda 26,8 MΩ, polivinil klorür (PVC) kaplanmış lif levhalarda 21 MΩ olarak elde edilmiştir. Yani elektrik yalıtım direnci olarak LL+PVC < LL < LL+MRK < LL+HPL bağıntısı görülmektedir. Bu bağıntı oranının, MDF ve HDF levhaların kalınlığı ile iki yüzeylerinin de farklı kalınlıklardaki (MRK 0,18 mm, PVC 0,4 mm ve HPL 0,8 mm) malzemelerle kaplanması sonucu elde edilen kalınlık ölçüsü oranına MRK ve HPL kaplanmış malzemelerde uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak polivinil klorür (PVC) kaplanmış lif levhalarda uyumlu olmadığı görülmektedir. Bu ilişkiye göre, MRK ve HPL kaplanmış lif levhaların elektrik yalıtım direncinin artmasının nedeni kaplama malzemesi ve tutkallama sonucu kalınlık artımından kaynaklanabileceği gibi, kaplama malzemesinin yapısal özelliklerinden de kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca PVC kaplanmış lif levhaların elektrik yalıtım direncinin azalmasının nedenin kaplama malzemesinin yapısal özelliklerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Yılmaz (2014),malzemenin elektrik iletkenliğiyle radyasyon kalkanlamasının doğru orantılı olduğunu açıklamıştır. Ancak bu çalışmadaki ahşap kompozit malzemelerde böyle bir ilişki saptanamamıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Değişkenlere bağlı olarak lif levhalar tam geçirgenliğe göre %3 ile %15 arasında değişen oranlarda radyasyon yalıtımı sağlamıştır. Lif levhalarda, malzeme kalınlığı ve yoğunluk, levhanın radyasyon yalıtım kabiliyetini düzgün doğrusal olarak artırmıştır. Yüzey kaplama malzemesi farklılıkları, yapısal özellik bakımından radyasyon yalıtım direncini etkilememektedir. Ancak kaplandığı lif levhaya kattığı kalınlık artımı oranında radyasyon yalıtım direncini artırmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda, radyasyon yalıtımının önemli olduğu parke ve lambri gibi iç mekân donatı malzemeleri tercihinde, mümkün olduğu kadar kurşun, bakır, barit gibi malzemelerle desteklenmiş kompozitler kullanılmalıdır. Bu mümkün değilse, kalınlığı ve yoğunluğu fazla lif levhalar veya kalınlığı ve yoğunluğu fazla yüzey kaplama malzemeleriyle kaplanmış lif levhalar kullanılmalıdır.

Değişkenlere bağlı olarak lif levhalar, 1000 Volt doğru akım karşısında 19 MΩ ile 33 MΩ arasında değişen oranlarda elektrik yalıtımı sağlamıştır. Lif levhalarda yoğunluk, levhanın elektrik yalıtım kabiliyetini artırmıştır. Yüksek yoğunluklu lif levhalar ile melamin reçineli kâğıt veya yüksek basınç laminatı kaplanmış lif levhaların elektrik yalıtımının önemli olduğu iç mekân donatı malzemeleri tercihinde kullanılması önerilmiştir. Polivinil klorür (PVC) yüzey kaplama malzemesi lif levhanın elektrik yalıtım kabiliyetini daha da zayıflattığından, bu malzemeyle kaplanmış lif levhaların elektrik yalıtımının önemli olduğu iç mekânlarda kullanılması önerilmemiştir.

Bu çalışmayla bağıntılı sonraki araştırmalarda, iç mimari ve dekorasyonda kullanılan lif levha ve yüzey kaplama malzemelerine, kurşun, bakır, kül, bor, barit, sodyum vb. radyasyon tutucu maddelerin nasıl kombine edileceği konuları araştırılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından 2011/4-10 YLS nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Başıyigit, C. & Kaçar, A. (2006). Bazı Yapı Malzemelerinin Radyasyon Tutuculuk Özellikleri, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, 10-2,-307-310.
- Demiröz, Y. (2020). Kahramanmaraş 'ın Türkoğlu İlçesinde Elektromanyetik Kirlilik Düzeyinin Ölçümü ve Bazı Duvar Kâğıtlarının Soğurma ve Yansıma Kapasitelerinin Araştırılması, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi* Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı ss:103.
- Ero F.A. & Adebo B.A. (2012). Determination of γ - Radiation Shielding Characteristics of some Woods in Western Nigeria, *International Archive of Applied Sciences and Technology* Volume 3 (2) June 2012: 14 – 20.
- Kaya A, İ. & Çiftçi, A. (2017). Kaplama Yöntemi İle Ahşap Kompozit Malzemelerin Elektromanyetik Kalkanlama Özellikleri, *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)* 6 (2): 180 – 185.
- Kavun, Y. (2019). Examination of Radiation Absorption Properties of Pb(NO₃)₂ Doped Wallpapers, *BEU Journal of Science* 8 (Özel Sayı), 1-6.
- Kavun et al. (2019). Investigation of Beta Radiation Absorption Properties of Tungstate and Molybdate Doped Wallpapers, *Cumhuriyet Sci. J.*, Vol.40-4, 846-853.
- Torgovnikov G. I. (1993). Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials, ss:134-136.
- Pathania, D. & Singh, D. (2009). A review on electrical properties of fiber reinforced polymer composites, *International Journal of Theoretical & Applied Sciences*, 1(2): 34-37.
- Shamsuzzaman, M. et al. (2019). Attenuation Property of Wood and Fiber Reinforced Polymer Composite Materials for Neutron and Gamma Radiation Shielding, *American Journal of Materials Science*, 9(1): 8-14.
- Örs, Y. & Keskin, H. (2001). Ağaç Malzeme Bilgisi Ders Kitabı, *KOSGEP Yayınları*, ss.79-81 Ankara.
- Öz, E. (2019). Nano Boyutta Metal Oksitleri Çöktürülmüş Linterin Duvar Kağıdında Kullanılması ve Radyasyon Tutuculuğunun Ölçülmesi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- Özkan, O.E. (2020). Investigation of the Radiation Shielding Properties of Black Pine Wood Impregnated with Boric Acid, *Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi*,20(2): 200-207.
- Yılmaz, R. (2014). Elektromanyetik Kalkanlama Özelliği Olan Malzemeler, *Electronic Journal of Vocational Colleges-Mayıs* ss:145-150.