

## Mineral dolgu maddelerinin fındikkabuğu/polimetilmetakrilat kompozitlerin ses yutma katsayısına etkileri

### Effects of mineral fillers on sound absorption coefficient of nutshell/polymethylmethacrylate composites

Kenan BÜYÜKKAYA 

Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri, Giresun, TÜRKİYE

#### Eser Bilgisi / Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: [10.17474/artvinofd.1088771](https://doi.org/10.17474/artvinofd.1088771)

Sorumlu yazar / Corresponding author

Kenan BÜYÜKKAYA

e-mail: [kenan.buyukkaya@giresun.edu.tr](mailto:kenan.buyukkaya@giresun.edu.tr)

Geliş tarihi / Received

16.03.2022

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

18.04.2022

Kabul Tarihi / Accepted

05.05.2022

Elektronik erişim / Online available

16.05.2022

#### Anahtar kelimeler:

Fındikkabuğu

Mineral dolgu,

Kompozit

Ses yutma katsayısı

#### Keywords:

Nut Shell

Mineral filling

Composite

Sound absorption

#### Özet

Bu çalışmada, farklı partikül boyutuna sahip (max.150, 250, 425 mikron) fındikkabuğu/polimetilmetakrilat kompozitlere ilave edilen, mineral dolgu maddelerinin ses yutma katsayısına etkileri araştırılmıştır. Kullanılan dolgu maddeleri; camküre, wollastonit, ve mika'dır. Farklı partikül büyüklüğüne sahip fındikkabuğu polimetilmetakrilat kompozitler % 15 oranında fındikkabuğu içermektedir. Bu kompozitler içerisine % 2.5, 5 ve 10 oranında dolgu maddeleri ilave edilerek ses yutma testlerinde kullanılacak kompozit numuneler hazırlanmıştır. Mineral dolgulu fındikkabuğu/polimetilmetakrilat kompozitlerin ses yutma ( $\alpha$ ) katsayısı, çift mikrofonlu empedans tüpü yöntemiyle belirlenmiştir. Ayrıca kompozitlerin yoğunlukları Arşimed prensibine göre tayin edilip, içerdiği boş hacim yüzde oranları hesaplanmıştır. Numune morfolojisini değerlendirmek amacı ile, deney yapılan numunelerden kırık parçalar elde edilmiştir. Kırık yüzeylerin görüntüleri taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenip, içyapı bu görüntüler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, kompozite ilave edilen cam küre ve mikanın oranları ile birlikte, fındikkabuğu partikül boyutunun da artması ses yutma katsayısını artmıştır. Bu değişimin sade fındikkabuğu kompozitlere göre maksimum % 247 oranda olduğu belirlenmiştir.

#### Abstract

In this study, the effects of mineral fillers added to nutshell Polymethylmethacrylate composites with different particle sizes (max.150, 250, 425 microns) on sound absorption were investigated. The fillers used are glass sphere, wollastonite, carbonate and mica. Hazelnut shell polymethylmethacrylate composites with different particle size contain 15% nut shell. Composites to be used in sound absorption tests were prepared by adding 2.5, 5, 10 % fillers to these composites. Sound absorption (normal incidence absorption coefficient) properties of mineral filled Nutshell / polymethylmethacrylate composites were determined by dual-microphone impedance tube method. In addition, the density of the materials was found according to the Archimedes principle and the empty volume fractions it contained were determined. In order to evaluate the internal structure of the sample, broken pieces were obtained from the tested samples. The images of the fractured surfaces were visualized by scanning electron microscopy and the internal structure was evaluated within the framework of these images. According to the results of the study, the increase in the hazelnut shell particle size along with the ratios of glass sphere and mica added to the composite increased the sound absorption coefficient. It was determined that this change was maximum 247% compared to plain hazelnut shell composites.

## GİRİŞ

Kompozit üretiminde kullanılan sentetik takviye malzemeleri doğaya ve çevreye zarar vermektedir. Son yıllarda çevre bilincinin gelişmesinin yanında bu konudaki hassasiyetlerin artmasına paralel olarak, çevreye duyarlı malzemelerin kullanılması yönündeki araştırmalarda belirgin artış görülmektedir. Son yirmi yılda, araştırmacılar, farklı atıklar kullanarak çevreye duyarlı kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu alanında çok sayıda tecrübeyi paylaşmışlardır (Dungani ve ark. 2016, Garcia-Garcia ve ark. 2018, Joseph ve Babaremu 2019)

Günümüzde atıkların yeniden değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar gerek ekonomik gerekse çevresel kaygılar nedeni ile hız kazanmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, atıkların yeniden değerlendirilerek, ses yutma panelleri gibi uygulamalarda kullanılabileceği ortaya konulmuştur (Echeverria ve ark. 2018). Kang ve arkadaşlarının, (2009) pirinç kabuğu-talaş kompozit ses yutma katsayısını araştırdıkları çalışmalarında, levhaların yoğunluğunun artması ile kompozitin ses absorpsiyonunun arttığını ortaya koymuşlardır. Pirinç kabuğu-talaş kompozit levhaların, yüksek ses yutma

katsayıları nedeniyle inşaatta ses yutucu bariyerler olarak kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır. Tuic ve arkadaşları (2018) testere talaşı poliüretan köpük kompozitlerin ses yutma özelliklerini incelemişlerdir. Ses yutma özelliklerinin talaş partikül boyutuna, bağlayıcı yüzdesine ve kompozitin kalınlığına göre değiştiği sonucuna varmışlardır. Iannace (2017) yaptığı araştırmada, saman, ot, süpürgelik, bitki parçası, iri taneli kestane yongaları ve ince taneli kavak odun yongaları gibi malzemelerin 200 ve 2000 Hz. frekans aralığında akustik yutma katsayılarını belirlemişlerdir. Ölçüm sonuçlarına göre numune kalınlığının artırılmasının, ses yutma katsayısı değerini artırdığını, düşük ve yüksek frekanslardaki maksimumlar arasındaki mesafenin azaldığını rapor etmişlerdir. Pampuro ve arkadaşları (2018) tarımsal atıklardan üretilen iki farklı kompostun yoğunluk, dayanıklılık ve parçacık boyutuna bağlı ses yutma özelliklerini irdelemişlerdir. Çalışma sonucunda kompostların partikül boyutunun, fiziksel ve akustik özellikler üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermişlerdir. Borrel ve arkadaşları (2020) yoğunluk, şekil ve gözeneklilik açısından farklı özelliklere sahip dört çeşit meyve çekirdeği ile yürüttükleri çalışmada ses emiliminin meyve çekirdeğinin cinsine ve numunenin kalınlığına bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir. Panellerin ses yutma katsayılarının 550 Hz (HERTZ) ile 1500 Hz frekans aralığında, bazı örneklerde 0.7 ile 0.95 katsayılarına ulaştığını rapor etmişlerdir.

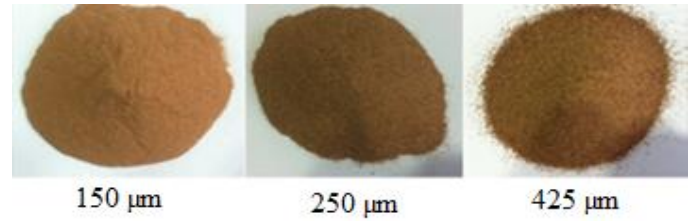
Fei ve arkadaşları (2018) termoplastik kauçuk (TPR, polipropilen / etilen propilen dien monomer) kompozitlerin içerisine içi boş cam mikro küreler takviye ederek yaptıkları çalışmada cam kürelerin ses yalıtımının yanı sıra, mekanik özellikleri de güçlendirdiğini rapor etmişlerdir. Mikro ölçekli dolguların heterojen dağılımının, kompozitlerin iletim kaybı (STL) değerini büyük ölçüde etkilediğini belirlemişlerdir. Durdurulan ses empedansı ve güçlendirilmiş ses yalıtımı için malzemenin sertliğinin çok önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Bu çalışmada, fındikkabuğu partikülleri (FKP) sertliği farklı mineral dolgu maddeleri (camküre (CK), wollastonit (WO), ve mika (Mİ) ) ile karıştırılıp polimetilmetakrilat matrisli kompozitler üretilmiş ve oluşturulan kompozitlerin ses yutma katsayıları ISO 10534-2 prosedürüne uygun olarak belirlenmiştir. İlave edilen bu dolguların kompozitin elastik davranışını değiştirdiği bilinmektedir. Araştırmada, fındikkabuğu tozuna katılan inorganik dolgu maddelerinin kompozitin elastik özelliklerini değiştirme yolu ile ses yutma özelliklerini etkilediği belirlenmiştir.

## MATERYAL VE METOD

### Materyal

Fındikkabuğu-polimetilmetakrilat kompozitlerin oluşturulması için, öğütücüler yardımı ile fındık kabuğu tozu hazırlanmıştır. Geniş bir dağılım gösteren fındikkabuğu tozu'nun etkilerini belirlemek amacı ile, elde edilen fındık kabuğu partikülleri (FKP) farklı göz açıklıklarına sahip (150, 250, 425 µm) laboratuvar elekler yardımı ile boyutlandırılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kompozitlerin üretiminde kullanılan farklı boyutlardaki tozların görüntüsü

Kompozit içerisine ilave edilen mineral katkıları, Omya firmasının (Omya Madencilik Mithat Ünlü Sokak No:7, D:4/Zincirlikuyu Beşiktaş / İstanbul) Türkiye distribütörlüğünden temin edilmiştir. Kullanılan minerallerin bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir (Omya 2021).

Çizelge1. Kompozitlerde katkı maddesi olarak kullanılan minerallerin bazı özellikleri

Malzeme/ Özellikler	Cam küre	Wollastonit	Mika
Sertlik, Mohs	6	4.5-5	2-2.5
Erime noktası °C	7300	1540	1300(Bozun.)
Yoğunluk,gr/cm <sup>3</sup>	2.60	2.8-3.9	2.8-2.9
Partikül büyüklüğü(µm)	70-110	2-40	25-98

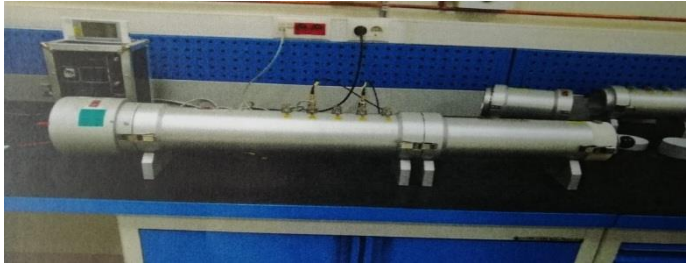
Fındikkabuğu-polimetilmetakrilat (PMMA) kompozitlerin oluşturulmasında kullanılan matris malzemesi Otto Bock firmasının (Almanya) Türkiye temsilciliğinden sağlanmıştır. Kullanılan polimetilmetakrilat matris malzemesinin sertleştirilmesi için aynı firmadan peroksit esaslı kimyasal madde temin edilmiştir. Standart PMMA ait bazı mekanik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir(Callister 2007, Xiaofei ve ark. 2014).

Çizelge 2. Standart PMMA'nın mekanik özellikleri

Kopma uzam. (%)	Sertlik Rockw. (M)	Darbe day. (kJ/m <sup>2</sup> )	Poisson oranı	Elastis. mo. N/mm <sup>2</sup>	Çekme day. ((N/mm <sup>2</sup> ))
0.5-5	93	11	0.35-40	3300	60-70

## Metod

Bu çalışmada fındikkabuğu/polimetilmetakrilat kompozitlerin ses absorpsiyon,  $\alpha$  (normal insidans ses yutma katsayısı) özellikleri çift mikrofonlu akustik empedans tüpü (Brüel&Kjaer PULSETM) ile belirlenmiştir (Şekil 2) Ölçümler ISO 10534-2: 2002 esaslarına göre gerçekleştirilmiştir. Geniş tüp (100 mm, model 4206 ) 50 Hz ila 1600 Hz, dar tüp (29 mm, model 4206) 500 Hz ila 6400 Hz frekans aralığındaki ses yutum katsayısını belirlemek için kullanılmıştır. Numunelerin ölçüm tüpüne uygun şekilde yerleştirilmesi amacıyla, 40 mm uzunluğunda ve 29 mm çapında bir çubuk kullanılmıştır. Malzemenin ses yutma katsayısını belirlemek amacı ile üç farklı numune üzerinde ölçüm yapılmış ve verilerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 2. Çift mikrofonlu empedans tüpü (model 4206)

## Örneklerin Hazırlanması

Fındikkabuğu/polimetilmetakrilat kompozitlerden deney numunesi oluşturmak amacı ile teflon (PTFE) malzemedan döküm kalıpları hazırlanmıştır. Polimetilmetakrilat matris, matris ağırlık oranına göre % 2 peroksit sertleştirici ilave edilmiş ve karışım homojen oluncaya kadar manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Daha sonra farklı büyüklükte ( 150, 250, 425  $\mu\text{m}$  ) ve matris kütlesi üzerinden % 15 fındikkabuğu eklenmiştir. Hazırlanan karışıma 2.5, 5 ve 10 oranlarında mineral dolgu maddeleri karıştırılarak sıvı döküm malzemesi oluşturulmuştur. Homojenliği sağlamak amacı karışım karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra teflon kalıplara dökülmek sureti ile işlenmemiş test numuneleri elde edilmiştir. Numuneler nihai kür uygulaması için 24 saat boyunca 80 °C fırında bekletilmiştir. Numuneler otomatik tezgahlarda standartlara uygun şekilde 29 ve 100 mm çaplarında işlenmiştir (Şekil 3).

## Fiziksel ve Kimyasal Karakterizasyon

Fındikkabuğu'nun yoğunlukları piknometre yöntemi ile belirlenip, ölçüm işleminde sıvı olarak aseton kullanılmıştır.



Şekil 3. Dökülmüş ve işlenmiş kompozit ses yutma numunesi (çap100 mm)

Fındikkabuğu tozunda bulunana kimyasal materyallerin oranı kimyasal analiz kapsamında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Bölümü odun kimyası laboratuvarında, holoselüloz *Wise'nin klorit* metodu ile, Alfa selüloz *TAPPI T 203 os-71* yöntemi ile, lignin *TAPPI T 222 om-88* metodu ile belirlenmiştir.

X-ışını kırınım testi, bakır radyasyonlu gelişmiş Diffractometer (Europe 600 XRD) ile gerçekleştirilmiştir. Cu Ka, 40 kV ve 30 mA'da çalıştırılmıştır. Tarama aralığı 10-30, adım boyutu 0.02 ve tarama hızı 0.4 / dakika olarak seçilmiştir. Elde edilen sayısal değerler ve denklem 1 yardımı ile malzemelerin kristalin yüzdeleri belirlenmiştir (Segal ve ark. 1959).

$$CrI = (I_{002} - I_{am}) \times 100 / I_{002} \quad (1)$$

Burada  $I_{002}$ , 002 kristalin zirvesinin maksimum noktası ve  $I_{am}$ , 101 ve 002 pikler arasındaki amorf malzemenin en düşük noktasıdır.

Kırık yüzeylerin taramalı elektron mikroskopisi görüntüleri, yüzeylerin altın ile kaplanmasından sonra JEOL Ltd. JSM-5910 marka ve kodlu cihaz kullanılarak elde edilmiştir. Görüntülerin yorumlanması fındikkabuğu partikülü/polimetilmetakrilat kompozitin kırık yüzeylerinin detaylı incelenmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Kompozitin yoğunluğu arşimed yöntemi ile belirlenip içerisindeki boşluk miktarı formül 2 yardımı ile hesaplanmıştır (Segal ve ark. 2015)

$$V_v = 100 - \rho_c \left( \frac{\%m_m}{\rho_m} + \frac{\%m_f}{\rho_f} \right) \quad (2)$$

Burada  $V_v$  boş hacim oranı, ( $\%m_m$ ) matris kütle oranı ( $\%m_f$ ) fiberin kütle oranı,  $\rho_c$ ,  $\rho_m$ ,  $\rho_f$  sırasıyla kompozitin, matrisin ve fiberin yoğunluklarıdır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Fındikkabuğu Tozunun Kimyasal Analizi ve Yoğunluğu

Fındikkabuğunun kimyasal analiz sonuçları ve yoğunluğu Çizelge 3’de verilmiştir. Fındikkabuğu tozunun yoğunlukları tane boyutuna göre değişmiştir. Yoğunluk 150 µm partikül boyutu ile 425 µm partikül boyutu arasında % 6 değişim göstermiştir.

**Çizelge 3.** Fındikkabuğu tozunun elementel analiz sonuçları.

FKP	Holose%.%	α-sel. %	Hem.sel. %	Lignin %	Yoğunluk gr/cm <sup>3</sup>
FKP 150	54.61	29.94	24.67	31.87	1.28
FKP 250	54.77	30.83	23.94	33.08	1.31
FKP 425	54.24	31.71	22.53	34.12	1.36

### Fındikkabuğu Tozunun X-ışını Kırınımı Analizi

Fındikkabuğu içerisindeki selülozun tipik kristal kafesine ait X-ışını kırınım desenleri Şekil 4a ve b’de verilmiştir. Selüloz yapıya ait (101) ve (002) düzlemlerine karşılık gelen iki teta değerleri 150, 250, 425, µm olan fındikkabuğu partiküllerinde sırasıyla 18.68-22.36, 18.81-22.00 ve 18.83-22.00’dır. Bu veriler değerlendirildiğinde tozun büyüklüğü artığında 2 teta değerlerinde artış meydana gelmiştir.

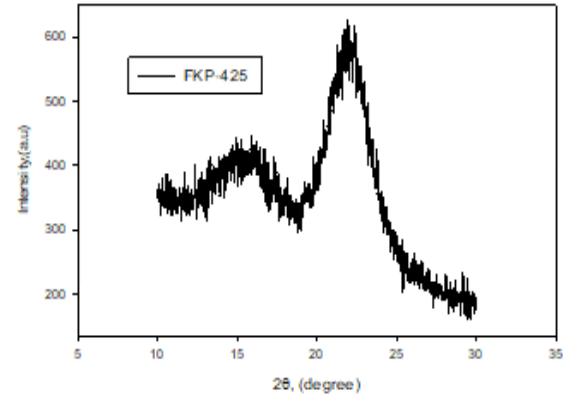
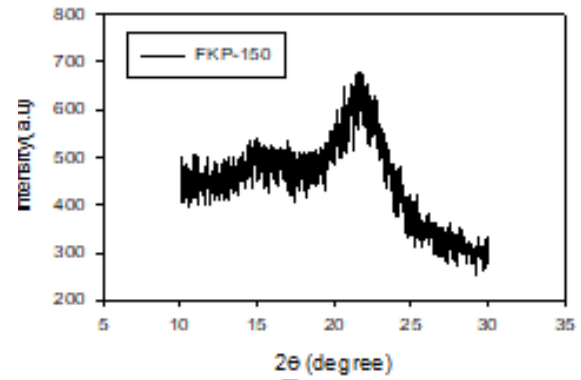
Fındık kabuğu ununun kristalin indeksi (CrI), Segal ampirik yöntemi (Jonoobi ve ark. 2010) kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntem, aşağıdaki denklem vasıtası ile kristalin indisinin hızlı ve basit bir şekilde hesaplanmasını sağlamaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda, sisal, keten, kenevir, kenaf gibi selüloz elyaf çeşitlerinin kristalinite indeksini ölçmek için araştırmacılar aynı yöntemi kullanılmıştır (Roncero ve ark. 2015).

Şekil 4a ve 4b’de elde edilen sayısal veriler yardımı ile  $I_{002}$  ve  $I_{am}$  değerleri belirlenmiştir. Formül (1) yardımı ile maksimum tane büyüklüğü 150, 250, 425, µm olan fındikkabuğu tozlarının kristalinite indekslerinin sırasıyla, 36%, 39%, 43%, olduğu ortaya konulmuştur. Yoğunlukla kristalin indeksi birlikte irdelendiğinde her iki verinin birbirini teyit ettiği görülmüştür.

### Kompozitin Yoğunluğu ve Boşluk Hacim Fraksiyonu

Kompozitin yoğunluğu arşimed yöntemi ile belirlenip, içerisindeki boşluk miktarı formül 2 yardımı ile hesaplanmıştır. Çizelge 4’de partikül boyutuna göre sade

fındikkabuğu kompozitlerin yoğunluğu ve boşluk hacim oranları sunulmuştur. Bununla birlikte en yüksek ses yutma katsayısı değerlerini ortaya koyan 250 mikron partikül boyutuna sahip mineral katkılı kompozitlerin yoğunluğu ve boş hacim fraksiyonu değerleri verilmiştir. Çalışmada sade fındikkabuğu kompozitlerin ses yutma katsayısının, fındikkabuğu partiküllerinin yoğunlukları ve partikül büyüklüğü ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Mineral takviyeli kompozitlerin ses yutma katsayısı kompozitin yoğunluğu ile ters orantılı olarak artmıştır.



**Şekil 4a.** 150 µm boyutundaki tozun xrd grafiği **Şekil 4b.** 425 µm boyutundaki tozun xrd grafiği

Literatürde bazı çalışmalarda kompozite katılan katkı maddelerinin tane boyutunun artması ve kompozitin yoğunluğunun azalması ile ses absorpsiyonunun arttığı ortaya konulmuştur (Qui ve Enhui 2018, Doost-hoseini ve ark. 2014).

**Çizelge 4.** Kompozitin tane büyüklüğü, yoğunluğu ve boşluk hacim fraksiyonu

Örnekler	Partikül boy (µm)	Komp.yoğ. (g/cm <sup>3</sup> )	Boşluk oranı (%)
FKP-150-% 15	150	1.23	0.49
FKP-250-% 15	250	1.22	0.95
FKP-425-% 15	425	1.21	1.78
FKP-250 CK-% 10	250	1.26	10.07
FKP-250 WO-% 10	250	1.31	6.12
FKP-250 Mi-% 10	250	1.25	10.70

## Kompozitlerin Ses yutma Özellikleri

**150 Mikron ( $\mu\text{m}$ ) tane boyutunda fındikkabuğu/polimetilmetakrilat kompozitlerde ses yutma katsayısına mineral katkıların etkisi**

### Cam küre ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi

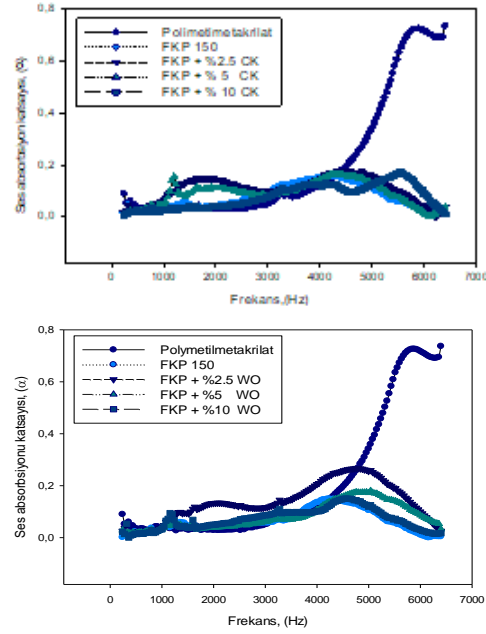
Fındikkabuğu camküre takviyeli kompozitlerin grafiği Şekil 5a'da verilmiştir. Mineral katkı içermeyen fındikkabuğu katkılı kompozitlerin ses yutma katsayısı değeri yaklaşık 4230 Hz'de 0.15 dir. %5 cam küre katkılı kompozitlerde 4180 Hz frekansta ses yutma katsayısı 0.22 olmuştur. Bu oranda, katkı içermeyen fındikkabuğu kompozitlere göre % 47 artış gerçekleşmiştir. Fındikkabuğuna % 2.5 ve % 10 cam küre takviye edilmiş kompozitlerde 4282 Hz'de ses yutma katsayısı 0.16 ölçülmüştür. Her iki kompozitde de ses yutumunda % 7'lik bir artış gerçekleşmiştir.

### Wollastonit ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi

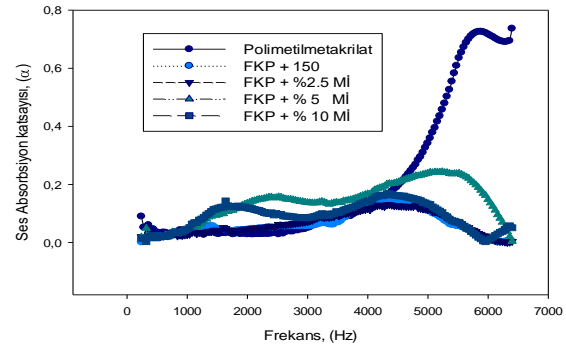
Fındikkabuğu wollastonit kompozitlerin grafiği Şekil 5b'de verilmiştir. Verilere göre en yüksek ses yutma katsayısı değeri % 2.5 Woollastonit içeren kompozitlerde 4816 Hz'de 0.27' dir. Bu oran fındikkabuğu kompozitlere göre % 80 artışı ifade etmektedir. % 5 wollastonit içeren kompozitler 4884Hz'de 0.18 ses yutma katsayısı değerine sahip olmuştur. % 10 wollastonit içeren kompozitler 4415Hz'de yaklaşık 0.15 oranı ile en düşük ses yutma değerine sahip olmuştur.

### Mika ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi

Fındikkabuğu partiküllerine mika ilavesi ile oluşturulan kompozitlerin grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Grafiğe göre, %15 sade fındikkabuğu içeren kompozitlerde 4282 Hz'de 0.15 ses yutma katsayısı ölçülmüştür. %2.5 mika ilavesi ile oluşturulan kompozitlerin 4415Hz'de 0.13 oranında ses yuttukları belirlenmiştir. Sade fındikkabuğu kompozitlere göre ses yutmada %15'lik bir düşüş gerçekleşmiştir. % 5 mika katkılı kompozitler 5283Hz'de 0.24 ses yutma katsayısı ile sade fındikkabuğu takviyeli kompozitlerden % 60 daha fazla ses yutmuştur. % 10 mika ilaveli kompozitler, 4347 Hz'de 0.17 ses yutmuş ve fındikkabuğu takviyeli malzemeye oranla %13 daha fazla ses yutumu sağlamıştır.



Şekil.5a Fındikkabuğu cam küre ve 5b wollastonit takviyeli kompozitlerin grafiği



Şekil 6. Fındikkabuğu cam küre takviyeli kompozitlerin grafiği

Yapılan çalışmada saf polimetilmetakrilatın 1718Hz'deki ses yutma katsayısı 0.05 olarak belirlenmiştir. Naderzadeh ve arkadaşları (2018) polimetilmetakrilat matrise silika, çinko oksit ve titanyumdioksit nono partüküllerini ilave ederek oluşturduğu kompozitlerin ses yutma özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışma ile saf polimetilmetakrilatın 1720 Hz'de 0.06 ses yuttuğunu belirlediler. Bu sonuç çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular ile uyumludur.

150 mikron fındikkabuğu ilaveli kompozitlerde, partiküllerin yüzey alanları miktarının 250 ve 425 büyüklüğündeki tozlardan daha büyük olması sonucunda, matris malzemesi ile fındikkabuğu arasında daha kuvvetli ara yüzey bağlantısı olduğu düşünülmektedir. Bu bağlantı nedeni ile gözeneklilik azalmış ve buna bağlı olarak ses yutma katsayısı değerinde önemli bir değişim

gerçekleşmemiştir. Bu durum, malzeme iç yapısının SEM görüntüleri ile de ortaya konulmuştur.

### **250 Mikron ( $\mu\text{m}$ ) partikül boyutunda fındikkabuğu/polimetilmetakrilat kompozitlerin ses yutma katsayısına mineral katkıların etkisi**

#### **Cam küre ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi**

Fındikkabuğuna camküre takviyeli kompozitlerin grafiği Şekil 7a'da verilmiştir. Sade fındikkabuğu katkılı kompozitlerin ses yutma katsayısı değeri 1538 Hz'de 0.29 olmuştur. Fındikkabuğu % 2.5 cam küre katkılı kompozitlerde 5100 Hz'de katsayı 0.25 olmuş ve ses yutumunda % 12 düşüş gerçekleşmiştir. % 5 ve cam küre ile takviye edilmiş kompozitlerde maksimum ses yutma katsayısı 4180 Hz'de 0.16'dir ve ses yutumunda % 81'lik düşüş görülmüştür. % 10 cam küre takviyeli fındikkabuğu kompozitlerde 2442 Hz'de 1.0 ses yutma katsayısı değeri elde edilmiştir. Bu sonuç sade fındikkabuğu kompozitlere göre ses yutmada % 245 artışı gösterir.

#### **Wollastonit ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi**

Fındikkabuğu wollastonit kompozitlerin grafiği Şekil 7b'de verilmiştir. Mineral katkı içermeyen fındikkabuğu katkılı kompozitlerin ses ses yutma katsayısı değeri 1556 Hz'de 0.29 olmuştur. % 2.5 Wollastonit içeren kompozitler en yüksek 4532Hz'de 0.32 ses yutma katsayısı değerine ulaşmıştır. Bu kompozitlerde ses yutumunda % 18 artış gerçekleşmiştir. % 5 wollastonit içeren kompozitler 4264Hz'de 0.13 ses yutma katsayısı değerine sahip olmuştur. Bu kompozitlerde katsayıda % 107 düşüş gerçekleşmiştir. % 10 wollastonit içeren numuneler 5774Hz'de % 24 ses yutmuştur. Bu kompozitlerde sade fındikkabuğu takviyeli numunelere göre ses yutma katsayısı % 13 düşmüştür.

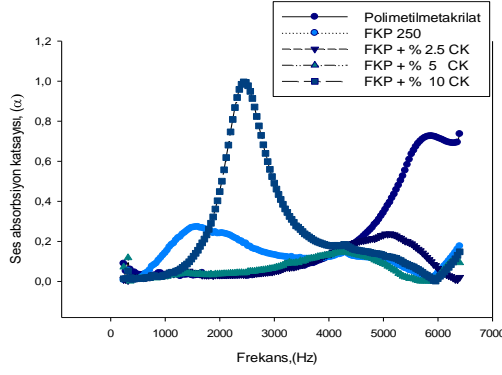
#### **Mika ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi**

Fındikkabuğu partiküllerine mika ilavesi ile oluşturulan kompozitlerin grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Verilere göre %15 sade fındikkabuğu kompozitler 1572 Hz'de 0.29 oranında ses absorbe etmiştir. % 2.5 mika ilavesi ile oluşturulan kompozitlerin 4665 Hz'de 0.17 oranında ses absorbe ettikleri belirlendi. Bu oran fındikkabuğu kompozitlere göre absorpsiyonda % 70'lik bir düşüşü ortaya koymaktadır. % 5 mika katkılı kompozitler 4147Hz'de 0.21 ses absorbe ederek sadece fındikkabuğu takviyeli kompozitlerden % 38 daha az ses absorbe etmiştir. % 10 mika ilaveli kompozitler, 4458 Hz'de yaklaşık 0.96 ses yutumu göstermiş ve mineral içermeyen malzemeye oranla % 231 daha fazla ses absorbe etmiştir.

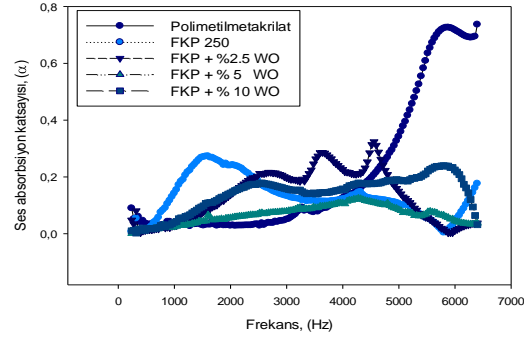
absorpsiyon özellikleri ortaya koymuştur. Burada etkin olan mekanizmaların; kompozite ilave edilen katkı maddesinin ses absorpsiyonu açısından optimum gözenekliliğe neden olması, modülün artmasına paralel biçimde rijitliğin artması ve sesin enerjisinin sürtünme kayıplarına bağlı olarak azalması olduğu düşünülmektedir. Bu olgu araştırmacıların çalışmaları ile ortaya konulmuştur (Brebbia ve Wilde 2002).

İlave edilen minerallerden cam küre ve mika parçacıklarının diğerlerinden daha büyük olması kompozitlerin ses yutumunu olumlu yönde etkilemiştir. Lapčık ve arkadaşları (2019) içi boş kalsiyum karbonat küreleri, mika, wollastonit ve camsı perlit gibi minerallerin ses yutma katsayısını araştırdıkları çalışmada sırasıyla 0.25, 0.54, 0.43 ve 0.22 değerlerini elde etmişlerdir. Yazarlar çalışmada mikanın (0.54) wollastonitden (0.43) daha yüksek ses yutma katsayısına ulaştığını gösterdiler.

Kompozite ilave edilen fındikkabuğunun tane boyutunun artması ile kompozitlerde ses yutumu yetenekleride önemli ölçüde artmıştır. Araştırmacılar yürüttükleri bazı çalışmalarda, kompoziti oluşturan katkı maddelerinin tane büyüklüğünün, kompozitin yoğunluğunun ve modülünün artması malzemenin ses yutma özelliğini olumlu yönde etkilediğini rapor ettiler (Chun-Won ve ark. 2012).

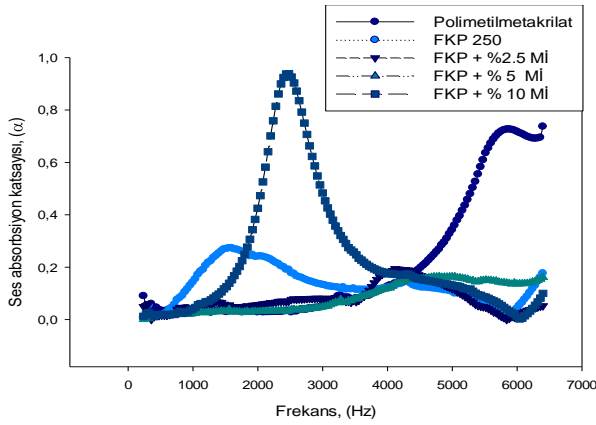


7a



7b

Şekil 7a. Fındikkabuğu cam küre ve 7b wollastonit takviyeli kompozitlerin grafiği



Şekil 8. Fındikkabuğu mika takviyeli kompozitlerin grafiği

#### 425 Mikron ( $\mu\text{m}$ ) parçacık boyutunda fındikkabuğu/polimetilmetakrilat kompozitlerin ses absorpsiyonuna mineral katkıların etkisi

##### Cam küre ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi

Fındikkabuğu/cam küre takviyeli kompozitlerin grafiği Şekil 9a'da verilmiştir. 425 mikron büyüklükte fındikkabuğu partikülü takviyeli kompozitlerin ses yutma katsayısı değeri 4298 Hz'de 0.16 ölçülmüştür. Fındikkabuğu % 2.5 cam küre katkıli kompozitlerde 5184 Hz'de ses yutma katsayısı 0.25 olmuştur. Bu numunelerde ses yutumunda % 56'lık artış gerçekleşmiştir. % 5 cam küre ilaveli kompozitlerde maksimum ses yutma katsayısı 4230 Hz'de 0.17 ölçülmüş ve ses yutumunda % 5'lik artış gerçekleşmiştir. % 10 cam küre takviyeli fındikkabuğu kompozitlerde ses yutumu en yüksek 6388Hz'de 0.18 olmuş ve % 12 artış meydana gelmiştir.

##### Wollastonit ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi

Fındikkabuğu wollastonit kompozitlerin grafiği Şekil 9b'de verilmiştir. Mineral katkı bulunmayan fındikkabuğu katkıli kompozitlerin ses absorpsiyon değeri 4230 Hz'de 0.16 olmuştur. % 2.5 Wollastonit içeren kompozitlerde en

yüksek 5502Hz'de 0.23 ses yutma katsayısı değerine ulaşmıştır. Bu oranlar fındikkabuğu kompozitlere göre % 44 artışa karşılık gelmektedir. % 5

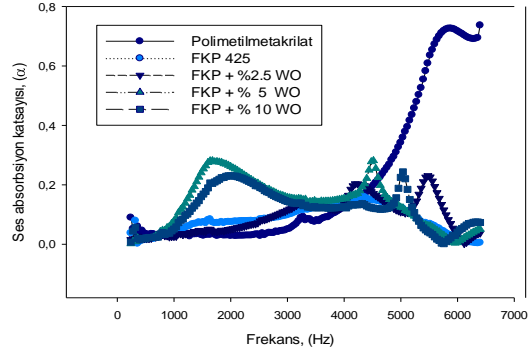
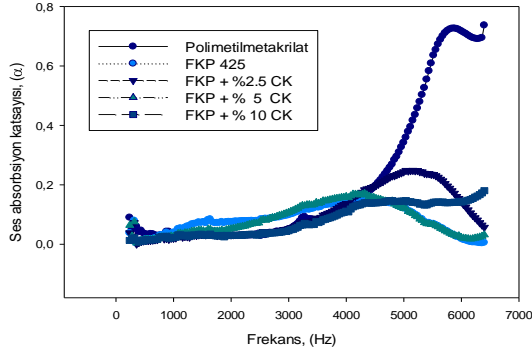
wollastonit içeren kompozitler maksimum 5051Hz'de 0.25 ses yutma oranına sahip olmuş ve sade fındikkabuğu kompozitlere göre % 56 artış gerçekleşmiştir. % 10 wollastonit katkıli numuneler en yüksek 5051Hz'de %25 ses yutma katsayısı değerine ulaşmıştır. Bu kompozitler katkısiz fındikkabuğu numunelere göre % 56 daha fazla ses yutmuştur.

##### Mika ilavesinin ses yutma katsayısına etkisi

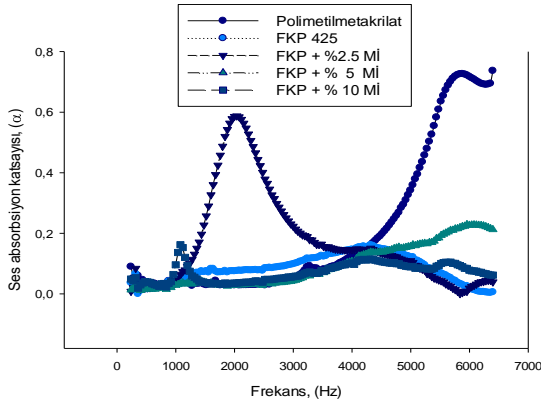
Fındikkabuğu partiküllerine mika ilavesi ile oluşturulan kompozitlerin grafiği Şekil 10'da verilmiştir. Verilere göre %15 sade fındikkabuğu takviyeli kompozitler 4248 Hz'de 0.17 oranında ses yutmuştur. % 2.5 mika ilavesi ile oluşturulan kompozitler 2041 Hz'de 0.59 oranında ses yutmuştur. Bu kompozitlerde ses yutma katsayısında % 247'lik artış meydana gelmiştir. % 5 mika katkıli kompozitler 6086 Hz'de 0.23 ses yutmuş ve fındikkabuğu takviyeli kompozitlerden % 35 daha fazla ses emilimi sağlamıştır. % 10 mika ilaveli kompozitler, 4314 Hz'de 0.11 ses ses yutmuştur ve saf haldeki malzemeye oranla % 35 daha az ses yutumu göstermiştir.

425 mikron partikül büyüklüğünde fındikkabuğu ile takviyeli kompozitlerde cam küre ve wollastonit'te maksimum ses yutma katsayısı 0.25 olurken mika takviyeli kompozitlerde katsayı 0.59 kadar yükselmiştir.

Mikanın, hem 250 mikron hem de 425 mikron toz boyutlarına sahip fındikkabuğu kompozitlerde ses yutumunda daha etkin olmasının nedeni, mikanın sertlik değerinin diğer minerallerden daha düşük olması olabilir. Bunun yanında partikül büyüklüğünün ve dağılımının da etkin olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9a Fındikkabuğu cam küre ve 9b wollastonit takviyeli kompozitlerin grafiği



Şekil 10. Fındikkabuğu mika takviyeli kompozitlerin grafiği

## Morfoloji

Sade fındikkabuğu takviyeli kompozitlerin sem görüntüleri Şekil 11 a, b, c, 'de verilmiştir. Görüntülerden, tane boyutu ile homojenlik arasında bir ilişki kurmanın mümkün olduğu gözlenmiştir. Yüz elli mikron tane boyutuna sahip kompozitin, daha pürüzsüz bir kırık yüzey görüntüsü sergilediği görülmüştür(a). Yüzey pürüzlülüğü ve iç yapıdaki boşlukların, tane boyutunun artması ile arttığı sem görüntüleri ile teyit edildi. 250 mikron tane büyüklüğüne sahip kompozitler daha pürüzlü bir görüntü ortaya koydu(b). İki yüz elli mikron büyüklüğünde partikül ile takviyeli kompozitlerde, ses absorpsiyonunu etkileyen mikro boşlukların varlığı teyit edildi(b). 425 mikron takviye büyüklüğüne sahip kompozitlerde topaklanmanın varlığı ortaya konulurken, kırılmanın gevrek tarzda olduğu ve yüzeyde boşluk miktarının az olduğu görüldü(d).

Şekil 12'de 250 mikron partikül büyüklüğüne sahip fındikkabuğu/mineral katkılı kompozitlerin sem görüntüleri verilmiştir. Eklenen mineraller kompozitte gözenekli yapıyı teşvik ederek, ses absorpsiyonuna katkı sağlamış ve kompozitlerin ses absorpsiyon katsayılarında artışa neden olmuştur.

## SONUÇ

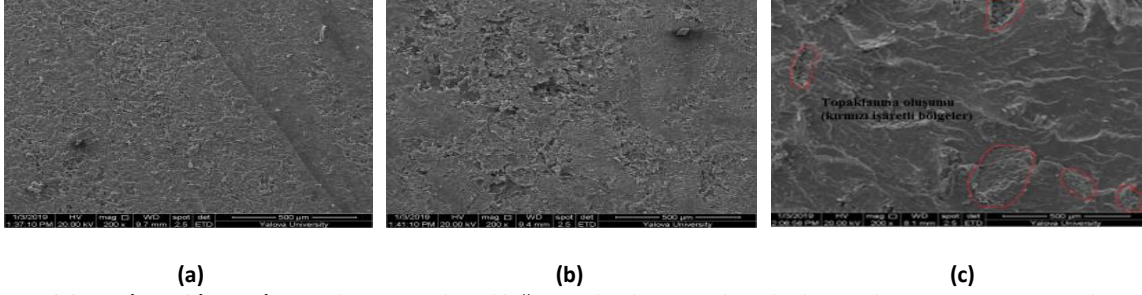
Fındikkabuğunda dış kabuğa yapışık, kabukla tohum arası bağlantıyı sağlayan yumuşak yapı mevcuttur. Kabuğun boyutları ile ters orantılı olarak yapı içerisine dağılan yumuşak kısımlar partiküller arasında yoğunluk farkına neden olmuştur. En büyük partikül boyutuna sahip tozların kristalin indeksi de en büyüktür. Buda büyük partiküllü tozların yoğunluğunun daha büyük olduğunu teyit eder.

Partikül boyutunun 250 mikron ulaşması ile kompozit içerisindeki boşluk miktarı artmıştır. Bu durum, takviye boyutları daha küçük olan kompozitlere oranla daha fazla ses absorbe etme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir. 425 mikron takviye büyüklüğüne sahip kompozitlerde ses absorpsiyonunun azalmasının nedeni, homojenliğin azalma ve topaklanma eğiliminin artmasına atfedilebilir.

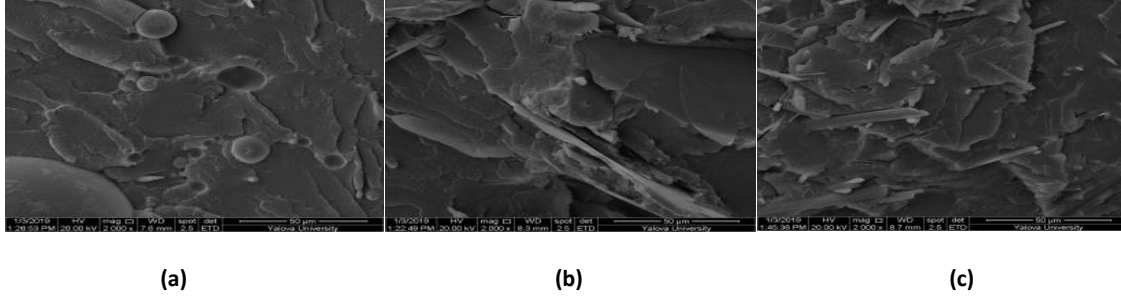
Kompozit içerisine ilave edilen mineral malzemeleri genel olarak düşük katkı oranlarında gözenekliliği fazla artırmamıştır. Buna bağlı olarak ses absorpsiyonu özelliğine de etkin bir katkı yapmamıştır. % 10 oranında katılan cam küre ve mika daha gözenekli bir yapı oluşturup, yüksek ses absorpsiyonu ortaya koymuştur.

Çalışmanın sonuçlarına göre, 250 ve 425 mikron boyutunda fındikkabuğu tozu kullanılarak üretilen mika ve cam küre kompozitlerin ses absorpsiyonunun en yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu malzemelerin bazı yapısal uygulamalarda 2050-2700 Hertz frekans aralığındaki sesleri absorbe edecek, çevreci paneller olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.





Şekil 11. a)150, b)250, c)425 mikron tane büyüklüğüne sahip kompozitlerin kırık yüzeylerine ait sem görüntüleri



Şekil 12. Findikkabuğu ve mineral takviyeli kompozitlerin sem görüntüleri: a) cam küre, b)wollastonit, c) mika

## KAYNAKLAR

- Borrell JMG, Sanchis EJ, Alcaraz JS, Belda IM (2020) Sustainable sound absorbers from fruit stones waste. *Applied Acoustics*,161:107174
- Brebbia CA, De Wilde WP (2002) The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers, *High Performance Structures and Composites*, WIT Press, Ashurst Lodge, Southampton, SO40 7AA, UK
- Callister Jr WD (2007) *Materials Science and Engineering An Introduction*, seventh ed., John Wiley & Sons, Inc., Appendix B
- Chun-Won Kang CW, Oh SW, Lee TB, Kang W, Matsumura J, (2012) Sound absorption capability and mechanical properties of a composite rice hull and sawdust board. *J. Wood Sci* 58:273–278
- Doost-hoseini K, Taghiyari HR, Elyasi A (2014) Correlation between sound absorption coefficients with physical and mechanical properties of insulation boards made from sugar cane bagasse, *Composites: Part B*, 58:10–15
- Dungani R, Karina M, Sulaeman SA, Hermawan D, Hadiyane A (2016) Agricultural waste fibers towards sustainability and advanced utilization, *A Review Asian Journal of Plant Sciences*. 15: 42-55
- Echeverria CA, Pahlevani F, Handoko W, Jiang C, Doolan C, Sahajwalla V (2018) Engineered hybrid fibre reinforced composites for sound absorption building applications. *Resources Conservation and Recycling*. 143:1-142019
- Fei Y, Fang W, Zhong M, Jin J, Fan P, Yang J, Fei Z, ID, Chen F, Kuang T (2018) Morphological structure, rheological behavior, mechanical properties and sound insulation performance of thermoplastic rubber composites reinforced by different inorganic fillers. *Polymers*, 10: 276
- Garcia-Garcia D, Quiles-Carrillo L, Montanes N, Fombuena V, Balart R (2018) manufacturing and characterization of composite fibreboards with *posidonia oceanica* wastes with an environmentally-friendly binder from epoxy resin. *Materials*,11: 35 [https://www.omya.com/Türkiye\(bağlantı tarihi Aralık 2021](https://www.omya.com/Türkiye(bağlantı tarihi Aralık 2021)
- Iannace G (2017) The acoustic characterization of green materials”, *Building Acoustics*, 24(2): 101–113
- Jonoobi MJ, Harun P, Tahir L, Zaini S, Saiflu A, Makinejad M (2010) Characteristics of nanofibers extracted from kenaf core. *Bio-Resources* 5 (4): 2556–2566
- Joseph OO, Babaremu KO (2019) Agricultural waste as a reinforcement particulate for aluminum metal matrix composite. *A Review. Fibers*, 7:33
- Kang CW, Oh SW, Lee TB (2012) Sound absorption capability and mechanical properties of a composite rice hull and sawdust board. *J. Wood Sci* 58: 273–278
- Lapčik L, Vašina M, Lapčiková B, Hui D, Otyepková E, Greenwood RW, Waters KE, Naderzadeh M, Ghasemi I, Monazzam MR, Arabalibeik H (2018) An Investigation on Transparency and Mechano-Acoustic Properties of Poly Methyl Methacrylate/ Polycarbonate Based Nanocomposites, *Journal of Polymers and the Environment*, 26:2640–2649
- Pampuro N, Preti C, Cavallo E (2018) Recycling pig slurry solid fraction compost as a sound absorber. *Sustainability*, 10: 277
- Qui H, Enhui Y (2018) Effect of thickness, density and cavity depth on the sound absorption properties of wool boards, *Autex Research Journal*,18: 2
- Roncero MB, Torres AL, Colom JF, T. Vidal T (2005) The effect of xylanase on lignocellulosic components during the bleaching of wood pulps”, *Bioresource Technology*. 96: 21–30
- Segal JE, Yuan XW, Jones MI (2011) Voids Characterisation In Carbon Fibre/Epoxy Composite Laminates”, 18th International Conference On Composite Materials, Icc Jeju Korea August 21-26.
- Segal L, Creely JJ, Martin E, Conrad CM (1959) An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the x-ray diffractometer. *Textile Research Journal*, 29:10-786
- Tiuc AE, Nemeş O, Vermeşan H, Toma AC (2018) New sound absorbent composite materials based on sawdust and polyurethane foam. *Composites Part B: Engineering*, 165:120-130
- Vlček J (2019) Materials characterization of advanced fillers for composites engineering application. *Nanotechnol Rev.*, 8:503–512
- Xiaofei Z, Zhi S, Xiaozhi H (2014) Low temperature fracture toughness of PMMA and crack-tip conditions under flat-tipped cylindrical indenter”, *Polymer Testing*, 38: 57-63