

AKÜ FEMÜBİD 23 (2023) 055901 (1307-1317)

AKU J. Sci. Eng. 23 (2023) 055901 (1307-1317)

DOI: 10.35414/akufemubid.1277913

Araştırma Makalesi

Al6061 Matrisli Hibrit Kompozitlerin Sertlik ve Çekme Dayanımına SiC Al₂O₃ ve Yumurta Kabuğu Tozu Takviyesinin Etkilerinin İncelenmesiAkif TOK¹, Serkan ATEŞ^{2*}¹T.C. MEB İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığı, Ankara.²Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Burdur.*Sorumlu Yazar e-posta: sates@mehmetakifersoy.edu.tr
akiftok@gmail.comORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5858-5190>
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5092-2562>

Geliş Tarihi: 05.04.2023

Kabul Tarihi: 01.09.2023

Öz

Bu çalışmanın amacı kolayca bulunabilen atıklardan elde edilen takviye kullanarak çevre dostu ve uygun maliyetli alüminyum matrisli kompozit geliştirmektir. Tavuk yumurtası kabuğu, bertaraf edilmediği takdirde ciddi çevresel tehlikeye neden olan endüstriyel bir atık olduğundan bu çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılabilirliğinin yanı sıra SiC ve Al₂O₃ gibi geleneksel takviye malzemeleri ile uyumu da araştırılmıştır. Bu kapsamda hibrit kompozit üretimi için iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak, Al6061 matrisli, yumurta kabuğu tozu, SiC ve Al₂O₃ takviyeli hibrit kompozitler üretilmiştir. Kompozitler ağırlıkça %1, 3, 5, ikili hibrit kompozitler ağırlıkça %4, 6, 8 ve üçlü hibrit kompozitler ise ağırlıkça %7, 9, 11 takviye-hacim oranlarında 22-59µm toz boyutuna sahip takviyeler kullanılarak üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenerek takviyelerin varlığı tespit edilmiştir. Kompozitlerin sertlikleri Brinell sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak, maksimum çekme gerilmeleri ve birim uzama miktarları ise çekme testi ile belirlenmiştir. Kompozit içerisinde ağırlıkça yumurta kabuğu tozunun artması ile sertlik ve maksimum çekme gerilmesi artarken, birim uzama miktarının azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Kompozit;
Karıştırmalı döküm;
Yumurta kabuğu tozu;
Mekanik Özellikler;**Investigation of the Effects of SiC Al₂O₃ ve Eggshell Powder Reinforcement on the Hardness and Tensile Strength of Al6061 Matrix Hybrid Composites**

Abstract

The aim of this study is to develop an environmentally friendly, and cost-effective aluminum matrix composite using reinforcement from readily available waste. Since chicken eggshell is an industrial waste that causes serious environmental hazards if not disposed of, this study investigated its compatibility with conventional reinforcement materials such as SiC ve Al₂O₃ as well as its compatibility as a reinforcement material. In this concept, hybrid composites with Al6061 matrix, eggshell powder, SiC and Al₂O₃ reinforcement were produced using two-stage stir casting method. The composites were produced using reinforcements with 22-59µm powder size at reinforcement-to-volume ratios of 1, 3, 5 wt%, 4, 6, 8 wt% for binary hybrid composites ve 7, 9, 11 wt% for triple hybrid composites. The microstructures of the composites were monitored by scanning electron microscopy to determine the presence of reinforcements. The hardness of the composites was examined by using Brinell hardness measurement method, while ultimate tensile stress and elongation were determined by tensile test. It was observed that the hardness, ultimate tensile stress increased and the elongation decreased with the increase of eggshell powder by weight in the composite.

Keywords

Composite;
Stir casting;
Eggshell powder;
Mechanical properties;

1. Giriş

Bilim ve teknoloji alanında akıl almaz bir hızla gerçekleşen gelişmeler, endüstrinin mükemmel mekanik ve fiziksel özelliklere sahip yeni malzemelere olan talepleri ileri mühendislik malzemelerinin geliştirilmesi için araştırmacıları ve uygulayıcıları bu alana odaklanmaya itmiştir. Geleneksel malzemeler ile karşılanamayan gereksinimler için yeni metal matrisli kompozit malzeme arayışı günden güne artmaktadır. Metal matrisli kompozitler (MMK) gereksinim duyulan özelliklere sahip, birbiri içerisinde çözünmeyen iki veya daha fazla fazın bir araya getirilmesi ile üretilen gelişmiş malzemelerdir. MMK'ler takviye elemanı ve takviyeyi bir arada tutan matristen oluşur (Şahin 2000). MMK üretiminin birincil amacı, mukavemet/yoğunluk oranı, yüzey sertliği, elastisite modülü yüksek, aşınma miktarı ve yoğunluğu düşük olan yeni malzemeler üretebilmek için metallerin ve seramiklerin mevcut özelliklerinin birleştirilerek sürekli faz olarak tanımlanan matris metali ile süreksiz faz olarak tanımlanan takviye arasında ara mekanik özelliklere sahip yeni bir malzeme üretmektir (Hashim vd. 1999, Kala vd. 2014).

En yaygın kullanılan matris malzemeleri berilyum, magnezyum, titanyum, demir, nikel ve alüminyum alaşımlarıdır. Bunlar içerisinde alüminyum alaşımları düşük yoğunluğu, iyi mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı nedeniyle özellikle otomobil ve havacılık endüstrisinde en çok tercih edilen matris malzemelerinden biridir. (Chawla vd. 2012, Chelladurai vd. 2018, Hayat vd. 2019, Murthy vd. 2019, Shankar vd. 2016). Bu özelliklerinin yanı sıra orta gerilme dayanımına sahip 6 serisi alüminyum alaşımları kolayca işlenebildiğinden (Murthy ve Rao 2020) dolayı hibrit kompozit üretiminde Al6061 alaşımının matris malzemesi olarak bu çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir. Alüminyum matrisli hibrit kompozit üretiminde takviye olarak genellikle kullanılan sert seramikler Al_2O_3 , TiB_2 , TiO_2 , SiC, TiC, B_4C 'dür (Aribo vd. 2011, Daoud vd. 2004, Gündoğan vd. 2019, Marin vd. 2012, Prasad vd. 1991, Selvam vd. 2013). Al6061 alaşımı için en çok seçilen takviye elemanları Al_2O_3 ve SiC olup, Naidich vd. (1998),

yaptıkları çalışmada Al matris ile Al_2O_3 ve SiC arasında iyi bir ıslatma kabiliyeti ortaya koyduklarından bu çalışmada geleneksel takviye elemanları olarak Al_2O_3 ve SiC seçilmiştir.

Otomotiv ve havacılık endüstrilerinin yanı sıra birçok farklı alanda kullanımı gittikçe artan Alüminyum Matrisli Kompozitlere (AMK) oluşan aşırı talep, üretilen ürünlerin sürdürülebilirliği, kararlılığı ve ekonomikliği gibi nedenlerle endişe uyandırmaktadır. Takviye elemanı olarak kullanılan sert seramikler genellikle karbürlerdir. Bunların üretimi yüksek teknoloji gerektirdiği ve dünya genelinde birkaç ülke ile sınırlı olduğundan birçok ülke ihracata yönelmiştir. İhracat takviye elemanlarının maliyetini arttırdığından, araştırmacılar endüstriyel ve tarımsal atıkların takviye elemanı olarak kullanıldığı yüksek performanslı, düşük maliyetli AMK geliştirme süreçlerine odaklanmışlardır (Alaneme ve Bamike 2017). Araştırmacılar AMK üretim maliyetini düşürme amacı ile uçucu kül, pirinç kabuğu külü, yumurta kabuğu, kil ve kırmızı çamur gibi alternatif atıkların kompozit üretiminde takviye elemanı olarak kullanılabilirlikleri üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirdi (Josephand ve Babaremu 2019). TÜİK verilerine göre 2022 yılında Türkiye'de yaklaşık 20 milyar adet tavuk yumurtası üretilmiştir (TÜİK 2022). Her bir yumurta kabuğu yaklaşık 5gr olduğundan yılda 100000 ton yumurta kabuğu atığı ortaya çıkmaktadır. Söz konusu atıkların bertaraf edilmediği taktirde hem insan sağlığını hem de çevreyi tehdit edeceği aşikardır. Kompozit üretiminde geleneksel takviye elemanlarına kıyasla daha hafif olması, büyük miktarlarda bulunabilmesi ve ekonomik olması nedeni ile yumurta kabuğu birçok çalışmada takviye elemanı olarak kullanılmış ve üretilen kompozitlerin termal ve mekanik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir (Chaithanyasai vd. 2014, Elaheh vd. 2013, Ghabeer vd. 2013, Hassan vd. 2013). Bu nedenlerle çalışmada yumurta kabuğu, atık takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Kompozitlerin üretiminde sıvı hal üretim yöntemlerinden iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem yüksek

miktarlarda üretime olanak sağlar, düşük maliyetlidir ve içyapıda takviyenin homojen dağılımına olanak vererek izotropik özellikler gösteren kompozitler üretilebilir (Nieto vd. 2017, Saravanan vd. 2019).

Yapılan literatür araştırmasına göre; Dwivedi vd. (2016), yumurta kabuğu takviyesi ile %0.8 Mg içeren AA2014 alaşımını kullanarak başarıyla kompozit üretmişlerdir. Üretilen kompozitlerde yumurta kabuğu miktarının artması ile sertlik ve çekme dayanımının arttığını, sünekliğin azaldığını ve matris/takviye arasında iyi bir ara yüzey bağı oluştuğunu belirlemişlerdir. Diğer bir çalışmada Jannet vd. (2021), karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak AA2024 alaşımına %7, 10 ve 13 oranlarında yumurta kabuğu tozu ilavesi ile kompozit üretmiş ve maksimum çekme gerilmesi miktarının %10 yumurta kabuğu takviyeli kompozit de meydana geldiğini takviyenin artan oranlarında maksimum çekme gerilmesinin düştüğünü bildirmiştir. Başka bir çalışmada ise Verma vd. (2018), karıştırmalı döküm tekniği kullanarak Al6061 alaşımına % 5 - 8 oranlarında karbonize olan ve olmayan yumurta kabuğu tozlarının yanında SiC de ilave ederek hibrit kompozit üretmişler ve sertlik, maksimum çekme gerilmesi ve akma gerilmesi değerlerinin Al6061 alaşımına kıyasla arttığını belirlemişlerdir.

Bu çalışmada literatürden farklı olarak yumurta kabuğu, SiC ve Al₂O₃ birlikte kullanılarak ikili ve üçlü hibrit kompozitler üretilerek bunlara ait sertlik, akma gerilmesi, maksimum çekme gerilmesi ve birim uzama miktarları da incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada matris malzemesi olarak Al6061 alaşımı, geleneksel takviye elemanlarından SiC ve Al₂O₃ seramikleri ve atık takviye malzemesi olarak ise Bartın ilinde pasta imalatı yapan firmaların kullandıkları yumurtaların atık kabukları kullanılmıştır. SiC ve Al₂O₃ seramikleri 22-59µm tane boyutunda toz olarak piyasadan temin edilmiştir. Toplanan yumurta kabukları yıkanarak temizlendikten sonra 7 gün boyunca güneşte kurutulmuştur. Atık yumurta kabukları bilyalı değirmende toz haline getirilip 22-59µm tane boyutunda olanlar sarma cihazında elek analizi ile

toplanmıştır. Yumurta kabuğu tozları kompozit üretiminde kullanılmadan önce elektrikli fırında 103±2 °C sıcaklıkta 12 saat boyunca nem alma işlemine tabi tutularak nem oranı %1-3 seviyelerine düşürülmüştür. Al6061 alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 1’de, yumurta kabuğunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 2’de, Al6061 ve takviye elemanlarının fiziksel, mekanik özellikleri ise Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çizelge 1. Al6061 kimyasal bileşimi (İnt. Kyn. 1)

Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Al
0.5	0.6-1.0	0.1	0.2-0.8	0.8-1.2	0.25	0.6-1.1	0.1	Kalan

Çizelge 2. Yumurta kabuğunun kimyasal bileşimi (Bashir ve Manusamy2015)

Kimyasal Bileşim	Wt. %
C	21,13
Na ₂ O	0,1
MgO	0,93
P ₂ O ₅	0,41
SO ₃	0,33
K ₂ O	0,05
CaO	76,99
Fe ₂ O ₃	0,01
SrO	0,04

Çizelge 3. Al6061, Al₂O₃, SiC’ün fiziksel ve mekanik özellikleri (İnt. Kyn. 1)

Özellik	Al6061	Al ₂ O ₃	SiC
Yoğunluk (g/cm ³)	2,7	3,9	3,2
Maksimum kullanım sıcaklığı (°C)	582	1700	1500
Eğme mukavemeti (MPa 20°C’de)	386	350	450
Basma mukavemeti (MPa 20°C’de)	607	2400	2650
Elastik modül (GPa)	68,9	395	425
Poisson oranı	0,33	0,25	0,27
Sertlik (HV)	107	1750	2200

Kompozitler sıvı hal üretim yöntemlerinden biri olan iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu yöntemde öncelikle Al6061 alaşımının sıcaklığı elektrikli ergitme fırınında 700°C’ye çıkartıldıktan sonra fırın içerisinde alaşımın sıcaklığı 600°C’ye kadar düşürülmüştür. Bu sıcaklıkta yarı katı halde olan alaşıma önceden 250°C sıcaklıkta ön ısıtma işlemine tabi tutulan takviye elemanları eklenerek elle karıştırılmıştır. Daha sonra alaşım süper ısıtmaya tabii tutularak sıcaklığı 800°C ye çıkarılmış ve bu sıcaklıkta mekanik bir karıştırıcı

kullanılarak 250dev/dk. hızında 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sırasında inert gaz olarak azot gazı kullanılmış ve bu sayede ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Eriyik 300mm uzunluğunda ve 14mm çapındaki metal kalıplara döküm yapılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Şekil 1’de karıştırmalı döküm ünitesi ve metal kalıp verilmiştir.

Şekil 1. Karıştırma Ünitesi ve Metal Kalıba Döküm



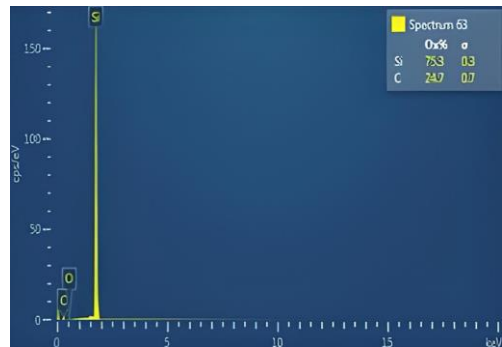
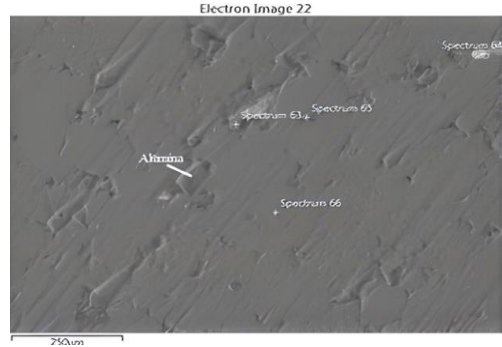
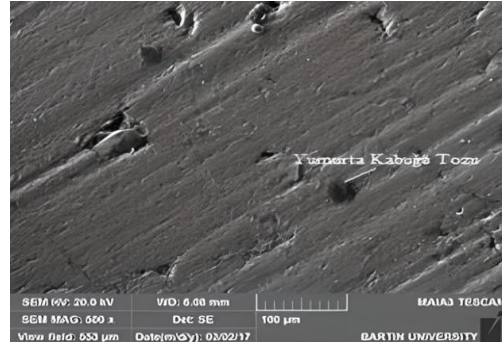
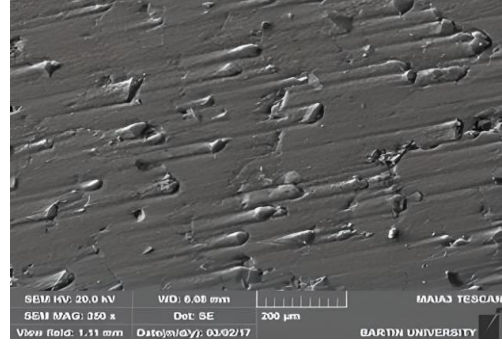
Kompozit üretiminde %1 , %3 ve %5 oranında takviye malzemeleri kullanılmıştır. %4 - %6 ve %8 takviye oranları kullanılarak ikili hibrit kompozitler ve %7 - %9 ve %11 takviye oranları ile üçlü hibrit kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Kompozitlerin mikro yapıları görüntülemeleri için ise 6-1000000 x büyültme özelliğine sahip FEI Quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu, sertlik ölçümlerinde ise Brinell sertlik ölçüm metodu kullanılmıştır. Kompozitlerin gerilme dayanımı ASTM E8M standartlarına oda sıcaklığında çekme testi ile Instron marka çekme cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca sertlik ve gerilme ölçümlerinde meydana gelebilecek hataları bertaraf etmek için her bir numuneden 3 adet üretim yapılarak tüm ölçümler bu 3 numune için de aynı şartlarda tekrarlanmıştır.

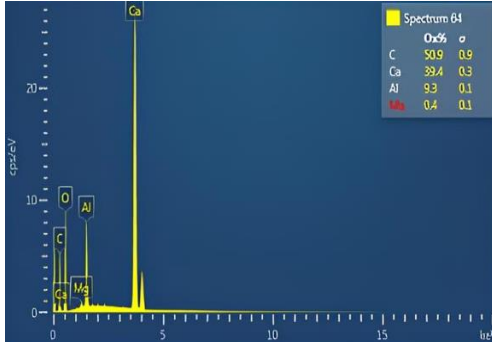
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikro yapı

Hassas kesme cihazında kesilen kompozitler bakalite alındıktan sonra mikro yapı incelemeleri için otomatik yüzey parlatma ve numune hazırlama cihazında sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh numarasına sahip zımparalar kullanılarak 400 d/d hızda 5 dakika süreyle zımparalanıp daha sonra keçe ile parlatılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) ile elde edilen mikro yapı resimleri ve EDS analizleri Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2. Üretilen hibrit kompozitin SEM ve EDS resimleri



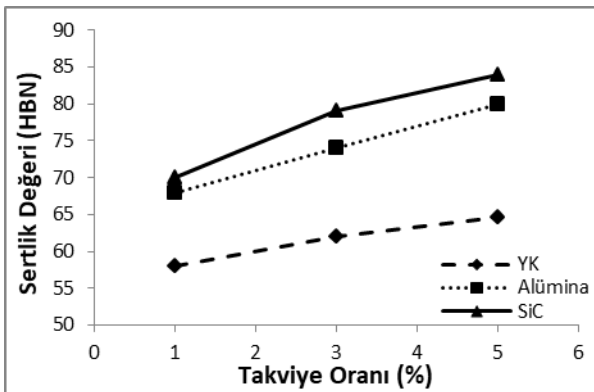


Üretilen hibrit kompozitlerin taramalı elektron mikroskopunda incelenen yüzeyleri için elde edilen mikro yapı resimleri ve EDS analizlerine göre iç yapıda yumurta kabuğu tozunun varlığından, takviye elemanlarının yüzeyde homojen dağıldıklarından ve takviye elemanı ile matris arasında iyi bir bağlanma gerçekleştiğinden söz edilebilir. Benzer bir durumu Chaithanyasai vd. (2014) ve Jannet vd. (2021), yaptıkları çalışmalarda bildirmişlerdir. Bunun nedeninin hibrit kompozit üretiminde takviye elemanlarının matrise eklenmeden önce 250°C sıcaklıkta ön ısıtmaya tabi tutulması olduğu söylenebilir.

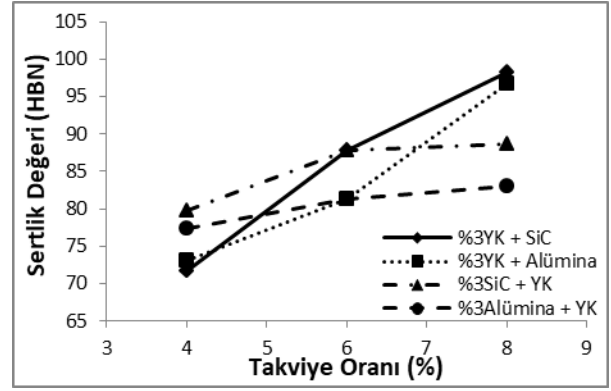
3.2. Sertlik

Kompozitlerin sertlik ölçümleri ASTM (American Society for Testing ve Materials) standartlarının E-10 versiyonuna göre Brinel sertlik ölçüm test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Sertlik ölçümü için her bir numune üzerinde 5 farklı noktada ölçümler yapılmış, en yüksek ve en düşük değerler çıkarılmış, kalan değerlerin aritmetik ortalamalarının alınması yöntemiyle sertlik değerleri belirlenmiştir. Grafik 1'de Al6061 alaşımına ilave edilen Yumurta Kabuğu Tozu (YKT), Al₂O₃ ve SiC'ün alaşımın sertliğine etkisi gösterilmiştir.

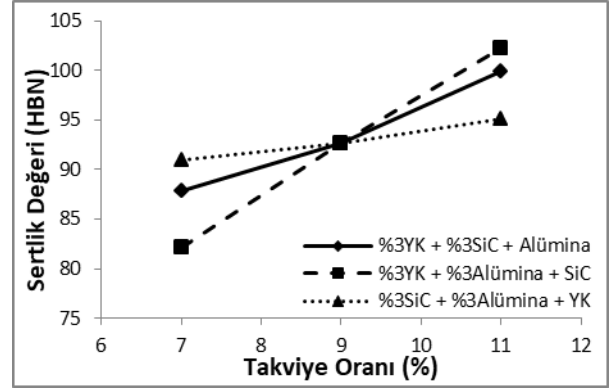
Grafik 1. Takviyenin kompozitin sertliğine etkisi



(a)



(b)



(c)

Al6061 alaşımı iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi ile tekrar üretilmiş ve sertliği 58HBN ölçülmüştür. Grafik 1 (a)'da YKT, Al₂O₃ ve SiC'ün %1, 3 ve 5 oranlarında Al6061 alaşımına ilave edilmesi ile üretilen kompozitlerin sertlik değişimi gösterilmiştir. YKT, Al₂O₃ ve SiC'ün artan oranlarında kompozitin sertliği artmaya devam etmiştir. %5 YKT takviyesi Al6061 alaşımının sertliğini %12.07, %5 Al₂O₃ takviyesi %37.93 ve %5 SiC takviyesi ise %44.83 oranında arttırmıştır. %5 YKT ilavesi Al6061 alaşımının sertliğini 65HBN, %5 Al₂O₃ ilavesi 80HBN ve %5 SiC ilavesi ise 84HBN değerine yükseltmiştir. Grafik 1 (b)'de % 3 oranında sabit tutulmuş 1. takviye ile birlikte, 2. takviyenin %1, 3 ve 5 oranlarında ilave edilmesi ile üretilen ikili hibrit kompozitin sertlik değişimi gösterilmiştir. 2. takviye elemanının artan oranlarında hibrit kompozitin sertliğinin arttığı belirlenmiştir. Sertliği 65HBN olan %3 YKT takviyeli Al6061 alaşımına %5 oranında Al₂O₃ ilavesi sertliği %49.23, %5 oranında SiC ilavesi ise %50.77 oranında arttırmıştır. Sertliği 79HBN olan %3 SiC takviyeli Al6061 alaşımına %5 oranında YKT ilavesi sertliği %12.66 oranında artırırken, sertliği 74HBN olan %3 Al₂O₃ takviyeli Al6061 alaşımına %5 oranında YKT ilavesi ise sertliği % 12.16 oranında arttırmıştır. İkili hibrit kompozitlerde en yüksek

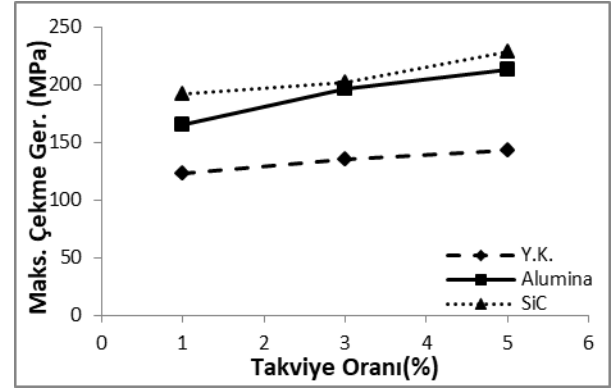
sertlik değeri %3 SiC + %5 YKT takviyeli numunede 95HBN olarak ölçülmüştür.

Grafik 1 (c)'de %3 oranında sabit tutulmuş 1. ve 2. takviye ile birlikte, 3. takviyenin %1, 3 ve 5 oranlarında ilave edilmesi ile üretilen üçlü hibrit kompozitin sertlik değişimi gösterilmiştir. Üçlü hibrit kompozitlerde en düşük sertlik değeri %3 YKT + %3 Al₂O₃ + %1 SiC takviyeli numunede 96HBN olarak, en yüksek sertlik değeri ise %3 YKT + %3 SiC + %5 Al₂O₃ takviyeli numunede 114HBN olarak belirlenmiştir.

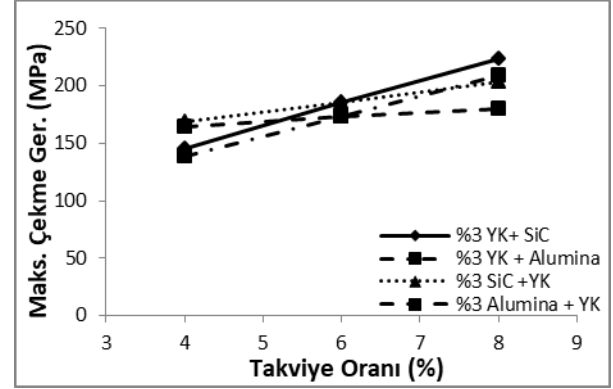
Literatür incelendiğinde elde edilen sonuçları destekleyen araştırmaların olduğu görülmektedir. Örneğin Aribio vd. (2011), karıştırılmalı döküm yöntemiyle Al6063 alaşımına ağırlıkça %15 oranında SiC ilave ederek ürettikleri kompozitlerde sertliğin arttığını ve 400°C'ye ısıtılarak brinell test yöntemi ile sertliği ölçülen numunede yaklaşık %80 oranında sertlik artışı meydana geldiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Bhat vd. (2021), karıştırılmalı döküm yöntemiyle Al6061 alaşımına ağırlıkça %5 oranında Al₂O₃ ilave ederek ürettikleri kompozitlerde, sertliğin %29.63 oranında arttığını bildirmişlerdir. Jannet vd. (2021), ise karıştırılmalı döküm yöntemi ile Al6061 alaşımına %7,10 ve 13 oranlarında yumurta kabuğu tozu ilavesi ile kompozit üretmişler ve %7 ve 10 oranlarında yumurta kabuğu tozu ilavesinin sertliği arttırırken, ilave edilen yumurta kabuğu oranının %13 yükselmesiyle sertliğin azaldığını bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada Verma vd. (2018), karıştırılmalı döküm yöntemi ile 2 farklı numune üretmişlerdir. Hibrit kompozitlerde ağırlıkça %5 oranında SiC'e ek olarak %5 ve 8 oranlarında karbonize yumurta kabuğu mevcuttur ve bunun artan oranlarında sertlikte artış ile birlikte karbonize olanın olmayana göre sertliği daha fazla arttırdığını bildirmişlerdir. Kompozitlerin yüzeyindeki yumurta kabuğu tozlarında bulunan CaCO₃, yüzeyde plastik deformasyonuna direnen sert partiküller gibi davranarak sertlik değerlerini arttırdığı düşünülmektedir.

3.2. Gerilme ve birim uzama

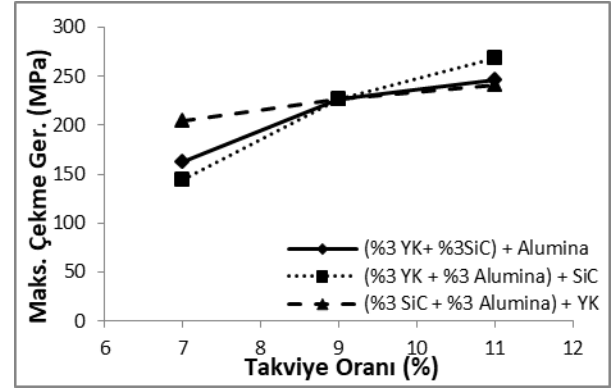
Grafik 2. Takviye elemanın kompozitin maksimum çekme gerilmesine etkisi



(a)



(b)



(c)

Grafik 2 genel olarak değerlendirildiğinde çekme testlerinde takviye elemanı miktarının artması ile kompozitin maksimum çekme gerilmesinin bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Kompozitlerle aynı şartlarda üretilen Al6061 alaşımından da 3 adet çekme numunesi hazırlanmış ve bu üç ölçümün ortalamasında maksimum çekme gerilmesi 110MPa olarak belirlenmiştir.

Grafik 2 (a)'da kompozite %5 oranında YKT ilave edildiğinde maksimum çekme gerilmesinde %30 artış tespit edilmiş ve bu değer 143MPa olarak ölçülmüştür. Kompozite %5 oranında SiC ve Al₂O₃ ilave edildiğinde ise maksimum çekme gerilmesi değerleri sırasıyla 228.63MPa ve 212.97MPa olarak belirlenmiştir. %5 SiC ilavesi maksimum çekme

gerilmesi değerini %107.27 arttırırken aynı oranda Al₂O₃ ilavesi ise %93.61 kadar arttırmaktadır.

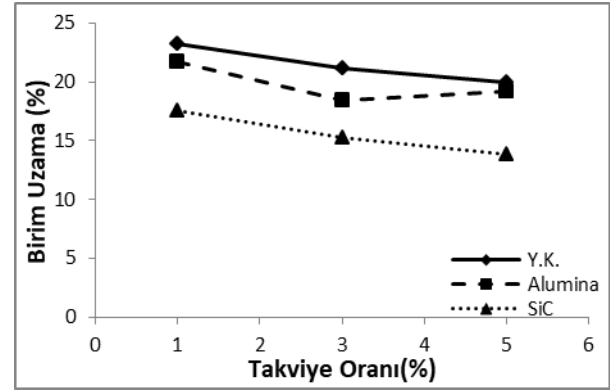
Grafik 2 (b)'de %3 YKT'na %5 SiC eklenmesi ikili hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesini %102.82 arttırırken %3 YKT'na %5 Al₂O₃ eklenmesi ise %89.57 oranında arttırmıştır. %3 SiC'e %5 YKT eklenmesi maksimum çekme gerilmesini 202.95MPa, %3 Al₂O₃'e %5 YKT eklenmesi ise 179.95MPa değerine yükseltmiştir.

Grafik 2 (c)'de Üçlü hibrit kompozitlerde ağırlıkça takviye miktarı en fazla %11 oranındadır ve bu değere kadar tüm numunelerde maksimum çekme gerilmesi değerinde artış gözlemlenmiştir. %3 YKT + %3 Al₂O₃'e ek olarak %5 SiC ilavesi ile üretilen üçlü hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesi 268.02MPa iken %3 YKT + %3 SiC'e ek olarak %5 Al₂O₃ ilavesiyle üretilenin ki ise 246.53MPa olarak belirlenmiştir.

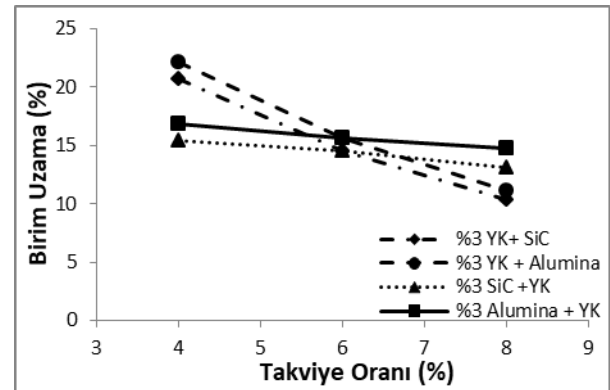
SiC takviyeli Al alaşımlı kompozitlerin mekanik özellikleri doğrudan ve dolaylı güçlendirme mekanizmalarıyla tahmin edilebilir. Doğrudan güçlendirme mekanizmasında temel olarak zayıf matristen ara yüzey tabakası boyunca daha yüksek rijitliğe sahip SiC'e aktarılan yükü dikkate alır (Wang vd. 2014). Dış yükün alüminyum matristen SiC parçacıklarına aktarılması, ara yüzey bağ kuvveti yeterince güçlü değilse daha az etkili olabilir. Bu, ara yüzey bağ kuvvetinin, yükü matristen takviyeye aktarmada önemli bir rol oynadığının ispatı niteliğindedir. Başka bir deyişle, SiC-Al6061 ara yüzey tabakasındaki ara yüzey bağ kuvveti, kompozitlerin çekme mukavemetini belirler (Trinh vd. 2018). Literatür incelendiğinde elde edilen sonuçlara ulaşan benzer araştırmaların olduğu görülmektedir. Örneğin Sachin vd. (2021), karıştırmalı döküm yöntemiyle Al6061 alaşımına %2.5 ve 5 oranlarında 400°C sıcaklıkta ön ısıtmaya tabi tuttıkları SiC ilavesiyle kompozitleri başarıyla üretmişler ve %2.5 SiC ilavesinin maksimum çekme gerilmesini 157MPa değerine yükselttiğini belirlemişlerdir. Balaraj vd. (2021), da karıştırmalı döküm yöntemiyle Al6061 alaşımına %5 oranında Al₂O₃ ilavesiyle ürettikleri kompozitin sertliğini 148.9MPa olarak bildirmişlerdir. Matris ile takviye arasındaki ara yüzey bağı, eksenel çekme yükünün matristen Al₂O₃ parçacıklarına aktarılmasına yardımcı olur (Kvepal ve Singh 2017). Bu sert Al₂O₃

partikülünün, Al matrisinin plastik akışını önleyip Al6061 alaşımının yük taşıma kapasitesini arttırdığı düşünülmektedir. Hassan ve Aigbodion (2015), iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak Al-Cu-Mg alaşımına %2 – 12 arasında değişen 6 farklı oranda yumurta kabuğu tozu ilavesiyle ürettikleri kompozitlerde %12 yumurta kabuğu tozu takviyesinin maksimum çekme gerilmesi değerini %14.28 oranında arttırdığını bildirmişlerdir. Gerçekleştirilen literatür araştırmasında SiC, Al₂O₃ ve yumurta kabuğu tozunun birlikte kullanılarak üretilen üçlü hibrit kompozitlerin varlığına rastlanmadığından, bu çalışmanın araştırmacılar ve uygulayıcılar için önemli olacağı düşünülmektedir. Üretilen tekli, ikili ve üçlü hibrit kompozitlerin birim uzama miktarlarına matrise takviye elemanı ilavesinin etkileri Grafik 3'de verilmiştir.

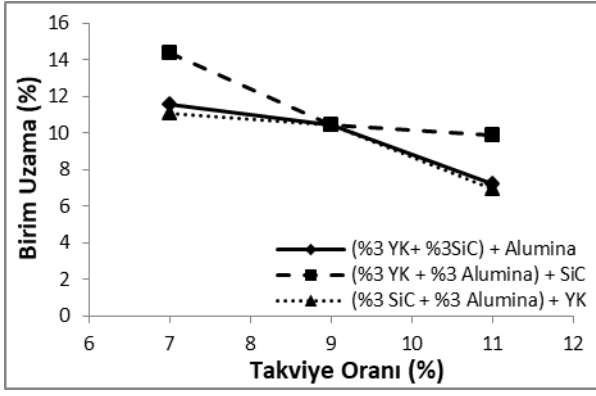
Grafik 3. Takviye elemanının kompozitin birim uzama miktarına etkisi



(a)



(b)



(c)

Grafik 3 genel olarak değerlendirildiğinde çekme testlerinde takviye elemanı miktarının artması ile kompozitin birim uzama miktarının azaldığı görülmektedir. Kompozitlerle aynı şartlarda üretilen Al6061 alaşımından da 3 adet çekme numunesi hazırlanmış ve bu üç ölçümün ortalamasında birim uzama miktarı %26 olarak belirlenmiştir.

Grafik 3 (a)'da kompozite %5 oranında YKT ilave edildiğinde birim uzama miktarı %20 olarak ölçülmüştür. Kompozite %5 oranında SiC ve Al₂O₃ ilave edildiğinde ise birim uzama miktarları sırasıyla %13.8 ve %19.2 olarak belirlenmiştir. YKT kompozitin sünekliğinin %23.07 oranında azalmasına neden olmasına rağmen diğer takviye elemanlarına göre süneklik üzerinde en az olumsuz etkiye sahiptir.

Grafik 3 (b)'de %3 YKT'na %5 SiC eklenmesi ikili hibrit kompozitin birim uzama miktarı %10.33 olurken %3 YKT'na %5 Al₂O₃ eklendiğinde ise %11.06 olur. %3 SiC'e %5 YKT eklenmesi ile birim uzama miktarı %13.05, %3 Al₂O₃'e %5 YKT eklenmesi ile %14.72 olarak belirlenmiştir. %3 YKT'na %5 SiC ilavesi ikili hibrit kompozitin sünekliğini Al6061 alaşımına göre %151.69 azaltırken %3 YKT'na %5 Al₂O₃ ilavesi ise %135.08 oranında azalttığı tespit edilmiştir.

Grafik 3 (c)'de üretilen üçlü hibrit kompozitlerde en düşük birim uzama miktarı %6.96 ile %3 SiC + %3 Al₂O₃ +%5 YKT ilavesi ile üretilende olurken, en yüksek birim uzama miktarı ise %9.86 ile %3 YKT + %3 Al₂O₃ +%5 SiC ilavesi ile üretilende belirlenmiştir. Sünekliğin azalması, matrise eklenen takviye elemanı miktarının artmasıyla takviyenin bir stres yoğunlaştırıcı gibi davranarak boşluk çekirdeklenmesine yol açmasından ve takviye ile matris arasındaki katı ara yüzey mukavemetinin son derece yüksek olmasının daha fazla takviye yüküne

neden olmasından kaynaklanabilir (Balaraj vd. 2021). Böylece daha düşük birim uzama değerlerinde numune kopar. Literatür incelendiğinde elde edilen sonuçlara ulaşan benzer araştırmaların olduğu görülmektedir. Örneğin Bose vd. (2018), karıştırmalı döküm yöntemiyle Al alaşımına %2.5-15 arasında değişen 6 farklı oranda yumurta kabuğu tozu ilavesiyle ürettikleri kompozitin birim uzama miktarının %13'den %8'e azaldığını tespit ettiler. Benzer şekilde Bharat vd. (2014), karıştırmalı döküm tekniği ile Al6061 alaşımına %3, 6 ve 9 oranlarında Al₂O₃ ilavesiyle ürettikleri kompozitin birim uzama miktarının artan takviye oranı ile azaldığını ve %9 Al₂O₃ ilavesinde birim uzama miktarının yaklaşık %10 değerine düştüğünü bildirdi. Kumar vd. (2018), ise karıştırmalı döküm yöntemi ile Al6061 matrise %2, 4 ve 6 oranlarında SiC ilavesi ile ürettikleri kompozitin birim uzama miktarının en yüksek takviye oranında %2.8 seviyesine düştüğünü belirledi.

Alüminyum alaşımlarına ilave edilen SiC ve Al₂O₃'ün kompozitin çekme gerilmesine etkisi ile ilgili çalışmalar literatürde yer almaktadır. Fakat yumurta kabuğu tozu ilavesinin hibrit kompozitlerin çekme gerilmesine etkisini belirlemeye yönelik bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılan araştırma diğerlerinden ayrılmakta ve önem kazanmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada Al6061 matrisli, yumurta kabuğu tozu, SiC ve Al₂O₃ takviyeli kompozitler iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde üretilmiştir. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine, maksimum çekme gerilmesine ve birim uzama miktarına etkisi incelenmiş elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

* SEM görüntülemeleri sonucunda içyapıda yumurta kabuğu tozu takviyesi belirlenmiştir. Takviye elemanları 250°C sıcaklığında ön ısıtmaya tabi tutularak ısıtma kabiliyetleri artırılmış bu nedenle hem matrisle uygun bir ara yüzey bağı oluşturmuş hem de topaklanma gözlenmemiştir.

* 58 HBN sertliğindeki Al6061 alaşımına eklenen %5 yumurta kabuğu tozu ilavesi sertliği 65HBN, %5 Al₂O₃ ilavesi 80HBN ve %5 SiC ilavesi ise 84HBN değerine yükseltmiştir.

* Sertliği 65HBN olan %3 yumurta kabuğu tozu takviyeli Al6061 alaşımına %5 oranında Al₂O₃ ilavesi sertliği 97HBN, %5 oranında SiC ilavesi ise 98HBN değerine yükseltmiştir. Sertliği 79HBN olan %3 SiC takviyeli Al6061 alaşımına %5 oranında yumurta kabuğu tozu ilavesi sertliği 89HBN değerine yükseltirken, sertliği 74HBN olan %3 Al₂O₃ takviyeli Al6061 alaşımına %5 oranında yumurta kabuğu tozu ilavesi ise sertliği 83HBN değerine yükseltmiştir.

* Üçlü hibrit kompozitlerde en düşük sertlik değeri %3 YKT + %3 Al₂O₃ + %1 SiC takviyeli olanda 82HBN olarak, en yüksek sertlik değeri ise %3 YKT + %3 Al₂O₃ + %5 SiC takviyeli olanda 102HBN olarak belirlenmiştir.

* Al6061 alaşımına eklenen yumurta kabuğu tozu tüm oranlarda kompozitin maksimum çekme gerilmesi arttırmıştır. %5 yumurta kabuğu tozu takviyeli kompozitin maksimum çekme gerilmesi 143MPa olarak belirlenmiştir.

* Yumurta kabuğu tozu ile SiC ün birlikte takviye malzemesi olarak kullanıldığı ikili hibrit kompozitin, maksimum çekme gerilmesini yumurta kabuğu tozu ile Al₂O₃ ün birlikte kullanıldığı kompozite göre %7 oranında daha fazla arttırdığı belirlenmiştir.

* Yumurta kabuğu tozu, SiC ve Al₂O₃ in birlikte takviye malzemesi olarak kullanıldığı üçlü hibrit kompozitin ise üretilen kompozitler arasında 268.02MPa ile en yüksek maksimum çekme gerilmesine sahip olduğu belirlenmiştir.

* Tüm kompozitlerde matrise eklenen takviye miktarının artması ile kompozitlerin birim uzama miktarında azalma tespit edilmiştir.

5. Kaynaklar

Alaneme, K.K. and Bamike B.J., 2018. Characterization of mechanical and wear properties of aluminium based composites reinforced with quarry dust and silicon carbide. *Ain Shams Engineering Journal*, **9(4)**, 2815-2821.

Amal Bashir, S.M.A. and Manusamy, Y., 2015. Characterization of raw egg shell powder (ESP) as a good bio-filler. *Journal Of Engineering Research And Technology*. **2(1)**, 56-60.

Aribo, S., Omotoyinbo, J.A. and Folorunso, D.O., 2011. High temperature mechanical properties of silicon

carbide particulate reinforced cast aluminium alloy composite. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, **18**, 9-16.

Balaraj, V., Kori, N., Nagaral, M. and Auradi, V., 2021. Microstructural evolution and mechanical characterization of micro Al₂O₃ particles reinforced Al6061 alloy metal composites. *Materials Today: Proceedings*, **47**, 5959-5965

Bharath, V., Nagaral, M., Auradi, V. and Koric, S.A., 2014. Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by stir casting and evaluation of mechanical and wear properties. *Procedia Materials Science*, **6**, 1658-1667.

Bhat, A., Kakandikar, G., Deshpande, A., Kulkarni, A. and Thakur, D., 2021. Characterization of Al₂O₃ reinforced Al 6061 metal matrix composite. *Material Science Engineering and Applications*, **1(1)**, 11-20.

Bose, S., Pandey, A. and Mondal, A., 2018. Comparative analysis on aluminum-silicon carbide hybrid green metal matrix composite materials using waste egg shells and snail shell ash as reinforcements. *Materials Today: Proceedings*, **5**, 27757-27766.

Chaithanyasai, A., Vakchore, P.R. and Umasankar, V., 2014. The micro structural and mechanical property study of effects of egg Shell particles on the aluminum 6061. *Procedia Engineering*, **1(97)**, 961-967.

Chawla, K.K., 2012. *Composite Materials: Science and Engineering*. Springer, 197-248.

Chelladurai, S.J.S., Arthanari, R., Krishnamoorthy, R., Selvaraj, K.S. and Govindan, P., 2018. Effect of copper coating and reinforcement orientation on mechanical properties of LM6 aluminium alloy composites reinforced with steel mesh by squeeze casting. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, **71(5)**, 1041-1048.

Daoud, A., Abou-Elkhair, M.T. and Rohatgi, P., 2004. Wear and friction behavior of near eutectic Al-Si+ZrO₂ or WC particle composites. *Composite Science and Technology*, **64(7-8)**, 1029-1040.

Dwivedi, S.P., Sharma, S. and Mishra, R.K., 2016. Characterization of waste eggshells and CaCO₃ reinforced AA2014 green metal matrix composites : A green approach in the synthesis of composites.

International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, **17**, 1383-1393.

- Elaheh, M., Asadollah, H., Sadegh, P. and Dadkhoda, G., 2013. Ball mill-assisted preparation of nano-CaCO₃ as a novel and green catalyst-based eggshell waste a green approach in the synthesis of pyrano [4,3-b] pyrans. *International Journal of Green Nanotechnology*, **1**, 1-5.
- Ghabeer, T., Dweiri, R. And Al-Khateeb, S., 2013. Thermal and mechanical characterization of polypropylene/eggshell biocomposites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **32(6)**, 402-409.
- Gündoğan, K. ve Özşarı, A.R.B., 2019. Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilen AA2024 ve AA6061 matrisli, B₄C ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin mikro yapı, mekanik ve ısı iletkenlik özelliklerine basıncın etkisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*. **11(2)**, 657-669.
- Hashim, J., Looney, L. and Hashmi, M.S., 1999. Metal matrix composites: production by the stir casting method. *The Journal of Materials Processing Technology*, **30**, 1-7.
- Hassan, S.B. and Aigbodion, V.S., 2015. Effects of eggshell on the microstructures and properties of Al-Cu-Mg/eggshell particulate composites. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, **27**, 49-56.
- Hassan, T.A., Rangari, V.K., Rana, R.K. and Jeelani, S., 2013. Sonochemical effect on size reduction of CaCO₃ nanoparticles derived from waste eggshells. *Ultrasonics Sonochemistry*, **20(5)**, 1308-1315.
- Hayat, M.D., Singh, H., He, Z. and Cao, P., 2019. Titanium metal matrix composites: An overview. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **121**, 418-438.
- Jannet, S.R., Ruban, S.R., Khosla, S., Sasikumar, U., Sai, N.B. and Teja, P.M., 2021. Effect of egg shell powder on the mechanical and microstructure properties of AA 2024 metal matrix composite. *Materials Today: Proceedings*, **44(1)**, 135-140.
- Josephand, O.O. and Babaremu, K.O., 2019. Agricultural waste as a reinforcement particulate for aluminum metal matrix composite (AMMCs): A Review. *Fibers*, **7(4)**, 1-9.
- Kala, H., Mer, K.K. and Kumar, S., 2014. A review on mechanical and tribological behaviors of stir cast aluminum matrix composites. *Procedia Materials Science*, **6**, 1951-1960.
- Kandpal, B.C. and Singh, H., 2017. Fabrication and characterisation of Al₂O₃/aluminium alloy 6061 composites fabricated by stir casting. *Materials Today: Proceedings*, **4(2)**, 2783-2792.
- Kumar, P., Kumar, B.P.V., Joshia, R., Manjunathaa, T.H. and Kumar R.S., 2018. Evaluation of Al7075 reinforced with sic for its mechanical properties and surface roughness by drilling. *Materials Today: Proceedings*, **5**, 25121-25129.
- Latha Shankar, B., Anil, K.C. and Patil, R., 2016. A study on 3-body abrasive wear behaviour of aluminium 8011/graphite metal matrix composite. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, **149**, 1-6
- Marin, E., Lekka, M., Andreatta, F., Fedrizzi, I., Itskos, G., Moutsatsou, A., Koukouzas, N. and Kouloumbi, N., 2012. Electrochemical study of aluminum fly ash composite obtained by powder metallurgy. *Materials Characterization*, **69**, 16-30.
- Murthy, P.S.R. and Rao, Y.S.R., 2019. Evaluation of mechanical properties of aluminum alloy-alumina-boron carbide metal matrix composites. *World Journal of Mechanical Engineering*, **4(1)**, 027-034.
- Murthy, P.S.R. and Rao, Y.S.R., 2020. Influence of reinforcement types on mechanical properties of hybrid aluminum alloy. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, **18(4)**, 155-160.
- Naidich, Y.V., Zhuravlev, V. and Krasovskaya, N., 1998. The wettability of silicon carbide by Au-Si alloys. *Material Science and Engineering: A*, **245(2)**, 293-299.
- Nieto, A., Yang, H., Jiang, L. and Schoenung, J.M., 2017. Reinforcement size effects on the abrasive wear of boron carbide reinforced aluminum composites. *Wear*, **390-391**, 228-235.
- Prasad, V.V.B., Prasad, K.S., Kurovillla, A.K., Pandey, A.B., Bhat, B.V.R. and Mahajan, Y.R., 1991. Composite strengthening in 6061 and Al-4 Mg alloys. *Journal of Material Science*, **26**, 460-465.

Sachin, D., Uday, K.N., Rajamurugan, G. and Krishnasamy, P., 2021. Effect of SiC reinforcement on the mechanical and tribological behaviour of Al6061 metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, **46**, 7082-7089.

Saravanan, S., Ravichandran, M., Balan A.V. and Senthilkumar. P., 2019. Synthesis and abrasive wear performance of stir cast AA6063-TiC composite materials. *SN Applied Sciences*, **1(12)**, 1-7.

Selvam, J.D.R., Smart, D.S.R. and Dinaharan, I., 2013. Microstructure and some mechanical properties of fly ash particulate reinforced AA aluminum alloy composites prepared by compocasting. *Material Design*, **49**, 28-34.

Şahin, Y., 2000. Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitabevi, 10-12.

Trinh, P.V., Lee, J., Minh, P.N., Phuong, D.D. and Hong, S.H., 2018. Effect of oxidation of SiC particles on mechanical properties and wear behavior of SiCp/Al6061 composites. *Journal of Alloys and Compounds*, **769**, 282-292.

TÜİK., 2022. Kümes hayvancılığı üretimi. *Haber Bülteni*.

Verma, V., Nishant and Gill, M., 2018. Effects of waste eggshells and silicon carbide addition in the synthesis of aluminium alloy 6061 hybrid green metal matrix composite. *International Research Journal of Engineering and Technology*, **5(6)**, 1413-1419.

Wang, Z., Tan, J., Sun, BA., Scudino, S., Prashanth, K.G., Zhang, W.W., Li, Y.Y. and Eckert, J., 2014. Fabrication and mechanical properties of Al-based metal matrix composites reinforced with Mg₆₅Cu₂₀Zn₅Y₁₀ metallic glass particles. *Engineering: A*, **600(10)**, 53-58.

İnternet kaynakları

1- <https://asm.matweb.com>, (03.04.2023)