

## Geri dönüştürülmüş plastik ve cam tozu ile üretilen kompozit malzemenin seçili özellikleri üzerine dolgu oranının etkisi

*Effect of filler ratio on selected properties of composite material produced with recycled plastic and glass powder*

Bekir Cihad BAL\*<sup>1</sup> , Nasır NARLIOĞLU<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Malzeme Bölümü, Kahramanmaraş

<sup>2</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir

• Geliş tarihi / Received: 17.09.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 17.01.2025

### Öz

Doğada kısa sürede bozunmayan malzemelerin geri dönüşümü son yıllarda oldukça ilgi görmüş, bu ilgi sonucunda plastik, metal ve cam gibi malzemelerin geri dönüşümü önemli ölçüde artmıştır. Bu çalışmada, plastik sandalye atıkları ve cam şişe atıklarının geri dönüştürülmesiyle kompozitler üretildi. Kompozit üretimi için plastiğe eklenen atık cam tozu dolgusu, ağırlıkça %0-15-30-45-60 oranlarında belirlendi. Atık plastik ve cam tozunun ekstrüderde karıştırılmasıyla elde edilen karışımlar granül haline getirildi. Sonra, granüller sıcak preste kalıplanarak levha formuna dönüştürüldü. Ardından, levhaların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra termal özellikleri belirlendi. Elde edilen verilere göre, kompozit karışımındaki cam tozu dolgusu arttıkça levhaların eğilme ve çekme dirençlerinin yanı sıra kopmada uzama değerleri azalmış, buna karşılık yoğunluğu, eğilme modülü ve çekme modülü artmıştır. Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizi sonuçlarına göre, polimer matris olarak kullanılan atık plastik sandalyenin doğrusal düşük yoğunluklu polietilen (DDYPE) ve polipropilenden (PP) karışımı olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, karışımdaki cam tozu oranı artışına bağlı olarak entalpi değerleri genel olarak azalmıştır. Termogravimetrik analiz (TGA) sonuçlarına göre, plastik içerisine cam tozu eklenmesi termal ayrışma sıcaklıklarını bir miktar azaltmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Atık cam, Atık plastik, Geri dönüşüm, Kompozit, Mekanik özellik, Termal özellik

### Abstract

The recycling of materials that do not decompose quickly in nature has attracted considerable attention in recent years, and as a result of this interest, the recycling of materials such as plastic, metal, and glass has significantly increased. In this study, composites were produced by recycling plastic chair waste and glass bottle waste. The waste glass powder filler added to the plastic for composite production was determined at the rates of 0-15-30-45-60% by weight. The resulting mixtures were broken into granules after mixing waste plastic and glass powder in the extruder. Then, the granules were molded into sheet form in a hot press. Then, selected mechanical properties of the sheets and their thermal properties were determined. According to the obtained data, as the glass powder increased, the bending and tensile strengths of the sheets as well as the elongation values decreased whereas density, bending modulus and tensile modulus increased. According to the results of differential scanning calorimetry (DSC) analysis, it was understood that the waste plastic chair used as the polymer matrix was a mixture of linear low density polyethylene (LLDPE) and polypropylene (PP). In addition, enthalpy values generally decreased due to the increase in glass powder ratio in the mixture. According to thermogravimetric analysis (TGA) results, the addition of glass powder into plastic slightly reduced thermal decomposition temperatures.

**Keywords:** Waste glass, Waste plastic, Recycling, Composite, Mechanical property, Thermal property

\*Bekir Cihad BAL; bcbal@hotmail.com

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Poliolefin grubu polimerler ile üretilen kompozit malzemelerin kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Bu malzemelerin üretiminde farklı amaçlar için partikül yapıda veya lifli yapıda dolgu maddeleri kullanılmaktadır. Üretim maliyetlerini azaltmak için polimer kullanımını azaltmak bu hedeflerden birisidir. Geçmişte farklı dolgu maddeleri kullanılarak üretilen polimer kompozit malzemeler üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu bilimsel çalışmaların çoğunda, lifli yapıdaki odun unu (OU) ve bir polimer malzeme kullanılarak kompozit malzemeler üretilmiş ve üretilen malzemenin değişik teknolojik özellikleri araştırılmıştır. Örneğin; [Stark & Matuana \(2004\)](#), çam odunu unu ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanarak ürettikleri malzemenin yaşlanma testi sonrası mekanik özelliklerini, fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizini ve foto degradasyonunu araştırmışlardır. [Çavuş \(2020\)](#), maun OU ve polipropilenden ile üretilen kompozitlerde OU oranı arttıkça eğilme dayanımı ve eğilme modülünün arttığını, çekme dayanımının azaldığını, ancak çekme modülünün arttığını ve kopma anındaki uzama yüzdesinin azaldığını belirtmiştir. [Narlıoğlu vd., \(2018\)](#), OU ve PP kullanılarak üretilen kompozit levhaların OU oranı arttıkça çekme direnci ve darbe direncinin azaldığını, eğilme direncinin arttığını rapor etmişlerdir. [Bal \(2022a\)](#), Tetra Pak® kutuları ve çam OU geri dönüştürülmüş polietilenle karıştırarak kompozit levhalar üretmiş ve daha sonra levhaların seçilmiş bazı özelliklerini araştırmıştır.

Odun unu gibi lifli yapıdaki organik maddeler kullanılarak yapılan çalışmalara ek olarak, tanecik yapıdaki bazı mineral maddelerin dolgu maddesi olarak kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Örneğin; [Essabir vd., \(2014\)](#), HDPE, talk ve kayısı kabuğu unu kullanarak odun-plastik kompozit (OPK) üretmişler ve ürettikleri OPK'lerin bazı mekanik ve termal özelliklerini araştırmışlardır. [Awad vd., \(2019\)](#), mermer ve granit tozu dolgulu HDPE kompozitlerinin termal ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Dolgu miktarı arttıkça kompozit malzemenin bazı mekanik ve termal özelliklerinin iyileştiğini, parçacık boyutu arttıkça bazı mekanik özelliklerin olumsuz etkilendiğini belirlemişlerdir. [Mustapha \(2020\)](#), kalsit ve yumurta kabuğu ile doldurulmuş PP esaslı kompozit malzemenin mekanik özelliklerini araştırmış ve bu dolgu maddelerinin mekanik özellikleri iyileştirdiğini belirlemişlerdir. [Sun vd., \(2014\)](#), grafit dolgulu HDPE ve etilen vinil asetat kompozitlerindeki grafit parçacık boyutunun kompozitlerin termal kararlılığı, yanıcılığı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Grafit parçacık boyutu azaldıkça çekme dayanımının arttığı bildirilmiştir. Başka bir çalışmada [Zhang vd., \(2011\)](#), parçacık boyutu ve içeriğinin alüminyum oksit dolgulu HDPE kompozitlerin ısı iletkenliği ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmış ve parçacık boyutu azaldıkça kompozitlerin ısı iletkenliğinin ve çekme dayanımının arttığını bildirmişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak, bazı önceki çalışmalarda atık cam tozu dolgulu polimer kompozitlerin bazı özellikleri de araştırılmıştır. [Heriyanto vd. \(2018\)](#), odun unu ve cam tozu ile doldurulmuş PP esaslı kompozit malzemenin bazı özelliklerini araştırmıştır. Dolgu maddesi olarak cam tozu kullanılan grupların bazı mekanik özelliklerinin, odun unu kullanılan gruplara göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. [Sadik ark., \(2021\)](#), ürettikleri atık cam tozu dolgulu HDPE kompozitlerdeki cam tozu miktarı arttıkça kompozitlerin mekanik özelliklerinin azaldığını bildirmiştir. [Bhaskar \(2021\)](#), cam tozu dolgu miktarının polyester kompozitlerin bazı mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Araştırma sonucunda, cam tozu dolgusunun başlangıçta mekanik özellikleri artırdığı, cam tozu oranı arttıkça bazı mekanik özelliklerin azaldığını bildirilmiştir. [Altuntaş & Arıkan \(2022\)](#), OPK üretiminde genleştirilmiş perlit kullanımının etkisini araştırmışlardır. Yapılan bir başka çalışmada ise [Bal & Ayata \(2024\)](#), cam tozu dolgulu PP kompozit malzemenin bazı renk ve parlaklık özelliklerini araştırılmış ve cam tozu dolgu oranının artması ile renk ve parlaklık değerlerinde önemli değişikliklerin meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Kullanılmış atık haldeki cam şişe ve plastik sandalye atıklarının öğütüldükten sonra bir ekstrüderde birbiriyle karıştırarak yeni bir kompozit malzeme üretilmesi üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı; atık haldeki plastik sandalyelerin geri dönüşümünden elde edilen plastiği polimer matris olarak ve öğütülmüş cam tozunu dolgu maddesi olarak kullanarak kompozit levha üretmek ve üretilen bu levhaların bazı mekanik ve termal özellikleri üzerinde dolgu maddesi oranının etkisini araştırmaktır.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

#### 2.1. Materyal

##### 2.1. Material

Bu çalışmada, atık haldeki plastik sandalyelerden elde edilen geri donüştürülmüş plastik, kompozit malzeme üretimi için polimer matris olarak kullanılmıştır. Atık haldeki plastik sandalyeler öncelikle şerit testerede parçalanmış (şekil 1-A) ve sonra küçük parçalara ayrılmıştır (şekil 1-B).

Çalışmada dolgu maddesi olarak kullanılan cam tozu, evsel kullanımlar sonucunda oluşan içecek şişelerin (şekil 1-C) ekile kırılmış ve sonrasında laboratuvar tipi öğütücüde (Brader 1500) öğütülmüş halidir. Elde edilen bu cam tozları kompozit üretimine uygun boyutlarda elenmiştir. Eleme sonunda elde edilen gruplardan, 80 mesh üzerinde kalan cam tozu, kompozit malzeme üretimi için dolgu maddesi olarak kullanılmıştır (şekil 1-D).



**şekil 1.** Atık sandalye parçaları (A-B), atık cam şişeler (C) ve öğütülmüş cam tozu (D)  
**Figure 1.** Waste chair parts (A-B), waste glass bottles (C) and ground glass powder (D)

## 2.2. Metot

### 2.2.Method

### 2.2.1.Kompozit levhaların üretimi

#### 2.2.1.Production of composite panels

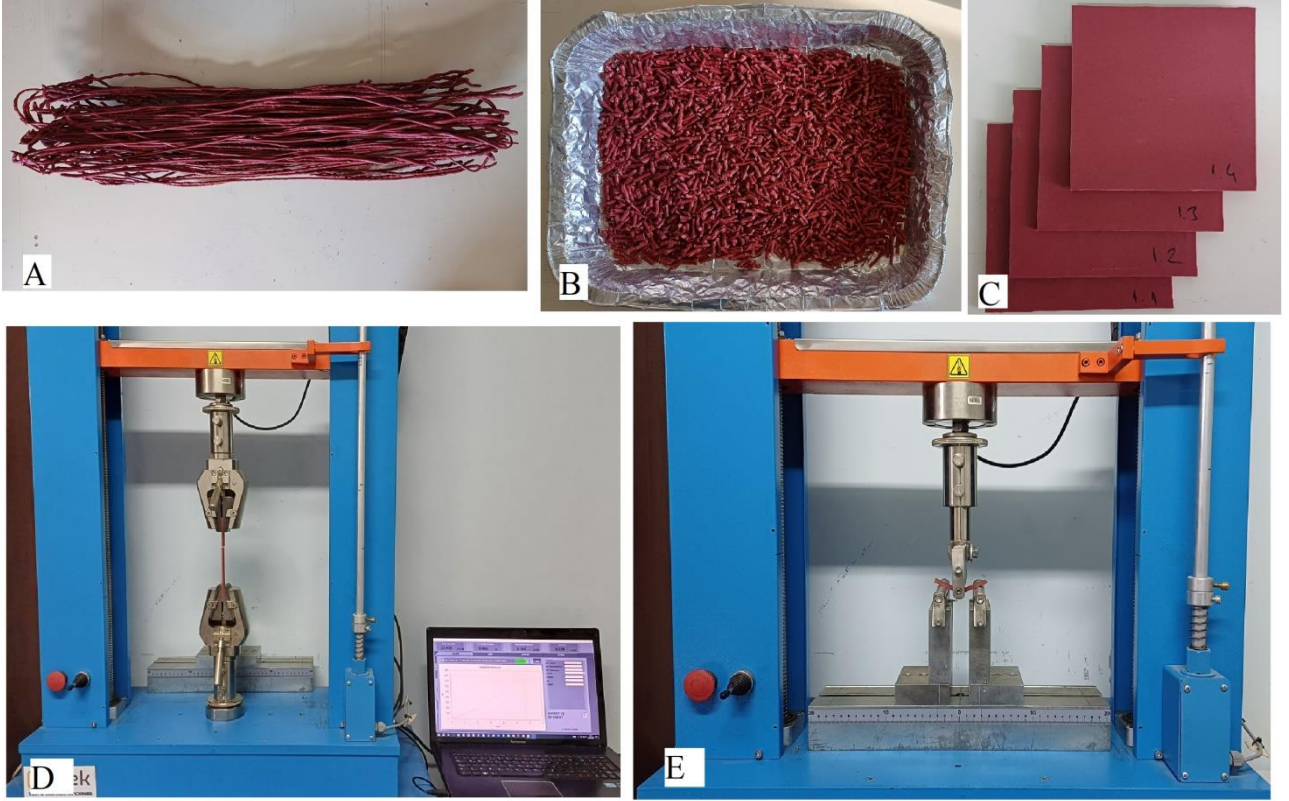
Elde edilen küçük atık sandalye parçaları ve cam tozu Tablo 1’de verilen oranlara göre karıştırılmış ve 1 kontrol ve 4 farklı deney grubu oluşturulmuştur. Atık plastik ve cam tozu karışımı kovan sıcaklığı 150 °C, 165 °C ve 175 °C olan tek vidalı ekstrüderde karıştırılmıştır.

**Tablo 1.** Kompozit malzemelerin ağırlıkça karışım oranları  
**Table 1.** Mixing ratios of composite materials by weight

	Kontrol grubu		Deney grupları		
	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5
Atık plastik (%)	100	85	70	55	40
Atık cam tozu (%)	0	15	30	45	60



Ekstrüderde işlem gören karışım, ekstruder çıkışındaki 3 mm çapındaki nozülden filament halinde alınarak masa üzerinde soğumaya bırakılmıştır (Şekil 2-A). Daha sonra, bu filamentler parçalanarak küçük peletler elde edilmiştir (Şekil 2-B). Daha sonra bu peletler tekrar ekstruderden geçirilmiş, tekrar masa üzerinde soğutulmuş ve tekrar kırılarak küçük peletler elde edilmiştir. Homojen bir karışım elde etmek için malzeme ekstrüderde iki kez işlem görmüştür. Bu peletler metal bir kalıba yerleştirilmiş ve 180 °C sıcaklıkta elektrikle ısıtılan sıcak prese aktarılmıştır. Yapışmayı önlemek için, metal plaka yüzeyleri yağlanmıştır. Metal kalıp 12 d boyunca ısıtılmış ve malzeme eritilmiştir. Bu süre sonunda eriyen karışım metal kalıp ile beraber sıcak presten çıkarılarak hemen soğuk pres içerisine yerleştirilmiştir. Soğuk preste 5 d boyunca toplam 5 t basınç uygulanmıştır. Presleme işleminden sonra kompozit plaka metal kalıptan çıkarılarak 3.5 mm x 175 mm x 175 mm (kalınlık x genişlik x uzunluk) boyutlarında levhalar elde edilmiştir (Şekil 2-C). Her grup için 4 adet levha olmak üzere toplam 20 levha üretilmiştir.



**Şekil 2.** Soğutulan filamentler (A), peletler (B), grup 1 levhaları (C), çekme testi (D), eğilme testi (E)  
**Figure 2.** Cooled filaments (A), pellets (B), group 1 sheets (C), tensile test (D), bending test (E)

### 2.2.2. Mekanik Özellikler

#### 2.2.2. Mechanical properties

Kompozitlerin yoğunluk testleri ASTM D792'ye göre, çekme testleri ASTM D638'e göre Şekil 2-D'de görüldüğü gibi ve eğilme testleri ASTM D 790'a göre Şekil 2-E'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Yoğunluk testleri 3.5 x 20 x 20 mm ölçülerindeki test numunelerinin havadaki ağırlıklarının sudaki hacimlerine bölünmesiyle belirlenmiş ve Tablo 2'de sonuçlar verilmiştir. Eğilme testi örnekleri 3.5 x 20 x 80 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Eğilme testlerini belirlemek için her gruptan 16 adet test örneği üzerinde ölçüm yapılmıştır. Eğilme testinde ön yük 2N, mesnet açıklığı 56 mm, test hızı 2 mm/dk olarak belirlenmiştir. Eğilme testlerinde, test sonunda ölçülen maksimum deformasyon miktarı Tablo 3'te eğilmede deformasyon olarak gösterilmiştir. Çekme deneyi sonunda elde edilen maksimum uzama yüzdesi de hesaplanmıştır. Bu değer Tablo 4'te kopmada uzama olarak verilmiştir. Çekme deneylerinde her grup için 16 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Çekme deney numuneleri 3.5 x 20 x 165 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Çekme deneyleri için köpek kemiği şeklindeki numuneler CNC freze tezgahında hazırlanmıştır. Çekme deneyi sırasında ön yükleme 5N, deney hızı ise 2 mm/dk olarak ayarlanmıştır.

### 2.2.3. Termal özellikler

#### 2.2.3. Thermal properties

Malzemelerin termal özelliklerini belirlemek için Shimadzu TGA-50 cihazı kullanılarak 50 mL/dk azot gazı akışı altında, 10 °C/dk ısıtma hızında ve 30-600 °C sıcaklık aralığında termo gravimetrik analizler (TGA) gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, 50 mL/dk azot gazı akışı altında, 10 °C/dk ısıtma hızında ve 30-200 °C sıcaklık aralığına ayarlı Shimadzu DSC-60 cihazı kullanılarak malzemelerin diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri yapılmıştır. Termal analizlerin tamamında 5-10 mg örnekler kullanılarak testler yapılmıştır.

### 2.2.4. İstatistiksel analiz

#### 2.2.4. Statistical analyze

Fiziksel ve mekanik testler sonrasında elde edilen veriler üzerinde SPSS istatistik programı kullanılarak tek yön varyans (ANOVA) analizi ve Duncan testleri yapılmış ve sonuçlar ilgili tablolarda (Tablo 2-3-4) gösterilmiştir.

## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Results and discussion

Levhaların yoğunluk değerlerine ait veriler ve istatistik hesaplamaların sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde, en küçük yoğunluk değerinin kontrol grubu olan Grup 1’de ve en yüksek yoğunluk değerinin ise Grup 5’te ölçüldüğü görülmektedir. Grupların yoğunluk değerleri arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak anlamlıdır ( $P < 0.001$ ). Ayrıca, Duncan testi sonuçlarına göre, tüm gruplar arasında önemli farklılıklar vardır. Kompozit levhaların içeriğindeki cam tozu oranı arttıkça yoğunluk değerleri de artış göstermiştir. Bunun en önemli sebebi cam tozunun yoğunluğunun geri dönüşümden elde edilen plastiğin yoğunluğundan çok daha fazla olmasıdır. Dolayısıyla, elde edilen sonuçlar genel olarak bilinen kompozit kuralı ile uyum içerisindedir. Kompozit malzemenin özelliği kompoziti oluşturan bileşenlere benzerlik gösterir. Termoplastik esaslı kompozit malzemeler ile ilgili çalışmalarda da diğer araştırmacılar tarafından benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Matuana & Stark 2015; Çavuş, 2020; Bal, 2022a, 2022b).

**Tablo 2.** Grupların yoğunluk değerleri ve istatistik test sonuçları

**Table 2.** Density values of groups and statistical test results

		Gruplar					P değeri
		1	2	3	4	5	
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	x	983A*	1079B	1162C	1313D	1400E	P < 0.001
	ss	8.6	11.5	15.4	19.6	45.7	

x: aritmetik ortalama, ss: standart sapma, \*Duncan testi sonuçlarıdır ve A en küçük değeri göstermektedir. Aynı harfle kodlanan değerler arasında istatistiksel bir farklılık belirlenmemiştir.

Tablo 3’te eğilme direnci testi sonuçları, ANOVA P değerleri ve Duncan testi sonuçları gösterilmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde, en yüksek eğilme direnci değeri kontrol grubunda 44.1 N/mm<sup>2</sup>, en küçük eğilme direnci değeri ise Grup 5’te 22.3 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır ( $P < 0.001$ ). Kompozit içerisindeki dolgu maddesi miktarı arttıkça eğilme direnci değeri azalmıştır. Eğilme direnci değeri, eğilme kuvveti tesiri altında olan bir malzemenin eğilirken bir arada kalabilme yeteneğidir. Dolgu maddesi olarak kullanılan cam tozu kohezyon dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu etki eğilme direnci değerinin azalmasına neden olmaktadır. Daha önce bu konuda yapılan çalışmalarda da kullanılan polimer malzemenin bağımsız olarak, dolgu maddesi (lifli yapıda veya partikül yapıda) miktarı arttıkça eğilme direncinin azaldığı belirlenmiştir (Berger & Stark, 1997; Özmen vd., 2014; Matuana & Stark, 2015; Altuntaş vd., 2017; Narlıoğlu vd., 2018; Narlıoğlu, 2021; Bal, 2022a, 2022b).

Kompozit gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerleri, eğilme direnci değerlerinin tersi olarak belirlenmiştir. En küçük eğilmede elastikiyet modülü değeri Grup 1'de 1488 N/mm<sup>2</sup>, en büyük değer ise Grup 5'te 2381 N/mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Kompozit malzemedeki dolgu maddesi miktarı arttıkça elastikiyet modülü de artış göstermiştir. Grup 1 ile Grup 2 arasındaki fark Duncan testine göre istatistiksel olarak önemsizdir. Ancak diğer gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak ileri düzeyde önemlidir (p<0.001). Eğilmede elastikiyet modülü, eğilme kuvveti tesiri altındaki bir malzemenin eğilme deformasyonuna karşı ne kadar iyi karşı koyabildiğini gösterir. Cam malzemenin elastikiyet modülü değeri, plastiklerden daha yüksektir. Bu nedenle, kompozit malzemenin eğilmede elastikiyet modülü, cam tozu dolgusu arttıkça artış göstermiştir. Önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir. (Berger & Stark, 1997; Altuntaş vd., 2017; Narlıoğlu vd., 2018; Bal, 2022a, 2022b).

Eğilme deneyinden elde edilen eğilmede deformasyon değerleri de Tablo 3'te verilmiştir. En yüksek eğilmede deformasyon değeri Grup 1'de 17.0 mm, en küçük değer ise Grup 5'te 13.3 mm olarak elde edilmiştir. Gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.001). Eğilmede deformasyon değerleri, kompozit malzemenin eğilme kuvveti altında deformasyon yeteneğini gösterir. Yüksek deformasyon değerleri, malzemenin sünek olduğunu gösterir. Buna karşılık, düşük deformasyon değerleri, malzemenin gevrek olduğunu gösterir. Buna göre, Grup 1 test numuneleri diğer gruplara kıyasla daha sünektir. Yapılan önceki çalışmalarda da eğilmede deformasyon değerleri hakkında benzer sonuçlar bildirilmiştir (Fiore vd., 2014; Bal, 2022a, 2022b).

**Tablo 3.** Grupların eğilme testi verileri ve istatistik test sonuçları

**Table 3.** Bending test data of groups and statistical test results

		Gruplar					P değeri
		1	2	3	4	5	
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	x	44.1E	36.6D	31.3C	26.6B	22.3A	P<0.001
	ss	2.6	1.7	1.4	1.3	1.1	
Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )	x	1488A	1499A	1763B	2044C	2381D	P<0.001
	ss	100	113	87	120	120	
Eğilmede Deformasyon (mm)	x	17.0B	16.9B	16.5B	15.8B	13.3A	P<0.001
	ss	1.9	2.0	2.3	2.1	1.9	

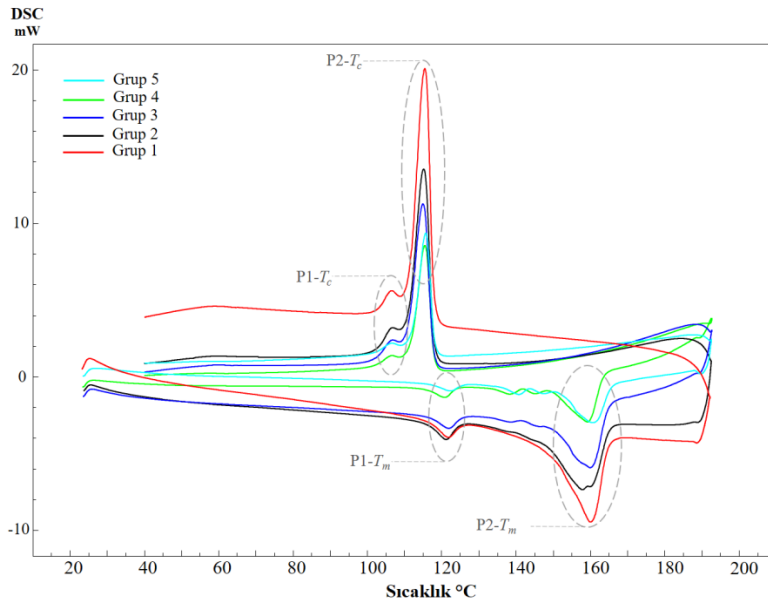
Tablo 4'te çekme testi ile ilgili veriler, Duncan testi sonuçları ve ANOVA P değerleri gösterilmiştir. Tablo 4'te görüldüğü gibi kompozit malzemedeki dolgu maddesi oranı arttıkça çekme direnci değerleri azalmıştır. Kontrol grubunun çekme dayanımı 15.5 N/mm<sup>2</sup> iken, Grup 5'in çekme dayanımı 8.0 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Grup 1 ve Grup 2 arasındaki fark hariç diğer gruplar Duncan testine göre birbirlerinden farklıdır (p<0.001). Cam tozu dolgu maddesinin malzemelerin çekme dayanımı üzerindeki etkisi negatiftir. Kopmada uzama değeri için de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kompozit malzeme içeriğindeki cam tozu dolgu maddesi oranı arttıkça kopmada uzama değeri azalmıştır. Ancak, Grup 1, Grup 2 ve Grup 3 arasındaki farklar önemsizdir.

Cam tozunun çekmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisi pozitifdir. Çekmede elastikiyet modülü, dolgu maddesi içeriği arttıkça artmıştır. Grup 1'in çekmede elastikiyet modülü 401 N/mm<sup>2</sup> iken, Grup 5'in çekmede elastikiyet modülü ise 610 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Grup 5 ile diğer gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır (p<0.001). Ancak, Grup 1, 2, 3 ve 4 arasında bir fark yoktur. Polimer esaslı kompozit malzemeler ile ilgili yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Çavuş, 2020; Bal, 2022a, 2022b; Altuntaş & Arıkan, 2022).

**Tablo 4.** Grupların çekme testi verileri ve istatistik test sonuçları  
**Table 4.** Tensile test data of groups and statistical test results

		Gruplar					P değeri
		1	2	3	4	5	
Çekme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	x	15.5 <b>D</b>	15.1 <b>D</b>	11.9 <b>C</b>	9.7 <b>B</b>	8.0 <b>A</b>	P<0.001
	ss	2.1	1.1	0.7	0.7	0.3	
Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )	x	401 <b>A</b>	397 <b>A</b>	382 <b>A</b>	409 <b>A</b>	610 <b>B</b>	P<0.001
	ss	69	30	58	65	119	
Kopmada uzama (mm)	x	5.4 <b>B</b>	5.4 <b>B</b>	4.9 <b>B</b>	4.1 <b>A</b>	3.6 <b>A</b>	P<0.001
	ss	0.7	0.9	1.1	0.9	0.8	

Şekil 3'te atık plastiğin (Grup 1) ve bu plastikle karıştırılmış atık cam tozu katkıli kompozitlerin (Grup 2-3-4-5) DSC eğrileri gösterilmiştir. Malzemelerin DSC eğrilerinin incelenmesi sonucunda bu çalışmada kullanılan atık plastiğin iki farklı polimerin (P1 ve P2) karışımı olduğu anlaşılmıştır. DSC analizi sonuçlarının önceki çalışmalarda (Saikrishnan vd., 2020; Scoppio vd., 2022; Sirin vd., 2022) yapılan DSC analizi sonuçları ile kıyaslanması sonucunda; bu çalışmada kullanılan polimerlerle referans çalışmalarda kullanılan polimerlerin birbirine benzer oldukları anlaşılmıştır. Bu çalışmada elde edilen DSC eğrileri (Şekil 3) ve analiz değerlerinden (Tablo 5), ilk (P1) erime ve/veya kristalizasyon pikinin doğrusal düşük yoğunluklu polietilenin (DDYPE) termal özellikleri ile benzer olduğu, ikinci (P2) erime ve/veya kristalizasyon pikinin ise polipropilenin (PP) termal özellikleri ile benzer olduğu görülmüştür.



**Şekil 3.** Kompozitlerin DSC eğrileri  
**Figure 3.** DSC curves of composites

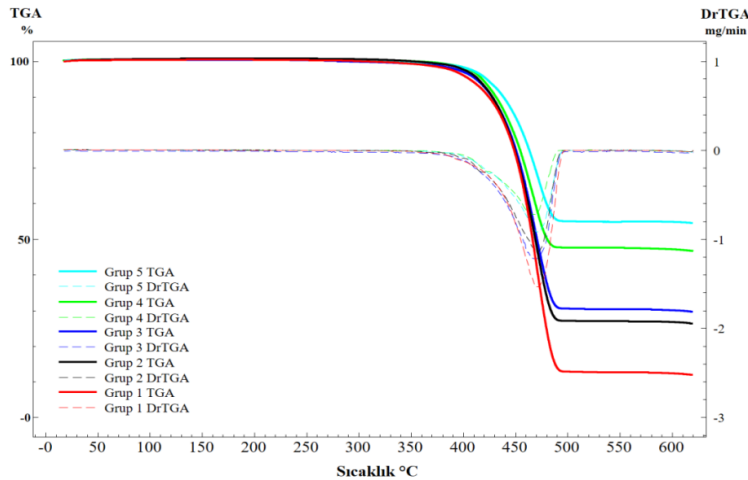
Atık plastik ve atık cam tozu karışımı kompozitlerin DSC analizi sonrasında elde edilen erime sıcaklığı ( $T_m$ ), kristalizasyon sıcaklığı ( $T_c$ ) ve kristalizasyon entalpisi ( $E_c$ ) değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Atık plastik içerisine eklenen atık cam tozu P1 (DDYPE) polimerinin erime ve kristalizasyon sıcaklıklarını çok fazla etkilememiştir. Atık plastiğe atık cam tozunun ağırlıkça %15'ten daha fazla oranda eklenmesi durumunda ise P1 polimerinin kristalizasyon entalpisi azalmıştır. Atık plastik içerisine cam tozu eklenmesinin P2 (PP) polimerinin erime ve kristalizasyon sıcaklıkları üzerinde genel olarak çok fazla etkisi olmamıştır. DSC analizlerinde sadece %15 atık cam tozu katkıli kompozite ait ikinci polimerin (P2) erime ve kristalizasyon değerlerinde çok az değişiklik olmuştur. Cam tozu dolgusuz grubun (Grup 1) P2 erime sıcaklığı 160.02 °C, kristalizasyon entalpisi 1.88 J/g olarak belirlenmiş, diğer yandan atık plastiğin %15 atık cam tozu ile karıştırılmasıyla elde edilen kompozitin (Grup 2) erime sıcaklığı 157.92 °C, kristalizasyon entalpisi 2.13 J/g

olarak belirlenmiştir. Burada görülen çok az farklılığın kompozit karışımını oluşturan bileşenlerin atık malzemeler olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Polimer ve karışımlarının termal özelliklerinin incelendiği bazı çalışmalarda DDYPE'nin erime sıcaklığının yaklaşık 120 °C, PP'nin erime sıcaklığının yaklaşık ise 160 °C olduğu bildirilmiştir (Sirin vd., 2022; Scoppio vd., 2022; Bal vd., 2023). Bunlara ek olarak grupların kristalizasyon entalpilerinin cam tozu katılım oranına bağlı olarak ilk önce çok fazla etkilenmediği, cam tozu katılım oranının artışı ile birlikte entalpi değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, hızlı soğuma nedeniyle polimerlerin entalpilerinin birbiri ile örtüştüğü bildirilmiştir (Fonseca & Harrison, 1998).

**Tablo 5.** Kompozitlerin DSC analiz sonuçları  
*Table 5. DSC analysis results of composites*

Gruplar	P1			P2		
	$T_m$ (°C)	$T_c$ (°C)	$E_c$ (J/g)	$T_m$ (°C)	$T_c$ (°C)	$E_c$ (J/g)
1	121.87	106.46	0.11	160.02	115.42	1.88
2	121.23	106.65	0.11	157.92	115.24	2.13
3	121.89	106.73	0.05	159.94	115.08	1.42
4	120.80	106.35	0.05	159.21	115.48	1.22
5	122.24	106.62	0.05	160.34	115.74	0.68

Şekil 4'te atık plastik (Grup 1) ve atık cam tozu katkılı kompozitlerin (Grup 2-3-4-5) TGA ve türev termo gravimetrik analiz (DrTGA) eğrileri gösterilmiştir. TGA analizleri sonucunda elde edilen termogram eğrilerine göre malzemelerin tamamının tek bozunma bölgesinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu bozunma eğrisinin ise poliolefinlerin TGA analizleri sonucu görülen tipik bozunma eğrileri ile benzer oldukları anlaşılmıştır. Gruplara ait termogram eğrilerinin incelenmesi sonucunda çalışmada kullanılan polimerin içerisinde termal olarak kararlı bir maddenin veya inorganik bir maddenin olduğu anlaşılmıştır. Önceki çalışmalarda plastik sandalye üretiminde dolgu malzemesi olarak genellikle kalsiyum karbonat gibi inorganik maddelerin kullanıldığı bildirilmiştir (Xanthos, 2005; Srivabut vd., 2021; Aliev vd., 2023). Bu çalışmada kullanılan polimerin plastik sandalye atıkları olması ve plastik sandalye üretiminde de kalsiyum karbonat gibi inorganiklerin dolgu maddesi amacıyla kullanılmalrı, TGA analizi sonrasında arta kalan madde miktarının saf polimerlerinkine kıyasla daha fazla görölme nedenidir. TGA sonrasında elde edilen termogram eğrilerinden kompozit karışımındaki atık cam tozu miktarının artışına bağlı olarak kalan madde miktarlarının da arttığı görülebilmektedir.



**Şekil 4.** Kompozitlerin TGA eğrileri  
*Figure 4. TGA curves of composites*



Atık plastik ve atık cam tozu katkılı kompozitlere ait TGA değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Atık polimerin atık cam tozu ile karıştırılması sonucunda malzemelerin bozunma sıcaklıklarının genel olarak azaldığı görülmüştür. Cam tozu içermeyen atık plastiğe ait TGA değerlerinin incelenmesi sonucunda  $T_{max}$  değerinin 462.16 °C ve bozunma sonrası arta kalan madde miktarının ise yaklaşık %12 olduğu tespit edilmiştir. Tablo 6'da verilen bozunma oranlarından görülebileceği gibi kompozit karışımındaki atık cam tozu miktarının artışı ile bozunmadan kalan madde miktarlarının arttığı belirgin bir şekilde görülmektedir.

**Tablo 6.** Kompozitlerin TGA değerleri

*Table 6. TGA values of composites*

Gruplar	$T_{max}$ (°C)	$T_{onset}$ (°C)	$T_{endset}$ (°C)	Bozunma (%)
1	462.16	449.44	485.64	87.93
2	458.74	430.44	483.96	73.83
3	458.69	430.98	483.59	70.26
4	454.49	431.57	477.48	53.31
5	459.18	432.47	483.39	45.58

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Conclusions

Bu çalışmada, kompozit malzeme üretimi amacıyla atık plastik mobilya parçaları ve atık cam tozu kullanılarak beş farklı üretim parametresi belirlenmiş ve bu üretim parametrelerine göre kompozit malzemeler başarıyla üretilmiştir. Üretilen malzemelerin özelliklerinin tespiti için yapılan bazı fiziksel ve mekanik testler ile birlikte termal (DSC ve TGA) analizler sonrasında elde edilen verilere göre şu sonuçlar özetlenmiştir; kompozit malzemenin yoğunluk değeri, dolgu maddesi olan cam tozu miktarı arttıkça kontrol grubuna göre artmıştır. Gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlıdır. Kompozit malzemedeki dolgu maddesi miktarı arttıkça eğilme direnci ve eğilmede deformasyon azalmış, ancak eğilmede elastikiyet modülü artmıştır. Çekme testi sonunda elde edilen çekme direnci ve kopmada uzama değeri cam tozu miktarı arttıkça azalmış, ancak çekmede elastikiyet modülü artmıştır. DSC analizi sonuçlarına göre kompozit malzeme üretiminde kullanılan atık plastiğin iki farklı polimerin (DDYPE ve PP) karışımı olduğu anlaşılmıştır. TGA sonuçlarına göre plastik içerisine atık cam tozu eklenmesi, malzemelerin termal ayrışma sıcaklıklarını kısmen azaltmıştır. TGA sonuçlarına göre kompozit karışımındaki cam tozu oranının artışına bağlı olarak bozunmadan kalan madde miktarı kademeli olarak artmıştır.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

**Bekir Cihad BAL:** Araştırma konusunun belirlenmesi, çalışma planının oluşturulması, fiziksel ve mekanik testlerin yapılması, verilerin elde edilmesi, makalenin yazılması, makalenin yayınlanması. **Nasır NARLIOĞLU:** Araştırma konusunun belirlenmesine ve çalışma planının oluşturulmasına yardımcı olmak, termal testlerin yapılması, verilerin elde edilmesi, makalenin yazılması ve makalenin düzenlenmesi.

#### Etik beyanı

##### Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

#### Çıkar çatışması beyanı

##### Conflicts of interest

Bu çalışmanın yazarları, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

**Kaynaklar***References*

- Aliev, S., Egamberdiev, E., Turabdjanov, S., Rashidov, S., Juraev, A. (2023). Role of fillers in the production of wood-polymer composites. In E3S Web of Conferences (Vol. 434, p. 02030). EDP Sciences, doi: 10.1051/e3sconf/202343402030
- Altuntaş, E., ve Arıkan, A. K. (2022). Odun-plastik kompozit malzemelerde genleştirilmiş perlit kullanımının araştırılması. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 142-154. doi:10.33725/mamad.1208112
- Altuntaş, E., Yılmaz, E., Salan, T. (2017), Investigation of the effect of high-fibrous filling material on the mechanical properties of wood plastic composites. *Turkish Journal of Forestry*, 18(3), 258-263.
- ASTM D 638., (2004). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–24s.
- ASTM D 790., (2004). *Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA. 1–9s.
- ASTM D 792, (2004), *Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement*, ASTM D 792, *Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards*, Philadelphia (2007).
- Awad, A. H., Abd El-Wahab, A. A., El-Gamsy, R., & Abdel-latif, M. H. (2019). A study of some thermal and mechanical properties of HDPE blend with marble and granite dust. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(2), 353-358. doi: 10.1016/j.asej.2018.08.005
- Bal B.C. ve Ayata Ü. (2024). Atık cam unu ve geri dönüştürülmüş polipropilen ile üretilen kompozit malzemeler üzerinde bazı yüzey özelliklerinin araştırılması, *Avrasya 10th international conference on applied sciences*, 2-5. 05.2024.Tiblis, Gürcistan.
- Bal, B. C. (2022a). Mechanical Properties of Wood-plastic Composites Produced with Recycled Polyethylene, Used Tetra Pak® Boxes, and Wood Flour, *BioResources*, 17(4), 6569-6577. doi: 10.15376/biores.17.4.6569-6577
- Bal, B. C. (2022b). Lineer düşük yoğunluklu polietilen (LDYPE) ve odun unu ile üretilen kompozit malzemenin bazı mekanik özellikleri üzerine bir araştırma. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 5(1). 40-49. doi: 10.33725/mamad.1126534
- Bal, B. C., Altuntaş, E., Narlıoğlu, N. (2023). Some selected properties of composite material produced from plastic furniture waste and wood flour. *Furniture and Wooden Material Research Journal*, 6(2). 233-244. doi: 10.33725/mamad.1384214
- Berger, M. J., & Stark, N. M. (1997). Investigations of species effects in an injection-molding-grade, wood-filled polypropylene, *In The fourth international conference on wood fiber-plastic composites (pp. 19-25)*.
- Bhaskar, K. B., Devaraju, A., & Paramasivam, A. (2021). Experimental investigation of glass powder reinforced polymer composite. *Materials Today: Proceedings*, 39, 484-487.
- Çavus, V. (2020). Selected properties of mahogany wood flour filled polypropylene composites: the effect of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP). *BioResources*, 15(2), 2227-2236. doi: 10.15376/biores.15.2.2227-2236
- Essabir, H., Bensalah, M. O., Bouhfid, R., & Qaiss, A. (2014). Fabrication and characterization of apricot shells particles reinforced high density polyethylene based bio-composites: mechanical and thermal properties. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 8(3), 344-351. doi: 10.1166/jbmb.2014.1447
- Fiore, V., Botta, L., Scaffaro, R., Valenza, A., & Pirrotta, A. (2014). PLA based biocomposites reinforced with Arundo donax fillers. *Composites Science and Technology*, 105, 110-117. doi: 10.1016/j.compscitech.2014.10.005
- Fonseca, C. A., & Harrison, I. R. (1998). An investigation of co-crystallization in LDPE/HDPE blends using DSC and TREF. *Thermochimica Acta*, 313(1), 37-41. doi: 10.1016/S0040-6031(97)00465-6

- Heriyanto, Pahlevani, F., & Sahajwalla, V. (2018). Waste glass powder–Innovative value-adding resource for hybrid wood-based products. *Journal of cleaner production*, 195, 215-225, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.205
- Matuana, L. M., Stark, N. M. (2015). The use of wood fibers as reinforcements in composites, in: *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, Woodhead Publishing, Swaston, UK, pp. 648-688.
- Mustapha, K., Ayinla, R., Ottan, A. S., & Owoseni, T. A. (2020). Mechanical properties of calcium carbonate/eggshell particle filled polypropylene Composites. *MRS Advances*, 5(54-55), 2783-2792.
- Narlıoğlu, N. (2021). Grgen (*Carpinus betulus* L.) odunu zımpara tozunun termoplastik kompozit üretiminde değerlendirilmesi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 9-18. doi:10.33725/mamad.927157
- Narlıoğlu, N., Çetin, N. S., & Alma, M. H. (2018). Karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 38-45. doi: 10.33725/mamad.433532
- Özmen, N., Çetin, N. S., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., Altuntaş, E. (2014). MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi. *SD Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 65-71.
- Sadik, W. A., El-Demerdash, A. G. M., Abokhateeb, A. E., & Elessawy, N. A. (2021). Innovative high-density polyethylene/waste glass powder composite with remarkable mechanical, thermal and recyclable properties for technical applications. *Heliyon*, 7(4), doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06627
- Saikrishnan, S., Jubinville, D., Tzoganakis, C., & Mekonnen, T. H. (2020). Thermo-mechanical degradation of polypropylene (PP) and low-density polyethylene (LDPE) blends exposed to simulated recycling. *Polymer Degradation and Stability*, 182, 109390, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2020.109390
- Scoppio, A., Cavallo, D., Mller, A. J., & Tranchida, D. (2022). Temperature modulated DSC for composition analysis of recycled polyolefin blends. *Polymer Testing*, 113, 107656, doi:10.1016/j.polymertesting.2022.107656
- Sirin, M., Zeybek, M. S., Sirin, K., & Abali, Y. (2022). Effect of gamma irradiation on the thermal and mechanical behaviour of polypropylene and polyethylene blends. *Radiation Physics and Chemistry*, 194, 110034, doi: 10.1016/j.radphyschem.2022.110034
- Srivabut, C., Ratanawilai, T., Hizirolu, S. (2021). Statistical modeling and response surface optimization on natural weathering of wood -plastic composites with calcium carbonate filler. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(4), 1503-1517, doi: 10.1007/s10163-021-01230-7
- Stark, N. M., & Matuana, L. M. (2004). Surface chemistry and mechanical property changes of wood-flour/high-density-polyethylene composites after accelerated weathering. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(6), 2263-2273.
- Sun, Z., Ma, Y., Xu, Y., Chen, X., Chen, M., Yu, J., Hu, Shuchun., & Zhang, Z. (2014). Effect of the particle size of expandable graphite on the thermal stability, flammability, and mechanical properties of high-density polyethylene/ethylene vinyl-acetate/expandable graphite composites. *Polymer Engineering & Science*, 54(5), 1162-1169. doi:10.1002/pen.23659
- Xanthos, M. (2005). Calcium carbonate. *Functional Fillers for Plastics*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 271-284, doi: 10.1002/3527605096
- Zhang, S., Cao, X. Y., Ma, Y. M., Ke, Y. C., Zhang, J. K., & Wang, F. S. (2011). The effects of particle size and content on the thermal conductivity and mechanical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/high density polyethylene (HDPE) composites. *Express Polymer Letters*, 5(7), 581-590.