

# Mermer Atıklarının Düz Presleme Yöntemiyle Üretilen Odun Plastik Kompozitlerinde Değerlendirilmesi

Sefa Durmaz<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Ormanlık Bölümü, Kavaklıdere Meslek Yüksekokulu, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

## Makale Tarihiçesi

Gönderim: 08.03.2022

Kabul: 23.06.2022

Yayın: 15.08.2022

## Araştırma Makalesi



**Öz** – Bu çalışmada, dünya rezervlerinin önemli bir kısmı ülkemizde olan mermer cevherinin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıkların odun plastik kompozitlerinin (OPK) üretiminde değerlendirilmesi incelenmiştir. Bu amaçla farklı oranlarda mermer atıkları (%0, 10, 15, 20, 25, 30) odun ve plastik ile karıştırılarak düz presleme yöntemiyle OPK üretimi gerçekleştirilmiştir. Mermer atıklarının OPK'nın bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu amaçla levhaların su alma ve kalınlığa şişme değerine bakılmıştır. Odun unu oranının azalması hidrofobik karakterde bir yapının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Böylece artan mermer atığı oranı su alma ve kalınlığa şişme değerlerini önemli oranda iyileştirmiştir. Bunun aksine mermer atıkları mekanik özelliklerin azalmasına neden olmuştur. Eğilme direnci ve vida tutma direnci değerlerinde sırasıyla %26 ve %38'e varan azalmalar meydana gelmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü ise önce düşmüş ardından artışa geçmiştir. Çekme direnci değerlerinde meydana gelen kayıp ise daha düşük olmuştur. LOI test sonuçları mermer atıklarının yanma direncini artırdığını göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Mermer atıkları, OPK, fiziksel ve mekanik özellikler, LOI

# Evaluation of Marble Waste in Wood Plastic Composites Produced by Flat Pressing Method

<sup>1</sup>Department of Forestry, Kavaklıdere Vocational School, Muğla Sıtkı Koçman University, Muğla, Turkey

## Article History

Received: 08.03.2022

Accepted: 23.06.2022

Published: 15.08.2022

## Research Article

**Abstract** – In this study, the evaluation of marble wastes in the production of wood-plastic composites (WPCs) was evaluated. For this purpose, different ratios of marble waste (0, 10, 15, 20, 25, 30) were mixed with wood and plastic to produce WPCs by flat pressing method. The effects of marble waste on some physical and mechanical properties of WPCs were investigated. For this purpose, the WPCs' water absorption and thickness swelling values were examined. The decrease in the wood flour resulted with a better hydrophobic structure. Therefore, increasing marble waste improved the resistance to water absorption and thickness swelling properties significantly. On the contrary, marble wastes caused a decrease in mechanical properties. Reductions up to 26% and 38% occurred in flexural strength and screw withdrawal strength, respectively. The modulus of elasticity first decreased and then increased. The decrease in tensile strength, on the other hand, was more moderate. According to LOI test results, marble waste has also increased the flammability resistance.

**Keywords** – Marble waste, WPC, physical and mechanical properties, LOI

<sup>1</sup>  sefadurmaz@mu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. Giriş

İklim değişikliği sonucu ortaya çıkan çevresel baskılar üreticileri çevre dostu ürünler üretmeye zorlamaktadır. Aynı zamanda artan tüketici bilinci yeşil etikete sahip ürünlerin pazarlanmasını kolaylaştırmaktadır. Ağaç malzeme yenilebilir, sürdürülebilir ve biyolojik olarak bozunabilir bir malzemedir. Bu nedenle günümüzde en çok tercih edilen yapı malzemelerinden bir tanesi haline gelmiştir. Ancak artan insan popülasyonu doğal kaynakların sınırlarını zorlamakta ve giderek azalmasına neden olmaktadır. Ormanlar ekonomik sebepler, tarımsal amaçlar ya da farklı nedenlerden dolayı sürekli olarak tahrip edilmektedir (Mohamed, 2021). Son 30 yılda 178 milyon ha. ormanlık alan kaybedilmiş olup günümüzde dünya ormanlık alanı 4,06 milyar ha. kadar gerilemiştir (FAO, 2020). Bu durum günümüzde talebi giderek artan orman ve orman ürünlerinin daha verimli kullanılmasını gündeme getirmiştir.

Kompozit malzeme iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilmesiyle yeni malzemenin mevcut bileşenlerden daha iyi özelliklere sahip olması olarak tanımlanmaktadır (Pamphet, 1981). Odun bazlı kompozit malzemeler (kontrplak, yonga levha, lif levha, vb.) yapısal amaçlı veya mobilya üretiminde yıllardır kullanılmaktadır. Odun plastik kompozitleri de odun ve plastiğin birleştirilmesiyle elde edilen odun bazlı bir kompozit türüdür (Kim ve Pal, 2010). İlk başlarda termoset reçineler (fenol formaldehit vb.) ile üretilmeye başlanmış olsa da günümüzde çoğunlukla termoplastikler (polietilen, polipropilen, polivinil klorür vb.) ile üretilmektedirler. Odun plastik kompozitleri yer döşemesi, park bahçe mobilyaları, bina kaplamaları, çit, tirabzan, pencere ve kapı çerçeveleri gibi birçok kullanım yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaçamer vd., 2019; Karakuş, 2018; Kim ve Pal, 2010; Kylosov, 2007; Sozen vd., 2017; Zor vd., 2018).

Odun plastik kompozitlerinin temel bileşenlerinden bir tanesi olan plastik bir petrol türevidir. Bu nedenle oduna kıyasla plastiğin yüksek fiyatı üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Düşük fiyata sahip olan odun, dolgu maddesi olarak plastiğe eklenerek üretim maliyetlerini düşürmektedir (Rowell, 2012). Aynı zamanda doğal olması nedeniyle üretilen malzemeyi daha çevreci bir hale getirmektedir. Maliyeti düşürmesinin ve doğal olmanın yanında malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmesi, sertliğini arttırması gibi birçok olumlu özelliği de beraberinde getirmektedir (Clegg ve Colleyer, 1986). Odun liflerinden başka farklı organik (keten lifi, vb.) ve inorganik (cam lifi, karbon lifi, vb.) bileşenlerde dolgu malzemesi ya da güçlendirici olarak plastiğe eklenmektedir (Durmaz vd., 2021; Mantia vd., 2005; Razei vd., 2008). Bu şekilde odun plastik kompozitlerinin fiziksel, mekanik, termal vb. özelliklerinin iyileştirilmesi ve kullanım alanlarının arttırılması amaçlanmaktadır. Bunun yanında farklı sanayi atıkları da odun plastik karışımına eklenerek çevresel atıkların değerlendirilmesi amaçlanmaktadır (Chaharmahali vd., 2008; Guo vd., 2010).

Ülkemiz mineral bakımından zengin ülkelerden bir tanesidir (Başyigit, 2021). Bu nedenle birçok mineral ve cevher üretimi yapılmaktadır. Mermer bunlardan bir tanesi olup, ülkemiz 5,2 milyar m<sup>3</sup> ile dünya mermer rezervlerinin yaklaşık %40'ına sahiptir (Çetin, 2003). Ancak mermer üretimi sırasında %15-50 oranında toz atık oluşmaktadır (Öztürk, 2018). Toz atıklar toprak verimliliğini düşürerek ve alkalilik oranını arttırarak çevreyi olumsuz etkilemekte ve doğal yaşamı tehdit etmektedir (Sufian vd., 2021). Çeşitli çalışmalar ile mermer tozlarının değerlendirilmesine ve çevre kirliliğinin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Bayraktar vd., (2021) bazalt lifleri ile güçlendirilmiş çimento içerisine mermer tozları eklemişler ve mekanik özelliklerin iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Abdulla ve Majeed, (2021) su ile ilişkili zeminlerin su alma özelliklerini iyileştirmek için mermer tozlarını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada artan mermer tozu ilavesi ile zeminlerin şişme özelliklerinde iyileşmeler olduğunu belirtmişlerdir. Bilgin vd., (2012) mermer tozlarını tuğla yapımında katkı maddesi olarak eklemişlerdir. Yapılan çalışmada mermer tozunun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri olumlu etkilediği belirtilmiştir. Dündar vd., (2016) mermer tozunu farklı oranlarda odun plastik karışımı içerisine ekleyerek fiziksel ve mekanik özelliklerdeki değişimi incelemişlerdir. Artan mermer tozu içeriği su alma değerlerini iyileştirirken, mekanik özelliklerde azalmaya neden olmuştur. Chen vd., (2018) yapay mermer tozlarının odun plastik kompozitlerinin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerine etkisini incelemiştir. Yapay mermer tozlarının yanma direncini iyileştirdiğini, eğilme direncini arttırdığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada farklı miktarlarda mermer tozu, çam odunu ve yüksek yoğunluklu polietilen karıştırılarak düz presleme yöntemi ile odun plastik kompozitleri üretilmiştir. Düz presleme yöntemi düşük yatırım maliyeti, yüksek verimlilik ve yüksek üretim oranı gibi olumlu özelliklere sahip olması sebebiyle bu

çalışmada tercih edilmiştir (Benthien ve Thoemen, 2012). Çalışmada mermer tozunun fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca mermer tozunun yanma özelliklerine olan etkisi de limit oksijen indeksi (LOI) testi ile belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Dolgu maddesi olarak 40-60 mesh boyutunda sarıçam odunu (*Pinus sylvestris* L.) Marmara Talaş Şirketinden (İstanbul, Türkiye) temin edilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilen toz halinde hazır olarak Uçar Plastik Kimya Sanayi'nden (İzmir, Türkiye) temin edilmiştir. Yüksek yoğunluklu polietilenin yoğunluğu 0,965 g/cm<sup>3</sup>'tür. Erime akış indeksi (MFI) 5,5g/10 dk (190 °C/2,16 kg). Uyumlaştırma ajanı (Coupling agent) olarak maleik anhidrit grafte polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Uyumlaştırma ajanının yoğunluğu ve erime akış indeksi sırasıyla 0,92 g/cm<sup>3</sup> ve 3 g/10 dk (190 °C/2,16 kg)'dir. Mermer atıkları (20 mesh) yerel mermercilerden (Muğla, Türkiye) atık toz olarak temin edilmiştir.

### 2.2. Yöntem

Üretimden önce odun unu rutubeti kurutma fırınında %2 altına düşürülmüştür. Odun unu, plastik ve mermer tozu belirlenen oranlarda önce mekanik karıştırıcı (1200 dev/dk) ile karıştırılmıştır. Ardından tamburlu karıştırıcı ile (30-40 dev/dk) 5 dk boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen karışım alüminyum plaka üzerine serilmiştir. Karışımın plakalar üzerine yapışmasını engellemek için yağlı kâğıt kullanılmıştır. Taslağa 175 °C sıcaklıkta 15 dk boyunca sıcak presleme (CemilUsta SSP 125, İstanbul, Türkiye) yapılmıştır. Hedeflenen taslak yoğunluğu 1 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Paneller 500 mm x 500 mm x 4 mm boyutlarında üretilmiştir. Odun unu, plastik ve mermer tozu karışım oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Odun unu, plastik ve mermer tozu karışım oranları.

Gruplar	Odun (%)	Mermer Tozu (%)	Plastik (%)	Uyumlaştırma Ajani (%)
OU20MA30	20	30	48	2
OU25MA25	25	25	48	2
OU30MA20	30	20	48	2
OU35MA15	35	15	48	2
OU40MA10	40	10	48	2

### 2.3. OPK Levha Özelliklerinin Belirlenmesi

Levhalar fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Tablo 2'de verilen standartlara uygun şekilde CNC router yardımıyla ebatlanmıştır. Örnekler ASTM D618 standardına göre 23±2 °C ve bağıl nemi %50±5 olan iklimlendirme odasında kondisyonlanmıştır.

Su alma ve kalınlığa şişme değerleri için örneklerin ağırlıkları belirlenmiş ve birbirine değmeyecek şekilde su tankının içine yerleştirilmiştir. Örneklerin ağırlıkları 24, 72, 168 ve 336 saat arayla ölçülmüştür.

Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testi universal test makinesi kullanılarak belirlenmiştir. Kırılma anındaki en büyük kuvvetin oluşturduğu momentin atalet momentine oranlanmasıyla eğilme direnci hesaplanmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü değeri için ilgili standart dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır.

Çekme direnci testi üniversal test makinesi kullanılarak belirlenmiştir. Çekme çenelerine tutturulan örnekler maksimum yüke ulaşınca kadar sabit bir hızda zıt yönlere doğru çekilmiştir. Örneğin orta noktasından kopmasıyla kırılma anındaki en yüksek kuvvet bulunmuş ve çekme direnci hesaplanmıştır.

Tablo 2

Fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan standartlar.

Özellik	Standartlar	Örnek Boyutu
Su alma ve kalınlığa şişme	ASTM D 570-98	50 mm x 50 mm x 4 mm
Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü	ASTM D790-17	127 mm x 12.7 mm x 4 mm
Çekme direnci	ASTM D 638-14	165 mm x 19 mm x 4 mm
Vida tutma direnci	ASTM D 1037-12	50 mm x 50 mm x 4 mm
Limit oksijen indeks (LOI) testi	ASTM D 2863-19	127 mm x 12.7 mm x 4 mm

Vida tutma direnci üniversal test makinesi kullanılarak belirlenmiştir. Vida tutma direnci için vida boyutları 4.2 mm x 38 mm, başlık numarası, 4.2 mm, vida açıklığı 1.4 mm olan vidalar kullanılmıştır. Örneklere  $2.7 \pm 0.1$  mm çapında kılavuz delikleri açılmıştır. Vidalar örnek içerisine yerleştirilerek çekilmiş ve elde edilen maksimum kuvvetten yararlanılarak vida tutma direnci belirlenmiştir.

LOI testi örneklerin alevli olarak yanmaya devam edebilmesi için gerekli olan minimum oksijen miktarını belirlemektedir. Örneklerin LOI değerleri Dynisco LOI analyzer instrument (Franklin, USA) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Fiziksel Özellikler

Mermer atıklarının odun-plastik kompozitlerinin fiziksel özelliklerine olan etkisini belirlemek için su alma ve kalınlığa şişme testleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te fiziksel özelliklere ilişkin bulgular verilmiştir.

Tablo 3

Fiziksel testlere ilişkin bulgular

Gruplar	Su Alma (%)				Kalınlığa Şişme			
	24 h	72 h	168 h	336 h	24 h	72 h	168 h	336 h
OU20MA30	2,34 <sup>a</sup> (0,52)	4,83 <sup>a</sup> (0,65)	7,22 <sup>a</sup> (0,64)	8,09 <sup>a</sup> (0,45)	2,86 <sup>a</sup> (0,44)	3,17 <sup>a</sup> (0,68)	3,78 <sup>a</sup> (0,53)	4,09 <sup>a</sup> (0,27)
OU25MA25	3,88 <sup>b</sup> (0,34)	7,05 <sup>b</sup> (0,21)	9,54 <sup>b</sup> (0,57)	9,99 <sup>b</sup> (0,47)	3,42 <sup>b</sup> (0,31)	4,49 <sup>b</sup> (0,24)	4,71 <sup>b</sup> (0,43)	5,51 <sup>b</sup> (0,25)
OU30MA20	4,17 <sup>b</sup> (0,24)	7,61 <sup>b</sup> (0,33)	10,58 <sup>b</sup> (0,57)	11,14 <sup>c</sup> (0,82)	3,71 <sup>bc</sup> (0,50)	5,55 <sup>c</sup> (0,46)	6,25 <sup>c</sup> (0,21)	6,89 <sup>c</sup> (0,18)
OU35MA15	5,78 <sup>c</sup> (0,41)	9,32 <sup>c</sup> (0,39)	12,44 <sup>c</sup> (0,44)	13,12 <sup>d</sup> (0,65)	3,90 <sup>bc</sup> (0,38)	5,99 <sup>cd</sup> (0,43)	6,58 <sup>cd</sup> (0,32)	7,24 <sup>cd</sup> (0,68)
OU40MA10	5,90 <sup>cd</sup> (0,65)	10,06 <sup>cd</sup> (1,14)	13,06 <sup>c</sup> (1,19)	14,06 <sup>d</sup> (1,01)	4,13 <sup>cd</sup> (0,41)	6,35 <sup>d</sup> (0,54)	7,05 <sup>d</sup> (0,64)	7,94 <sup>de</sup> (0,54)
OU50MA0	6,51 <sup>d</sup> (0,70)	10,90 <sup>d</sup> (1,21)	14,23 <sup>d</sup> (1,25)	15,35 <sup>e</sup> (1,26)	4,48 <sup>d</sup> (0,39)	7,41 <sup>e</sup> (0,61)	8,60 <sup>e</sup> (0,62)	8,74 <sup>e</sup> (0,61)

Not: Parantez içerisindeki veriler standart sapmayı göstermektedir, farklı harfler (a, b, c, d, e) istatistiksel olarak farklılık ( $p < 0.05$ ) olduğunu göstermektedir.

Mermer atıklarının üretime eklenmesiyle fiziksel özelliklerde iyileşme meydana geldiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre 24 saatin sonunda su alma değerlerinde %65'e varan, kalınlığa şişme değerlerinde %36'ya varan azalma meydana gelmiştir. Bu durum 336 saatin sonun su alma için %47, kalınlığa şişme için %53 olmuştur. Odunun hücre yapısında bulunan hidroksil grupları su molekülleri ile kolaylıkla bağ yapabilmektedir (Ayrılmis vd., 2011). Bu durum lif doygunluk noktasına kadar (~%28) odunun boyut değiştirmesine neden olmaktadır. Mermer atıklarının kompozit içerisindeki miktarının artırılması odun miktarı azaltmıştır. Böylece odun-su ilişkilerinin daha sınırlı kalmasıyla boyut değiştirme ve su alma değerleri azalmıştır.

### 3.2. Mekanik Özellikler

Mermer atıklarının odun plastik kompozitlerinin mekanik özelliklerine olan etkisini belirlemek için eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve vida tutma direnci testleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 4'te mekanik özelliklere ilişkin elde edilen bulgular verilmiştir. Mermer atıklarının eklenmesiyle mekanik özelliklerde düşüş meydana gelmiştir. Artan mermer atığı içeriği eğilme direncinde %26'ya kadar düşüşe neden olmuştur. Odunun polar, plastiğin apolar yapısı nedeniyle odun plastik kompozitlerinde uyumsuzluk zaten mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir (Kim ve Pal, 2010). Mermer atığı ilavesiyle bu uyumsuzluk daha da artmış ve mekanik özelliklerin daha fazla olumsuz etkilenmesine neden olmuştur. En yüksek eğilme direnci değeri kontrol örneğinden sonra %10 mermer atığı içeren levhalardan elde edilirken, en düşük değer %30 mermer atığı içeren levhalardan elde edilmiştir. Ancak %20 ve üzeri mermer atığı içeren levhaların eğilme direnci değerleri arasında çok fazla bir fark olmaması dikkat çekmektedir. İstatistiksel olarak farklılıklar olsa da en önemli ayırım %10'dan sonra oluşmuştur. Farklı olarak Chen vd., (2018) artan yapay mermer tozu ilavesinin eğilme direnci değerlerini arttırdığını belirtmiştir. Eğilme direncinden farklı olarak eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde önce düşüş meydana gelmiş ardından değerlerin arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde DüNDAR vd., (2016) mermer tozlarının polipropilen bazlı odun plastik kompozitlerinin eğilmede elastikiyet değerlerini olumlu etkilediğini belirtmiştir. Sadece %10 ve %30 mermer atığı içeren levha gruplarında eğilmede elastikiyet modülü değerleri kontrole göre düşük çıkmıştır. Artan mermer atığı içeriği eğilmede elastikiyet modülü değerlerini %5'e kadar arttırmıştır. En yüksek eğilmede elastikiyet modülü değeri %25 mermer atığı içeren levha grubunda bulunmuştur.

Tablo 4.  
Mekanik testlere ilişkin bulgular

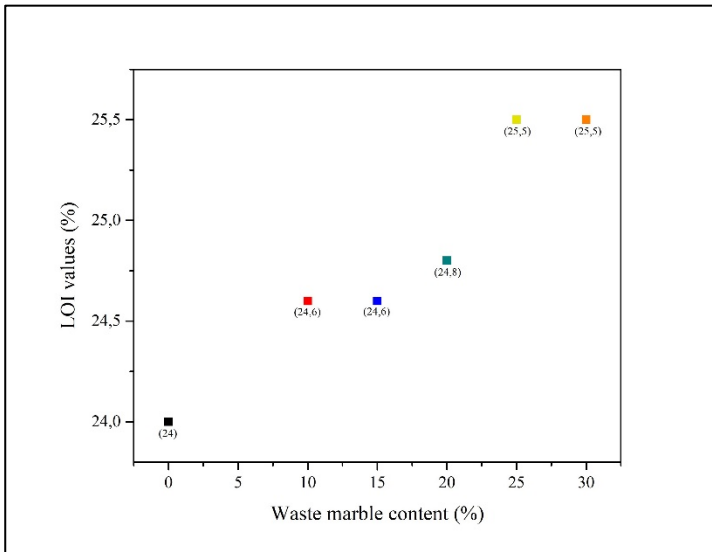
Gruplar	Eğilme Direnci (MPa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Çekme Direnci (MPa)	Vida Tutma Direnci (MPa)
OU20MA30	24,52 <sup>a</sup> (0,49)	2477 <sup>a</sup> (118)	11,66 <sup>a</sup> (0,66)	103,00 <sup>a</sup> (8,28)
OU25MA25	25,23 <sup>ab</sup> (0,90)	2789 <sup>c</sup> (66)	11,71 <sup>a</sup> (0,37)	152,00 <sup>b</sup> (7,04)
OU30MA20	25,45 <sup>ab</sup> (0,92)	2745 <sup>bc</sup> (122)	12,01 <sup>ab</sup> (0,55)	153,00 <sup>bc</sup> (7,03)
OU35MA15	25,75 <sup>b</sup> (0,64)	2694 <sup>bc</sup> (119)	12,20 <sup>ab</sup> (0,53)	162,00 <sup>bcd</sup> (11,79)
OU40MA10	31,54 <sup>c</sup> (1,53)	2563 <sup>a</sup> (52)	12,45 <sup>b</sup> (0,63)	163,60 <sup>cd</sup> (5,31)
OU50MA0	33,19 <sup>d</sup> (1,57)	2658 <sup>b</sup> (139)	12,80 <sup>c</sup> (0,68)	167,20 <sup>d</sup> (5,07)

Eğilme direnci sonuçlarına benzer şekilde mermer atığı ilavesinin çekme direnci değerlerini de olumsuz etkilediği görülmektedir. Ancak eğilme direnci sonuçlarından farklı olarak çekme direnci değerlerindeki düşüş daha sınırlı kalmıştır. Artan mermer atığı içeriği çekme direnci değerlerinde %9'a kadar düşüşe neden olmuştur. En yüksek çekme direnci kontrol grubunda bulunurken, en düşük değer %30 mermer atığı içeren levha grubunda bulunmuştur. İstatistiksel olarak bakıldığında kontrol örneği dışında homojenlik grupları arasındaki farklılığın sınırlı kaldığı görülmektedir. Odun plastik kompozitlerini oluşturan bileşenler arasındaki uyumsuzluk yük anında ortaya çıkan gerilimin iyi bir şekilde iletilmesini engellemekte ve bu

durum mekanik özelliklerin düşmesine neden olmaktadır (Klasov, 2007). Çekme direncine benzer şekilde vida tutma direncinde de düşüş kaçınılmaz olmuştur. Odunun lifli yapısı vida dişlerinin tutunmasını arttırmakta ve vida tutma direncinin daha yüksek elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak mermer atığı sert yapısı nedeniyle tutunmayı güçleştirmekte ve direnç değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Tablo 2’de verilen sonuçlar dikkat alındığında vida tutma direnci %38’e kadar düşmüştür. En yüksek vida tutma direnci kontrol örneğinden sonra %10 mermer atığı içeren levha grubunda bulunurken, en düşük değer %30 mermer atığı içeriğinde bulunmuştur. Ancak istatistiksel olarak bakıldığında %15 mermer atığı içeriğine kadar anlamlı bir farklılık görülmemektedir. Vida tutma değerleri incelendiğinde de önemli derecede azalma diğer gruplardan farklı olarak %30 mermer atığı içeren levha grubunda bulunmuştur.

### 3.3. LOI Testi

Mermer atıklarının odun plastik kompozitlerinin yanma özelliklerine etkisi LOI testi ile belirlenmiştir. Şekil 1’de LOI değerlerine ilişkin veriler verilmiştir. LOI değerleri 24 ile 25,5 arasında değişmektedir. Mermer atıklarının eklenmesi LOI değerlerini iyileştirmiştir. Plastik ve odun unu yapısı gereği yanabilmektedir. Mermer atık miktarının artması, odun unu miktarının düşmesi yanmaya karşı direnci arttırmıştır. En yüksek yanma değerleri %30 mermer atığı içeren levha grubunda bulunurken, en düşük değer mermer atığı içermeyen kontrol grubunda bulunmuştur. Ayrıca mermer atığı ilavesi plastiğin damlamasını azaltırken, kömürleşme (char) oranını da arttırmıştır. Chen vd. (2018) yapay mermer tozu atık oranı arttıkça LOI değerlerinin önemli oranda arttığını ifade etmiştir. Yapay mermer tozu içeriğinin bozunma sırasında ısıyı engellediği ve oksijen izolasyonu ile yanma değerlerini iyileştirmiş olabileceğini ifade etmiştir.



Şekil 1. LOI test sonuçları (%)

### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı oranlardaki mermer atıklarının düz presleme yöntemiyle üretilen odun plastik kompozitlerinin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Odunun yapısında bulunan serbest hidroksil grupları su molekülleri ile kolayca bağ yapabilmektedir. Artan mermer atığı oranıyla beraber matris içerisindeki odun oranı düşmüş ve suyla olan ilişki azalmıştır. Buna bağlı olarak su alma ve kalınlığa şişme değerlerinde önemli oranda iyileşmeler sağlanmıştır. Mermer atığı içermeyen kontrol grubunda su alma ve kalınlığa şişme değerleri hızla artarken, %30 mermer atığı içeren levha grubunda bu değişim daha sınırlı kalmıştır. Bu durumun aksine mekanik özelliklerde önemli kayıplar meydana geldiği söylenebilir. Odun ve plastik arasındaki uyumsuzluk zaten mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir. Ayrıca eklenen mermer atıklarının, OPK’yı oluşturan bileşenler arasındaki bağ yapabilmeye oranını sınırladığı ve bu durumun mekanik özelliklerde azalmaya neden olduğu düşünülmektedir. Bunun aksine mermer atığı ilavesi ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde bir miktar iyileşme sağlanmıştır. Eğilme direncinde %26, çekme direncinde

%9'a varan azalmalar meydana gelmiştir. Benzer şekilde birleştirme elemanları için önemli olan vida tutma direncinde de artan mermer atığı içeriğiyle %38'e varan azalma tespit edilmiştir. LOI testi sonuçlarına göre artan mermer atığı içeriği odun plastik kompozitlerini yangına karşı dayanıklı hale getirmiştir. En yüksek LOI test değeri %25 ve %30 mermer içeriği olan levha gruplarında bulunmuştur. Mermer doğası gereği alev alan bir yapıya sahip değildir. Bu nedenle levha içerisinde ısının dağılmasını ve yanmanın geciktirilmesine katkı sağlamıştır. Mermer atıkları yüksek mekanik özelliklere ihtiyaç duyulmayan, yanmanın önemli olduğu, dış ortam koşullarında kullanılabilir. Böylece önemli miktarda ortaya çıkan bir atığın değerlendirilmesi çevreye büyük bir katkı sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- Abdulla, R. ve Majeed, N. (2021). Enhancing engineering properties of expansive soil using marble waste powder. *The Iraqi Geological Journal*, 54(1), 43-53. <https://doi.org/10.46717/igj.54.1E.4Ms-2021-05-25>
- ASTM D 570-98 (2018). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D790-17 (2017). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 638-14 (2017). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 1037-12 (2020). Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 2863-19 (2019). Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index), ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Ayrilmis, N., Benthien, J.T., Thoemen, H. Ve White, R.H. (2011). Properties of flat-pressed wood plastic composites containing fire retardants. *Journal of Applied Polymer Science*, 122(5), 3201-3210. <https://doi.org/10.1002/app.34346>
- Başıyigit, M. (2021). Can Google Trends improve the marble demand model: A case study of USA's marble demand from Turkey. *Resources Policy*, 72, 102073. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102073>
- Bayraktar, O.Y., Kaplan, G., Gencel, O., Benli, A. ve Sutcu, M. (2021). Physico-mechanical, durability and thermal properties of basalt fiber reinforced foamed concrete containing waste marble powder and slag. *Construction and Building Materials*, 288, 123128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123128>
- Benthien, J.T. ve Thoemen, H. (2012). Effects of raw materials and process parameters on the physical and mechanical properties of flat pressed WPC panels. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(4), 570-576. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.12.028>
- Bilgin, N., Yeprem, H.A., Arslan, SÖNMEZ., Bilgin, A., Günay, E. ve Marşoglu, M. (2012). Use of waste marble powder in brick industry. *Construction and Building Materials*, 29, 449-457. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.011>
- Çetin, T. (2003). Türkiye mermer potansiyeli, üretimi ve ihracatı. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 23(3), 243-256. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/77362>
- Chaharmahali, M., Tajvidi, M. ve Najafi, S.K. (2008). Mechanical properties of wood plastic composite panels made from waste fiberboard and particleboard, *Polymer Composites*, 29(6), 606-610. <https://doi.org/10.1002/pc.20434>
- Chen, H., He, H., Tian, S. ve Chen, S. (2018). Recycling of waste artificial marble powder in HDPE-wood composites. *Polymer Composites*, 39(7), 2347-2355. <https://doi.org/10.1002/pc.24215>
- Clegg, D.W. ve Collyer, A.A. (1986). *Mechanical properties of reinforced thermoplastics*. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers LTD. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-009-4193-9?noAccess=true>
- Dundar, T., Ayrilmis, N., Akkus, M. ve Ulay, G. (2016). Effect of the marble powder and wood powder content on the technological properties of thermoplastic composites. *International Scientific Journal Machines. Technologies. Materials.*, 10(6), 13-16. Erişim adresi:

- <https://stumejournals.com/journals/mtm/2016/6/13.full.pdf>
- FAO (2020). The State of the World's Forests 2020. Erişim adresi: <https://www.fao.org/3/ca8642en/ca8642en.pdf>
- Guo, J., Tang, Y. ve Xu, Z. (2010). Performance and thermal behavior of wood plastic composite produced by nonmetals of pulverized waste printed circuit boards, *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 203-207. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.02.080>
- Kaçamer, Ö.G.S., Budakçı, M. ve Kap, Ö.Ü.T. (2019). Odun Plastik Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Malzemelerle İlgili Türkiye’de Yapılan Çalışmalar. *International Marmara Sciences and Social Sciences Congress*, (pp. 526-534). Kocaeli, Turkey.
- Karakuş, K. (2008). *Üniversitemizdeki Polietilen ve Polipropilen Atıkların Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Kim, J. K. ve Pal, K. (2010). *Recent advances in the processing of wood-plastic composites*. London-New York: Springer. Erişim adresi: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-14877-4>
- Klyosov, A.A. (2007). *Wood-plastic composites*. New Jersey: John Wiley and Sons. Erişim adresi: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470165935>
- Mantia, F.L., Morreale, M. ve Ishak, Z.M. (2005). Processing and mechanical properties of organic filler–polypropylene composites. *Journal of applied polymer science*, 96(5), 1906-1913. <https://doi.org/10.1002/app.21623>
- Mohamed, M.A. (2021). An assessment of forest cover change and its driving forces in the syrian coastal region during a period of conflict, 2010 to 2020. *Land*, 10(2), 191. <https://doi.org/10.3390/land10020191>
- Öztürk, M. (2018). *Mermer kesiminden kaynaklanan çevre kirliliği ve önlemleri*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre ve Şehir Kütüphanesi. Ankara. Erişim adresi: [http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider\\_pdf/5mgT7FNMcjwz.pdf](http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/5mgT7FNMcjwz.pdf) (11.05.2019).
- Pamphlet, A.M.C. (1981). *Engineering Design Handbook: Discontinuous Fiberglass Reinforced Thermoplastics*. Alexandria: US Army Materiel Development and Readiness Command.
- Rowell, R.M. (2012). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. USA: CRC press. Erişim adresi: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b12487/handbook-wood-chemistry-wood-composites-roger-rowell>
- Sözen, E., Aydemir, D. ve Zor, M. (2017). The effects of lignocellulosic fillers on mechanical, morphological and thermal properties of wood polymer composites. *Drvna industrija*, 68(3), 195-204. <https://doi.org/10.5552/drind.2017.1709>
- Sufian, M., Ullah, S., Ostrowski, K.A., Ahmad, A., Zia, A., Śliwa-Wieczorek, K. ve Awan, A.A. (2021). An experimental and empirical study on the use of waste marble powder in construction material. *Materials*, 14(14), 3829. <https://doi.org/10.3390/ma14143829>
- Zor M., Kiziltas, A., Wang, L. ve Gardner, D.J. (2018). Heat treated wood-filled styrene maleic anhydride (SMA) copolymer composites. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(2), 203-214. <https://doi.org/10.17475/kastorman.371198>