



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi: 19.08.2021  
Kabul Tarihi: 23.11.2021

Received Date : 19.08.2021  
Accepted Date : 23.11.2021

### YUMURTA KABUĞUNUN ODUN PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANIMI

### THE USAGE OF THE EGG SHELL IN WOOD PLASTIC COMPOSITE PRODUCTION

Ferhat ÖZDEMİR<sup>1</sup>\* (ORCID: 0000-0002-2282-1884)  
Ali Osman ÖZĞAN<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0001-9646-1984)

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye  
<sup>2</sup>İğdır Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İğdır, Türkiye

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

#### ÖZET

Bu çalışmanın amacı odun plastik kompozit (OPK) üretiminde dolgu maddesi olarak yumurta kabuğu kullanımının etkisi belirlemek olacaktır. OPK üretiminde polipropilen, kızılçam odun unu, yumurta kabuğu ve Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Tek vidalı ekstruder kullanılarak elde edilen karışımdan enjeksiyon kalıplama yöntemi ile test numuneleri üretilmiştir.

Numunelerin fiziksel (kalınlık şişme, su alma) ve bazı mekanik özellikleri (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci) incelenmiştir. Elde edilen verilere göre yumurta kabuğu kullanımına bağlı olarak kompozitlerin fiziksel özelliklerinin olumsuz etkilendiği tespit edilirken, mekanik özelliklerde ise yapılan testlere göre bu durumun farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yumurta kabuğu, polipropilen, kızılçam, kompozit.

#### ABSTRACT

The aim of this study will be to determine the effect of using egg shell as filler in wood plastic composite (WPC) production. Polypropylene, red pine wood flour, egg shell and Maleic Anhydride Polypropylene (MAPP) were used in the production of WPC. Test samples were produced by injection molding method from the mixture obtained by using a single screw extruder.

The physical (thickness swelling, water absorption) and some mechanical properties (bending resistance, modulus of elasticity in bending and impact resistance) of the samples were investigated. According to the data obtained, it was determined that the physical properties of the composites were negatively affected due to the use of egg shells, while it was determined that this situation differed according to the tests performed in the mechanical properties.

**Keywords:** Eggshell, polypropylene, red pine, composite

#### GİRİŞ

İnsanlar yaşamlarını sürürken kullandıkları malzemeleri seçerken işlerini daha hızlı yapabilmesini sağlayacak, güvenli, dayanıklı, ergonomik olmasının yanı sıra hafifliği, iletkenliği ile ekonomik olması gibi birçok özelliğin bir arada olmasını istemektedir. Bu malzemelerin geliştirilmesi için dezavantajlarının azaltılması avantajlarının ise

To Cite: ÖZDEMİR, F., & ÖZĞAN, A. O., (2021). YUMURTA KABUĞUNUN ODUN PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANIMI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 308-318.

artırılması çalışmaları günümüzde hızla devam etmektedir. Bu çalışmalar ile kullanım alanına bağlı olarak uygun kompozit malzeme üretimi hedeflenmektedir.

İlk kompozit malzemeye saman ve çamur karışımı örnek olarak gösterilebilir. Bugün ise selülozik maddeler, mineral maddeler ve metalleri içeren birçok kompozit üretilmektedir (Arkaz, 2016).

İşletmelerin en temel hedeflerinden bir tanesi düşük maliyettir. Günümüzde maliyetlerin azaltılabilmesi için atık kullanımının önemi her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle bu atıkların kompozit malzemelerde kullanımı önem kazanmaktadır. Odun plastik kompozit üretiminde (OPK) ülkemizde yaygın olan kızılçam odununu kullanılmaktadır. Kızılçam temel olarak reçine üretiminde kullanıldığı gibi tel-maden direği, ahşap yapı malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca yat- tekne yapımı, ambalaj sandığı, kâğıt ve selüloz sanayiinde kullanım alanı bulmaktadır (Göker vd., 2000). OPK üretiminde ise odununu ya da lif olarak kullanılmaktadır (Rowell, 2006). Ancak OPK üretiminde ekstruder içerisinde odununu ve plastik matrisi arasında sürtünme, basınç- sıcaklık yükselmesi sebebiyle yüzey uyumsuzlukları ve bağlanma problemlerinin olumsuz etkileri muhtemel problemler olarak karşımıza çıkabilmektedir (Mengeloğlu & Karakuş 2008). Odun plastik kompozit üretiminde poliolefin esaslı uyumsuzluk gidericileri maleik anhidrit ile Kraft edilmiş polipropilen (MAPP) ve polietilen (MAPE) kullanımı birçok çalışmada değerlendirilmiştir. (Li, & Matuana, 2003; Özdemir vd., 2018; Tufan vd., 2015).

Ülkemizdeki yeteri kadar geri dönüşüm malzemesi olarak düşünülmeyen en önemli atıklardan bir tanesi de yumurta kabuğudur. Yumurta kabuğu sadece tavuk değil ayrıca hindi, kaz ve ördek gibi birçok kümes hayvanlarından da elde edilebilmektedir. Türkiye de yaklaşık olarak 109 milyon tavuk bulunmaktadır (TUİK, 2017). Türkiye’ de sadece 21 milyar civarında tavuk yumurta üretimi bulunmaktadır. Kişi başı tüketim ise 214 adettir (URL-1). Yumurtanın yaklaşık olarak %11’i kabuk, %59’u yumurta akı, %30’u sarı kısmından oluşmaktadır. Kabuk, yumurtanın dış çevre ile gaz ve nem alışverişini gerçekleştiren gözeneklere sahip olan çok ince bir yapıdan oluşmaktadır (Erol, 1994). Yumurta kabuğunun büyük bir bölümünü kalsiyum karbonat (%94-97) ile fosfor (0,3) ve magnezyum (0,2) oluşturmaktadır. Son zamanlarda küresel ısınmanın etkisi ve kaynakların sınırlılıkları nedeniyle hem atıkların geri dönüşümü hem de hammadde kullanımını azaltılması önem kazanmıştır. Bu kadar ciddi miktardaki yumurta kabuğu atığının farklı alanlarda dolgu maddesi olarak kullanılmasını amaçlayan çalışmalar yapılmış olduğu görülmektedir.

Günümüzde Yumurta kabuğu atığını potansiyel olarak kullanılması yönünde çalışmalar gittikçe artmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalara örnekler şu şekilde verilebilir. İnorganik bir madde olan ve ülkemizde geri dönüşümü henüz yapılmayan içerisinde (%98) kalsiyum karbonat olan atık yumurta kabuklarından kalsiyum karbonat (ECC) üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu dolgu maddesi Ofis kâğıdı üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılmıştır (Tutuş, A. vd., 2020). Yumurta kabuğu katkılı harçların mekanik Özellikleri çalışmasında öğütülmüş atık yumurta kabuğunun yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği ve dayanım performansını değerlendirmiştir. Bu kapsamda belirli oranlarda inşaat kumunun yerine yumurta kabuğu eklemiş, çimento ve su kullanılarak harçlar üretilmiştir. Atık yumurta kabuğu katkılı harç numunelerinin, ultra ses geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin azalma göstermektedir. (Akyıldız A., 2018). Yapılan bir diğer çalışmada atık pil Kömürü ve yumurta kabuğunun radyasyon tutucu materyal olarak üretimde Kullanılması araştırılmıştır. (Binici vd., 2013) Yumurta kabuğu atığının OPK üretiminde kullanımının araştırılması düşünülmüştür.

Ülkemizde ciddi bir atık olan yumurta kabuğunun değerlendirilmesi için bu çalışmada OPK üretiminde dolgu maddesi olarak yumurta kabuğu kullanımının etkisinin araştırılması ve en uygun kullanım miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## **MATERYAL VE METOT**

### ***Materyal***

Çalışmada kullanılan odununu Kahramanmaraş ili kereste atölyelerinden elde edilen kızılçam talaşlarından elde edilmiştir. Polimer matris olarak PETKİM firmasından (İzmir) temin edilen Polipropilen (PP) kullanılmıştır. MAPP uyumlaştırıcı ise Clariant International firmasından temin edilerek kullanılmıştır. Dolgu maddesi olarak kullanılan yumurta kabuğu atığı da yaşam alanlarında kullanılan yumurta atıklarından elde edilmiştir.

## Metot

Kereste atölyelerinden elde edilen Kızılçam talaşları kompozit malzeme içerisinde kullanılabilmesi için odun unu haline Willey değirmeni kullanılarak öğütülmüştür. Sarsak elekte elenmiştir ve 60 mesh'lik elekten geçip 80 mesh'lik eleğin üzerinde kalan odun unu kullanılmıştır. Yumurta kabuğu ise yıkanmış, etüvde 12 saat boyunca %1-3 rutubet düzeyine ulaşıncaya kadar  $103 \pm 2$  °C'de kurutulduktan sonra Willey değirmeninde öğütülerek 200 mesh boyutlarında toz haline getirilmiştir. Farklı oranlarda polipropilen (PP), yumurta kabuğu, kızılçam odun unu ve Maleik Anhidrit Polipropilen (MAPP) kullanılarak karışım elde edilmiştir. Karışım tek vidalı ekstruder da 90-175 °C de karıştırılmış, ekstruder makinesinden çıkan sıcak malzeme soğuk su içinde soğutulmuştur. Soğutulan malzemeden su süzülerek uzaklaştırılmıştır. Süzülen malzeme kırıcı yardımıyla pelet haline getirilmiştir. Kırıcıdan çıkan pelet malzeme etüvde 12 saat boyunca %1-3 rutubet düzeyine ulaşıncaya kadar  $103 \pm 2$  °C'de kurutulmuştur. Rutubetleri alınan pelet halindeki malzeme, 180-190-200 °C sıcaklık aralığında enjeksiyon kalıplama makinesinde ASTM standartlarına göre ilgili test örnekleri boyutlarında kalıplanmıştır. Test numuneleri hazırlanırken, enjeksiyon makine ayarı enjeksiyon hızı 80 mm/sn vida hızı 40 dev/dk ve enjeksiyon basıncı 100 bar olarak ayarlanmıştır. Deney numuneleri üretimi Tablo 1'de verilen üretim reçetesine göre gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** OPK Üretim Reçetesi

Levha Kod	Odun Unu (%)	PP (%)	Yumurta kabuğu (%)	MAPP (%)
A	30	70	0	0
B	30	65	5	0
C	30	60	10	0
D	30	55	15	0
E	30	50	20	0
F	30	67	0	3
G	30	62	5	3
H	30	57	10	3
I	30	52	15	3
J	30	47	20	3
K	0	70	30	0

Enjeksiyon yardımıyla kızılçam odun unu, PP, yumurta kabuğu ve MAPP ilave edilerek test numuneleri üretilmiştir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Enjeksiyon İle Üretilen Odun Plastik Kompozit Numuneler

Test numunelerinin fiziksel testleri için kalınlık şişme ile su alma (ASTM D 570), mekanik testleri için eğilme ve eğilmede elastikiyet modülü direnci testi (ASTM D 790) ve darbe direnci testi (ASTM D 256) ilgili standartlara bağlı kalınarak yapılmıştır.

### Morfolojik özellikler

Yumurta kabuğu katkılı odun plastik kompozit numunelerin morfolojik özellikleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM- Scanning Electron Microscope) ile incelenmiştir.

KSU ÜSKİM laboratuvarında bulunan Neo Scope marka Scanning Electron Microscope (SEM) cihazı kullanılarak numunelerdeki polipropilen, odun unu ve yumurta kabuğu dağılımının görüntüsü elde edilmiştir. Üretilen numune yüzeylerinde ortaya çıkacak yansımaları gidermek için yüzeyler 120 sn boyunca 10 mA akımda altın tozu ile kaplama işlemi yapılmış ve numunelerden SEM fotoları elde edilmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Fiziksel özellikler

#### A-Su alma oranı

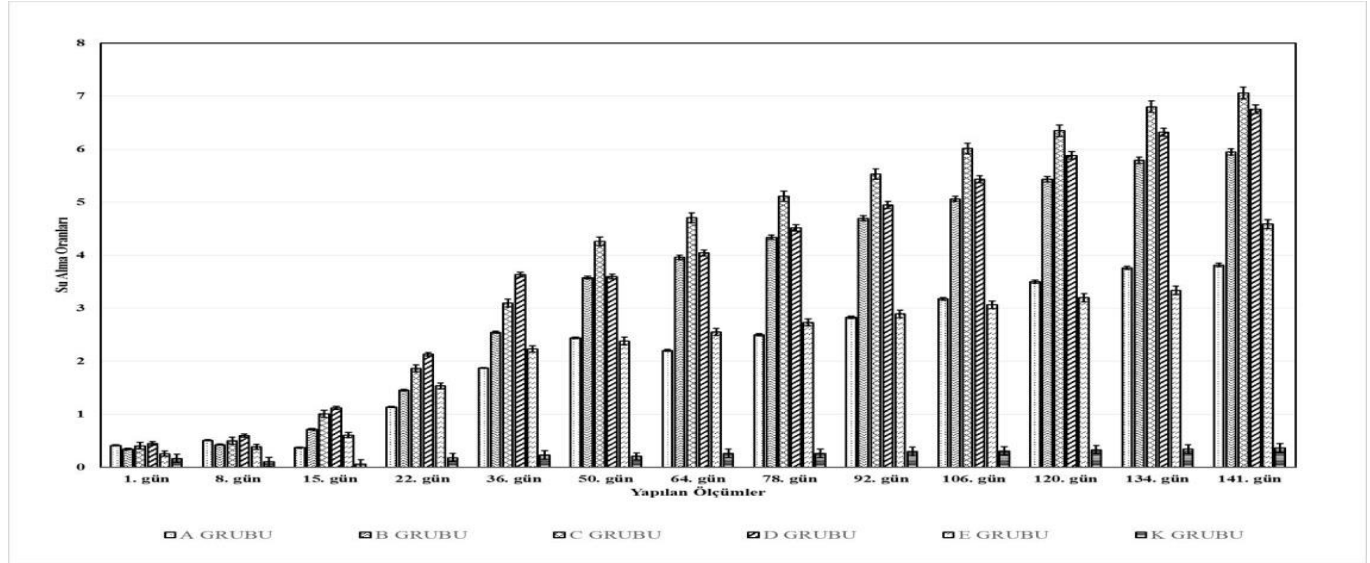
Kızılçam odun unu, PP, MAPP ve yumurta kabuğu ile üretilen odun plastik kompozit malzemelerin gün sayısına bağlı olarak su alma oranı ve standart sapmaları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** OPK Levhaların Su Alma Oranları

Levha Kodu	Su Alma Oranları (%)													
	1. gün	8. gün	15. gün	22. gün	36. gün	50. gün	64. gün	78. gün	92. gün	106. gün	120. gün	134. gün	141. gün	
A Ort.	0,41 (0,01)*	0,51 (0,01)	0,77 (0,01)	1,14 (0,01)	1,87 (0,01)	2,44 (0,02)	2,47 (0,02)	2,50 (0,02)	2,83 (0,02)	3,17 (0,03)	3,50 (0,03)	3,76 (0,04)	3,82 (0,04)	
B Ort.	0,35 (0,01)	0,43 (0,01)	0,72 (0,01)	1,45 (0,02)	2,55 (0,03)	3,58 (0,04)	3,96 (0,04)	4,34 (0,05)	4,70 (0,05)	5,06 (0,05)	5,43 (0,06)	5,79 (0,06)	5,95 (0,06)	
C Ort.	0,35 (0,01)	0,43 (0,01)	0,72 (0,01)	1,45 (0,02)	2,55 (0,03)	3,58 (0,04)	3,96 (0,04)	4,34 (0,05)	4,70 (0,05)	5,06 (0,05)	5,43 (0,06)	5,79 (0,06)	5,95 (0,06)	
D Ort.	0,45 (0,03)	0,60 (0,03)	1,12 (0,03)	2,13 (0,04)	3,13 (0,04)	3,60 (0,06)	4,04 (0,06)	4,51 (0,06)	4,95 (0,07)	5,43 (0,07)	5,88 (0,08)	6,32 (0,08)	6,75 (0,08)	
E Ort.	0,26 (0,05)	0,39 (0,05)	0,61 (0,05)	1,53 (0,06)	2,14 (0,08)	2,38 (0,07)	2,55 (0,07)	2,73 (0,07)	2,89 (0,07)	3,06 (0,08)	3,20 (0,08)	3,33 (0,09)	4,59 (0,09)	
F Ort.	0,19 (0,01)	0,22 (0,01)	0,33 (0,01)	0,64 (0,01)	0,90 (0,01)	1,03 (0,01)	1,26 (0,01)	1,44 (0,01)	1,60 (0,01)	1,73 (0,01)	1,89 (0,01)	2,00 (0,01)	2,06 (0,01)	
G Ort.	0,21 (0,03)	0,33 (0,03)	0,53 (0,03)	0,78 (0,03)	1,19 (0,04)	1,47 (0,04)	1,59 (0,04)	1,83 (0,04)	2,12 (0,05)	2,40 (0,05)	2,62 (0,05)	2,86 (0,06)	3,03 (0,06)	
H Ort.	0,36 (0,02)	0,36 (0,01)	0,59 (0,02)	0,66 (0,02)	1,35 (0,02)	1,67 (0,01)	1,98 (0,01)	2,24 (0,01)	2,53 (0,01)	2,78 (0,02)	3,02 (0,03)	3,33 (0,04)	3,71 (0,05)	
I Ort.	0,35 (0,03)	0,41 (0,03)	0,78 (0,04)	1,14 (0,04)	2,20 (0,05)	3,15 (0,06)	3,78 (0,07)	4,26 (0,06)	4,67 (0,05)	5,10 (0,06)	5,31 (0,07)	5,70 (0,08)	6,27 (0,09)	
J Ort.	0,39 (0,06)	0,56 (0,06)	0,97 (0,06)	1,74 (0,07)	2,82 (0,08)	4,40 (0,10)	5,02 (0,10)	5,31 (0,10)	5,53 (0,10)	6,21 (0,09)	6,38 (0,10)	6,60 (0,12)	6,80 (0,13)	
K Ort.	0,16 (0,08)	0,17 (0,08)	0,18 (0,08)	0,18 (0,08)	0,23 (0,07)	0,21 (0,08)	0,26 (0,08)	0,26 (0,08)	0,30 (0,08)	0,31 (0,08)	0,33 (0,08)	0,35 (0,08)	0,36 (0,08)	

\* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir.

Tablo 2’de su alma oranları ve standart sapmaları verilen kızılçam odun unu, yumurta kabuğu, PP ile üretilen A, B, C, D, E ve K kompozit gruplarının su alma oranları değerleri grafiği Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. A, B, C, D, E ve K Kompozit Grupların Su Alma Oranı Grafiği

OPK malzemede dolgu maddesi olarak kullanılan yumurta kabuğu ve odunsu materyal kullanım miktarının su alma oranı üzerinde etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre MAPP kullanarak elde edilen karışımlarla üretilen kompozit malzemelerin (F grubu) MAPP kullanılmayan (A grubu) kompozit numunelere kıyasla su alma oranının daha az olduğu tespit edilmiştir. Ancak yumurta kabuğu ve polipropilen ile üretilen K grubu kompozit malzemenin su alma oranı en az olan grup olarak belirlenmiştir. MAPP kullanılmadan üretilen A, B, C, D, E ve K kompozit gruplar içerisinde 141 gün sonunda kontrol (A) numunesi su alma oranı %3,82 iken; Yumurta kabuğu kullanımının en fazla (%20) olduğu E grubu OPK' da su alma oranı %4,59'dir. MAPP kullanılarak üretilen F, G, H, I ve J kompozit grupları incelendiğinde ise kontrol için üretilen F grubu su alma oranı %2,06 iken, yumurta kabuğu eklentisinin en fazla (%20) olduğu J grubu su alma oranı %6,80'dir. Odun plastik kompozit malzemelerde plastik matrise göre dolgu maddesi arttığında su alma oranının arttığı görülmekle birlikte su içerisinde bırakılan E ve J grubu kompozit malzemelerde zamanla su içerisinde çok az miktarda ayrılarak çözünme gözlemlenmiştir. PP ve odununu kullanılan ancak MAPP kullanılmayan A grubu (%3,82) numunelere göre aynı içeriğe sahip F grubu (%2,06) MAPP kullanılan numunelerde su alma oranının azaldığı belirlenmiştir. A ve F kontrol numuneleri incelendiğinde MAPP kullanımının su alma oranı üzerine olumlu etkisi belirlenmiştir.

Odununu gibi lignoselülozik malzemelerin yapısındaki hidroksil grupları hidrofilik yapıdadır (Najafi vd. 2008). Ancak hidrofobik yapıdaki plastik levhaların su alma oranı, odun ve odun esaslı levha ve diğer lignoselülozik materyallere göre daha düşüktür (Wang & Morrell, 2004, Kylosov, 2007). Plastik sınırlardan su geçişleri mümkün olmadığı için su kompozit malzemelerde lignoselülozik materyalin bulunduğu bölgelerde absorbe edilir. Bu nedenle lignoselülozik dolgu miktarı kullanımı arttıkça levhaların su alma oranları da artmaktadır (Adhikary vd., 2008; Ghasemi & Kord, 2009; Kord, 2011'a). Test grupları karışımı hazırlanırken odununu sabit kalırken matris materyali olan PP eklenen yumurta kabuğu kadar azalmaktadır. Çalışmada yumurta kabuğu eklentisi bünyesinde bulundurduğu gözenekler nedeniyle malzeme içerisine köprü vazifesi gördüğü suyu OPK malzemenin içerisine ilettiği düşünülmüştür. Lignoselülozik dolgu içermeyen PP ve yumurta kabuğu içeriğine sahip K grubu (%0,36) numunelerde ise su alma oranı en düşük grup olarak tespit edilmiştir. K grubu su alma oranı en düşük olması, yumurta kabuğu gözeneklerini su ile doldurduğu ve kapasitesi dolması sonrasında su almadığı düşünülmüştür. K grubu hidrofilik lignoselülozik dolgu içermemesi elde edilen sonuçları ile bu bakımdan literatüre uygun olduğu görülmektedir.

## B- Kalınlık artış oranı

Kızılçam odununu, PP, yumurta kabuğu ve MAPP ile hazırlanan odun plastik kompozit gruplarına ait tespit edilen kalınlık artış oranları Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** OPK Levhaların Kalınlık Artış Miktarı (%)

Levha Kodu		Kalınlık Artış Oranları (%)												
		1. gün	8. gün	15. gün	22. gün	36. gün	50. gün	64. gün	78. gün	92. gün	106. gün	120. gün	134. gün	141. gün
<b>A</b>	Ort.	0,16 (0,03)*	0,47 (0,03)	0,82 (0,02)	1,14 (0,01)	1,43 (0,01)	1,73 (0,01)	1,73 (0,01)	1,73 (0,01)	1,77 (0,01)	1,77 (0,01)	1,89 (0,01)	1,96 (0,01)	1,96 (0,01)
<b>B</b>	Ort.	0,20 (0,02)	0,31 (0,02)	0,55 (0,02)	0,86 (0,02)	1,14 (0,03)	1,45 (0,02)	1,65 (0,02)	1,84 (0,03)	2,04 (0,03)	2,16 (0,03)	2,23 (0,03)	2,43 (0,04)	2,51 (0,03)
<b>C</b>	Ort.	0,36 (0,02)	0,63 (0,02)	0,95 (0,02)	1,23 (0,03)	1,46 (0,02)	1,70 (0,02)	1,74 (0,02)	1,86 (0,02)	1,98 (0,02)	2,10 (0,02)	2,18 (0,02)	2,26 (0,02)	2,34 (0,02)
<b>D</b>	Ort.	0,28 (0,03)	0,51 (0,04)	0,83 (0,04)	1,06 (0,04)	1,46 (0,04)	1,81 (0,04)	1,85 (0,04)	2,01 (0,04)	2,05 (0,04)	2,16 (0,04)	2,24 (0,04)	2,40 (0,04)	2,44 (0,04)
<b>E</b>	Ort.	0,16 (0,03)	0,27 (0,03)	0,47 (0,03)	0,67 (0,03)	0,90 (0,03)	1,21 (0,02)	1,29 (0,02)	1,37 (0,03)	1,45 (0,03)	1,53 (0,03)	1,64 (0,03)	1,68 (0,03)	1,68 (0,03)
<b>F</b>	Ort.	0,08 (0,03)	0,08 (0,03)	0,24 (0,03)	0,51 (0,04)	0,66 (0,05)	0,75 (0,04)	0,87 (0,04)	0,99 (0,04)	1,03 (0,04)	1,07 (0,04)	1,15 (0,04)	1,18 (0,04)	1,22 (0,04)
<b>G</b>	Ort.	0,04 (0,02)	0,12 (0,02)	0,20 (0,02)	0,24 (0,02)	0,36 (0,01)	0,51 (0,02)	0,59 (0,02)	0,63 (0,02)	0,71 (0,02)	0,83 (0,02)	0,91 (0,02)	0,99 (0,02)	1,03 (0,02)
<b>H</b>	Ort.	0,08 (0,03)	0,08 (0,03)	0,20 (0,02)	0,35 (0,02)	0,39 (0,02)	0,67 (0,02)	0,71 (0,02)	0,87 (0,02)	0,95 (0,02)	1,03 (0,03)	1,18 (0,03)	1,34 (0,04)	1,42 (0,04)
<b>I</b>	Ort.	0,12 (0,02)	0,12 (0,02)	0,28 (0,02)	0,35 (0,02)	0,59 (0,03)	0,75 (0,03)	0,91 (0,03)	0,94 (0,03)	0,98 (0,03)	1,02 (0,03)	1,02 (0,03)	1,14 (0,04)	1,22 (0,04)
<b>J</b>	Ort.	0,08 (0,05)	0,08 (0,05)	0,15 (0,05)	0,31 (0,05)	0,50 (0,05)	0,74 (0,05)	0,85 (0,05)	0,89 (0,05)	1,01 (0,05)	1,20 (0,05)	1,28 (0,05)	1,28 (0,05)	1,32 (0,05)

\* Standart sapma değerleri parantez içerisinde verilmiştir.

Üretilen odun plastik kompozit içerisinde dolgu maddesi olarak kullanılan yumurta kabuğu miktarı ve odunsu materyal kullanımın kalınlık artış oranı üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre MAPP kullanılan karışımlarla üretilen kompozit malzemelerin MAPP kullanılmayan kompozit numunelere kıyasla kalınlık artış oranının su alma oranında olduğu gibi daha az olduğu tespit edilmiştir. MAPP kullanılmadan üretilen A, B, C, D ve E grubu kompozit gruplar içerisinde 141 gün sonunda kontrol (A) numunesinin kalınlık artış oranı %1,96 iken; yumurta kabuğu katkısının en fazla olduğu E grubu (%20) kompozit malzemelerde su alma oranı %1,68'dir. MAPP kullanılarak üretilen F, G, H, I ve J kompozit grupları incelendiğinde ise kontrol için üretilen F grubu kalınlık artış oranı %1,22 iken, yumurta kabuğu ilavesinin en fazla olduğu J grubu (%20) kalınlık artış oranı %1,32'dir. MAPP kullanım etkisinin su alma test sonuçlarına paralel olarak kalınlık şişme özelliğini azalttığı belirlenmiştir. Plastik matris materyal oranı aynı olmasına rağmen sadece odun unu içeren A grubu ve sadece yumurta kabuğu içeren K grubu kıyaslandığında su alma oranına paralel olarak K grubunun en az kalınlık artış oranı olduğu görülmektedir. Lif oranının artmasına bağlı olarak su alma ve kalınlık artış oranının arttığı belirlenmiştir. (Shakeri ve Ghasemian 2010). 141 gün süre incelendiğinde su alma ve kalınlık artış değerlerinin günlere bağlı olarak da değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Örneğin 92 ve 106 gün sonunda elde edilen verilere göre yumurta kabuğu kullanım oranının %20 olduğu J grubu numunelerde kalınlık artışı en fazla iken 141 sonunda ise %10 kullanım oranına sahip numunelere göre kalınlık artışının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Odun plastik kompozit içerisindeki plastik matrise göre dolgu maddesi artığında su alma oranının arttığı görülmekle birlikte su içerisinde bırakılan E ve J grubu kompozit malzemelerde zamanla su içerisinde çok az miktarda ayrışarak çözünme olduğu düşünülmektedir. Odun lifi tipleri ve birleştirme tekniklerinin PP katkılı kompozit malzemelerin üretiminde polimer matrisi ve odun arasında uyumsuzluğu gidermek için MAPP kullanılmıştır. MAPP kullanılması hidrofobik özelliği artırmıştır (Bledzki vd., 2005).

### **Mekanik Özellikler**

Odun unu, polipropilen (PP), yumurta kabuğu ve MAPP karıştırılması sonucunda elde edilen odun plastik kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde yumurta kabuğu katkısının etkisi Tablo 4' de verilmiştir.

**Tablo 4.** Üretilen Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Eğilme Direnci, Eğilmede Elastikiyet Modülü ve Darbe Direnci Değerleri

Numune Grubu	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Eğilmede Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Darbe Direnci (N/mm <sup>2</sup> )
A	0,95 (0,01)	42,9 (0,51)	2210 (23,7)	3,32 (0,37)
B	1,00 (0,01)	41,9 (0,75)	2318 (44,9)	2,74 (0,10)
C	1,02 (0,02)	42,0 (0,28)	2470 (18,6)	3,03 (0,29)
D	1,07 (0,00)	41,1 (0,50)	2458 (37,1)	2,97 (0,26)
E	1,07 (0,03)	39,9 (0,72)	2281 (95,8)	3,00 (0,25)
F	0,96 (0,01)	53,0 (0,72)	2377 (40,3)	3,07 (0,35)
G	1,00 (0,01)	51,8 (0,31)	2492 (61,1)	3,31 (0,49)
H	1,03 (0,01)	50,7 (0,73)	2613 (36,1)	2,97 (0,24)
I	1,06 (0,01)	48,6 (0,52)	2712 (87,9)	3,00 (0,75)
J	1,10 (0,02)	47,6 (1,10)	2912 (126,7)	2,94 (0,27)
K	1,01 (0,02)	40,1 (0,37)	1529 (43,5)	2,97 (0,68)

### A- Eğilme direnci

Kızılçam odununu, yumurta kabuğu, PP ve MAPP ile üretilen kompozit malzemelerin eğilme direnci ölçüm değerleri ve standart sapmaları Tablo 4’de görülmektedir. Eğilme direnci değerlerinin MAPP kullanılmadan üretilen A, B, C, D ve E grupları 42.9- 39.9 N/mm<sup>2</sup>, MAPP kullanılarak üretilen F, G, H, I ve J gruplarında ise 53.0- 47.6 N/mm<sup>2</sup> arasındadır. A ve K gruplarının eğilme direnci sırasıyla 42.9 N/mm<sup>2</sup> ve 40.1 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir.

MAPP kullanılarak üretilen F, G, H, I ve J grup kompozit malzemelerin, MAPP katkısı olmadan üretilen A, B, C, D ve E grubu kompozit numunelerine göre eğilme direncinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Numunelerde genel olarak yumurta kabuğu artmasına bağlı olarak eğilme direncinin azaldığı görülmektedir. Kompozit malzemede kullanılan MAPP katkısının eğilme direncini artırdığı belirlenmiştir. Hem MAPP katkılı hem de MAPP kullanılmayan numune gruplarında karışımdaki yumurta kabuğunun miktarının artmasına bağlı olarak eğilme direnci değerlerinin belirli oranlarda azaldığı tespit edilmiştir. K ve A kontrol grubu kompozit malzemelerin çekme direnci karşılaştırıldığında, plastik matris materyali aynı olmasına rağmen, A grubu kompozit malzemelerin eğilme direnci K grubuna göre yüksek görülmektedir. Bu karşılaştırmada yumurta kabuğunun, odun ununa göre eğilme direncini olumsuz etkilediği sonucu çıkmaktadır.

### B- Eğilmede elastikiyet modülü

Kızılçam odununu, yumurta kabuğu, PP ve MAPP ile üretilen kompozit malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü ölçüm değerleri ve standart sapmaları Tablo 4’de görülmektedir. Eğilmede elastikiyet modülü numuneler bazında değerlendirilirse MAPP kullanılmadan üretilen A, B, C, D ve E grupları 2210 – 2281 N/mm<sup>2</sup> aralığında artarak değişmektedir. MAPP kullanılarak üretilen F, G, H, I ve J gruplarında eğilmede elastikiyet modülü 2377 – 2912 N/mm<sup>2</sup> aralığında artmaktadır. A ve K gruplarının eğilmede elastikiyet modülü sırasıyla 2210 N/mm<sup>2</sup> ve 1529 N/mm<sup>2</sup> değerindedir. Grupların eğilmede elastikiyet modül değerleri Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4’de görüldüğü gibi MAPP kullanılarak üretilen F, G, H, I, ve J grup kompozit malzemelerinde yumurta kabuğu artmasına bağlı olarak eğilme elastikiyet modülü değerleri de artmaktadır. MAPP katkısı olmadan üretilen A, B, C, D ve E gruplarında yumurta kabuğu miktarı artarken, eğilme elastikiyet modülü değerleri artarak C grubunda pik yaptıktan sonra düşme eğilimi göstermektedir. MAPP katkılı kompozit grupların MAPP kullanılmadan üretilen gruplara göre eğilmede elastikiyet modül değeri yüksek olduğu görülmektedir. K ve A kontrol grubu kompozit malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri karşılaştırıldığında, plastik matris materyali aynı olmasına rağmen, A grubu kompozit malzemelerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri K grubuna

göre yüksek görünmektedir. Bu karşılaştırmada yumurta kabuğunun, odun ununa göre eğilmede elastikiyet modülünü olumsuz etkilediği sonucu çıkmaktadır.

Kızılçam odun unu, yumurta ve polipropilen karışımında, polipropilen ve dolgu maddeleri arasında mikro boşluklar oluşması ve yüzey alanlarında bağlanmaların zayıflaması beklenir. Bu zayıflamanın sebebi odun unu ve polimer matrisinin uyumsuz olmasından kaynaklanmaktadır (Li & Matuanna, 2003). Literatürde belirtilen bu sonucuna aksine belirli oranda yumurta kabuğu katılımı ile mekanik özellikler üzerine olumlu etki yaptığı belirlenmiştir.

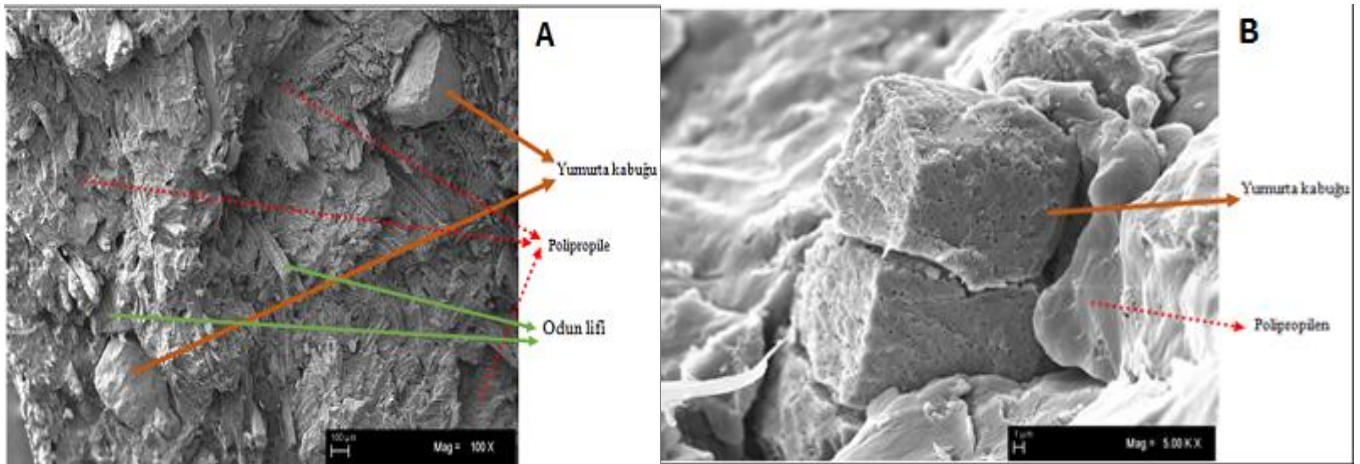
### C- Darbe direnci (ASTM D 256)

Darbe direnci üzerine numunelerin içerisinde kullanılan malzemelerin fiziksel karışımı, tane boyutu, mikro yapısı ve sıcaklık etkenleri önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır. Darbe direnci değerleri üretilen malzemenin süneklik ve gevreklik özelliklerini ortaya koyar. Darbe direnci gruplar arasında değerlendirilirse MAPP kullanılmadan üretilen A, B, C, D ve E grupları 3.32 – 2.74 kJ/m<sup>2</sup> aralığında değişmektedir. MAPP kullanılarak üretilen F, G, H, I ve J gruplarında çekme direnci 2.94 – 3.31 kJ/m<sup>2</sup> aralığındadır. A ve K gruplarının darbe direnci sırasıyla 3.33 kJ/m<sup>2</sup> ve 2.97 kJ/m<sup>2</sup> değerindedir (Tablo 4).

K ve A kontrol grubu kompozit malzemelerin darbe direnci değerleri karşılaştırıldığında, plastik matris materyali aynı olmasına rağmen, A grubu kompozit malzemelerin darbe direnci değerleri K grubuna göre yüksek görünmektedir. Ayrıca kompozit malzemede kullanılan yumurta kabuğu darbe direnci değerlerinde küçük oranlarda değişikliklere sebep olmaktadır. Fakat Nie vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada dolgu maddesi olarak yumurta kabuğu kullanım miktarının artmasına bağlı olarak darbe direncinin de arttığı belirlenmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ile üretilen OPK malzemelerin çekme ve eğilme özelliklerine PP ve PE esaslı polimerlerin etkileri araştırılmış ve bunun sonucunda PE katkılı MAPE gibi uyum sağlayıcılar, YYPE OPK malzemelerin direnç özelliklerini iyileştirdiği, PP katkılı olanlara göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Li & Matuanna, 2003). MAPP kullanımı eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünde olumlu bir etki görülmüş ancak darbe direnci üzerinde belirgin bir etki göstermemiştir.

### Morfolojik Özellikler

OPK malzeme içerisinde kızılçam odun unu, PP ve yumurta kabuğu karışımı SEM fotolarının belirgin bir şekilde görülebilmesi için en yüksek yumurta kabuğu ilave edilmiş numuneler tercih edilmiştir. SEM fotosunda da görüldüğü gibi kızılçam odun unu, PP ve yumurta kabuğu homojen bir şekilde dağılım göstermiştir. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin iyi olabilmesi için partikül-matris ara yüz bağının güçlü olması gereklidir. Bu özelliğinde partikül boyutu küçüldükçe daha çok arttığı belirtilmiştir (Akpınar vd., 2019).



Şekil 3. A.-Odun unu, PP ve Yumurta Kabuğu İçeren Numune, B- Yumurta kabuğu ve PP

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretilen OPK levhaların fiziksel (su alma oranı, kalınlık artış oranı), mekanik (eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, darbe direnci) ve morfolojik özellikleri ile elde edilen bulgulara göre:



Su alma ve kalınlık artışı sonuçlarına göre MAPP kullanarak yapılan karışımlarla üretilen kompozit malzemelerin MAPP kullanılmayan kompozit numunelere kıyasla kalınlık artış oranının daha az olduğu tespit edilmiştir. Sadece yumurta kabuğu ve polipropilen ile yapılan kompozit malzemenin kalınlık artış oranı en az olduğu görülmektedir.

Odun unun, yumurta kabuğuna göre su alma ve kalınlık artış değerinin daha büyük olduğu sonucuna ulaşıldı. Ayrıca yumurta kabuğu katkılı odun plastik kompozit malzemelerde yumurta kabuğu miktarının artışına bağlı olarak su alma oranı artmaktadır.

Yumurta kabuğu, odun ununa göre yoğunluk değerlerini yükseltmektedir. Üretilen numunelerin karışımında odun unu ve yumurta kabuğunun yüzdeleri artması buna karşılık PP yüzdelerinin azalması yoğunluk değerlerinin artmasına sebep olmaktadır.

Kompozit malzemede kullanılan yumurta kabuğu darbe direnci değerlerinde küçük oranlarda değişikliklere sebep olmaktadır. Yumurta kabuğunun, odun ununa göre eğilmede elastikiyet modülünü olumsuz etkilediği sonucu çıkmaktadır. Belirli oranda yumurta kabuğu katılımı ile mekanik özellikler üzerine olumlu etki yaptığı belirlenmiştir.

Odun plastik kompozit MAPP katkısı kompozit malzemelerin eğilmede elastikiyet modülünü yükseltmektedir. Yumurta kabuğunun, odun ununa göre eğilmede elastikiyet modül değeri düşüktür. Odun plastik kompozit malzemelerde PP matrisine göre dolgu maddesi arttığında mekanik değerlerinde değişim görülmektedir.

Yumurta kabuğu iyi bir geri dönüşüm ile odun plastik kompozit malzemelerde katkı ve dolgu maddesi olarak kullanılabilirdiği sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışma oda nem ve sıcaklığında gerçekleşmiştir. Yumurta kabuğu geçirgenlik özelliği sıcaklık ve nem şartları değişmesine bağlı olarak değiştiği akademik çalışmalarda görülmektedir. Yumurta kabuğu farklı sıcaklık, nem ve ortam değerlerinde özellikleri değişebileceği bir gerçektir. Bu kapsamda farklı ortamlarda üretilen OPK malzemenin özellikleri araştırılması yapılabilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma KSU-BAP birimi tarafından 2018/1-7 YLS nolu proje ile desteklenmiştir. OPK üretiminde ve mekanik testlerin yapılmasında destek veren Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU' na teşekkür ederiz.

## 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. *Chem Eng J* 142:190—198.

Akpınar B. A., Kuru, D. & Sert, S. (2019). Atık Yumurta Kabuğu Katkısının Polyester Kompozit Malzeme Üretimine Etkisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 6, 135 – 145.

Akyıldız, A. (2018). Yumurta Kabuğu Katkılı Harçların Mekanik Özellikleri. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 570-574.

ASTM D 256, (2002). Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 790, (2004). Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA.

ASTM D570-98 (2005), Standard test method for water absorption of plastics.

- Binici, H., Temiz, H., Sevinç, A., Mustafa, E. K. E. N., Küçükonder, A., & Ergül, T. (2013). Atık PİL Kömürü ve Yumurta Kabuğunun Radyasyon Tutucu Materyal Olarak Üretimde Kullanılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 8-14.
- Bledzki, A.K., Letman, M., Vıksine, A. & Rence, L. (2005). Science Direct. A Comparison of Compounding Processes and Wood Type for Wood Fiber – PP. *Composites, Composites Part A*, 36; 789-797.
- Ghasemi, E. & Kord, B. (2009). Long-term water absorption behaviour of polypropylene/wood flour/organoclay hybrid nanocomposite. *Iranian Polymer Journal*, 18 (9), 683-691.
- Göker, Y., As, N., Akbulut, T. & Dündar, T. (2000). Lif Kıvrıklığının Kızılcım (Pinus brutia Ten.) Odununun Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi *Turk J Agric For*, 24 s45–50.
- Güneş, A. (2019). Yumurta kabuğu takviyeli polimer esaslı kompozitlerin mekanik davranışının incelenmesi (Master's thesis, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- İpekçi, H. H.; Arkaz, H. H.; Onses, M. S. & Hancer, M. (2016). Superhydrophobic Coatings with Improved Mechanical Robustness Based on Polymer Brushes. *Surf. Coatings Technol.* 299, 162–168.
- Kord, B. (2011). Effect of nanoparticles loading on properties of polymeric composite based on hemp fiber/polypropylene. *J Thermoplast Compos*, 2, p. 4.
- Li, Q. & Matuana, L.M. (2003). Effectiveness of maleated and acrylic acid-functionalized polyolefin coupling agents for HDPE-wood-flour composites. *J Thermoplast Compos*; 16: 551-564.
- Mengeloğlu, F. & Karakuş, K. (2008). Thermal degradation, mechanical properties and morphology of wheat straw flour filled recycled thermoplastic composites, *Sensors* 2008, 8(1), 500–519.
- Najafi, S.K., Sharifnia, H. & Tajvidi, M., (2008). Effects of water absorption on creep behavior of wood-plastic composites. *J Compos Mater*; 42: 993-1002.
- Nie, H.K., Liu, F., Xu, D.M., Liu, Q.Q., Xu, J. & Cheng, A.Y. (2011) Properties of WPC based on PP filled and modified by eggshell powder. *Eng Plast Appl* 39:21–23.
- Rowell, Roger M. (2006). Advances and Challenges of Wood Polymer Composites. Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 1–10.
- Özdemir, F., Ayşegül, Ç. O. T., & Hakkı, A. L. M. A. (2018). Odun plastik kompozit malzemelerin termal ve ısı iletkenliği özellikleri üzerine sepiolit mineralinin etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(2), 205-209.
- Shakeri, A. & Ghasemian, A. (2010). Water absorption and thickness swelling behavior of polypropylene reinforced with hybrid recycled newspaper and glass fiber. *Appl. Compos. Mater.*, 17, 183.
- Tufan, M., Güleç, T., Çukur, U., Akbaş, S., & İmamoğlu, S. (2015). Atık Bardaklardan Üretilen Odun Plastik Kompozitlerin Bazı Özellikleri. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 15(2), 176-182.
- TUİK (2017). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kumes-Hayvanciligi-Uretimi>.
- Tutus, A., Killi, U., & Cicekler, M. (2020). Evaluation of eggshell wastes in office paper production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-10.
- URL -1, 2017. Yumurta tavukçuluğu verileri- <https://www.yum-bir.org/UserFiles/File/yumurta-veriler2017web.pdf>.
- Yang, H.S., Wolcott, M.P., Kim, H.S, Kim S.& Kim, H.J. (2007), Effect of Different Compatibilizing Agents on the Mechanical Properties of Lignoselulosic Material Filled Polyethylene Bio-Composites. *Compos. Struct.*, 79:369-375.

Wang, W. & Morrell, J.J. (2004). Water sorption characteristics of two novel plastic composites .*Forest Product J.*, 54, 209-212.