

## Polimer Kompozitlerde Ahşap Atığı Tozu İkamesinin Etkileri: Mekanik ve Fiziksel Özellikler

Mehmet Nuri KOLAK<sup>1</sup>, Hasan POLAT<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, 12000 Bingöl, Türkiye

<sup>2</sup>Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 12000 Bingöl, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author  
E-mail: hpolat@bingol.edu.tr

*Araştırma Makalesi/Research Article*  
*Geliş Tarihi/Received: 19.09.2024*  
*Kabul Tarihi/Accepted: 15.11.2024*

### ÖZ

Yapılan bu çalışmada, MDF malzemesinin planya atığı olan, ahşap atığı tozunun (AAT) polimer kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanım potansiyelini araştırarak, kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Birinci aşamada hacimsel olarak %50 doymamış polyester reçine ve %50 standart CEN kumu kullanılarak kontrol grubu oluşturulmuştur. Daha sonra CEN kumu yerine hacimsel olarak %25, %50, %75 ve %100 oranında AAT kullanılarak benzer şekilde diğer kompozit numune grupları üretilmiştir. Üretilen polimer kompozit numunelerin yoğunluk, su emme, porozite, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve UL94 dikey yanma testi özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak AAT ikamesi ile birlikte yoğunluk, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı azalırken su emme ve porozite değerlerinde artış tespit edilmiştir. Kontrol grubu dahil tüm kompozit numune grupları UL94 dikey yanma testinde V<sub>0</sub> özellikleri taşımaktadır. Bu çalışma, AAT'nin polimer kompozitlerde düşük maliyetli bir dolgu malzemesi olarak potansiyel taşıdığını ve orta düzeyde mukavemet gerektiren, ancak hafif yapıdaki malzemelerin tercih edildiği uygulamalarda kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Polimer kompozitler, Planya atığı, Mekanik özellikler, UL94 test.

## Effects of Wood Waste Powder Substitution in Polymer Composites: Mechanical and Physical Properties

### ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate the potential of using wood waste powder, which is the planing waste of MDF material, as a filler material in polymer composites and to determine its effect on the physical and mechanical properties of composites. In the first stage, a control group was created using 50% unsaturated polyester resin and 50% standard CEN sand by volume. Other composite sample groups were then produced in a similar manner using 25%, 50%, 75% and 100% WWP by volume instead of CEN sand. The density, water absorption, porosity, ultrasonic transmission rate, compressive strength and UL94 vertical combustion test properties of the polymer composite samples were determined. As a result, density, ultrasound transmission rate, compressive strength decreased while water absorption and porosity values increased with WWP substitution. All composite sample groups, including the control group, have V<sub>0</sub> properties in UL94 vertical combustion test. This study demonstrated that WWP has potential as a low-cost filler material in polymer composites and can be used in applications where moderate strength is required but lightweight materials are preferred.

**Keywords:** Polymer composites, Planing Waste, Mechanical properties, UL94 test.

### Cite as;

Kolak, M.N., Polat, H. (2024). Polimer Kompozitlerde Ahşap Atığı Tozu İkamesinin Etkileri: Mekanik ve Fiziksel Özellikler, *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 5(2), 123-134. DOI: 10.53501/rteufemud.1552851

## 1. Giriş

Kompozit malzemeler, genellikle makro boyuttaki en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle elde edilerek belirli uygulama alanlarına yönelik üstün performans özellikleri kazandırılan malzemelerdir. Böylece, bileşenlerin bireysel olarak sahip olmadığı üstün mekanik, fiziksel veya kimyasal özellikler sağlanabilir (Hale, 1976; Ehrlich vd., 2008; Thule ve Shanks, 2014; Özsin vd., 2023; Kangishwa vd., 2023). Teknolojinin hızla ilerlemesi ve artan endüstriyel gereksinimler, yüksek performanslı kompozit malzemelere olan talebi her geçen gün artırmaktadır. Bununla birlikte, bu gelişmeler aynı zamanda büyük miktarlarda atık malzeme oluşumuna yol açmakta ve sürdürülebilir malzeme yönetimi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu atık malzemelerin bir kısmı çeşitli endüstriyel uygulamalarda yeniden kullanılırken, büyük bir bölümü ise düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir. Artan endüstriyel üretim sonucu mevcut çevresel kirlilik zincirine yeni bir boyut ekleyerek, küresel ekosistemler üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır (Özel ve İren, 2019; Polat vd., 2023). Daha sürdürülebilir ve yaşanabilir bir çevre oluşturabilmek için atık miktarının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Bu hedefe ulaşmak, yalnızca atık oluşumunun minimize edilmesi, geri dönüşüm ve yeniden kullanım oranlarının artırılması ve doğal kaynakların etkin ve rasyonel bir biçimde yönetilmesiyle mümkün olacaktır (Akbaş vd., 2013). Son yıllarda artan çevresel duyarlılık, hammadde kullanımının verimliliğini artırma ve atık maddelerin geri dönüştürülebilirliğini sağlama konularında çeşitli araştırmaların yapılmasına yol açmıştır.

Bu bağlamda, önemli bir atık potansiyeline sahip olan tarım ve orman endüstrisi atıkları da geri dönüşüm süreçlerinde dikkate alınan başlıca materyaller arasında yer almaktadır (Narlıoğlu vd., 2018). Bu tür atıkları yönetmek için en yaygın stratejiler kompostlama, çöplüklere atma ve açık havada yakmadır ve bu da sonuç olarak ciddi çevresel endişelere neden olur (Madrid vd., 2017). Bununla birlikte, yeni eğilimler bu tür atıkların

inşaat malzemeleri üretiminde kullanılmasının belirlenen zorluklarla başa çıkmak için uygulanabilir bir çözüm olduğunu göstermiştir (Maraveas, 2020). Bu atıkların kompozitlerde kullanımının önündeki en önemli engel bu ürünlerin yüksek su emilimidir (Das et al., 2024). Su emilimi, öncelikle nemi çeken selüloz ve hemiselüloz içeren doğal liflerin hidrofilik doğası nedeniyle meydana gelir (Zhiltsova et al., 2024). Bu atıkların polimer bağlayıcılar ile kullanılması yüksek su emilimini minimize edebilir.

Literatür çalışmasında birçok araştırmacının bu atık türlerini inşaat malzemesi üretiminde kullandığı belirlenmiştir. Naik (1999), çalışmasında çimento yerine kullandığı odun atığı külünün puzolanik mineral katkı maddesi ve çimento bazlı malzemelerde aktivatör olarak kullanım için önemli bir potansiyele sahip olduğunu bildirmiştir.

Mohamed vd. (2023), biyokompozitlerin ısı yalıtım özelliklerini geliştirerek muz kabuklarını kullandıkları çalışmalarında, muz kabuğu-polistiren kompozitlerinin kullanımının, enerji ve kaynak tüketimini azaltmak amacıyla geleneksel malzemelere alternatif olarak binalarda ısı yalıtımı için yenilikçi bir çözüm olduğunu rapor etmişlerdir.

Kolak ve Oltulu (2021), çeşitli atık malzemeler (taş yünü, cam yünü, ceviz kabuğu ve MDF tozu) kullanarak ürettikleri polimer kompozitlerin ısıl iletkenlik değerlerini incelemişlerdir. Binici vd. (2014), çalışmalarında bağlayıcı olarak epoksi reçine ve dolgu malzemesi olarak mısır koçanı kullanarak ürettikleri kompozitlerin ısıl iletkenlik özelliklerini belirlemişlerdir. Taşdemir ve Şen (2022), çalışmalarında polipropilen, üzüm sapı ve çeltik karışımları kullanarak ürettikleri kompozit numunelerin özelliklerini atık cam elyaf ilavesi ile değişimini incelemişlerdir. Nukala vd. (2022), çalışmalarında geri dönüştürülmüş ahşap ve plastik atıklardan geliştirdikleri ahşap polimer kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Novák vd. (2018), ağırlıkça %10 ile %70 arasında değişen konsantrasyonlarda geri dönüştürülmüş düşük yoğunluklu polietilen ve hurma ağacı tozu ile üretilen kompozitlerin

mekanik ve su emme özelliklerini belirlemiştir.

Gomes vd. (2015) MDF tozunu kütlece %0-20 oranlarında kullandıkları polimer bağlayıcı çalışmalarında kompozit yoğunluğu, su emme, eğilme ve çekme mukavemeti değerlerini incelemiştir. MDF içeriği arttıkça eğilme mukavemetinin azaldığı, su emiliminin ise arttığı belirlenmiştir.

Literatür taramasında görüldüğü üzere, birçok araştırmacı endüstriyel ve tarımsal atık malzemelerin kompozit malzemelerde yeniden kullanımının, geleneksel beton yapım malzemelerine olan bağımlılığı azaltabileceğini, atıkların geri kazanımını ve bertarafını sağlayarak çevresel etkileri en aza indirebileceğini vurgulamaktadır.

Bu doğrultuda gerçekleştirilen bu çalışmada, önemli bir orman endüstrisi ve mobilya sanayisi yan ürünü olan ahşap atık tozu (AAT) kullanılarak üretilen polimer kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve AAT için alternatif bir kullanım alanı oluşturulması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Polimer kompozit numunelerin üretiminde matris malzeme olarak, yoğunluğu 1,43 g/cm<sup>3</sup> olan, alev geciktirici doymamış polyester reçine tercih edilmiştir. Ayrıca reçine ve monomerin sertleşmesi için Mekp (metil etil keton peroksit) reaksiyonu hızlandırmak için kobalt oktoat kullanılmıştır. Alev geciktirici polyestere ait teknik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Alev geciktiricili polyester reçine teknik özellikler

**Table 1.** Flame retardant polyester resin technical specifications

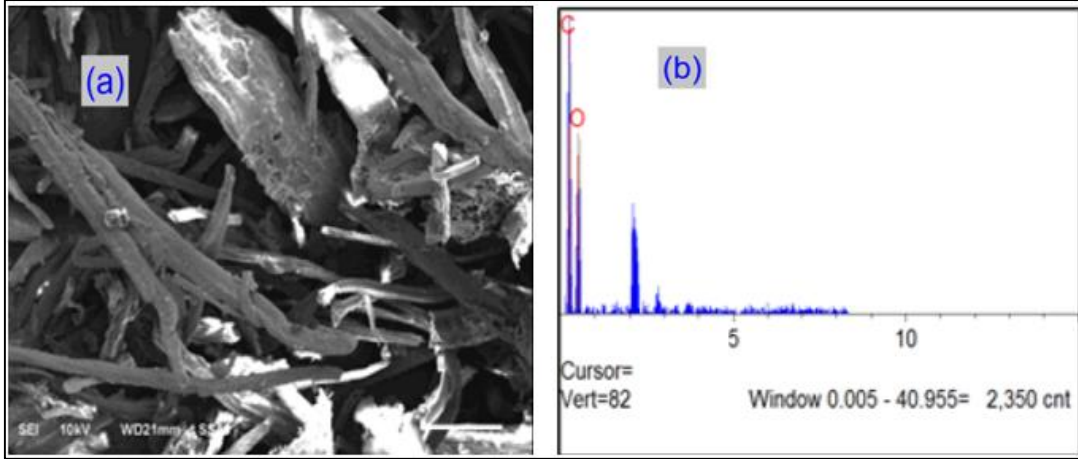
Analiz Türü	Birim	Değer
Yoğunluk, 20 °C	g/cm <sup>3</sup>	1,40-1,45
Viskozite (20 °C)	cps	2000-4000
Stiren oranı	%	28-30
Jelleşme zamanı	dk	15-25 (kış), 25-35 (yaz)
Tiksotropik İndeks		3,5-4,5
Ekzotermik ısınma	°C	110-140

Polimer kompozitlerin üretimlerinde faz malzeme olarak ise, polimer beton özelliklerinin faz malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden en az düzeyde etkilenmesi için (TS EN, 2016)’ya uygun Standart CEN kumu ve piyasadan temin edilen AAT kullanılmıştır. Çalışmada dolgu malzemesi olarak kullanılan AAT’ye ait SEM – EDX görüntüleri Şekil 1’de sunulmuştur.

SEM analizi öncesi AAT’ye altın ve paladyum kaplama uygulanmıştır. Kaplama işlemin ardından numuneler 20 kV voltajda elektron mikroskopunda incelenmiştir. AAT’nin element analizi X-ışını spektroskopisi (EDX) ile yapılmış

ve AAT’nin elementer analizi sonucunda %47,22 oranında C ve %52,7 oranında O dağılımı belirlenmiştir.

SEM görüntülerden de görüldüğü üzere, AAT yapısal olarak boşluklu bir karakter sergilemektedir. İnce taneli yapısı nedeniyle, AAT’nin yüzey alanı CEN kumuna kıyasla daha geniştir. Dolayısıyla, polimer matris miktarı sabit tutulduğunda, AAT’nin CEN kumu ile ikame edilmesi kompozitlerde daha yüksek su emilimine ve daha düşük mekanik dayanıklılığa yol açacaktır.



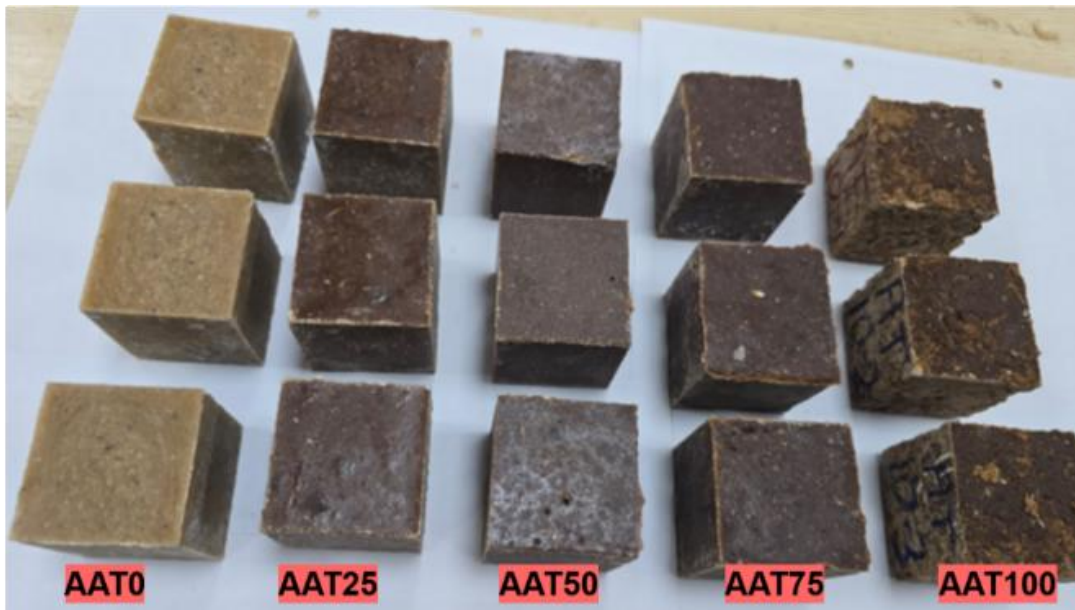
Şekil 1. a) Atık ahşap tozuna ait SEM b) EDX sonuçları  
Figure 1. SEM of waste wood dust b) EDX results

## 2.2. Yöntem ve Analizler

Yapılan çalışma polimer kompozit numunelerin üretimi iki farklı aşamada gerçekleştirildi. Birinci aşamada polimer matrisi üretildi. İlk olarak doymamış polyester reçine uygun miktarda karıştırıcı mikserle alınarak üretim esnasında hava kabarcıkların oluşumunun engellenmesi için 90 s boyunca karıştırıldı. Reçine uygun miktarda karıştırıldıktan sonra, polimer miktarının belirlenen oranında MEKP (%1) eklenerek 90 s karıştırıldı ve daha sonra kobalt (%0,2) eklenerek tekrar 90 s karıştırıldı ve toplamda 360 s karıştırma işlemi yapılarak polimer matrisi oluşturuldu. İkinci aşamada polimer matrisine

hacimce %50 oranında CEN kumu katılarak karıştırıldı ve 5x5x5 cm boyutunda kalıplara yerleştirildi. Daha sonra CEN kumu ile AAT %25, %50, %75 ve %100 oranında yer değiştirilerek diğer polimer kompozit numune grupları benzer şekilde üretildi. Üretilen tüm polimer kompozit gruplarına ait görseller Şekil 2’de sunulmuştur.

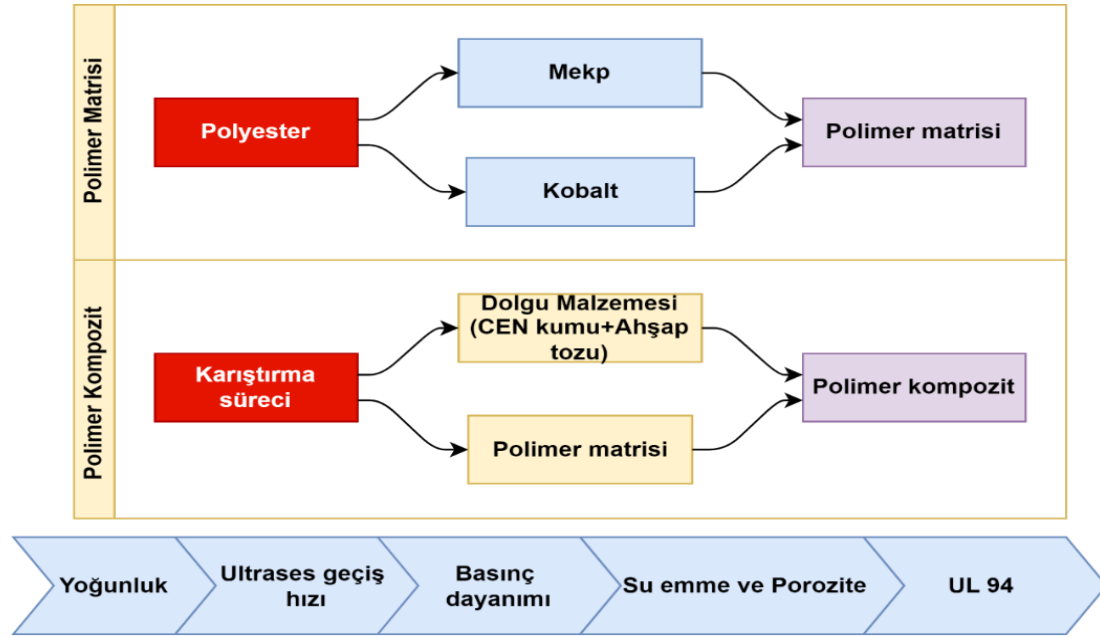
Üretilen polimer kompozit numunelerin karışım oranları Tablo 2’de ve üretim aşaması Şekil 3’te gösterilmiştir. Tablo 2’de karışım oranların tam anlaşılması için kodlama yapılmıştır. Örneğin AAT25: %25 oranında AAT içeren polimer kompozit numune grubunu göstermektedir.



Şekil 2. Üretilen polimer kompozit materyaller  
Figure 2. Produced polymer composite materials

**Tablo 2.** Polimer kompozitlerin karışım oranları (%)**Table 2.** Mixing ratios of polymer composites (%)

Kompozit Kodu	Matris Polyester	Karışım Oranları (Hacimsel %)	
		Dolgu CEN Kumu	Ahşap Atığı
AAT0	50	50	-
AAT25	50	37,5	12,5
AAT50	50	25	25
AAT75	50	12,5	37,5
AAT100	50	0	50

**Şekil 3.** Polimer kompozitlerin üretim aşamaları ve testler**Figure 3.** Production stages and tests of polymer composites

Polimer kompozit numunelerin görünür yoğunluk, su emme, porozite, ultras ses geçiş hızı, basınç dayanımı özellikleri test edildi. Fiziksel özellikler belirlenirken görünür yoğunluk, su emme ve porozite deneyleri TS EN 1170-6'ya göre Arşimet terazisi yardımıyla yapılmıştır. Deneyde kullanılan numuneler  $105 \pm 5$  °C sıcaklık altında etüvde kurularak kütle ölçümleri yapılmış ve ardından suya daldırılarak suya doymun hale getirilmiştir. Suya doymun hale getirilen numunelerin yüzeyi nemli bir bez yardımıyla kurutulduktan sonra doymun kuru yüzey kütlesi ölçülmüştür. Daha sonra Arşimet terazisinde suya daldırılan numunelerin sudaki kütleleri ölçülerek görünür yoğunluk, su emme ve porozite değerleri aşağıdaki denklemler yardımıyla belirlenmiştir.

$$\text{Görünür yoğunluk} : M_0 / (M_0 - M_1) \quad (1)$$

$$\text{Su emme} : (M_2 - M_0) / M_0 * 100 \quad (2)$$

$$\text{Porozite} : (M_2 - M_0) / (M_2 - M_1) * 100 \quad (3)$$

Burada,  $M_0$ : numunenin etüv kurusu kütlesi,  $M_1$ : numunenin sudaki kütlesi  $M_2$ : numunenin doymun kuru yüzey kütlesidir.

Ultras ses geçiş hızı testi ASTM C597-16 (1979)'a göre yapılmıştır. Ultras ses geçiş hızı testinin belirlenmesinde öncelikle numunenin ölçüm yönündeki boyutları belirlendi. Daha sonra her iki yanına yerleştirilen ses dalgalarının alıcı ve verici arasındaki geçiş süreleri belirlendi. Ultras ses geçiş hızı değerleri geçiş süresinin belirlenen ölçüm mesafesine bölünmesiyle elde edildi (Polat ve Özel, 2024). Ultras ses geçiş hızı değerlerinin

belirlenmesinde 5x5x5 cm boyutlarında üçer adet numune kullanıldı. Basınç dayanımı testi TS EN (2019)'a göre yapıldı. Basınç dayanımı testinin belirlenmesinde 5x5x5 cm boyutlarında üçer adet numune kullanıldı. Basınç dayanımı testinden 200 ton kapasiteli beton test cihazı kullanılmıştır.

UL94 dikey yanma testi TS EN (2014)'e göre yapıldı. Uygun boyuttaki numuneler UL 94 dikey yanma test aparatına yerleştirildi. Daha sonra numunelere 10s +10s alev kaynağı tutuldu. Numunelerin alev almaya başlama zamanı (s) ve

alev kaynağı çekildikten sonra kendiliğinden sönme süresi (s) ölçüldü.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Üretilen polimer kompozit numune gruplarının görünür yoğunluk, su emme, porozite, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve UL94 dikey yanma özellikleri Tablo 3'de verilmiştir. Ayrıca test sonuçları ilgili başlıklar altında ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

**Tablo 3.** Polimer kompozit numunelerin test sonuçları  
*Table 3. Test results of polymer composite samples*

Karışım Kodu	Görünür Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Su Emme (%)	Porozite (%)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Basınç (MPa)
AAT0	1,98	0,07	0,13	3828	86,74
AAT25	1,67	0,1	0,17	3475	86,09
AAT50	1,61	0,11	0,18	3358	84,85
AAT75	1,53	0,13	0,2	3213	79,64
AAT100	1,52	0,55	0,83	3179	77,6

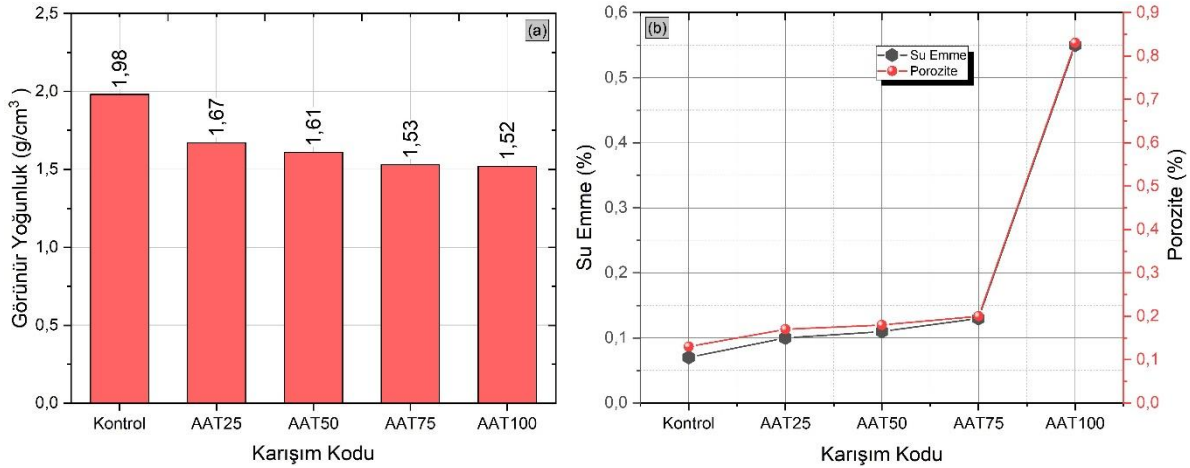
#### 3.1. Görünür Yoğunluk, Su Emme ve Porozite Deney Sonuçları

Kompozit numunelerin yoğunluk değerleri Şekil 4a'da sunulmuştur. Kompozit karışım gruplarının görünür yoğunlukları 1,52-1,98 g/cm<sup>3</sup> arasında değişim göstermiştir. En düşük görünür yoğunluk değeri AAT100 kodlu numunede 1,52 g/cm<sup>3</sup> olarak gözlenirken en yüksek görünür yoğunluk kontrol numunesinde 1,98 g/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Kompozit karışım gruplarında AAT ikamesinde numunelerin görünür yoğunluklarında azalma görülmüştür. Literatürde hafif agrega kullanılan çalışmalarda (Sengül vd., 2011; Gençel vd., 2016) benzer sonuçlar bildirmişlerdir.

Kompozit numunelerin su emme ve porozite değerleri Şekil 4b'de gösterilmiştir. Şekil 4b'de gösterilen su emme ve porozite deney sonuçları incelendiğinde kontrol numunesinin su emme oranlarının çok düşük olduğu gözlenirken AAT ikamesiyle birlikte kompozit numunelerin su emme ve porozite oranlarının yükseldiği belirlenmiştir.

En yüksek su emme ve porozite AAT100 kodlu numunede sırasıyla %0,55 ve %0,83 oranlarında belirlenmiştir. AAT düşük oranlardaki ikamesinde su emme ve porozitede kısmen küçük değişimler (%43-86) gözlenirken %100 oranındaki ikamede kontrol numunesine göre %686 oranında değişim görülmüştür.

AAT ikamesinin su emme ve porozite bakımından olumsuz görülmesine karşın su emme ve porozite oranlarının tüm numunelerde düşük kaldığı gözlenmiştir. Bu durum tüm numunelerde polimer miktarının yüksek olması ile ilişkilendirilmiştir. AAT100 kodlu numunede değişimin fazla olması, ilgili numunede su emilimi düşük olan CEN kumu yerine su emilimi yüksek olan AAT'nin fazla olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Toz içeren hafif malzemelerin su emilimleri daha yüksektir. Benzer sonuçlar önceki çalışmalarda da ifade edilmiştir (De Faries vd., 2009; Binici vd., 2020). Şekil 1'de ki SEM görüntülerinden de anlaşılacağı üzere, AAT boşluklu bir yapıya sahiptir. Bu boşluklu yapı, AAT ikamesinin yüksek su emilimi ve porozite üzerindeki etkisini açıklamaktadır.



Şekil 4. a) Görünür yoğunluk b) Su emme ve porozite deney sonuçları

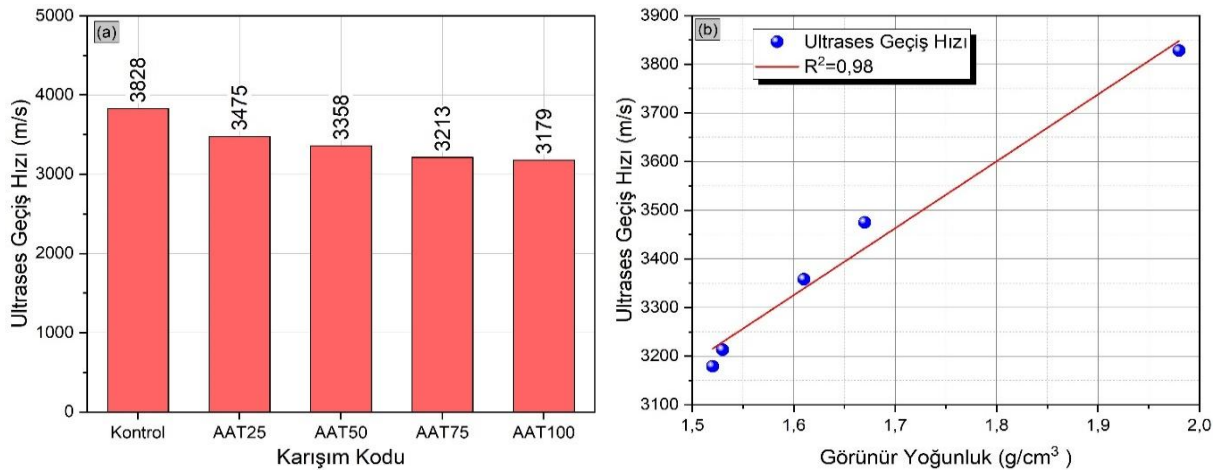
Figure 4. a) Test results of apparent density b) Water absorption, and porosity analysis

### 3.2. Ultrases Geçiş Hızı Test Sonuçları

Ultrases geçiş hızı deney sonuçları Şekil 5a'da ve Ultrases geçiş hızı ile görünür yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 5b'de gösterilmiştir. AAT ikamesi ile numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerinde azalmalar görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı değerine kontrol numunesinde 3828 m/s olarak ulaşılırken en düşük ultrases geçiş hızı değerine AAT100 kodlu numunede 3179 m/s olarak ulaşılmıştır. AAT ikamesiyle üretilen numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerindeki değişimler incelendiğinde en fazla

değişim AAT100 kodlu numunede %17 azalma olarak belirlenmiştir.

AAT ikamesiyle ultrases geçiş hızı değerlerindeki azalma AAT'nin CEN kumuna göre daha boşluklu bir yapıda olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ses dalgalarının AAT boşluklarında ilerleyememesi ultrases geçiş hızı değerlerinin düşük kalmasına sebep olmuştur. Literatür çalışmalarında yoğun malzemeler yerine daha gözenekli malzemelerin kullanımında ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı bildirilmiştir (Ozbay vd., 2009; Akyuncu ve Sanliturk, 2021).



Şekil 5. a) Ultrases geçiş hızı deney sonuçları b) Ultrases geçiş hızı ve görünür yoğunluk ilişkisi

Figure 5. a) Ultrasonic pulse velocity test results b) Relationship between ultrasonic pulse velocity and apparent density

Ultrases geçiş hızı ile görünür yoğunluk arasında iyi bir korelasyon ( $R^2=0,98$ ) olduğu gözlenmiştir.

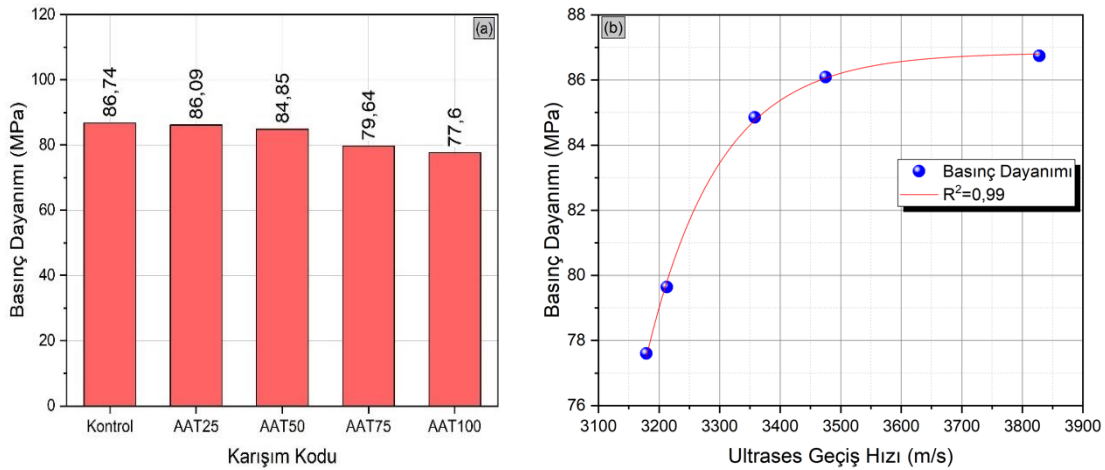
Bu durum görünür yoğunluk ve ultrases geçiş hızı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu

göstermektedir. AAT ikamesi ile numunelerde hem görünür yoğunlukta hem de ultrases geçiş hızında azalmalar gözlenmiştir. Genel olarak, görünür yoğunluğun düşmesiyle birlikte ultrases geçiş hızındaki azalma da paralel olarak artmıştır.

Kontrol numunesinde en yüksek görünür yoğunluk ( $1,98 \text{ g/cm}^3$ ) ve ultrases geçiş hızı ( $3828 \text{ m/s}$ ) değerleri gözlemlenirken, AAT100 kodlu numunede en düşük görünür yoğunluk ( $1,52 \text{ g/cm}^3$ ) ve ultrases geçiş hızı ( $3179 \text{ m/s}$ ) değerlerine ulaşılmıştır. Bu durum, görünür yoğunluk ve ultrases geçiş hızı arasında pozitif bir ilişki olduğunu, yani yoğunluk arttıkça ultrases geçiş hızının da arttığını ve yoğunluk azaldıkça ultrases geçiş hızının da düştüğünü göstermektedir.

### 3.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 6a'da gösterilmiştir. Kontrol numunesi basınç dayanımı  $86,74 \text{ MPa}$  iken AAT100 kodlu numunenin basınç dayanımı  $77,60 \text{ MPa}$  olarak belirlenmiştir. AAT ikamesinde basınç dayanımlarında kısmen azalma gözlenmiştir. Önceki çalışmalarda gözenekli malzemelerin kullanım oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı bildirilmiştir (Şengül vd., 2011; Jami vd., 2019). Basınç dayanımlarının azalması çalışmada kullanılan AAT'nin CEN kumuna göre daha boşluklu bir malzeme olmasıyla ilişkilendirilmiştir.



Şekil 6. a) Basınç dayanımı deney sonuçları b) Basınç dayanımı ultrases geçiş hızı ilişkisi

**Figure 6.** a) Compressive strength test results b) Relationship between compressive strength and ultrasonic pulse velocity

Basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki Şekil 6b'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı arasında anlamlı bir ilişki ( $R^2=0,99$ ) olduğu gözlenmiştir.

Ultrases geçiş hızı değerleri azalırken basınç dayanımı değerleri de azalmıştır. Bu sonuçlar, ultrases geçiş hızındaki düşüşün basınç dayanımı üzerinde de azalma eğilimi oluşturduğunu göstermektedir.

Ahşap partikülleri, genellikle sert mineral takviyelere kıyasla düşük basınç dayanımı gösterir. Ahşap atığı ile takviye edilen

kompozitlerde basınç dayanımı, kullanılan ahşap parçacıklarının oranı, boyutu ve ahşabın polimer matrisi ile etkileşimi gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Bu çalışmada, AAT ikame oranı arttıkça kompozitin basınç dayanımı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu durum, AAT miktarının artmasına bağlı olarak kompozit içerisindeki boşluk miktarının da artması sonucu ortaya çıkmaktadır. SEM görüntüleri ve Porozite sonuçları bu durumu desteklemektedir. Benzer sonuçlar önceki atık takviyeli çalışmalarda da ifade edilmiştir (Muthuraj vd. 2019; Binici vd., 2020; Akyuncu ve Sanliturk, 2021).



### 3.4. UL94 Dikey Yanma Testi

Üretilen kompozitlerin tamamının dikey yanma testinde kısmi tutuşma olmasına karşın tüm numunelerde alev kaynağı çekildikten sonra tutuşma 10 saniyenin altında kalmıştır. Polimer kompozit numunelerin UL94 dikey yanma testi sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Kompozitlerde kullanılan alev geciktirici polyesterde bulunan Alüminyum Hidroksit- $Al(OH)_3$  numune yüzeyinde kömürleşme meydana getirerek tutuşmayı önlemektedir. Alüminyum Hidroksitin bu özelliği literatür çalışmalarında da ifade edilmiştir (Kaya, 1998; Isitman ve Kaynak, 2012). Tutuşma oluşmadığı

için hiçbir numunede deney düzeneğinin altında bulunan pamukta düşen alev parçacıkları kaynaklı yanma gerçekleşmemiştir. Bu verilerden hareketle üretilen numuneler  $V_0$  özellikli olarak belirlenmiştir. Aydoğan ve Usta (2015)'in alev geciktiricilerin, erken bozunma sürecine girerek malzeme üzerinde bir kabuk oluşumuna yol açtığı, bu kabuğun ise malzeme ile oksijen arasındaki etkileşimi keserek yanma sürecini yavaşlattığını ifade etmişlerdir. Kontrol numunesiyle karşılaştırıldığında AAT'nin CEN kumu ile ikamesinde numunelerin alev almaya başlama zamanlarında düşüş gözlenirken kendiliğinden sönme süreleri artmıştır.

**Tablo 4.** UL94 dikey yanma testi sonuçları

**Table 4.** UL94 vertical burning test results

Numune Kodu	Alev uygulama süresi (s)	Alev almaya başlama zamanı (s)	Kendiliğinden sönme süresi (s)	Dikey yanma sınıfı
Kontrol	10+10	17	2	$V_0$
AT25	10+10	15	3	$V_0$
AT50	10+10	14	4	$V_0$
AT75	10+10	12	4	$V_0$
AT100	10+10	11	5	$V_0$

### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, alev geciktirici polyester reçine kullanılarak üretilen kompozitlerde atık AAT ikamesinin fiziksel ve mekanik özellikler üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen veriler, AAT oranının artmasıyla birlikte kompozitlerin görünür yoğunluklarında azalma meydana geldiğini göstermektedir; en düşük yoğunluk değeri  $1,52 \text{ g/cm}^3$  ile AAT100 numunesinde, en yüksek değer ise  $1,98 \text{ g/cm}^3$  ile kontrol numunesinde kaydedilmiştir. AAT ikamesinin artmasıyla kompozitlerin su emme ve porozite oranlarında da yükselme gözlemlenmiştir. En yüksek su emme (%0,55) ve porozite (%0,83) değerlerinin AAT100 numunesinde elde edilmesine rağmen, polimer matris oranının yüksekliği tüm numunelerde bu değerlerin düşük seviyelerde kalmasına katkı sağlamıştır. Ek olarak, AAT oranındaki artış, ultrases geçiş hızı değerlerinde belirgin bir azalmaya yol açmıştır; en yüksek ultrases geçiş hızı kontrol numunesinde  $3828 \text{ m/s}$  olarak

belirlenirken, AAT100 numunesinde bu değer  $3179 \text{ m/s}$  olarak ölçülmüştür. Ultrases geçiş hızındaki bu azalma, AAT'nin daha boşluklu yapısı ile ilişkilendirilmiştir. Basınç dayanımı sonuçlarına göre ise, AAT ikamesi kompozitlerin dayanımında kısmi bir düşüşe neden olmuştur; kontrol numunesinde  $86,74 \text{ MPa}$  olan basınç dayanımı, AAT100 numunesinde  $77,60 \text{ MPa}$  olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, AAT' nin kompozit üretiminde değerlendirilebilirliğini ortaya koyarken, malzemenin yapısal özellikler üzerindeki etkisini de vurgulamaktadır.

#### Yazar katkısı

**Mehmet Nuri KOLAK:** Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak. **Hasan POLAT:** Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak, Literatür taraması.

#### Finansman beyanı

Bu araştırma herhangi bir fon kuruluşundan, ticari veya kâr amacı gütmeyen sektörlerden özel bir hibe almamıştır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Etik standartlar

Bu çalışma için Etik Kurul Kararı gerekmemektedir.

### References

Akbaş, S., Güleç, T., Tufan, M., Taşçıoğlu, C., Peker, H. (2013). Fındık kabuklarının polipropilen esaslı polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1),50-56.

Akyuncu, V., Sanlitürk, F. (2021). Investigation of physical and mechanical properties of mortars produced by polymer coated perlite aggregate. *Journal of Building Engineering*, 38, 102182. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102182>

ASTM C597-16. (1979). Standard test method for pulse velocity through Concrete. Annual Book of ASTM Standard, Pennsylvania, USA.

Aydoğan, B., Usta, N. (2015). Nanokil ve kabaran alev geciktirici ilavesinin rijit poliüretan köpük malzemelerin ısı bozunma ve yanma davranışlarına etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(1), 9–18. <https://doi.org/10.17341/gummfd.50725>

Binici, H., Aksogan, O., Dincer, A., Luga, E., Eken, M., Isikaltun, O. (2020). The possibility of vermiculite, sunflower stalk and wheat stalk using for thermal insulation material production. *Thermal Science and Engineering Progress*, 18, 100567. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100567>

Binici, H., Sevinç, A.H., Eken, M., Demirhan, C. (2014). Mısır koçanı katkılı ısı yalıtım malzemesi üretimi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2), 13-26. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.24283>

Das, S., Das, P., Das, N.C., Das, D. (2024). A review of emerging bio-based constituents for natural fiber polymer composites. *The Journal of The Textile Institute*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/00405000.2023.2300592>

De Farias, M.A., Farina, M.Z., Pezzin, A.P.T., Silva, D.A.K. (2009). Unsaturated polyester composites reinforced with fiber and powder of peach palm: Mechanical characterization and water absorption profile. *Materials Science and Engineering: C*, 29(2), 510–513. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2008.09.020>

Ehrlich, H., Janussen, D., Simon, P., Bazhenov, V.V., Shapkin, N.P., Erler, C., Vournakis, J.N. (2008). Nanostructural organization of naturally occurring composites-Part II: Silica-chitin-based biocomposites. *Journal of Nanomaterials*, 2008, 670235. <https://doi.org/10.1155/2008/670235>

Gençel, O., Uygunoğlu, T., Köksal, F., Durgun, M.Y. (2016). Hafif Agregalı polimer betonların özellikleri. *Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(2), 42–50.

Gomes, J.W., Souza, L.G.M.D., Souza Filho, L.G.V.M.D. Santos, N.R. (2015). Production and characterization of polymeric composite materials using MDF waste in powder and poliester terephthalic resin. *Materials Research*, 18(Suppl 2), 25-29. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.338014>

Hale, D.K. (1976). The physical properties of composite materials. *Journal of Materials Science*, 11, 2105-2141. <https://doi.org/10.1007/BF02403361>

Isitman, N.A., Kaynak, C. (2012). Effect of partial substitution of aluminum hydroxide with colemanite in fire retarded low-density polyethylene. *Journal of Fire Sciences*, 31(1), 73–84. <https://doi.org/10.1177/0734904112454835>

Jami, T., Karade, S.R., Singh, L.P. (2019). A review of the properties of hemp concrete for green building applications. *Journal of Cleaner Production*, 239, 117852. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117852>

Kangishwar, S., Radhika, N., Sheik, A.A., Chavali, A., Hariharan, S. (2023). A comprehensive review on polymer matrix composites: material selection, fabrication, and application. *Polymer Bulletin*, 80(1), 47-87. <https://doi.org/10.1007/s00289-022-04087-4>

Kaya, M. (1998). Alev geciktirici ve duman bastırıcı katkı maddeleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(2), 77–88.

- Kolak, M.N., Oltulu, M. (2021). Atık malzeme içeren polimer bazlı kompozitlerin ısı iletkenlik özelliklerinin incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 310-320. <https://doi.org/10.29137/umagd.822265>
- Madrid, M., Orbe, A., Rojí, E., Cuadrado, J. (2017). The effects of by-products incorporated in low-strength concrete for concrete masonry units. *Construction and Building Materials*, 153, 117-128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.086>
- Maraveas, C. (2020). Production of sustainable construction materials using agro-wastes. *Materials*, 13(2), 262. <https://doi.org/10.3390/ma13020262>
- Mohamed, G.R., Mahmoud, R.K., Shaban, M., Fahim, I.S., Abd El-Salam, H.M., Mahmoud, H.M. (2023). Towards a circular economy: valorization of banana peels by developing bio-composites thermal insulators. *Scientific Reports*, 13(1), 12756. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37994-1>
- Muthuraj, R., Lacoste, C., Lacroix, P., Bergeret, A. (2019). Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*, 135, 238-245. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.053>
- Naik, T.R. (1999). Tests of wood ash as a potential source for construction materials. UWM Center for By-product Utilisation, Report No. CBU-1999-09, Department of Civil Engineering and Mechanics, *University of Wisconsin-Milwaukee*, Milwaukee.
- 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. <https://doi.org/10.33725/mamad.433532>
- Novák, I., Krupa, I.; Sedláčik, J., Nógellová, Z., Matyašovský, J., Duchovič, P., Jurkovič, P. (2018). Investigation of plastic/wood Composites. *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design*, 14, 67-70.
- Nukala, S.G., Kong, I., Kakarla, A.B., Kong, W., Kong, W. (2022). Development of wood polymer composites from recycled wood and plastic waste: Thermal and mechanical properties. *Journal of Composites Science*, 6(7), 194. <https://doi.org/10.3390/jcs6070194>
- Ozbay, E., Oztas, A., Baykasoglu, A., Ozbebek, H. (2009). Investigating mix proportions of high strength self compacting concrete by using Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 23(2), 694-702. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.02.014>
- Özel, C., İren, B. (2019). Polimer betonlarda gaz beton atıklarının kullanılabilirliğinin araştırılması. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 6(2), 28-38.
- Özsin, G., Kılıç, M., Kırbıyık Kurukavak, Ç., Varol, E. (2023). Thermal characteristics, stability, and degradation of PVC composites and nanocomposites. In *Poly (Vinyl Chloride) Based Composites and Nanocomposites*, 293-318. Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-45375-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-45375-5_14)
- Polat, H., Özel, C. (2024). Radiation shielding properties of shotcrete containing different aggregates. *Materials Chemistry and Physics*, 323, 129596. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.12.9596>
- Polat, H., Üstün, İ., Şafak, A., Çakılcıoğlu, A.N. (2023). Atık tuğla tozunun polimer betonda katkı malzemesi olarak kullanımı: Mekanik özelliklerin incelenmesi. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(2), 76-86. <https://doi.org/10.53501/rteufemud.1306484>
- Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F., Tasdemir, M.A. (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 671-676. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.008>
- Taşdemir, M., Şen, E.G. (2022). Polipropilen/üzüm sapı ve çeltik polimer kompozitinin mekanik özelliklerinin atık cam elyaf ile geliştirilmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(1), 131-140. <https://doi.org/10.7240/jeps.1041672>
- Thule, A., Shanks, R. (2014). Natural fibre composites: materials, processes and properties. *Woodhead Publishing*.
- Türk Standartları Enstitüsü, (TS EN). (2014). TS EN 60695-11-10. Fire hazard testing- Part 11-10: Test flames- 50 W horizontal and vertical flame test methods. Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, (TS EN). (2016). TS EN 196-1, Çimento Deneysel Metotları- Bölüm 1: Dayanım, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, (TS EN). (2019). TS EN 12390-3. Testing hardened concrete- Part 3: Compressive strength of test specimens, Ankara.

Zhiltsova, T., Costa, A., Oliveira, M.S.A. (2024). Assessment of long-term water absorption on thermal, morphological, and mechanical properties of polypropylene-based composites with agro-waste fillers. *Journal of Composites Science*, 8(8), 288. <https://doi.org/10.3390/jcs8080288>