



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

AKİF TOK

DANIŞMAN

YRD. DOÇ. DR. SERKAN ATEŞ

BARTIN-2017



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN
MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
Akif TOK

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ - Bartın Üniversitesi
Üye : Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI - Bartın Üniversitesi
Üye : Yrd. Doç. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI - Kırıkkale Üniversitesi

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Akif TOK tarafından hazırlanan “GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 13.07.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ (Danışman)

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / 20... tarih ve 20..... / - sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

İmza

13.07.2017

Akif TOK



ÖNSÖZ

Alüminyum matrisli hibrit kompozit malzemelerin karıştırılmalı döküm yöntemi ile üretildiği, mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelendiği bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde pek çok kişinin değerli katkıları bulunmaktadır. Öncelikle tez danışmanlığımı üstlenerek araştırma konusunun seçimi ve yürütülmesinde değerli bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ'e içtenlikle teşekkür ederim.

Kompozit malzemelerin üretimini gerçekleştirdiğimiz özel tasarım fırının yapımı konusunda bilgi ve tecrübelerini bizlere sunan Bartın Mesleki ve Teknik Lisesi, Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanı Öğretmenlerine teşekkür ederim.

Bu çalışmanın “BAP-2016-FEN-C-003” nolu proje ile maddi olarak desteklenmesi nedeniyle Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve son olarak desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Yasemin TOK'a şükranlarımı sunarım.

Akif TOK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Akif TOK

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ

Bartın-2017, sayfa: XVI + 73

Kompozit malzeme; iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin uygun bir yöntemle karıştırılması ile en iyi özelliklerinin yeni ve tek bir malzemede toplandığı malzemeler olarak tarif edilir. Kompozit malzeme üretilirken birden çok takviye malzemesi kullanıldığında bu kompozitlere hibrit kompozit adı verilmektedir. Günümüzde kompozit malzemelerin üretiminde çok sayıda mühendislik malzemeleri kullanılmaktadır. Kompozitlerin mekanik özellikleri mükemmel olup; yorulma, tokluk, yüksek sıcaklık, oksitlenme, aşınma dayanımları da yüksektir. Bu üstün özelliklere ek olarak farklı kompozisyonlarda ve şekillerde üretilebilmelerinden dolayı da bütün endüstriyel alanlarda gün geçtikçe kullanımları artmaktadır.

Bu çalışmada, hibrit kompozit üretimi için iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde matris olarak kullanılacak olan alüminyum alaşımı (Al 6061) elektrik dirençli fırında grafit potada 700 °C’de ergitilmiş, daha sonra sıcaklık 600 °C’ye düşürülerek bu sıcaklıkta takviye elemanı olarak kullanılan ve önceden 250 °C’de ısıtılmış 22-59 µm tane büyüklüğüne sahip yumurta kabuğu tozu, 22-59 µm alüminyum oksit (Al₂O₃) ve 22-59 µm silisyum karbür (SiC) tozlar ilave edilmiştir. Bulamaç halindeki karışım elle karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 800 °C’ye çıkartılmış (süper ısıtma) ve bu

sıcaklıkta 250 dev/dk hızla mekanik olarak karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sırasında inert gaz olarak azot gazı kullanılmış ve bu sayede ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Karışım daha önceden 250°C sıcaklığa ısıtılmış olan metal kalıba dökülerek 300 mm uzunluğunda ve 14 mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir. Takviyelerin % 1 – % 3 ve % 5 ağırlıkça oranı kullanılarak tekli kompozitlerin, % 4 - % 6 ve % 8 ağırlıkça oranları kullanılarak ikili kompozitler ve % 7 - % 9 ve % 11 ağırlıkça oranları kullanılarak üçlü hibrit kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Toplam 30 farklı takviye oranı kullanılmıştır. Her bir numune için ise 3 örnek üretilmiştir. Üretilen silindirik numuneler CNC torna tezgahında standart numune boyutlarına işlenmiştir.

Üretilen metal matrisli hibrit kompozitlerin mikroyapıları elektron mikroskobu ile belirlenmiştir. Hibrit kompozitlerin sertlikleri Brinell sertlik ölçüm cihazı ile gözenek miktarları ise Arşimet prensibi ile ölçülmüştür. Gerilme dayanımları ise çekme cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerin değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen yumurta kabuğu tozu oranının % 1'den % 5'e artarken Al 6061 malzemenin; sertlik, porozite, çekme gerilmesi ve akma gerilmesi değerlerinin arttığı, birim uzama miktarı değerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca literatür de konu üzerine yapılan araştırmaların az olması nedeniyle, bu konudaki araştırmacılara öncülük edilmiş, literatüre, uygulamaya ve ekonomiye katkısı yüksek olmuştur.

Anahtar Kelimeler

Metal matrisli kompozit; Al 6061; alüminyum matrisli kompozit malzeme; yumurta kabuğu tozu; hibrit kompozit.

Bilim Kodu

625.02.05

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

TRADITIONAL AND WASTE REINFORCED METAL MATRIX COMPOSITES INVESTIGATION OF MECHANICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS

Akif TOK

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Serkan ATEŞ

Bartın-2017, pp: XVI + 73

The composite material is described as the material that two or more of the same or different groups of materials' best features are collected in a single new material by mixing with a suitable method. While composites are producing, multiple reinforcing materials are used. These composites are called hybrid composites. Today, a large number of engineering materials are used in the production of composite materials. The mechanical properties of the composites are excellent also fatigue, toughness, high temperature, oxidation and wear resistances of these materials are high. In addition to these superior properties, their usage in all industrial fields increasing day by day due to their ability to be produced in different compositions and shapes.

In this study, a two stage mixed casting method was used for hybrid composite production. In this method, the aluminum alloy (Al 6061) to be used as a matrix was melted at 700 °C in an electric resistance furnace graphite pot, then the temperature was lowered to 600 °C and at this temperature, to be used as reinforcement elements, egg shell powder having a size of 22-59 µm, 22-59 µm aluminum oxide (Al₂O₃) and 22-59 µm silicon carbide (SiC) powders are added. The mixture in the slurry form was manually mixed and then the temperature was increased to 800 °C (superheating) and at this temperature, the mixture

was mechanically stirred at 250 rpm. Nitrogen gas was used as the inert gas during the mixing process and the oxygen in the environment was removed. The mixture was poured into metal molds which had been preheated to a temperature of 250 °C to produce cylindrical samples with a length of 300 mm and a diameter of 14 mm. By using of reinforcements % 1 - % 3 - % 5 on a mass basis, production of unary composites was done. Also by using of % 4 - % 6 - % 8, binary composites and by using % 7 - % 9 - % 11, trio composites were produced .A total of 30 different reinforcement rates are used. Three specimens were produced for each sample. Produced cylindrical specimens were machined to standard specimen sizes on a CNC turning lathe.

The microstructures of the produced metal matrix hybrid composites were determined by electron microscopy. The hardnesses of hybrid composites were measured by Brinell hardness measurement device and the pore quantities were measured by using Archimedes principle. The tensile strengths were determined using a tensile tester. At the end of the experiments which were conducted to determine the properties of the produced samples, it was observed that as the egg shell powder ratio added in matrix Al 6061 as reinforcement material was increasing from 1% to 5%, the hardness, porosity, tensile stress and yield stress values were increased and the unit elongation value decreased. In addition, due to the limited research on the subject, the literature has been pioneered by researchers in this field, and contribution to literature, practice and economics have been high.

Key Words

Metal matrix composites; Al 6061; aluminum matrix composite materials; egg shell powder; hybrid composites.

Science Code

625.02.05

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖN SÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 KURAMSAL BİLGİLER	4
2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı.....	4
2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri	4
2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları	4
2.4 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları	5
2.5 Matrisler.....	6
2.5.1 Metal Matrisli Kompozit (MMK)Malzemeler	6
2.5.2 Matris Malzemeleri	8
2.5.2.1 Alüminyum Alaşımları	9
2.5.2.2 Al 6061 ve Özellikleri	10
2.5.3 Takviye Malzemeleri	12
2.5.3.1 Al ₂ O ₃ ve Özellikleri	13
2.5.3.2 SiC ve Özellikleri	14
2.5.3.3 Yumurta Kabuğu ve Özellikleri	15
2.5.3.4 Yumurta Kabuğu Atıklarının Değerlendirilmesi	16
2.6 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları	17
BÖLÜM 3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	20

BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	28
4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları.....	28
4.2 Kullanılan Ekipmanlar	29
4.2.1 Bilyalı Değirmen.....	29
4.2.2 Sarsma Makinası	30
4.2.3 MMK Malzemelerin Karıştırılmalı Döküm Yöntemi İle Üretilmesi	30
4.2.4 CNC Torna Tezgahı	33
4.2.5 Hassas Kesme Cihazı	34
4.2.6 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı	34
4.2.7 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı	35
4.2.8 Hassas Terazı	37
4.2.9 SEM	38
4.2.10 İnstron Marka Çekme Cihazı	38
BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	41
5.1 Hibrit Kompozite Ait Mikro Yapı Görüntüleri ve EDS Analizleri	41
5.2 Deneysel Veriler ve Bulgular	44
5.2.1 Porozite Deneysel Verileri	44
5.2.1.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Porozitesine Etkisi	44
5.2.1.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	45
5.2.1.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	47
5.2.2 Sertlik Deneysel Verileri.....	48
5.2.2.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Sertliğine Etkisi	48
5.2.2.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi	49
5.2.2.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi.....	51
5.2.3 Maksimum Çekme Gerilmesi Deneysel Verileri	52
5.2.3.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Maksimum Çekme Gerilmesine Etkisi	52
5.2.3.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Maksimum Çekme Gerilmesine Etkisi	54
5.2.3.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Maksimum	

Çekme Gerilmesine Etkisi	56
5.2.4 Akma Gerilmesi Deneysel Verileri	57
5.2.4.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Akma Gerilmesine Etkisi	57
5.2.4.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Akma Gerilmesine Etkisi	58
5.2.4.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Akma Gerilmesine Etkisi	60
5.2.5 Birim Uzama Miktarı Deneysel Verileri	61
5.2.5.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Birim Uzama Miktarına Etkisi	61
5.2.5.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Birim Uzama Miktarına Etkisi	63
5.2.5.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Birim Uzama Miktarına Etkisi	64
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Şematik olarak kompozit malzemenin bileşenleri	8
2. Al ₂ O ₃ 'in SEM görüntüsü.	13
3. SiC'ün SEM görüntüsü.	15
4. Yumurta kabuğu ve yumurta kabuğu tozu	16
5. Boing 787 uçağındaki kompozit parçalar	18
6. Chevrolet-volt elektrikli araçta kompozit malzeme kullanımı	19
7. Anka-insansız hava aracında kullanılan kompozit parçalar ve % oranları.....	19
8. Kerpiç malzemesi.....	20
9. % 5-10-15 oranlarında Al ₂ O ₃ içeren blok malzemedan alınan numunelerin mekanik alaşımlama sürelerine bağlı olarak değişen sertlik değerleri	21
10. MMK'lerin porozite oranı.....	22
11. MMK'lerin takviye oranına bağlı olarak sertlik değişimleri	22
12. Ticari saf alüminyumun mikro yapısı x 100	23
13. Parçacık takviyeli MMK malzemenin ışık mikroskopunda çekilen mikro yapısı	23
14. Tipik bir 26µm-10wt.% Al ₂ O ₃ /Al kompozitin yapısı, Al ₂ O ₃ parçacıklarının ana yapı içerisinde düzgün bir dağılım sergilemeleri	24
15. Kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerinin ortalama sertlik değerleri	24
16. Porozitenin Al ₂ O ₃ ağırlık değişkeni ile değişimi	25
17. Sertliğin Al ₂ O ₃ ağırlık değişkeni ile değişimi	25
18. Ağırlıkça % 10-15-20 oranlarında ve 32/66µm Al ₂ O ₃ partikül takviyeli kompozitlerin mikroyapı fotoğrafları; a) %10, 32µm, b) %10, 66µm, c) %15, 32µm, d) %15, 66µm, e) %20, 32µm, f) %20, 66µm.....	26
19. Karbonsuz yumurta kabuğu partiküllerinin SEM / EDS mikro yapısı	27
20. Bilyalı değirmen, yumurta kabuğu ve yumurta kabuğu tozu.....	29
21. Sarsma makinası ile yumurta kabuğu tozu elek analizi	30
22. Karıştırmalı döküm ünitesi.....	31
23. Döküme hazır olan metal kalıp ve numune	32
24. Hibrit kompozit üretim yöntemi ve aşamaları	33
25. Hibrit kompozit üretiminde kullanılan takviye malzemeleri	33
26. Hassas kesme cihazı	34
27. Otomatik yüzey hazırlama cihazı.....	35

28.	Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi	35
29.	Brinell sertlik ölçüm cihazı	36
30.	Hassas terazi.....	37
31.	FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu	38
32.	Gerilme – birim uzama diyagramı	38
33.	Instron marka çekme cihazı	40
34.	Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüleri; a) 250 x, b) 250 x, c) 1.50 kx, d) 500 x, e) 250 x.....	42
35.	Üretilen numuneye ait mikro yapı görüntüsü.....	43
36.	Üretilen numuneye ait EDS analizleri; a) 63 numaralı görüntü takviye elemanı SiC, b) 64 numaralı görüntü takviye elemanı YK tozu, c) 65 numaralı görüntü takviye elemanı YK tozu, d) 66 numaralı görüntü matris Al 6061.....	43
37.	Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi	44
38.	Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi	46
39.	Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.....	47
40.	Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.....	49
41.	Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.....	50
42.	Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi	51
43.	Çekme numuneleri	52
44.	Takviye elemanlarının kompozitin maksimum çekme gerilmesine etkisi.....	53
45.	Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etkisi	55
46.	Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etkisi	56
47.	Takviye elemanlarının kompozitin akma gerilmesine etkisi	58
48.	Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin akma gerilmesine etkisi	59
49.	Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin akma gerilmesine etkisi.....	61
50.	Takviye elemanlarının kompozitin birim uzama miktarına etkisi	62
51.	Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi	63
52.	Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi.....	65

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1. Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi.....	10
2. Al 6061 kimyasal bileşimi	11
3. Yumurta kabuğunun kimyasal yapısı.....	16
4. Üretilen numunelerin ağırlıkça takviye oranları	29
5. Matris ve takviye malzemelerinin yoğunluk değerleri	42
6. Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etki değerleri.....	44
7. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri.....	45
8. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri	47
9. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri	48
10. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri	50
11. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri.....	51
12. Takviye elemanlarının kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri ..	53
13. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri	54
14. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri.....	56
15. Takviye elemanlarının kompozitin akma gerilmesine etki değerleri.....	57
16. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin akma gerilmesine etki değerleri.....	59
17. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin akma gerilmesine etki değerleri	60
18. Takviye elemanlarının kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri.....	62
19. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri.....	63
20. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

mm	:	Milimetre
cm	:	Santimetre
°C	:	Derece selsius
g	:	Gram
%	:	Yüzde
Mpa	:	Megapaskal
HBN	:	Brinell sertlik

KISALTMALAR

MMK	:	Metal matrisli kompozit
AMK	:	Alüminyum matrisli kompozit
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
EDS	:	Enerji dağılımlı spektroskop
SiC	:	Silisyum karbür
Al ₂ O ₃	:	Alüminyum oksit (Alümina)
MM	:	Matris malzemeler
TM	:	Toz Metalurji
Al	:	Alüminyum
YK	:	Yumurta kabuğu
ASA	:	Amerikan standartlar birliği
Ti	:	Titanyum
Mg	:	Magnezyum
Cu	:	Bakır

Fe	:	Demir
Co	:	Kobalt
Ni	:	Nikel
SiO ₂	:	Silisyum dioksit
TiC	:	Titanyum karbon
B ₄ C	:	Bor karbür
TiB ₂	:	Titanyum diborür
MgO	:	Magnezyum oksit
Mo	:	Molibden
dev/dk	:	devir/dakika
B	:	Bor
C	:	Karbon
vb.	:	Ve benzeri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile elde edilen yeni malzemeye kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler; hafiflik, korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri nedeniyle önem kazanmaktadır. İstenen yönde daha iyi mukavemet özelliklerinin elde edilebilmesi de diğer bazı önemli özelliklerinden sayılabilir.

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte oluşan ihtiyaçlara cevap verebilecek niteliği yüksek malzemelere de ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişen süreç içerisinde mevcut malzemelerin özelliklerini iyileştirme veya alternatif yeni malzemeler ortaya koyma zorunluluğu doğmuştur (Erdem, 2001).

Günümüzde kompozit malzemelerin üretiminde çok değişik mühendislik malzemeleri kullanılmaktadır. Kompozitlerin mekanik özellikleri mükemmel olup; yorulma, tokluk, yüksek sıcaklık, oksitlenme, aşınma dayanımları da yüksektir. Bu nedenle farklı birleşimlerde ve şekillerde üretilebilmelerinden dolayı bütün endüstriyel alanlarda gün geçtikçe kullanımları artmaktadır.

Metal matrisli kompozitler, tek bileşenli malzemelerle başarısız istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal diğeri takviye elemanı olan iki veya daha fazla farklı sistemin birleşimi ile elde edilen malzeme grubudur. Matris ve takviye elemanı seçiminde; kompozitten beklenen mukavemet, yoğunluk, korozyon direnci, aşınma direnci, yüksek sıcaklık direnci, yorulma direnci, kırılma tokluğu, süneklik gibi özellikler dikkate alınarak yapılır. Bu özellikler birlikte elde edilemeyebilir ve bir kısmı iyileşirken diğerleri kötüleşebilir (Mindivan, 2007).

Mühendislik malzemelerinin yeni bir sınıfını oluşturan metal matrisli kompozitlerin klasik malzemelere olan üstünlükleri; sahip oldukları yüksek dayanım, yüksek tokluk, mükemmel sürtünme, yüksek elastik modülü, yorulma ve aşınma dirençleri ve düşük ısıl genleşme özellikleridir.

Günümüzde metal matrisli kompozitler, geliştirilen ucuz ve kaliteli, parçacık ve kısa fiberler sayesinde geçmiş yıllara oranla daha ekonomik ve yaygın olarak üretilmeye başlanmıştır.

Kompozit malzemeleri yaşamımızın büyük bir bölümünde kullanılmaktadır. Örneğin; inşaat işlerinde kullanılan çimento ve demirin birlikte kullanılmasıyla yapılmış betonarme yapılar, kullandığımız otoyollar kompozit malzemelerden oluşturulmuştur. Bilinen ilk kompozit malzeme saman ve çamur kilin karıştırılması ile yapılan kerpiçtir. Bu karışımdan oluşturulan tuğlaların dayanımının büyük ölçüde arttığı görülmüştür. Kontrplak da kompozit malzemelere örnek verilebilir (Akın, 2007).

Günümüzde gemi yapımından otomotiv sektörüne, ev aletleri üretiminden rüzgar enerjisine taşıyıcı sistem ve bina yapımından boya endüstrisine kadar hemen hemen her alanda çok yaygın kullanımı bulunan kompozit malzemelerin üretimi özellikle son 50-60 yılda hızlı bir ivme kazanmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ve ilk yerli otomobil olan Anadolu'nun kaportası kompozit malzemelere örnek olarak gösterilebilir (Bulut, 2014).

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim ve kullanımları son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte özellikle savunma, havacılık, otomotiv ve denizcilik gibi uygulamalarda artış göstermiştir (Mindivan vd., 2007).

Uzay, havacılık, otomotiv ve savunma gibi endüstrideki hızlı gelişen teknoloji ve artan rekabet sonucunda yüksek performansa sahip yeni ürünlerin tasarlanmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda da yüksek mukavemetli ve hafif malzemelerin kullanımını zorunlu hale gelmektedir. Mühendislik malzemelerinin neredeyse tamamı metal matrisli kompozitler için matris olarak kullanılabilir. Bunların başlıcaları alüminyum, bakır, demir gibi metaller ile bunların alaşımlarıdır. Takviye elemanı olarak metal matrisli kompozitlerde ise Al_2O_3 , SiC, SiO_2 gibi malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmamızda hibrit kompozit üretimi için iki kademeli karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde matris olarak kullanılacak olan alüminyum alaşımı (Al 6061) elektrik dirençli fırında grafit potada 700 °C'de ergitilmiş, daha sonra sıcaklık 600 °C'ye düşürülerek bu sıcaklıkta takviye elemanı olarak kullanılan ve önceden 250 °C'de ısıtılmış 22-59 µm tane büyüklüğüne sahip yumurta kabuğu tozu, 22-59 µm alüminyum oksit

(Al₂O₃) ve 22-59 µm silisyum karbür (SiC) tozlar ilave edilmiştir. Bulamaç halindeki karışım elle karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 800 °C'ye çıkartılmış (süper ısıtma) ve bu sıcaklıkta 250 dev/dk hızla mekanik olarak karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sırasında inert gaz olarak azot gazı kullanılmış ve bu sayede ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Karışım daha önceden 250°C sıcaklığa ısıtılmış olan metal kalıba dökülerek 300 mm uzunluğunda ve 14 mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir.



BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİLER

2.1 Kompozit Malzemelerin Tanımı

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek bir malzemede toplamak ve yeni özellikler sağlamak amacıyla birden fazla malzemenin uygun bir yöntemle karıştırılması ile elde edilen malzemelerdir (Bulut, 2014).

2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Son yıllarda uzay, havacılık, otomotiv sanayisinde ve teknolojiye meydana gelen hızlı gelişme ve ilerlemelere bağlı olarak daha üstün ve mukavemetli özelliklere sahip malzemelere olan gereksinim gün geçtikçe artmaktadır. Bu gereksinime karşılayabilmek ve üstün özellikli malzeme üretimi için bilim adamları çeşitli ve yeni çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda üstün özelliklere sahip kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilmektedir.

Kompozit malzemelerin üretiminde birçok mühendislik malzemeleri yaygın olarak kullanılmakta ve farklı takviye elemanları ile üretilen metal matrisli kompozitlerin kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla araştırmalar yapılmaktadır (Pul vd., 2011).

Kompozit malzemeler mukavemet, şekillendirme, korozyon dayanımı gibi pek çok avantajlı özellikleri ile iyileştirme, yenileştirme, bakım / onarım vb. her aşamada daha az parça kullanımını mümkün kılmaktadır.

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları

Kompozit malzemelerin birçok özelliklerinin metallere göre çok farklılıklar göstermesinden dolayı, kompozit malzemeler metal malzemelere oranla daha fazla önem kazanmışlardır (URL-2, 2015).

Kompozit malzemelerin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Kompozitlerin eğilme ve çekme mukavemeti birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemenin tasarruf yapılarak, daha hafif ve ucuz ürünler elde edilir.
- Kompozit malzemelerin kolay şekillendirilebilme özelliği vardır. Kompleks ve büyük parçalar tek işlemle bir parça halinde kaplanabilir. Bunun sonucunda malzeme ve işçilikten kazanç sağlanır.
- Uygun malzemelerin seçilmesiyle çok üstün elektriksel özelliklere sahip kompozit malzemeler elde edilebilir. Bugün büyük enerji nakil hatlarında kompozit malzemeler iyi bir iletken olarak kullanılabilir.
- Kompozit malzemeler; korozyondan, hava etkilerinden ve çoğu kimyasal etkilerden zarar görmezler. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemeler aspiratör ve borular, kimyevi madde tankları ve deniz araçlarının yapımında güvenle kullanılmaktadır. Korozyona karşı mukavemetli olması nedeniyle endüstride birçok alanda avantaj sağlamaktadır.
- Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanıklılık özelliği, yüksek ısı altında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Kompozit malzemelere kalıplama esnasında reçineye ilave edilen pigmentler sayesinde istenen renk verilebilir. Bu işlem için işçilik ve ek masraf gerekmez.
- Kompozit malzemelerde süneklik nedeniyle doğal bir şok yutabilme ve titreşim sönmüleme özelliği vardır. Çatlak yürümesi olayı da böylece minimum seviyeye indirilebilmektedir (URL-2, 2015).

2.4 Kompozit Malzemelerin Dezavantajları

Kompozit malzemelerin dezavantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Kompozit malzemelerde yorulma özelliklerini olumsuz etkileyen hava zerrecikleri bulunmaktadır.
- Kompozit malzemeler değişik doğrultularda farklı mekanik özellikler gösterebilirler.

- Aynı kompozit malzeme için; kesme, çekme, eğilme ve basma mukavemet değerleri farklılıklar gösterebilmektedir.
- Kompozit malzemelerin delik delme ve kesme türü işlem operasyonlarında liflerinde açılmaya neden olduğundan dolayı, bu tür malzemelerde hassas imalattan söz edilememektedir (URL-2, 2015).

2.5 Matrisler

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak, bir takviye edici malzeme ve bunun çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Takviye edici malzeme, kompozit malzemenin yük taşıma ve mukavemet özelliğini sağlamaktadır. Matris malzeme ise, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önler ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir (Onat, 2015).

Matrisler genel olarak polimer matrisler, metal matrisler ve seramik matrisler olmak üzere üç yapı altında toplanabilirler.

Polimer matrisler; uzay, havacılık, otomotiv, denizcilik, kimyasal ve elektrik uygulamalarında kullanılırlar.

Metal matrisler; alüminyum ve alaşımları, titanyum alaşımları, magnezyum alaşımları, bakır tabanlı alaşımlar, nikel tabanlı süper alaşımlar ve paslanmaz çelik olup, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılırlar.

Seramik matrisler; yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanımı uygundur (Eral, 2003).

2.5.1 Metal Matrisli Kompozit (MMK) Malzemeler

Gerekli görülen ve istenen özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin bileşimiyle elde edilen yeni malzemelere MMK malzemeler denir (Onat, 2015).

Üstün mekanik özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda hızla ilerlemiştir. Yüksek performanslı malzemelere artan talepler araştırmaları kompozit malzemelerin geliştirilmesine yönlendirmiştir. Özellikle otomotiv, havacılık ve taşımacılık endüstrileri bu tür ileri malzemelerin geliştirilmesi ile yakından ilgilenmektedir (Shirzadi, 1997).

MMK'lerde matris malzemesi olarak, mukavemet / yoğunluk oranının iyi olmasını sağlayacak düşük yoğunluklu, ağırlıkça hafif, yüksek mekanik özelliklere sahip olan metaller veya alaşımları kullanılmaktadır. Kullanılacak olan matris malzemesi seçilirken malzemenin kullanılacağı ortam şartları ve malzemedan beklenen işlevler göz önünde bulundurulur. Bu şartlar ışığında matris malzemesinin saf mı yoksa alaşımlı mı olacağı belirlenir. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde matris malzemesi seçimi çok önemlidir. Bu seçimde matris malzemesinin kristal yapısından, ısıl, mekanik ve fiziksel özelliklerine kadar birçok karakteristiğın göz önünde bulundurulması gerekir. Matris malzemesinin takviye elemanı ile uyumluluğu, üretilirliğı ve üretim yöntemi de diğer dikkat edilmesi gereken parametrelerden bazılarıdır.

Metal matrisli kompozitler malzemelerde yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, mekanik ve düşük yoğunluk özelliklerine sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları özgül ağırlık ve dayanım oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarında tercih edilmektedir (Taya vd., 1988).

Metal matrisli kompozit malzemeler, metalik matris alaşımının seramik, karbon veya metalik takviye elemanları ile sistematik karışımından elde edilen malzemeler olup, sürekli ve süreksiz takviye elemanı içerirler ve tek bileşenden oluşan malzemelerde elde edilemeyen mükemmel özellikler gösterirler (Foltz, 1990).

Metal matrisli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan biri metal matris ve diğeri ise takviye malzemesidir. Kompozitin üretilmesinde takviye malzemesi ve matris beraber olarak karıştırılırlar. Matrisin malzemesi tüm durumlar için metaldir. Ancak matris olarak saf metalin kullanılmasına çok nadir olarak rastlanmakta olup; genelde matris bir metal veya metal alaşımıdır (Akbulut vd., 1995).

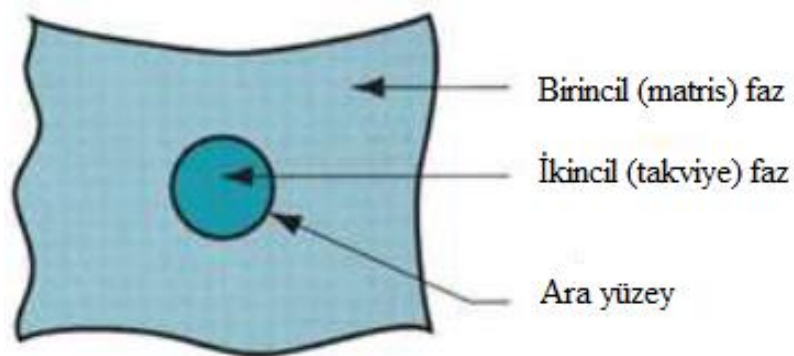
Takviye elemanının görevi; kompozit malzemeyi mekanik özellikler açısından güçlendirmektir. Matris elemanının görevi ise, takviye elemanının bütünlüğünü sağlayarak takviye elemanını çevresel ve kimyasal etkilerden korumaktır (Ömercikoğlu, 2009).

Takviye malzemelerinin kullanılması ile matrisin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde olumlu etkiler sağlanmaktadır. Bu özellikler arasında dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, yorulma ömrü, yoğunluk, ısı ve ses yalıtımı ile termal iletkenlik sayılabilir (Clyne vd., 1993).

2.5.2 Matris Malzemeleri

Kompozit malzemeler, takviye malzemesi ile bu takviye malzemesinin etrafını sarak kuvvetli bir şekilde bağ oluşturan matris malzemesinden/malzemelerinden oluşur (Akın, 2007).

Matris malzemeleri takviye elemanlarını bir arada tutar ve matris malzemeleri takviye elemanlarına yük aktarımı yaparlarken takviye elemanlarını korozyona ve aşınmaya karşı korurlar. Takviye elemanlarından kırılğan çatlakların yayılmasını engeller. Matris malzemeleri kompozitin mekanik özelliklerini de belirler (Hull, 1992). Şematik olarak kompozit malzemenin bileşenleri Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1: Şematik olarak kompozit malzemenin bileşenleri (URL-1, 2014).

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi takviye elemanını ıslatabilmeli, mümkün olan düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşma yapabilme ve takviye elemanlarının arasına emdirilmelidir (Bardal, 1992).

Metal matrisli kompozitlerde ana yapıyı metal veya alaşımları oluşturmaktadır. Bu kompozitlerde takviye elemanı olarak genellikle SiC, Al₂O₃, SiO₂, TiB₂, B₄C ve MgO gibi malzemeler kullanılmaktadır.

2.5.2.1 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum, hafif ve yumuşak bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Bu renk, alüminyum havaya maruz kaldığında üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelmektedir. Alüminyum zehirleyici ve manyetik değildir. Alüminyumun kıvılcım çıkarmamaktadır.

Alüminyum aynı zamanda çok iyi bir iletkenidir. Üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır. Dünya ekonomisi için çok önemli bir konumda olup, endüstride çok farklı ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren inşaat, taşımacılık, otomotiv, havacılık ve uzay sanayiinde geniş kullanım alanına sahiptir (Özcömert, 2006). Alüminyum alaşımlarının uçaklarda geniş bir kullanım alanı bulmakta olup; özellikle gövde ve kanat kaplamalarında kullanılmaktadır (Kafalı vd., 2014). Bu tür malzemelerin kullanım alanları, uzay teknolojisinden ev eşyalarına kadar geniş bir alana yayılmıştır.

Alüminyum günümüzde demir çelikten sonra en çok kullanılan metal durumunda bulunmaktadır. Döküm özelliklerinin iyi olması ve birçok döküm yöntemine kolaylıkla uyum sağlaması, korozif özelliklerinin iyi olması, mekanik özelliklerinin çeşitli metalurjik işlemler sonucunda geliştirilebilmesi, alüminyum kullanımının bu denli yaygın olmasının en önemli nedenlerindedir (Turhan, 2002).

Alüminyum alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme dizgesi ASA tarafından belirlenen simgeleme dizgesidir. Tablo 1’de temel alüminyum alaşımlarının simgeleri gösterilmektedir. Buna göre dört rakamlı sayısal simgenin ilk iki rakamı, temel alaşım elementini belirtmektedir. Örneğin; 1XXX serisi saf alüminyumu (%99.XX) gösterir.

Tablo 1: Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi.

Simge	Alaşım Elementi
1XXX	Saf alüminyum
2XXX	Bakır
3XXX	Mangan
4XXX	Silisyum
5XXX	Magnezyum
6XXX	Magnezyum – silisyum
7XXX	Çinko
8XXX	Diğer elementler
9XXX	Kullanılmayan dizi

Cevherden folyoya olan serüveni çok kısa bir sürede gelişen alüminyum günümüzde çok kullanılır hale gelmiştir. Tüketimde, alüminyum ve alaşımlarının demir ve çelik ile mukayese edilecek duruma gelmesi, son yıllarda havacılık, tıp, kimya, inşaat ve otomotiv sanayinde ve bunların yan kollarında her geçen gün artan bir şekilde kullanılması, bu metalin önemini gün geçtikçe arttırmaktadır. Hafif metal sınıfından olan alüminyumun bu önemi, yumuşak ve demirden üç kat daha hafif, mukavemetin ağırlığına oranının yüksek olması, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olması, kolay işlenebilirliği, korozyona dayanıklılığı, soğuk ve sıcak olarak şekillendirilebilirliği ve işlenebilirliği gibi özelliklere sahip olmasındandır.

2.5.2.2 Al 6061 ve Özellikleri

Sanayi sektöründe mühendislik uygulamalarında yüksek dayanımlı ve daha hafif malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Metal alaşımlarının mekanik özellikleri yüksek dayanımlı seramik fazlarla iyileştirilebilmektedir (Uygur,1999).

Hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri metal matrisli kompozitler için matris olarak kullanılabilir. Bunların başlıcaları Al, Mg, Fe, Cu ve Ni gibi metaller ile bunların alaşımlarıdır. Alüminyumun hafifliği, korozyon direnci, işleme kolaylığı ve takviye elemanı ile uyumluluğu, en yaygın kullanılan matris malzemesi olmasında etkili olmuştur. Ayrıca özellikleri takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, yüksek çekme mukavemeti, termal kararlılık, ergime sıcaklığı, kolay üretilirlik özelliklerinin

artırılması söz konusudur (Çalın, 2006).

Farklı malzemelerin birbiriyle başarılı bir şekilde birleştirilebilmeleri, ağırlık, mukavemet, korozyon direnci vb. faktörlerin optimize edilebilmesi açısından önem taşımaktadır (İpekoğlu vd., 2012).

Alüminyum; iyi döküle bilirliliği, düşük yoğunluğu, iyi fiziksel ve mekanik özellikleri dolayısıyla matris malzemesi olarak tercih edilmektedir (Kurnaz vd., 1993).

Alüminyumun; korozyona karşı dayanımı, uygun mekanik özelliklerle birlikte düşük ağırlık, alaşımlarının sağlamlık ve yumuşaklık açısından son derece çeşitli olması, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, geri dönüşebilir olması, kolay işlenebilme ve biçimlendirilebilmesi, parlama ve alev almazlık gibi özellikleri kullanımının çok büyük bir hızla yaygınlaşmasına neden olmuştur.

Tablo 1’de gösterilen 6XXX serisi alaşımlar gövde panel alaşımlarıdır. Özellikle fırınlama çevrimi esnasında çökelme sertleşmesine karşı oldukça duyarlıdır (Bedir vd., 2006). Al 6061 yoğunluğu $2,72 \text{ g/cm}^3$, çeliğin yoğunluğu ise $7,83 \text{ g/cm}^3$ ’dür. Al 6061’in kimyasal bileşimi Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2: Al 6061 kimyasal bileşimi (URL-3, 2016).

Fe	Si	Cr	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Diğer	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	0,15	Kalan

6XXX serisi Al-Mg-Si alaşımlarıdır ve yine Tablo 1’de görüldüğü gibi 6XXX serisini diğer serilerden ayıran özellik içinde alüminyuma katkı elementi olarak bulundurduğu magnezyum ve silisyumdur. 6XXX serisinde alüminyuma ilave edilen magnezyum alaşıma yüksek mukavemet, süneklik ve mükemmel korozyon direnci kazandırır. İlave edilen bu takviye malzemeleri fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirmektedir.

İşlenebilen alüminyum alaşımları ısıl işlem davranışlarına göre; ısıl işlem uygulanabilen ve uygulanamayan olmak üzere iki bölüme ayrılırlar. Genellikle 2XXX, 4XXX, 6XXX, 7XXX serileri ısıl işleme olumlu cevap verdiklerinden dolayı, ısıl işlemle mekanik özellikleri iyileştirilmektedir (Erdem, 2001).

Al 6061'in uygulama alanları; savunma sanayi, demiryolu vagonlarında ağır yapılar, uçak sanayi, kamyon korkulukları, köprüler, gemi inşa sektörü, askeri köprüler, taşımacılık, boru ve kazan imalatı, motor botları, helikopter pervane kaplaması, uzay uygulamaları, perçin ve kuledir (URL-3, 2016).

Al 6061 ısıtılabilir ve Al, Si ve Mg alaşımıdır. Yüksek dayanım/ağırlık oranı, mükemmel kaynak edilebilirlik, çok iyi süneklik, şekil değiştirme kararlılığı ve iyi korozyon direnci gibi mükemmel mekanik özelliklere sahiptir.

Alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımına sahip Al 6061 malzemesi alüminyum mekanik özelliklerinin iyi olmasından dolayı yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Al 6061 korozyon dayanımının yüksek olması ve kaynak yapılabilirliğinin iyi olmasından dolayı özellikle kazan imalatında da kullanılmaktadır (Arıcı vd., 2015).

Alüminyumun; magnezyum ve silisyum gibi elementler ile yaptığı alaşımlar, uygulamada en çok kullanılanlardır. Bu, mekanik özelliklerini iyileştirilmesi açısından önem taşır.

Metal matrisli kompozit üretiminde Al ve alaşımları, kolay temin edilebilen Al_2O_3 , SiC gibi takviye malzemeleriyle fiziksel ve kimyasal olarak uygunluk gösterdiklerinden dolayı matris olarak daha çok tercih edilmektedirler. Bu alaşımların tercih nedeni, düşük ergime sıcaklığı ve yoğunluğuna sahip olmaları ve birçok seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmelerinden dolayıdır.

Ayrıca Al 6061 ağırlıkça hafif ve özellikle otomotiv ve havacılık endüstrisinde çok yoğun kullanılmakta olduğundan dolayı matris malzemesi olarak seçilmiştir.

2.5.3 Takviye Malzemeleri

Kompozit malzemelerde takviye malzemesinin ana görevi; matris içerisinde tek düze olarak dağılıp, matrisin maruz kaldığı gerilmeleri destekleyerek kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktır (Akın, 2007).

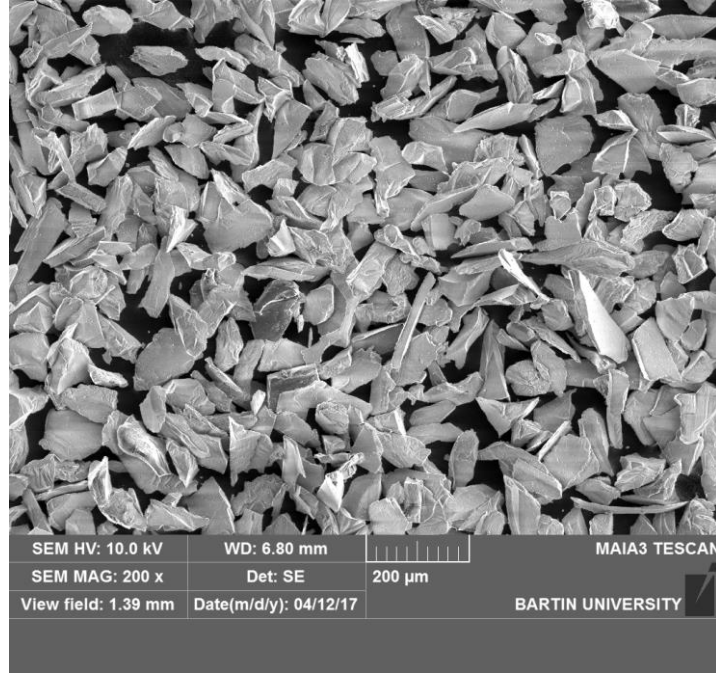
2.5.3.1 Al₂O₃ ve Özellikleri

Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modül ve rijitlik, takviye elemanı olarak kullanılmasının en önemli nedenlerindedir (Onat, 2015). Al₂O₃'ün ergime sıcaklığı 2050 °C, kaynama noktası 2080 °C ve yoğunluğu ise 3,94 g/cm³'dür.

Alüminyum alaşımlarına SiC, Al₂O₃ gibi seramik partiküllerinin ilavesiyle üretilen kompozit malzemelerin özellikle aşınma dayanımlarının arttığı bilinmektedir. Ayrıca sürtünme çiftlerinin aşınma mukavemetlerinin artırılması ve kompozitlerin özelliklerinden yararlanma çalışmalarının sistematik şekilde yürütülmesi gerekmektedir (Mutlu, 2012).

Alümina, aşınmaya karşı dirençli oluşu, sertliği ve mekanik dayanım nedeni ile öğütücü değirmenlerin bilyelerinde, tekstil endüstrisinde kesici takımlarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu özellikleriyle merkezi ısıtma sistemlerinin sirkülasyon pompalarının yataklarında, otomobillerin soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır (Bakar, 2009).

Kompozit ve hibrit kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan Al₂O₃'in 200 büyütme SEM görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Al₂O₃'in SEM görüntüsü.

2.5.3.2 SiC ve Özellikleri

Silisyum karbür kompozitleri, ikinci dünya savaşı sırasında askeri silah sanayisinin eksikleri ve zayıf yanları da görülerek bilim adamlarını ekonomik, dayanıklı ve kullanışlı malzemelerin kullanılması amacıyla yeni çalışmalar yapmasıyla kullanılmaya başlanmıştır (Büyükuncu, 2000).

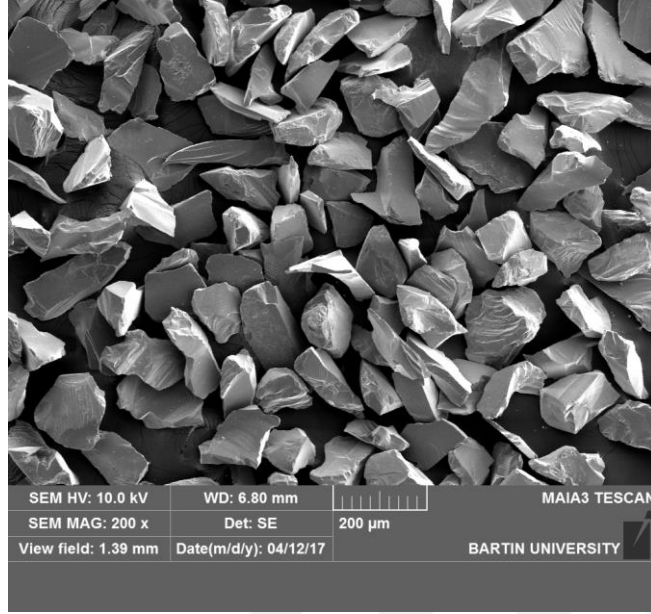
Silisyum karbür (SiC), yüksek sıcaklıklarda ulaştığı, iyi mekanik özelliklerle ileri teknoloji seramiklerinin en önemlileri arasında yerini almış bir malzemedir. Aşındırıcı bir toz olarak, aşındırıcı takım malzemelerinde ve parlatma işlemlerinde kullanılmaktadır. Metal dışı malzemelerin öğütülmesinde, sert malzemelerin son işleme kademelerinde ve seramik parçalarda üretim maliyetinin önemli olduğu zamanlarda dolgu olarak kullanılır. Bunların dışında, aşınma bileşenlerinde, seramik kaplamalarda, ısıtma elemanlarında, seramik pompalarda, kaplanmış aşındırıcılarda, seramik conta ve halkalarda ve hafıza disklerinde, seramik ve metal matris kompozitlerde kullanılmaktadır (Bakar, 2009).

Matris malzemesi olarak alüminyum, güçlendirici seramik parçacık olarak da SiC en çok tercih edilen malzemelerdir. SiC parçacıklarının alüminyum tarafından ıslatılabilirliğinin iyi olması bu tercihte önemli rol oynamaktadır.

SiC, yüksek mekanik dayanım ve aşınma direnci, rijitlik gibi üstün özelliklerinden dolayı uçak, otomotiv, taşıt, yapı ve tarım üretim endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, alüminyum çok reaktif bir metal olduğu için takviye olarak kullanılan SiC fazıyla reaksiyona girmeye eğilim gösterir (Kurşun, 2011).

SiC kullanımının en önemli avantajı, maruz kaldığı yüksek sıcaklık şartları altında mukavemet ve rijitlik özelliklerini muhafaza edebilmesidir (Onat, 2015).

SiC, 2500 °C bozunma sıcaklığına ve 3,20 g/cm³ yoğunluğa sahiptir. Numune üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan SiC'ün 200 büyütme SEM görüntüsü Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: SiC'ün SEM görüntüsü.

2.5.3.3 Yumurta Kabuğu ve Özellikleri

Ülkemizde son yıllarda çevre kirliliğine sebep olan endüstriyel atıkların geri kazanımı oldukça büyük önem kazanan konuların başında gelmektedir. Çünkü endüstriyel atıkların geri dönüşümü, çevre bilincinin oluşmasına neden olmuştur (Erdem, 2010).

Yumurta kabuğu, yumurtaya şeklini veren ve yumurtayı dış etkilere karşı koruyan kısımdır. Yumurta kabuğu, ağırlığının % 10 ile 12'sini oluşturur. Yapısının % 98'i inorganik maddelerden oluşan kabuğun yaklaşık % 93,7'i kalsiyum karbonattır. Düşük oranda kalsiyum fosfat, magnezyum karbonat, organik madde, magnezyum fosfat ve su bulunur. Organik madde kabuk içinde homojen olmayıp bazı kısımlarda fazladır ve buralarda daha fazla su tutulmasına neden olur. Yumurta kabuğunun rengi ile bileşimi arasında bir ilgi bulunmamaktadır. Yumurta kabuğunun rengi, hayvanın genotipi ile ilgili bir özelliktir (M.E.B., 2011). Yumurta kabuğu tozu $2,22 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir.

Yumurta kabuğunun kimyasal yapısı Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3: Yumurta kabuğunun kimyasal yapısı.

Kalsiyum Karbonat	% 93,7	(M.E.B., 2011)
Magnezyum Karbonat	% 1,0	
Kalsiyum Fosfat	% 1,0	
Organik Maddeler	% 3,3	
Su	% 0,1	

2.5.3.4 Yumurta Kabuğu Atıklarının Değerlendirilmesi

Türkiye Ziraat Odaları Birliğinin 2014 yılı verilerine göre yurdumuzda yıllık 17 milyar adet yumurta tüketilmektedir (URL-4, 2016). Bir yumurta kabuğu yaklaşık 8 gram gelmektedir. Tüketilen yumurtalara ait yumurta kabuklarının yaklaşık olarak % 10'u yem sektöründe kullanılabilirken, geri kalan % 90'lık kısım atık olarak karşımıza çıkmaktadır. Buda yıllık olarak 120.000 ton yumurta kabuğunun kullanılmadan çöpe atıldığı anlamına gelir. Atık olan bu malzemelerin kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılması ile imalat sektörünün ucuz takviye malzemesi gereksinimleri karşılanacaktır. Literatür de konu üzerine yapılan araştırmaların az olması nedeniyle, bu konudaki araştırmalara öncülük edilmiş ve literatüre katkı sağlanmıştır. Ayrıca atık malzemelerin depolanması ve geri dönüşümünün sağlanması için büyük tesislere ve yüksek maliyetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Geri dönüşüm çalışmalarının ihtiyaç duyduğu yüksek enerji hem maliyet getirmekte hem de çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle çalışmamızda takviye elemanı olarak organik atık (yumurta kabuğu) kullanılmıştır. Bunun yanı sıra günümüzde kompozit malzeme çalışmaları hibrit kompozitler üzerine yoğunlaşmaktadır. Yumurta kabuğu ve yumurta kabuğu tozu Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4: Yumurta kabuğu ve yumurta kabuğu tozu.

2.6 Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları

Geliştirilmiş mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından ve hafif olmaları nedeni ile metal matrisli kompozitler yeni malzemeler olarak dikkati çekmektedir. MMK'lerin önemli bir çeşidi de alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerdir. Alüminyum metal matrisli kompozitler tek parçalı malzemelere göre daha rijitlik, yüksek dayanım ve alüminyum alaşımlarının üstün özelliklerinden dolayı uçak, otomotiv, taşıt, uzay, savunma sanayii ve tarım endüstrilerinde geniş uygulama alanı bulmaktadır. Alüminyum metal matrisli kompozitlerin uygulama alanlarının önümüzdeki yıllarda da artacağı beklenmektedir. Alüminyum MMK malzemeler, endüstriyel problemlerin çözümündeki teknolojik olgulardan birisi olarak da görülmektedir.

Matris malzemesi olarak metal matrisli kompozit malzemelerde, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadır. Hafif malzeme olmaları en önemli tercih nedenidir. Alüminyumun metal matrisli kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı taşımacılık, otomotiv, denizcilik ve uçak endüstrisinde kullanımları artmaktadır.

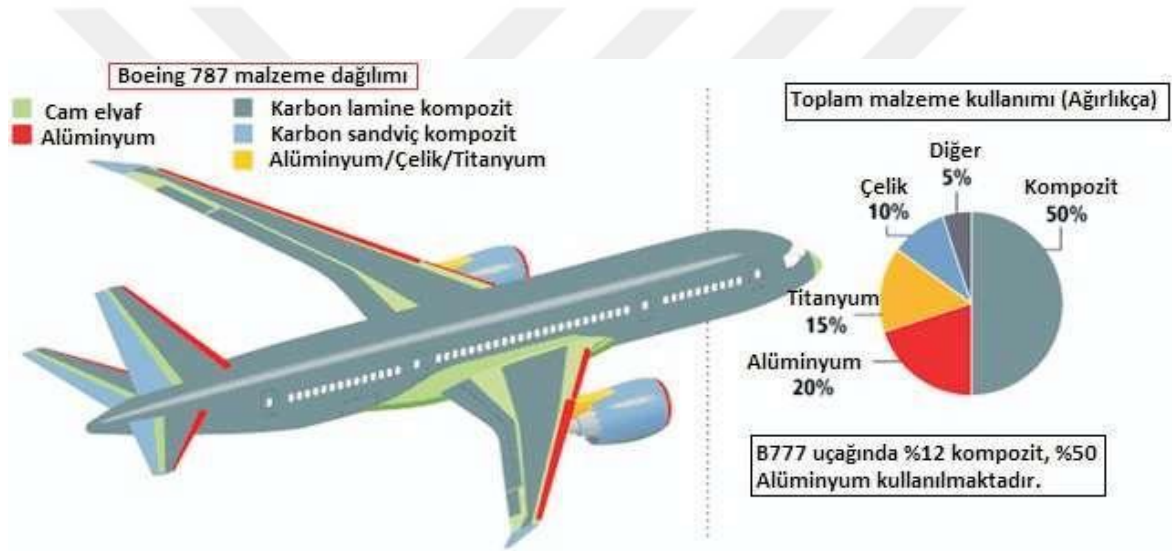
Alüminyum alaşımlarının matris alaşımı olarak tercih edilmelerinin nedeni düşük yoğunluk ve ergime sıcaklığına sahip olmaları ve bununla birlikte birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir. Alüminyum, saf halde matris malzemesi olarak kullanıldığı gibi, alaşım olarak da kullanılabilir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme değerleri için Si ve Al alaşımları, yüksek termal iletkenlik ve düşük yoğunluk için Al-Mg ve Cu-Al alaşımları matris alaşımı olarak kullanılabilir.

Alüminyum metal matrisli kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinden dolayı uçak ve otomotiv endüstrisinde kullanımları artmaktadır. Matris yapısına ilave edilen miktarı ve farklı takviye boyutu gibi faktörlere bağlı olarak da istenilen özellikler elde edilebilmektedir (Altuner vd., 2012).

Alüminyum malzemelerin geri dönüşümü açısından bakıldığında eşsiz bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Alüminyumun geri dönüşümü malzemenin kalitesi bozulmadan başarıyla sağlanmaktadır. Otomobillerde kullanılan alüminyumun %95'i hurda alüminyumdan yeniden dönüştürülerek imal edilebilmektedir. Alüminyumun hurda değeri bu anlamda oldukça yüksektir. Alüminyum birçok otomotiv parçası için en ekonomik

malzeme konumundadır. Çevreye duyarlı bir otomobil geliştirmek için daha üretim aşamasında otomobil üreticileri, yakıt tasarrufunu ve üretim maliyetinde sağladığı avantajları da göz önüne alarak alüminyum malzeme kullanmaktadırlar. Önümüzdeki yıllarda otomobillerde kullanılan alüminyum miktarının iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Alüminyum, gelecek yüzyılın çevreyle dost arabaları için tercih edilen malzeme olacaktır. 1970’lerde başlayan enerji krizi ile birlikte araçların hafifleştirilmesi yönünde bir eğilim olmuştur. 1980’lerde ise daha fazla sürüş konforu, daha yüksek performans, kolay bakım ve daha fazla emniyet imkanı sağlayan arabalara doğru bir trend izlenmektedir (Özcömert, 2006).

şekil 5’de Boeing 787 uçağında kullanılan kompozit malzemeler görölmektedir.

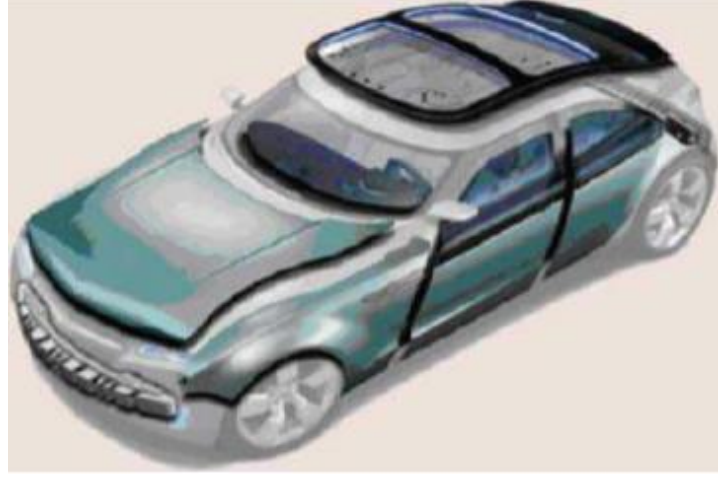


şekil 5: Boeing 787 uçağındaki kompozit parçalar (Bulut, 2014).

Alüminyum ve alaşımları, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, termal iletkenlik ve mükemmel korozyon direnci gibi özellikleri nedeniyle özellikle havacılık sektörü ve otomotiv sektörü için çok önemli bir malzemedir (Gökşahin, 2007).

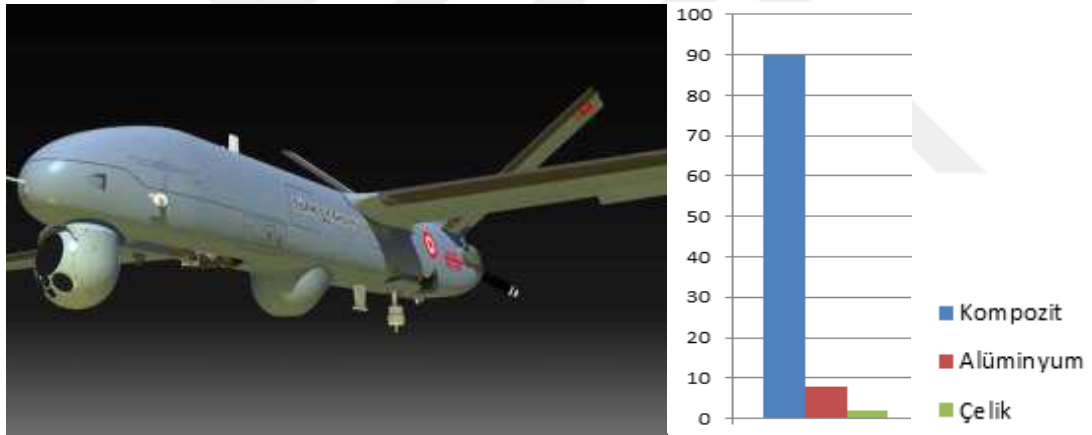
Alüminyum matrisli kompozitler otomotiv parçalarında, silindir gömlekleri uygulamalarında, pistonlarda ve piston kollarında kullanılmaktadır (Hassan vd., 2015).

şekil 6’da Chevrolet-Volt elektrikli araçta kompozit malzeme kullanım alanları görölmektedir.



Şekil 6: Chevrolet-Volt elektrikli araçta kompozit malzeme kullanımı (yeşil renk ile gösterilmekte), (Bulut, 2014).

Anka-insansız hava aracında kompozit malzeme kullanımı Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7: Anka-insansız hava aracında kullanılan kompozit parçalar ve % oranları (Bulut, 2014).

Şekil 7’de gösterilen ANKA uçak yapısının (kanat, gövde ve kuyruk) % 90’ı kompozit malzemelerden oluşmaktadır. Günümüzde artık kompozit firmaları başarılı bir performans göstermekte olup birçok uluslararası projede yüklenici ve/veya alt yüklenici olarak görev almaktadırlar (Bulut, 2014).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Farkında olmadan birçok kompozit malzemeyi yaşamımızın büyük bir bölümünde kullanmaktayız. Evlerimizin inşasında kullanılan çimento, kullandığımız otoyollar, betonarme yapılar ve daha verilebilecek birçok örnek kompozit malzemelerden oluşturulmuştur. İlk kompozit malzeme saman ve çamur kil karıştırılarak yapılan kerpiçtir (Şekil 8). Bu malzemede saman, çamur ve kil karışımından oluşturulan tuğlaların dayanımını büyük ölçüde artıran bir etki göstermiştir. Kompozit malzemelerin ilk örneklerinden bir diğeri de kontrplaktır. Güçlü bir yapıştırıcı ile dilimlenmiş tahta parçalarının birleştirilmesinden oluşan bu malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır (Akın, 2007). Bununla birlikte insanlar ilk çağlardan beri kırılgan malzemelerin içine hayvansal veya bitkisel kaynaklı lifler koyarak bu kırılganlığını azaltmaya çalışmışlardır (Er, 2012).



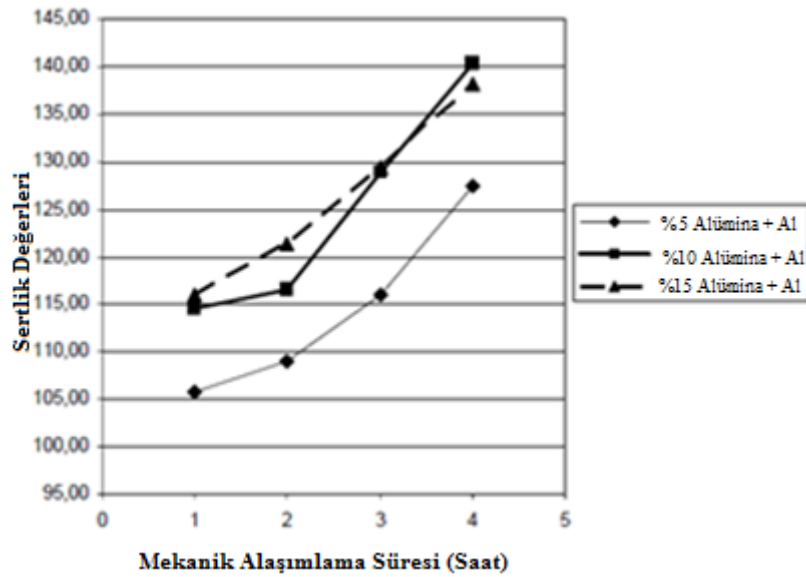
Şekil 8: Kerpiç malzemesi (Er, 2012).

MMK malzemeler üzerine yapılan çalışmalar, 1950'li yılların başlarına dayanmaktadır. 1970'li yılların başlarında bor ve SiC gibi yüksek dayanımlı takviye malzemeleri ile MMK'lerin üzerindeki çalışmalar artmıştır. 1970'li yılların sonlarında ise çalışmalar, silisyum karbür takviyeler kullanılarak üretilen süreksiz takviyeli metal matrisli kompozitler üzerinde yoğunlaşmıştır.

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde 1980'li yıllarda büyük bir artış görülmüştür. Alüminyum, bakır ve magnezyum matrisli kompozitler, havacılık endüstrileri ve otomotiv alanlarında en büyük ilgiyi görmüştür. Bu ilgi, bugüne dek devam etmiştir.

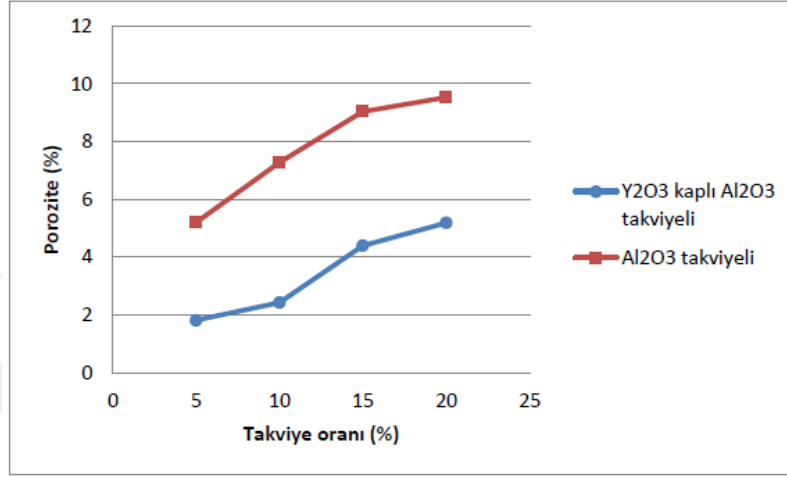
Ho Min ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmada 7XXX serisi Al alaşımı esaslı ve % 5 silisyum karbür takviye oranına sahip numunelerde sinterlenme özellikleri ve takviye elemanının basma dayanımları ve sertlik üzerindeki etkilerini incelemiştir. Deney numuneleri azot gazı ortamında 10 ile 240 dakika süreleri arasında 620 °C'de sinterleme işlemlerine maruz bırakılmış ve daha sonra numunelere 475 °C'de çözeltiye alma işlemi ile 175 °C'de yaşlandırma işlemleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilen ısıl işlemlerden sonra numunelere basma deneyleri ve mikro sertlik uygulanarak mekanik özellikler belirlenmiştir. SiC takviyeli kompozitlerin yaşlandırma işlemi sonrasında kompozit numunelerin basma dayanımlarının alaşım numuneye oranla daha yüksek olduğu, mikro sertlik değerlerinin ise alaşım numunelere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir (Aycan, 2010).

Ekinci (2007), yaptığı çalışmada alaşımlama süresine bağlı olarak güçlendirici takviye elemanı olan alüminanın boyutlarının kırılarak küçülmesi ve dağılımının homojen olmasının yanında kompozit malzeme içerisindeki oranının da artması sonucunda doğal olarak numunelerin sertliğini arttırdığını tespit etmiştir (Şekil 9).



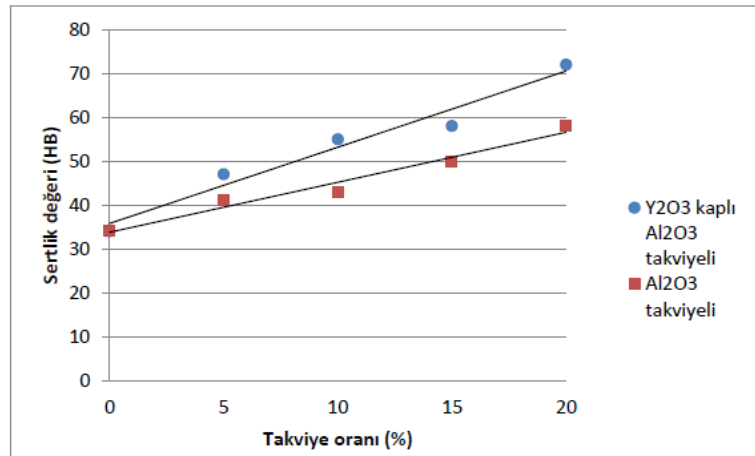
Şekil 9: % 5-10-15 oranlarında Al₂O₃ içeren blok malzemeden alınan numunelerin mekanik alaşımlama sürelerine bağlı olarak değişen sertlik değerleri (Ekinci, 2007).

Altuner (2011), yaptığı çalışmasında sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen AA 6061 alüminyum alaşımı kompozitlerin yoğunluklarını Arşimet prensibine göre hesaplamıştır. Teorik ve deneysel yoğunluk değerlerinin kıyaslanması ile numunelerin gözenek oranları tespit edilmiştir. Takviye hacim oranındaki artışın porozite miktarındaki artış ile sonuçlandığını belirtmiştir (Şekil 10).



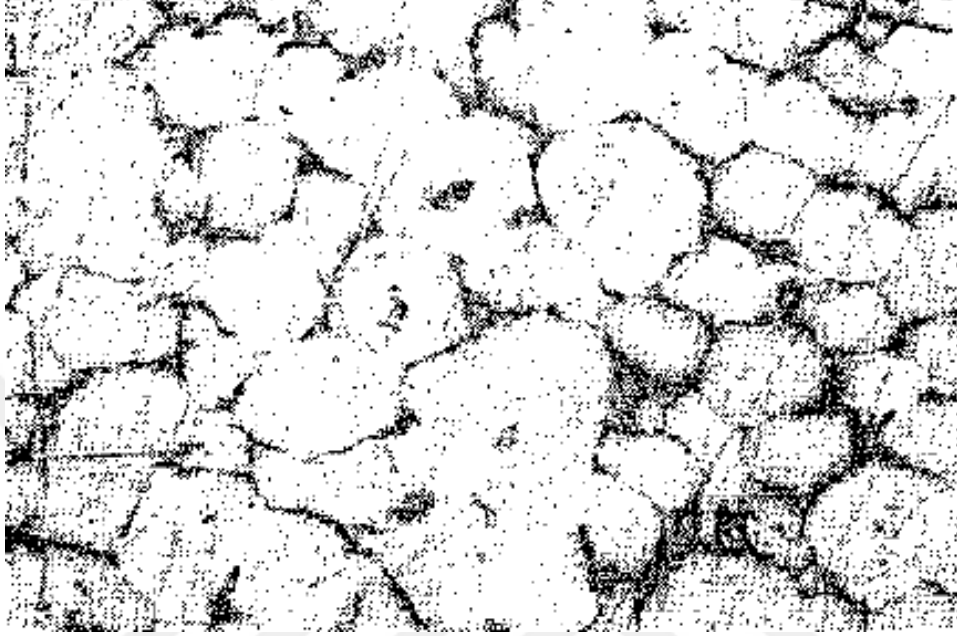
Şekil 10: MMK'lerin porozite oranı (Altuner, 2011).

Şekil 11'de görüleceği üzere partikül takviye oranının ağırlıkça yüzdesinin artmasıyla kompozit malzemelerin sertliği de artmaktadır. Y_2O_3 kaplı Al_2O_3 partikül içeren kompozitlerin sertlik eğilimleri de aynı benzerliği göstermektedir. Ancak buradaki sertlik değerlerinin Al_2O_3 partikül takviyeli kompozitlerle kıyaslandığında daha yüksek olduğunu göstermiştir.

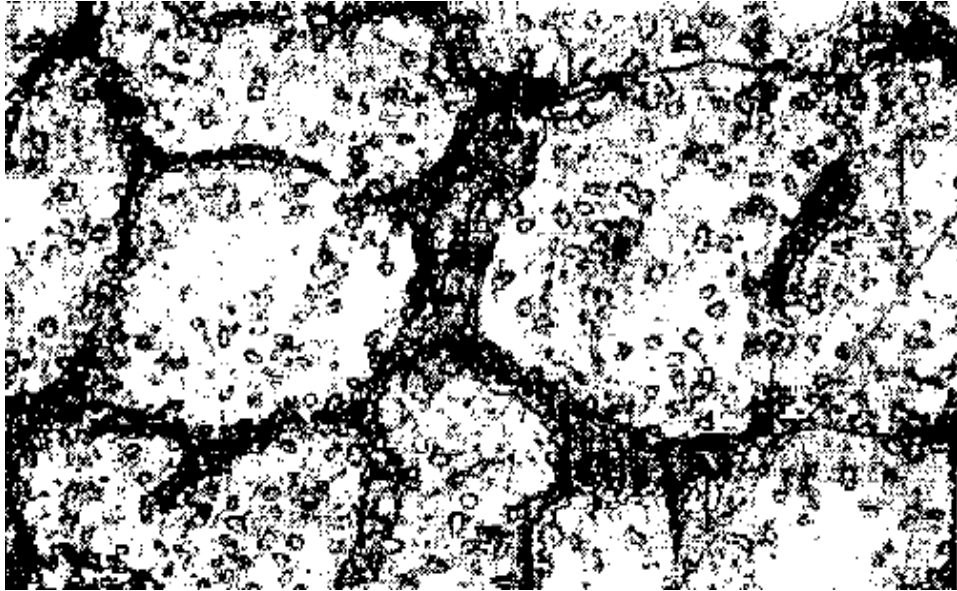


Şekil 11: MMK'lerin takviye oranına bağlı olarak sertlik değişimleri (Altuner, 2011).

Mutlu (2012), yaptığı çalışmasında matris metali olarak saf Al ve takviye malzemesi olarak partikül Al_2O_3 kullanmıştır. Saf alüminyuma Al_2O_3 parçacıkları ilave edilmesi ve üretilen MMK'in mikro yapısı Şekil 12 ve Şekil 13'de gösterilmiştir.

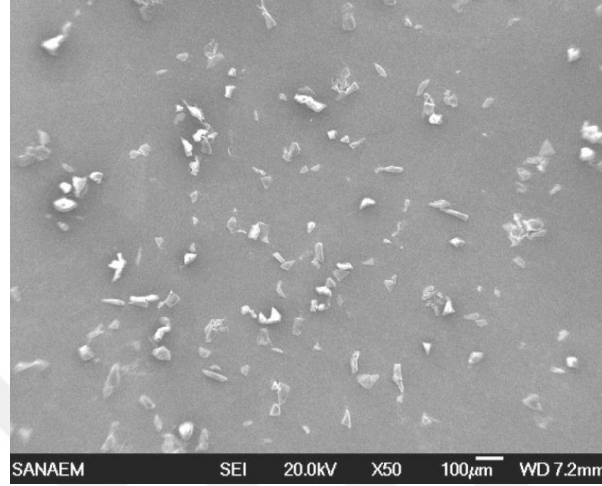


Şekil 12: Ticari saf alüminyumun mikro yapısı x 100 (Mutlu, 2012).



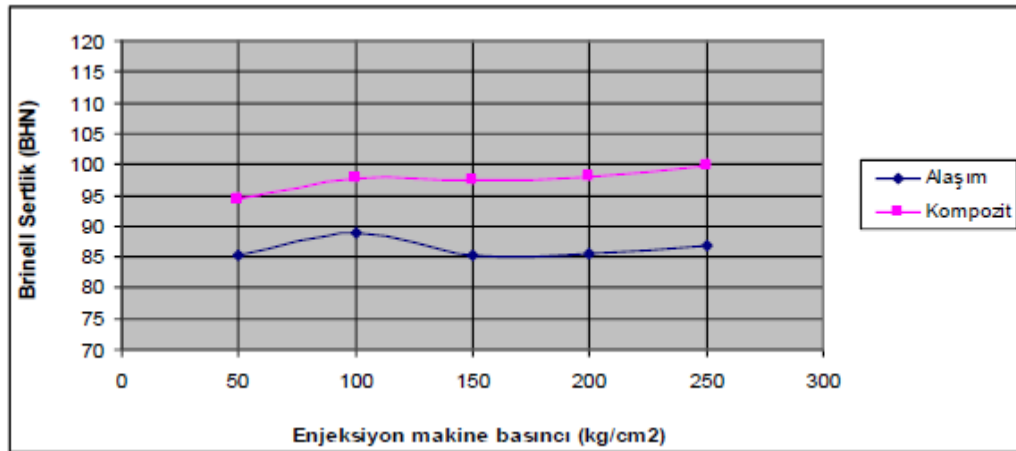
Şekil 13: Parçacık takviyeli MMK malzemenin ışık mikroskopunda çekilen mikro yapısı (Mutlu, 2012).

Şahin ve Öksüz (2012); yaptıkları çalışmada toz metalürji yöntemini uygulayarak alüminyuma ağırlıkça % 10 ve % 20 oranlarında, ortalama 26 µm boyutunda Al₂O₃ parçacıkları takviye edilerek metal matrisli kompozit malzemelerin üretimini yapmışlardır. Ürettikleri metal esaslı kompozitlerin mikro yapısı Şekil 14’de verilmiştir.



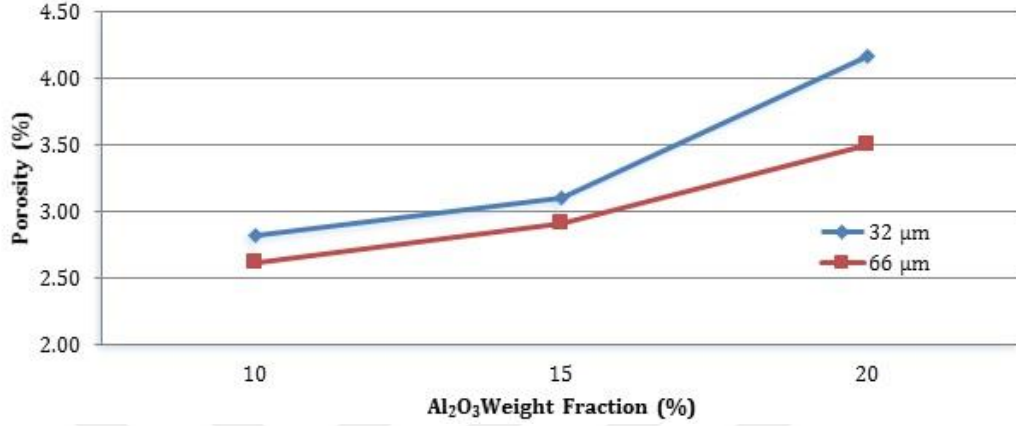
Şekil 14: Tipik bir 26µm-10wt. % Al₂O₃/Al kompozitinin yapısı, Al₂O₃ parçacıklarının ana yapı içerisinde düzgün bir dağılım sergilemeleri (Şahin vd., 2012).

Bayar ve arkadaşları (2015), yaptıkları çalışmada SiC parçacık takviyesiz ve takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini ve yüksek basınçlı dökümle üretilirliğini araştırmışlardır. Şekil 15’de kompozit malzeme numunelerinin takviyesiz alaşım numunelerine göre sertliğinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Silisyum karbür parçacık takviyesinin numunelerin sertliğini arttırdığını göstermişlerdir.

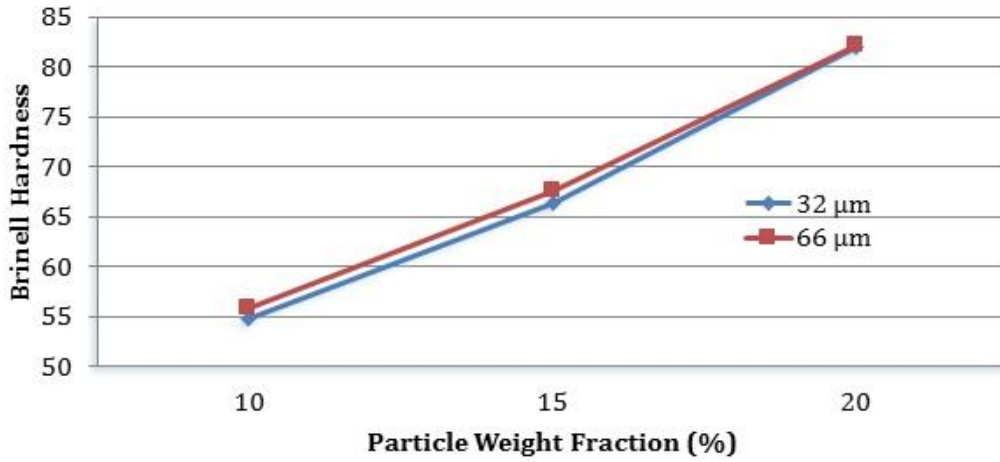


Şekil 15: Kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerinin ortalama sertlik değerleri (Bayar vd., 2015).

Kanca ve Günen (2016), yaptıkları çalışmalarında Al 6061 matrisli ve 32 ve 66 µm tanecik boyutlu ve % 10, % 15 ve % 20 ağırlık oranlı alümina katkı, metal matris kompozitler üretmişlerdir. Üretilen numunelere ait porozite ve sertlik değerleri Şekil 16 ve Şekil 17’de verilmiştir. Takviye oranı arttıkça porozite ve sertliğin arttığı görülmektedir.



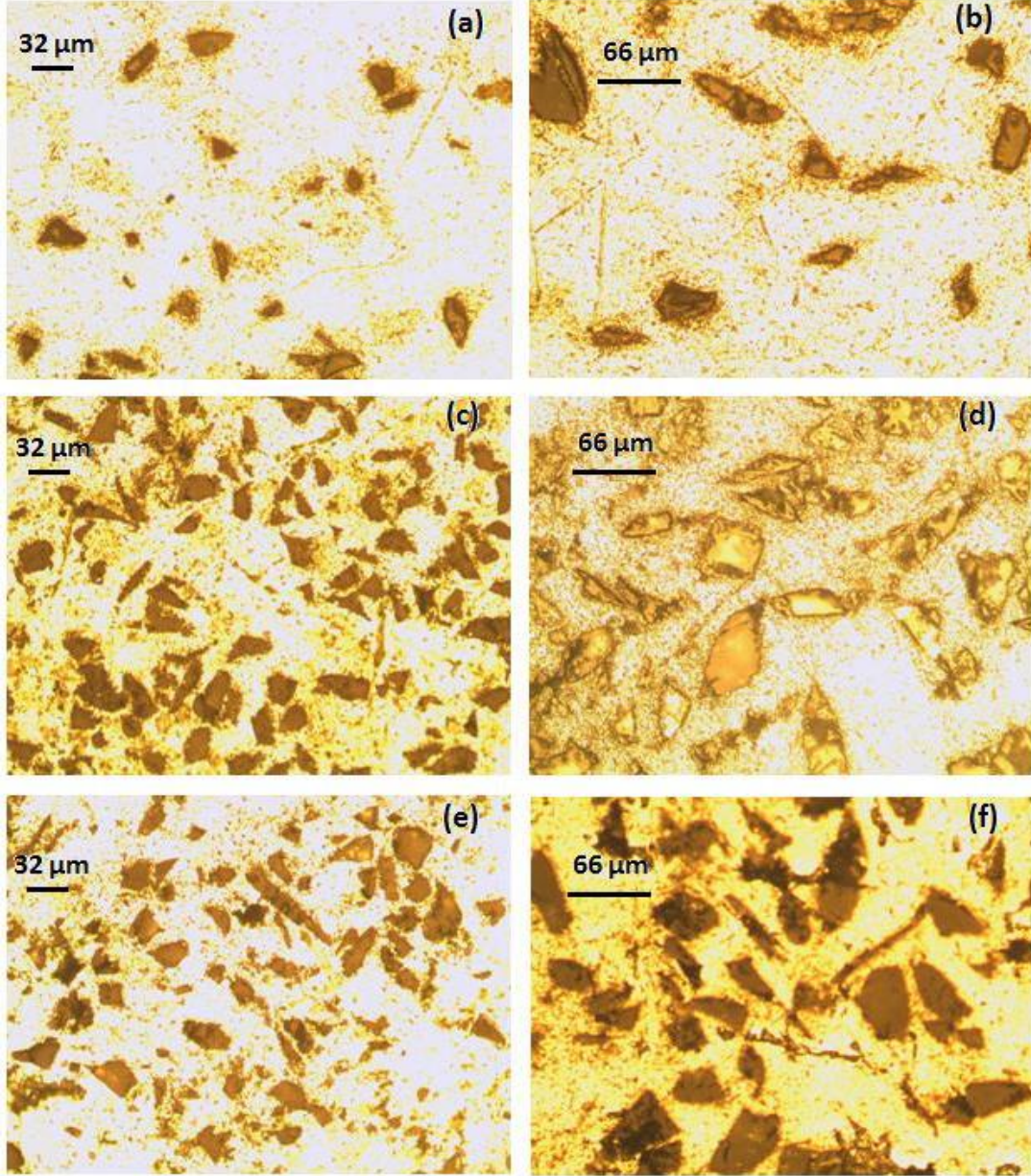
Şekil 16: Porozitenin Al₂O₃ ağırlık değişkeni ile değişimi (Kanca vd., 2016).



Şekil 17: Sertliğin Al₂O₃ ağırlık değişkeni ile değişimi (Kanca vd., 2016).

Doğan (2012), numunelerin metal mikroskobu ile 200 büyütme çözümlü görüntülerini Şekil 18’de vermiştir. Bu fotoğraflar incelendiğinde, 66 µm boyutlu Al₂O₃ parçacıklarının 32 µm boyutlulara göre daha homojen dağıldığı gözlenmektedir. Porozitenin ve parçacık topaklanmasının 32 µm boyutlu alümina takviyeli kompozitlerde daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 18’deki fotoğraflarda parçacıklar arasındaki koyu renkli bölgenin porozite olduğu çok net bir şekilde görülmektedir. Bu çalışmanın sonucunda elde

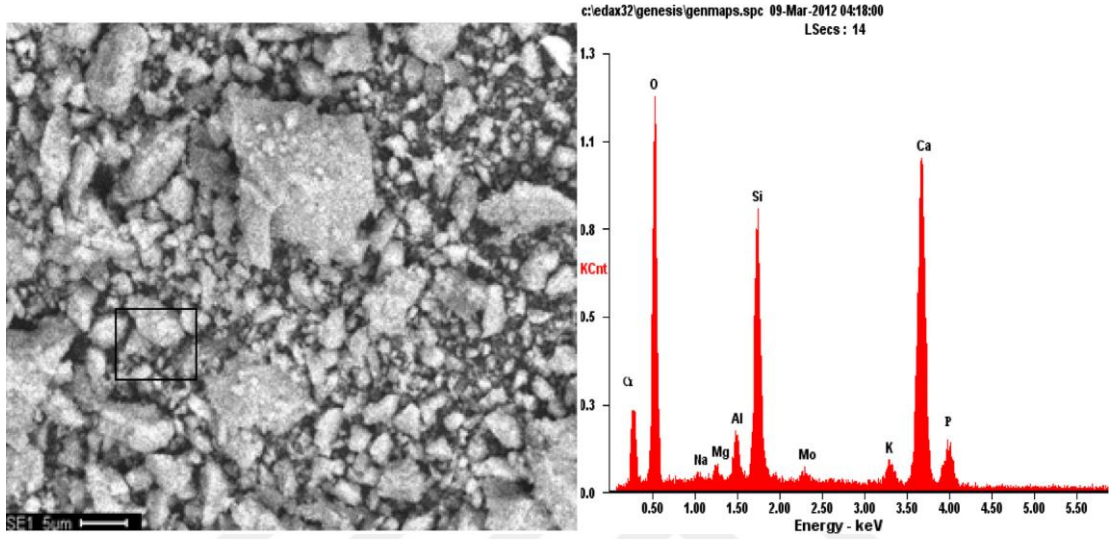
edilen kompozitlerde, küçük boyutlu partiküllerin homojen dağılımının büyük numuneler kadar iyi olmadığı ve dolayısıyla parçacık yığılmasının meydana geldiği ve buna karşın büyük boyutlu Al_2O_3 partiküllerinin homojen olarak dağıldığı gözlenmiştir.



Şekil 18: Ağırlıkça % 10, 15, 20 oranlarında ve 32/66μm Al_2O_3 partikül takviyeli kompozitlerin mikroyapı fotoğrafları. a) %10 b) %10 c) %15 d) %15 e) %20 f) %20 (Doğan, 2012).

Literatürde yumurta kabuğu tozu kullanılarak üretilen metal matrisli kompozit malzeme çalışması Nijerya'da Hassan ve Aigbodion tarafından yapılmıştır.

Hassan ve Aigbodion (2015), alüminyum, bakır, magnezyum ve yumurta kabuğu parçacıklarından oluşturulan kompozit malzemelerde yumurta kabuğunun etkisi üzerine çalışmışlardır. Yumurta kabuğu parçaları ağırlıkça % 2 - 12 oranlarında eklenmiştir. Al-Cu-Mg yumurta kabuğu ile oluşturulan kompozit malzemenin mikro yapısı elektron mikroskobu ile taranmış ve Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19: Karbonsuz yumurta kabuğu partiküllerinin SEM / EDS mikro yapısı (Hassan vd., 2015).

Metal matrisli hibrit kompozit malzeme üretiminde literatür de yumurta kabuğu tozu kullanımı üzerine yapılan herhangi bir araştırma olmaması nedeniyle, araştırmamızın bu konudaki araştırmacılara öncülük edeceği, literatüre ve uygulamaya katkısının yüksek olacağı beklenmektedir.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları

Günümüzde metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan geleneksel takviye malzemelerine alternatif arayışına katkı sunmak amacıyla hem ucuz hem de çevresel atık olan yumurta kabuğu tozları metal matrisli hibrit kompozit üretiminde kullanılmıştır.

Al 6061 alaşımı; çok iyi süneklik, şekil değiştirme kararlılığı, spesifik dayanım, mükemmel kaynak edilebilirlik, iyi korozyon direnci gibi mekanik özelliklere sahip olduğundan uçak ve otomotiv endüstrisinde büyük bir kullanım alanı bulunduğu için matris malzemesi olarak belirlenmiştir.

Geleneksel takviye malzemeleri olarak çalışmada SiC ve Al₂O₃ kullanılmıştır. Günümüzde metal matrisli kompozit üretiminde kullanılan geleneksel takviye malzemelerine alternatif arayışına katkı sunmak amacıyla hem ucuz hem de çevresel atık olan yumurta kabuğu tozlarının hibrit kompozit üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Metal matrisli hibrit kompozit üretiminde takviyelerin ağırlıkça oranı; % 1 – % 3 ve % 5 kullanılarak tekli kompozitler, % 4 - % 6 ve % 8 takviye oranları kullanılarak ikili hibrit kompozitler ve % 7 - % 9 ve % 11 takviye oranları ile üçlü hibrit kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Ayrıca ölçümlerde meydana gelebilecek hataları bertaraf etmek için numunelerden 3'er adet üretim yapılarak tüm ölçümler bu 3 numune için de aynı şartlarda tekrarlanmıştır. Çalışmada kullanılacak ağırlıkça takviye oranlarının belirlenmesi amacıyla üretilen numuneler çekme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçları incelendiğinde, kompozitin ağırlıkça takviye oranı % 11 değerini aştığında akma gerilmesi ve maksimum çekme gerilmesinde düşüş gözlemlenmiştir. Kompozitin birim uzama miktarındaki azalma akma gerilmesine ve maksimum çekme gerilmesine kıyasla daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. Bu yüzden üretilen hibrit kompozitlerde ağırlıkça % 11 takviye oranı aşılmamıştır. Üretilen numunelerin ağırlıkça takviye oranları Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4: Üretilen numunelerin ağırlıkça takviye oranları.

Numune No	Yumurta Kabuğu (%)	SiC (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Numune No	Yumurta Kabuğu (%)	SiC (%)	Al ₂ O ₃ (%)
1	1	-	-	16	3	3	1
2	3	-	-	17	3	3	3
3	5	-	-	18	3	3	5
4	-	1	-	19	3	1	3
5	-	3	-	20	3	3	3
6	-	5	-	21	3	5	3
7	-	-	1	22	1	3	-
8	-	-	3	23	3	3	-
9	-	-	5	24	5	3	-
10	3	1	-	25	1	-	3
11	3	3	-	26	3	-	3
12	3	5	-	27	5	-	3
13	3	-	1	28	1	3	3
14	3	-	3	29	3	3	3
15	3	-	5	30	5	3	3

4.2 Kullanılan Ekipmanlar

4.2.1 Bilyalı Değirmen

Toplandıktan sonra temizlenip kurutulan yumurta kabukları bilyalı değirmende 2 saat boyunca öğütülmüştür. Bilyalı değirmen, yumurta kabuğu ve yumurta kabuğu tozu Şekil 20'de gösterilmektedir.



Şekil 20: Bilyalı değirmen, yumurta kabuğu ve yumurta kabuğu tozu.

4.2.2 Sarsma Makinası

Öğütülmüş yumurta kabuğu tozları sarsma makinasına yerleştirilen elek setinden geçirilerek, çalışmada kullanılacak olan 22-59 µm tane büyüklüğüne sahip olanlar toplanmıştır. Sarsma makinası ile yapılan yumurta kabuğu tozu elek analizi Şekil 21’de gösterilmektedir.



Şekil 21: Sarsma makinası ile yumurta kabuğu tozu elek analizi.

4.2.3 MMK Malzemelerin Karıştırmalı Döküm Yöntemi İle Üretilmesi

Metal matrisli kompozitler, tek bileşenli malzemelerle başarılabilen istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal diğeri takviye elemanı olan iki veya daha fazla farklı sistemin birleşimi ile elde edilen malzeme grubudur. Matris ve takviye elemanı seçiminde; kompozitten beklenen mukavemet, yoğunluk, korozyon direnci, aşınma direnci, yüksek sıcaklık direnci, yorulma direnci, kırılma tokluğu, süneklik gibi özellikler dikkate alınarak yapılır (Mindivan, 2007).

Metal matrisli kompozitlerin ticari amaçlı üretilmesini kısıtlayan faktörler oldukça fazladır. Gelişmiş mekanik özellikleri kaybedilmeden ekonomiklik kazandırılması amacıyla birçok üretim metodu geliştirilmekte olup, metal matrisli kompozit malzemelerin üretim maliyetlerini en aza indirmenin yolları araştırılmaktadır. Bu amaçla yapılan

çalışmalardaki öncelikli hedef matris malzeme içerisine katılan takviye malzemelerinin homojen olarak dağılımlarını sağlamak olmaktadır.

Kompozit malzemelerin üretiminde farklı yöntemler kullanılabilir. Sıvı faz üretim yöntemleri, düşük maliyeti ve temel döküm tekniklerinin kullanımına olanak tanması sebebiyle metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde talep görmektedir. Ancak bu yöntemlerle metal matrisli kompozit malzemelerin başarılı bir şekilde üretilmesi için öncelikle matris/takviye ara yüzeyinden kaynaklanan güçlüklerin aşılması gerekmektedir. Ara yüzey, metal matrisli kompozit malzemelerde pek çok özelliği kontrol eden ve bu malzemelerin performansı açısından kilit önem taşıyan bölgedir. Alüminyum ve alaşımları, metal matrisli kompozit malzemeler içinde en çok talep gören matris malzemeleridir. SiC ve Al₂O₃, alüminyum matrisli kompozitler içinde üzerinde en çok çalışılan takviye malzemeleridir (Toptan, 2011).

Seo ve Kang (1995), basınçlı döküm metoduyla metal matrisli kompozit malzemelerin üretilmesinde en iyi mekanik özellikleri veren optimum basıncın bulunmasına yönelik çalışmalarında matris malzemesi olarak silisyum-alüminyum alaşımı ve takviye elamanı olarak da silisyum karbür tanecik kullanmışlardır (Sur vd., 2005). Şekil 22’de Bartın Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Motorlu Araçlar Teknolojisi Alanında bulunan karıştırmalı döküm ünitesi görülmektedir.



Şekil 22: Karıştırmalı döküm ünitesi.

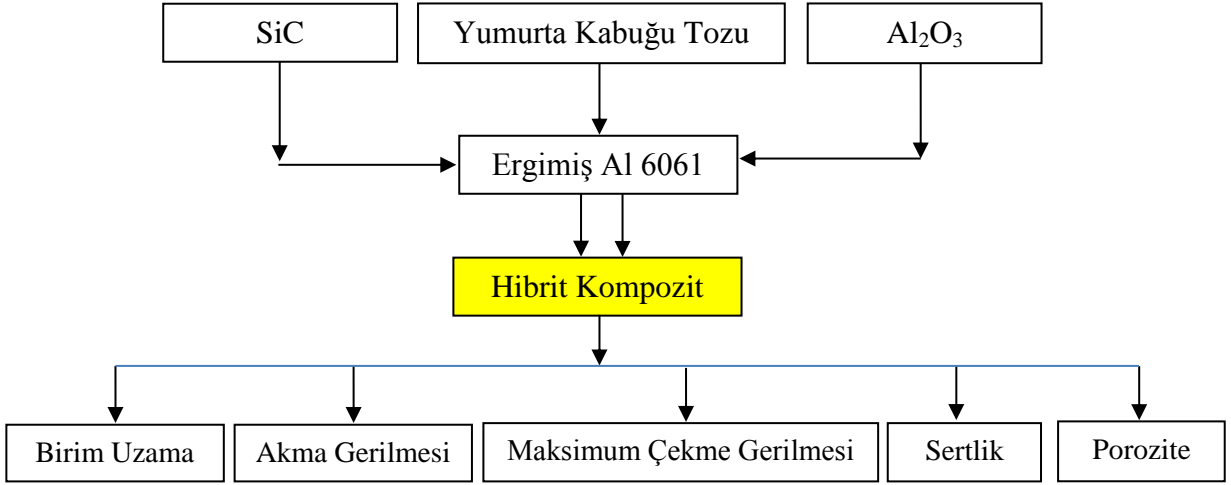
Hibrit kompozit üretimi için iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde matris olarak kullanılacak olan alüminyum alaşımı (Al 6061) elektrik dirençli fırında grafit potada 700 °C’de ergitilmiş, daha sonra sıcaklık 600 °C’ye düşürülerek bu sıcaklıkta yarı katı halde olan alaşıma önceden 250 °C’ye ısıtılmış olan takviye elemanları (22-59 µm tane büyüklüğüne sahip yumurta kabuğu tozu, 22-59 µm alüminyum oksit ve 22-59 µm silisyum karbür) ilave edilmiş ve elle karıştırılmıştır. Bulamaç halindeki karışım elle karıştırıldıktan sonra sıcaklığı 800 °C’ye çıkartılmış (süper ısıtma) ve bu sıcaklıkta 250 dev/dk hızla 10 dakika mekanik olarak karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sırasında inert gaz olarak azot gazı kullanılmış ve bu sayede ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması sağlanmıştır (Şekil 22). Karışım daha önceden 250 °C sıcaklığa ısıtılmış olan metal kalıba dökülerek 300 mm uzunluğunda ve 14 mm çapında silindirik numuneler üretilmiştir (Şekil 23). Üretilen silindirik numuneler CNC torna tezgahında standart gerilme numunesi boyutlarına işlenmiştir.



Şekil 23: Döküme hazır olan metal kalıp ve numune.

Metal matrisli hibrit kompozit üretiminde takviyelerin ağırlıkça oranı; % 1 – % 3 ve % 5 kullanılarak tekli kompozitlerin, % 4 - % 6 ve % 8 takviye oranları kullanılarak ikili hibrit kompozitlerin ve % 7 - % 9 ve % 11 takviye oranları ile üçlü hibrit kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Her bir numune için ise 3 örnek üretilmiştir.

Üretilen hibrit kompozit malzemenin ölçülecek olan özellikleri aşağıdaki şekilde verilmiştir. Ayrıca çalışmada üretilen metal matrisli hibrit kompozit malzemenin mikro yapısı incelenmiştir (Şekil 24).



Şekil 24: Hibrit kompozit üretim yöntemi ve aşamaları.

Şekil 25’de hibrit kompozit üretiminde kullanılan takviye malzemeleri gösterilmektedir.



Şekil 25: Hibrit kompozit üretiminde kullanılan takviye malzemeleri.

4.2.4 CNC Torna Tezgahı

Üretilen silindirik numuneler CNC torna tezgahında standart gerilme numunesi boyutlarına işlenmiştir.

4.2.5 Hassas Kesme Cihazı

Üretilen hibrit kompozit malzeme numuneleri hassas kesme cihazında elmas kesici kullanılarak 10 mm kalınlığında olacak şekilde kesilmiştir. Bartın Üniversitesi laboratuvarında bulunan hassas kesme cihazı Şekil 26'da gösterilmektedir.



Şekil 26: Hassas kesme cihazı.

4.2.6 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı

Otomatik yüzey parlatma ve numune hazırlama cihazında sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh numarasına sahip zımparalar kullanılarak numunelerin yüzeyleri SEM görüntülerini almak üzere hazırlanmıştır. Aynı anda 400 dev/dk'da 6 numune 5 dakika zımparalanmıştır. Bartın Üniversitesi laboratuvarında bulunan otomatik yüzey hazırlama cihazı Şekil 27'de gösterilmektedir.

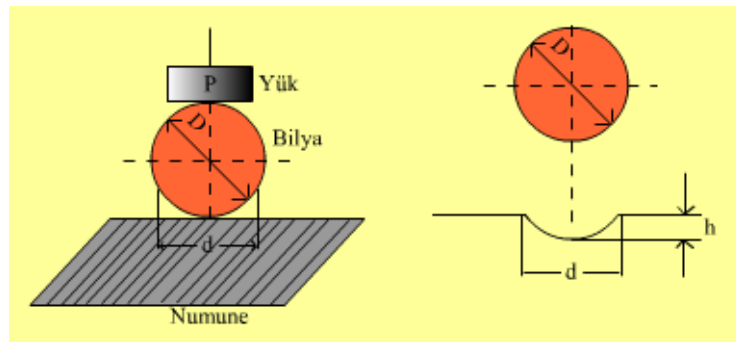


Şekil 27: Otomatik yüzey hazırlama cihazı.

4.2.7 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı

Sertlik izafi bir ölçüdür. Malzemelerin aşınmaya, kesilmeye, çizilmeye ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denir. Sertlik ölçmelerindeki değer laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılır ve malzemenin plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu direnç olarak da tanımlanır.

Brinell sertlik deneyi (Şekil 28) malzeme yüzeyine belirli bir yükün (P), belirli bir çaptaki (D) sert malzemedan yapılmış bir bilye yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu malzeme yüzeyinde kalıcı bir iz (d) meydana getirme esasına dayanır. Daha sonra bu kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir.



Şekil 28: Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi.

$$BSD = \frac{F}{y} = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda yer alan F uygulanan yükü (kg), d iz çapını (mm) D ise bilye çapını (mm) ve gösterir.

Standart deney çalışmalarında çapı 10 mm olan bilye kullanılır. Yük, malzemenin cinsine göre seçilmekte olup, uygulama süresi 10-15 saniye arasında değişmektedir.

Malzemenin üzerine uygulanacak olan yük değerinin sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilye çapına göre seçilmesi gerekmektedir. İz çapı / bilye çapı = 0,20 - 0,70 oranını sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir.

Deney yükünün saptanmasında $F=CD^2$ bağıntısı kullanılır. F deney yükünü, C malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesini ifade eder. Demir esaslı malzeme (Çelik, DD) (C=30), Cu ve Al alaşımlı malzeme (C=10), Yumuşak malzeme (C=5) kullanılır.

Bartın Üniversitesi laboratuvarında bulunan Brinell sertlik ölçüm cihazı Şekil 29'da gösterilmektedir.



Şekil 29: Brinell sertlik ölçüm cihazı.

4.2.8 Hassas Terazi

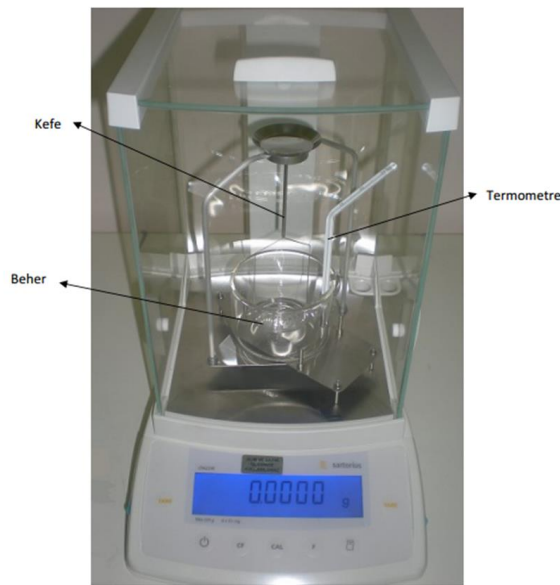
Kompozitin gerçek yoğunluğu Bartın Üniversitesi laboratuvarında bulunan 0,00001 hassasiyete sahip hassas terazi ve digital termometre kullanılarak Arşimet prensibiyle hesaplandı. Bu metotta numune önce normal olarak tartıldı. Daha sonra numune içinde saf su bulunan kabın tabanına ve cidarına dokunmaksızın suya daldırılarak tartılma işlemi yapıldı. Numunenin su içine batan kısmının hacmi kadar su kütlesi çıkarılarak numunenin hacminin bulunması sağlandı. Numunenin önceki tartı miktarı hacmine bölünerek deneysel yoğunluğu hesaplanmış oldu. Daha sonra partikül katkı oranları ve Alüminyum 6061'in yoğunluğu ile SiC, Al₂O₃ ve yumurta kabuğu tozunun yoğunluğu göz önüne alınarak kompozitlerin teorik yoğunlukları hesaplandı.

$$\rho_{\text{teorik}} = \frac{m}{v}$$

$$\rho_{\text{deneysel}} = \frac{G(\text{havada})}{G(\text{havada}) - G(\text{suda})} \cdot f$$

Teorik yoğunluk ile gerçek yoğunluk farkından numunelerin porozite oranları;

%porozite = $\frac{d_{\text{teo.}} - d_{\text{den.}}}{d_{\text{teo.}}} \times 100$ formülü ile hesaplanmıştır. Hassas terazi Şekil 30'da gösterilmektedir.



Şekil 30: Hassas terazi.

4.2.9 SEM

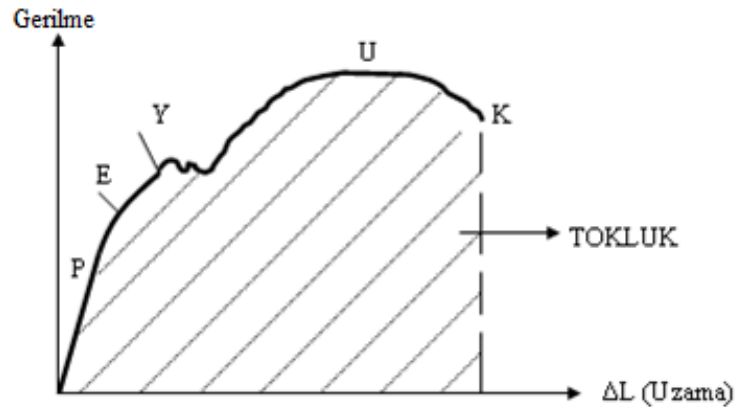
Görüntülemeler için ise 1000000 büyültme özelliğine sahip Bartın Üniversitesi laboratuvarında bulunan FEI Quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 31).



Şekil 31: FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu.

4.2.10 Instron Marka Çekme Cihazı

Mühendislik malzemelerinin kuvvet altında deforme olup, boyut ve şekil değişiklikleri göstermelerinin nedeni rijit olmamalarıdır. Malzemelerin özelliklerini anlamak için mekanik testler yapılması gerekir. Bunlardan en önemlisi ise çekme deneyidir. Çekme deneyinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki plastik ve elastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçaları çekme cihazına bağlanarak, değişken ve eksenel kuvvetler uygulanır.



Şekil 32: Gerilme – birim uzama diyagramı.

Düşük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış göstermektedir. Diğer bir ifade ile kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanır. Bu durum **P** noktasına kadar devam etmektedir. **P** noktasından sonra ise lineer fonksiyon eğimi değişir. Elastik davranış devam etmektedir. Elastik davranış **E** noktasında sona ermektedir. **E** noktasından sonra kalıcı yani plastik deformasyonlar başlar.

Malzemeye yüklenme devam ederse **Y** noktasında akma görülür. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akan malzeme daha mukavim hale gelerek daha fazla kuvvet alabilir hale gelir.

Bu malzemenin üzerindeki kuvvet daha da arttırılırsa **U** noktasına (maksimum gerilme) ulaşılır. Burada malzeme kesitinde lokal daralmalar başlar ve buna malzemenin “boyun vermesi” denir. Malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olunur ve malzeme daha fazla gerilimler alır. Numune kontrolsüz bir şekilde **K** noktasına ilerler ve kopma görülür.

Malzeme kopuncaya kadar deformasyona uğradıysa “sünek”, az deforme olmuşsa “gevrek” yapıya sahiptir denir.

Gerilme (σ): Birim alana etkiyen yük anlamına gelmektedir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Birim Şekil Değiştirme (ε): Malzemeye kuvvet uygulandığı zaman oluşan boy değişiminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya oranıdır.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değerini ifade eder.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0}$$

Çekme dayanımı (σ_c): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\sigma_c = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Çekme cihazı; birbirine göre yukarı ve aşağı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara kuvvet veya hareket veren ve her iki büyüklüğü de ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanması sağlanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir (Şekil 33).

Yapılan çekme deneyleri Bartın Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan çekme cihazı Şekil 33’de gösterilmiştir.



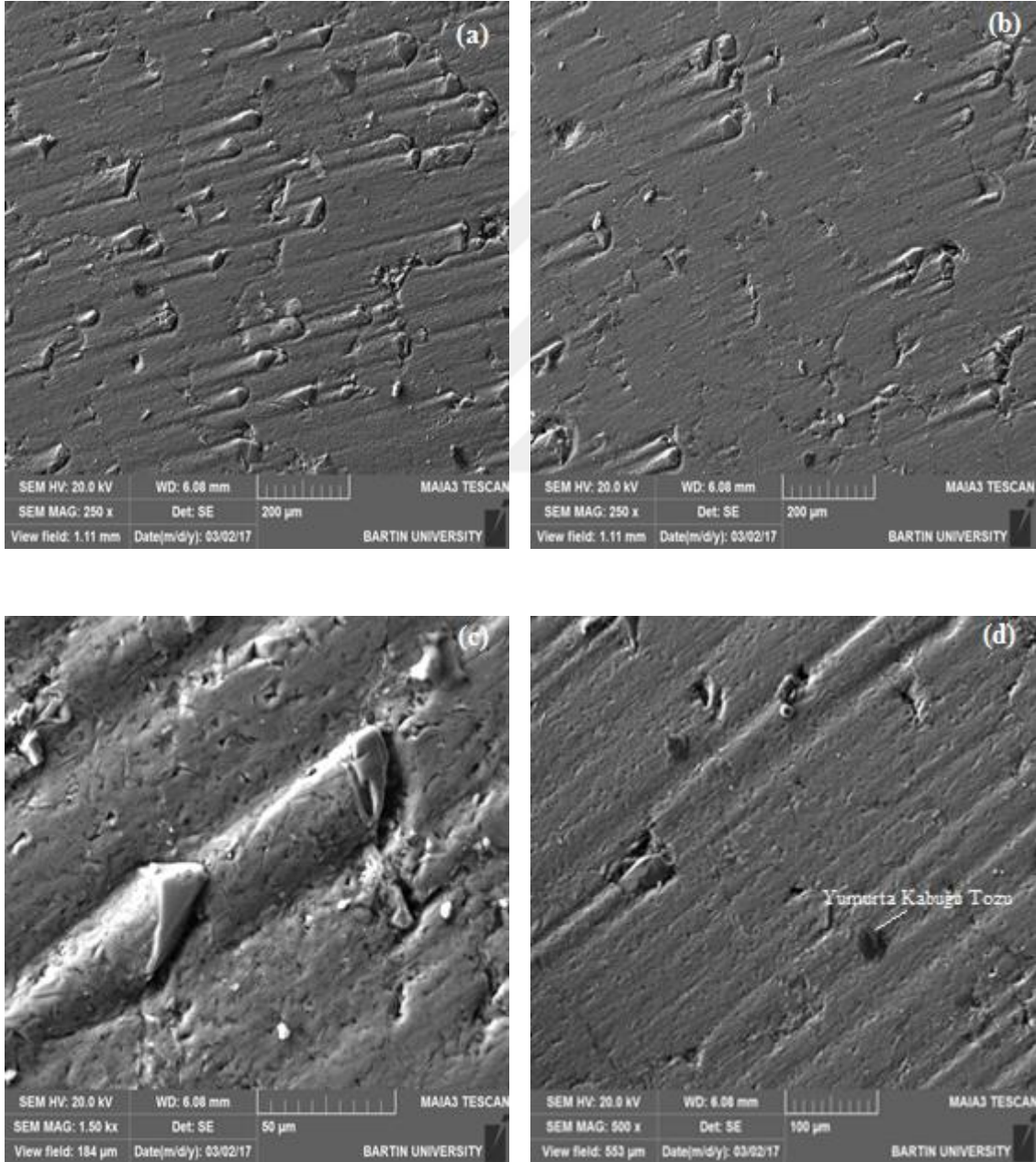
Şekil 33: Instron marka çekme cihazı.

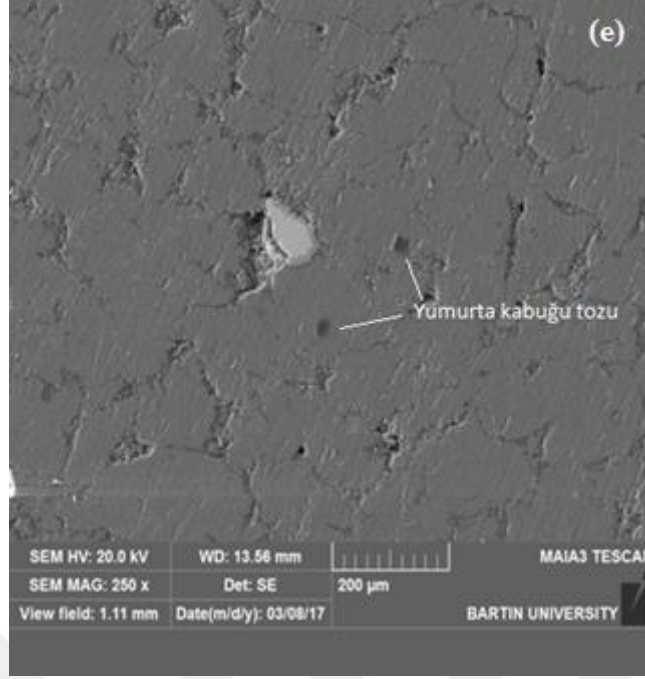
BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Hibrit Kompozite Ait Mikro Yapı Görüntüleri ve EDS Analizleri

Üretilen kompozitlere ait mikro yapı görüntüleri Şekil 34'de verilmiştir.





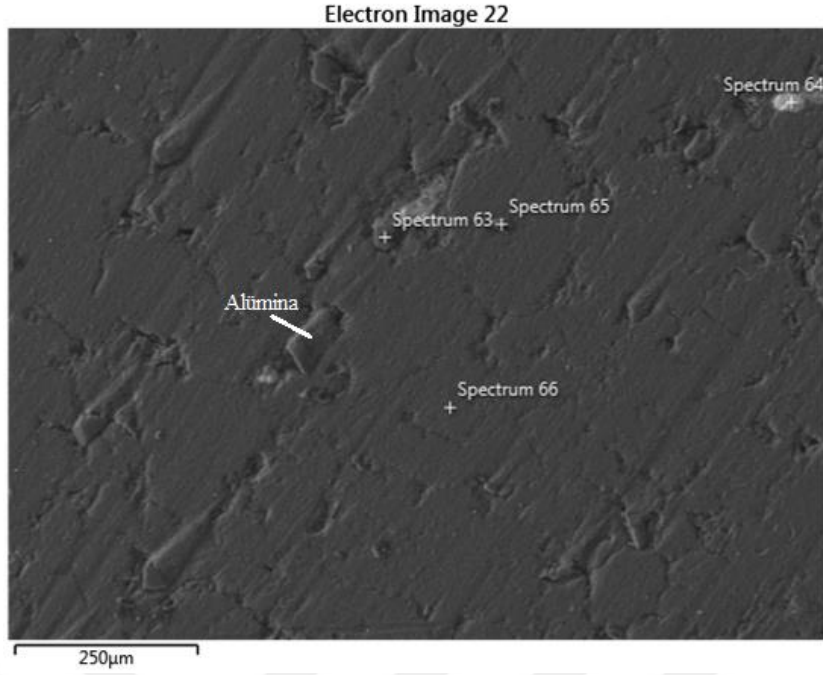
Şekil 34: Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüleri; a) 250 x, b) 250 x, c) 1.50 kx, d) 500 x, e) 250 x.

Üretilen numunelere ait mikro yapılar incelendiğinde homojen bir dağılım gözlemlenmiştir. Ancak kullanılan takviye elemanları ile matris malzemesi arasındaki yoğunluk farkından dolayı bazı bölgelerde topaklanmalar görülmüştür. Matris malzemesi (Al 6061) ve takviye elemanları arasında iyi bir yapışma görülmektedir (Şekil 34). Matris ve takviye malzemelerinin yoğunluk değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

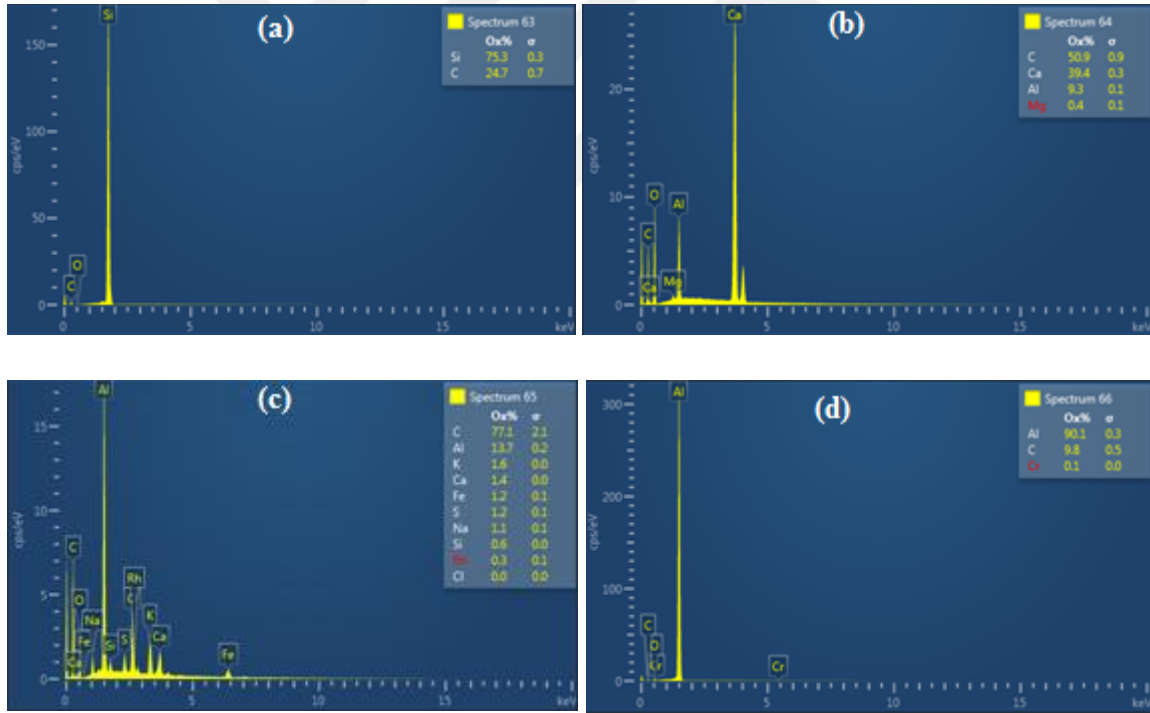
Tablo 5: Matris ve takviye malzemelerinin yoğunluk değerleri.

Matris ve takviye malzemeleri	Yoğunluk değerleri	Matris ile takviye malzemeleri arasındaki yoğunluk farkı
Al 6061	2,72 g/cm ³	-
Yumurta kabuğu	2,22 g/cm ³	0,50 g/cm ³
SiC	3,20 g/cm ³	0,48 g/cm ³
Al ₂ O ₃	3,94 g/cm ³	1,22 g/cm ³

Üretilen numunelere ait EDS analizleri de gerçekleştirilmiş olup, elde edilen bulgular Şekil 35 ve Şekil 36’da verilmiştir.



Şekil 35: Üretilen numuneye ait mikro yapı görüntüsü.



Şekil 36: Üretilen numuneye ait EDS analizleri; a) 63 numaralı görüntü takviye elemanı SiC, b) 64 numaralı görüntü takviye elemanı YK tozu, c) 65 numaralı görüntü takviye elemanı YK tozu, d) 66 numaralı görüntü matris Al 6061.

5.2 Deneysel Veriler ve Bulgular

Takviye malzemelerinin % 1 – % 3 ve % 5 ağırlıkça oranı kullanılarak tekli kompozitlerin, % 4 - % 6 ve % 8 ağırlıkça oranları kullanılarak ikili hibrit kompozitlerin ve % 7 - % 9 ve % 11 ağırlıkça oranları kullanılarak üçlü hibrit kompozitlerin üretimi yapılmıştır.

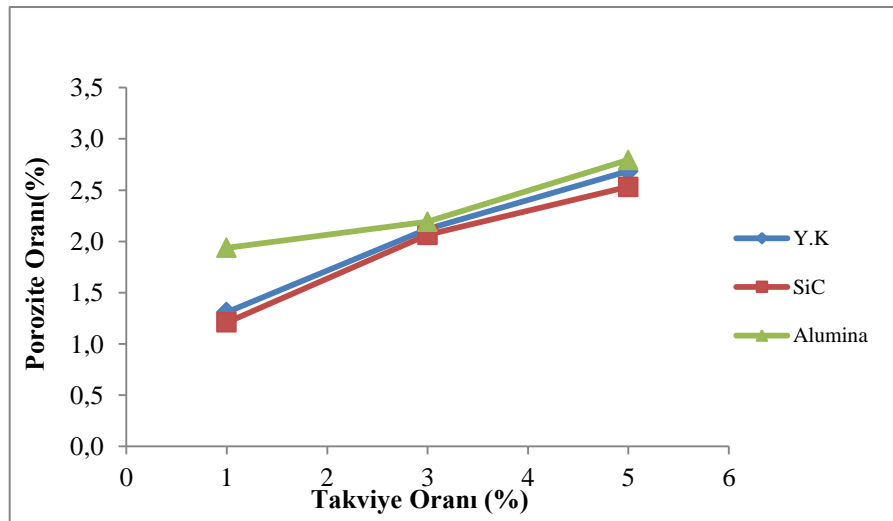
5.2.1 Porozite Deneysel Verileri

5.2.1.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Porozitesine Etkisi

Yumurta kabuğu tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etki değerleri Tablo 6’da verilmekte ve Şekil 37’de gösterilmektedir.

Tablo 6: Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik	Deneysel	Gözeneklilik (%)
99	1	0	0	2,7152	2,6796	1,3101
97	3	0	0	2,7056	2,6482	2,1218
95	5	0	0	2,6960	2,6236	2,6849
99	0	1	0	2,7238	2,6908	1,2112
97	0	3	0	2,7314	2,6750	2,0647
95	0	5	0	2,7390	2,6696	2,5329
99	0	0	1	2,7322	2,6793	1,9371
97	0	0	3	2,7566	2,6962	2,1927
95	0	0	5	2,7810	2,7033	2,7945



Şekil 37: Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak yumurta kabuğu tozu kullanıldığında takviye oranı % 1'den % 5'e değişirken; porozite oranı % 1,3101'den % 2,6849'a artmıştır. Takviye malzemesi olarak SiC kullanılan kompozitler de SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken; porozite oranı % 1,2112'den % 2,5329'a artmıştır. Al₂O₃ takviyeli kompozitlerde Al₂O₃ oranı % 1'den % 5'e değişirken; porozite oranı % 1,9371'den % 2,7945'e artmıştır.

Takviye elemanlarının kompozitin porozite miktarına etkisi değerlendirildiğinde; porozite miktarlarının sırasıyla SiC, YK ve Al₂O₃ olacak şekilde arttığı gözlemlenmiştir ve bu sıralamanın seçtiğimiz matris ile takviye malzemeleri arasındaki yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir (Tablo 5).

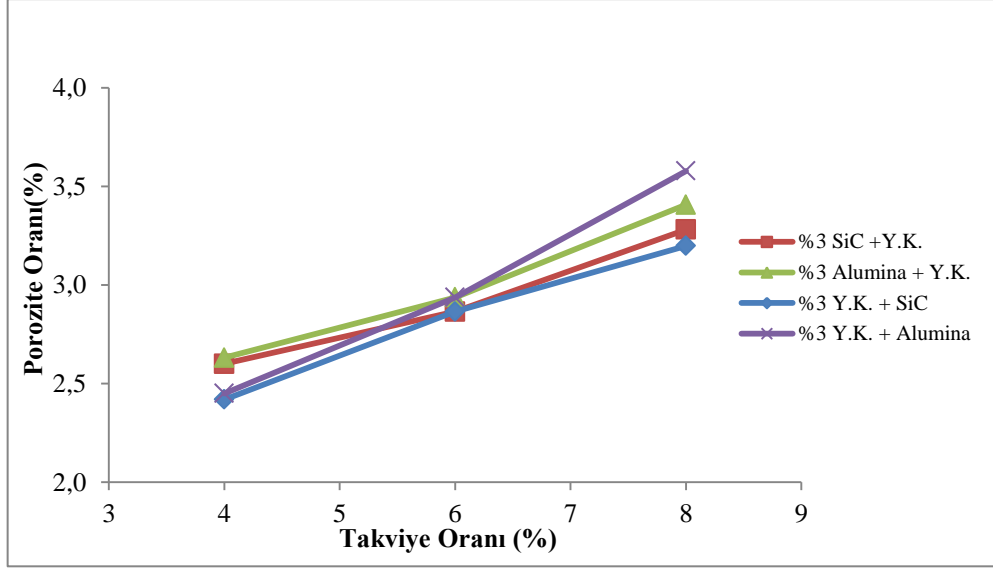
Takviye malzemesi oranı arttıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür.

5.2.1.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri Tablo 7'de verilmekte ve Şekil 38'de gösterilmektedir.

Tablo 7: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik	DeneySEL	Gözeneklilik (%)
96	3	1	0	2,7094	2,6438	2,4199
94	3	3	0	2,7170	2,6391	2,8654
92	3	5	0	2,7246	2,6374	3,1987
96	3	0	1	2,7178	2,6512	2,4509
94	3	0	3	2,7422	2,6616	2,9379
92	3	0	5	2,7666	2,6676	3,5786
96	1	3	0	2,7266	2,6557	2,6007
94	3	3	0	2,7170	2,6391	2,8654
92	5	3	0	2,7074	2,6185	3,2821
96	1	0	3	2,7518	2,6794	2,6318
94	3	0	3	2,7422	2,6616	2,9379
92	5	0	3	2,7326	2,6395	3,4077



Şekil 38: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen % 3 SiC'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; porozite değeri % 2,6007'den % 3,2821'e artmıştır. Üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; porozite değeri % 2,6318'den % 3,4077'ye arttığı görülmüştür. % 3 yumurta kabuğu ikili hibrit kompozitlerde; SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken; porozite değeri % 2,4199'dan % 3,1987'ye arttığı ve alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken; porozite değerinin % 2,4509'dan % 3,5786'ya arttığı görülmüştür.

% 3 YK ikili hibrit kompozitlerde; % 5 SiC takviyeli numunenin porozite değeri % 3,1987 iken % 5 alümina takviyeli numunenin porozite değeri % 3,5786 olmuştur.

İkili hibrit kompozitte en düşük porozite değeri % 3 yumurta kabuğu ve % 1 silisyum karbürü, en yüksek porozite değeri ise % 3 yumurta kabuğu ve % 5 Al₂O₃'lü ikili hibrit kompozitte görülmüştür.

Bu değerlerin gerçekleşmesinin nedeni olarak matris ile takviye elemanları arasındaki yoğunluk farkından kaynaklandığı düşünülmektedir.

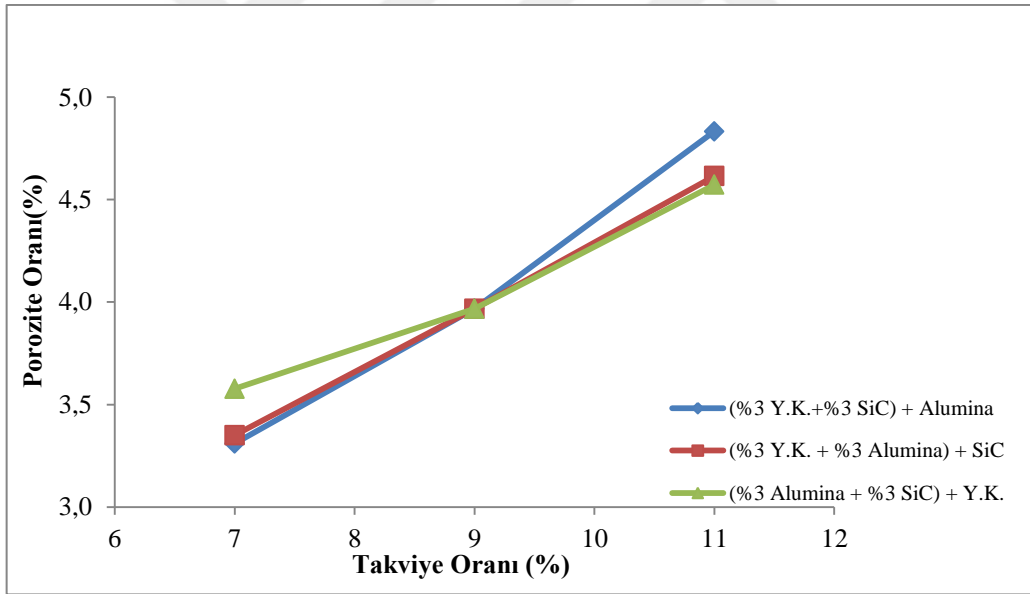
Takviye malzemesi oranı arttıkça porozite miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

5.2.1.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri Tablo 8’de verilmekte ve Şekil 39’da gösterilmektedir.

Tablo 8: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik	Deneysel	Gözeneklilik (%)
93	3	3	1	2,7292	2,6389	3,3098
91	3	3	3	2,7536	2,6444	3,9675
89	3	3	5	2,7780	2,6437	4,8328
93	3	1	3	2,7460	2,6540	3,3506
91	3	3	3	2,7536	2,6444	3,9675
89	3	5	3	2,7612	2,6338	4,6146
93	1	3	3	2,7632	2,6643	3,5774
91	3	3	3	2,7536	2,6444	3,9675
89	5	3	3	2,7440	2,6185	4,5731



Şekil 39: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃ üçlü hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1’den % 5’e değişirken; porozite değeri % 3,5774’den % 4,5731’e artış gözlemlenmiştir.

% 3 yumurta kabuğu + % 3 silisyum karbür ve % 1 alümina takviyeli üçlü hibrit kompozitlerde porozite değeri % 3,3098’e ve alümina oranı % 5 olduğunda porozite değerinin % 4,8328’e yükseldiği görülmüştür.

% 3 yumurta kabuğu + % 3 alümina ve % 1 silisyum karbür takviyeli üçlü hibrit kompozitlerde porozite değeri % 3,3506'ya ve silisyum karbür oranı % 5 olduğunda porozite değerinin % 4,6146'ya yükseldiği görülmüştür.

Üçlü hibrit kompozitte en düşük porozite değeri % 3 yumurta kabuğu + % 3 SiC ve % 1 alümina numunesinde porozite değeri % 3,3098, en yüksek porozite değeri ise % 3 yumurta kabuğu + % 3 SiC ve % 5 Al₂O₃'lü üçlü hibrit kompozitte % 4,8328 olarak görülmüştür.

Takviye malzemesi oranı arttıkça porozite miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

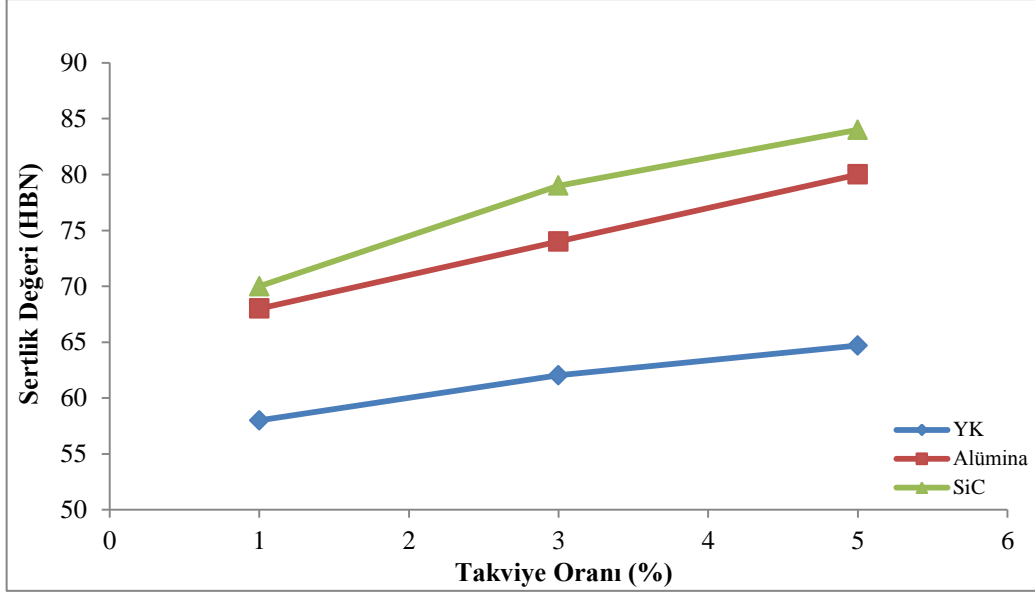
5.2.2 Sertlik Deneysel Verileri

5.2.2.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Sertliğine Etkisi

Yumurta kabuğu tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri Tablo 9'da verilmekte ve Şekil 40'da gösterilmektedir. Al 6061 matris malzemenin sertliği 57 HBN ölçülmüştür.

Tablo 9: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
99	1	0	0	58
97	3	0	0	62
95	5	0	0	65
99	0	1	0	68
97	0	3	0	74
95	0	5	0	80
99	0	0	1	70
97	0	0	3	79
95	0	0	5	84



Şekil 40: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde takviye malzemesi olarak yumurta kabuğu tozu kullanıldığında; % 1 takviyeli numunenin sertlik değeri 58 HBN, % 3 takviyeli numunenin sertlik değeri 62 HBN ve % 5 takviyeli numunenin sertlik değeri 65 HBN ölçülmüştür.

Takviye malzemesi olarak alümina kullanıldığında; % 1 takviyeli numunenin sertlik değeri 70 HBN, % 3 takviyeli numunenin sertlik değeri 74 HBN ve % 5 takviyeli numunenin sertlik değeri 80 HBN ölçülmüştür.

Takviye malzemesi olarak SiC kullanıldığında; % 1 takviyeli numunenin sertlik değeri 68 HBN, % 3 takviyeli numunenin sertlik değeri 74 HBN ve % 5 takviyeli numunenin sertlik değeri 80 HBN ölçülmüştür.

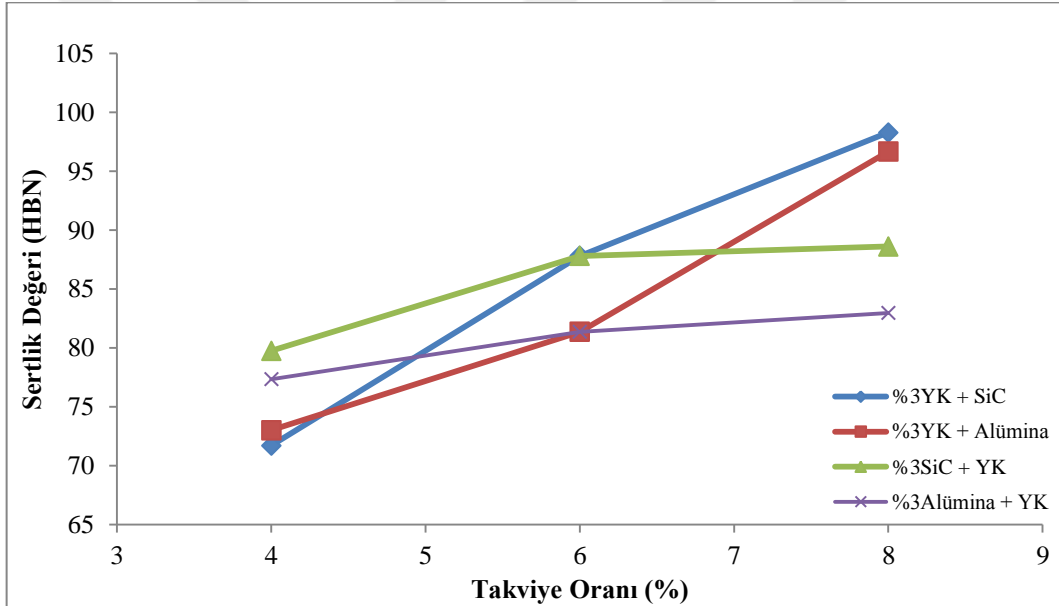
Yumurta kabuğu tozunun kompozit malzemenin sertliğini arttırdığı gözlemlenmiştir.

5.2.2.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri Tablo 10'da verilmekte ve Şekil 41'de gösterilmektedir.

Tablo 10: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
96	3	1	0	72
94	3	3	0	88
92	3	5	0	98
96	3	0	1	73
94	3	0	3	81
92	3	0	5	97
96	1	3	0	80
94	3	3	0	88
92	5	3	0	89
96	1	0	3	77
94	3	0	3	81
92	5	0	3	83



Şekil 41: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

Üretilen % 3 SiC'li ikili hibrit kompozitlerde YK tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; sertlik değeri 80 HBN'den 89 HBN'ye artmıştır. Üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; sertlik değeri 77 HBN'den 83 HBN'ye artmıştır. Üretilen % 3 YK'lı ikili hibrit kompozitlerde; SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken sertlik değeri 72 HBN'den 98 HBN'ye arttığı ve alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken sertlik değerinin de 73 HBN'den 97 HBN'ye arttığı görülmüştür.

% 3 SiC + YK takviyeli ikili hibrit kompozitte % 3 oranına kadar yumurta kabuğu tozu

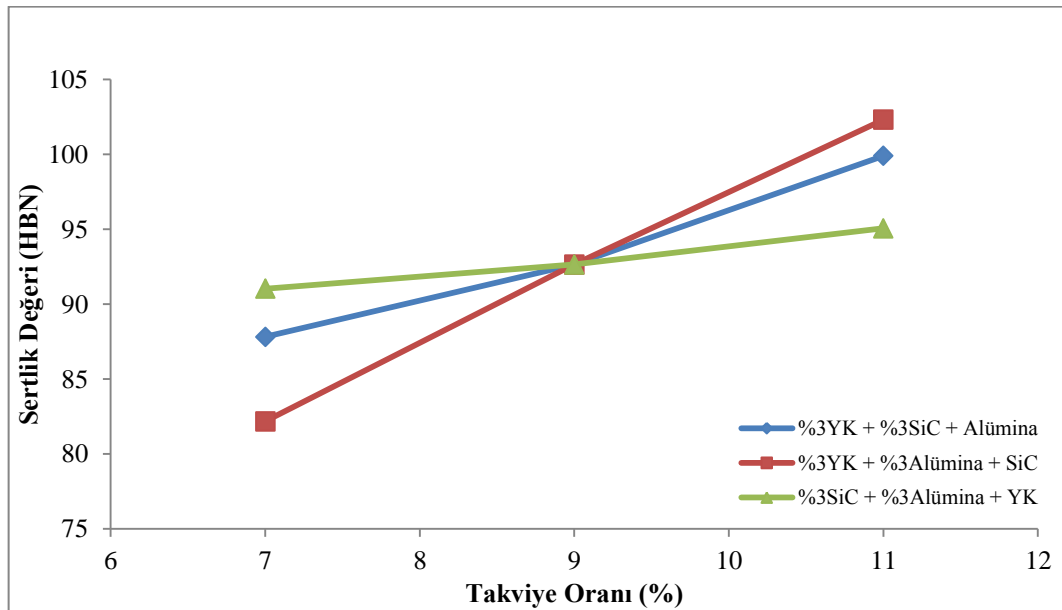
ilavesi sertliği daha yüksek miktarda arttırırken, yumurta kabuğu tozu oranı % 5'e çıkarıldığında sertliği arttırıcı etkisi oldukça düşük olduğu görülmüştür. Yumurta kabuğu tozu takviyesinin miktarı arttıka ikili hibrit kompozitin sertliği artmıştır. Yumurta kabuğu tozunun ikili hibrit kompozit malzeme üretiminde Al₂O₃ ve SiC takviye malzemesi gibi bir takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

5.2.2.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri Tablo 11'de verilmekte ve şekil 42'de gösterilmektedir.

Tablo 11: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik (HBN)
93	3	3	1	88
91	3	3	3	93
89	3	3	5	100
93	3	1	3	82
91	3	3	3	93
89	3	5	3	102
93	1	3	3	91
91	3	3	3	93
89	5	3	3	95



Şekil 42: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃ üçlü hibrit kompozitlerde YK tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; sertlik değeri 91 HBN'den 95 HBN'ye artış gözlemlenmiştir. Çevresel atık olan yumurta kabuğu tozu üretilen kompozit malzemenin sertliğini artırmıştır.

% 3 YK + % 3 SiC üçlü hibrit kompozitlerde alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken; sertlik değeri 88 HBN'den 100 HBN'ye artış gözlemlenmiştir.

% 3 YK + % 3 alümina üçlü hibrit kompozitlerde SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken; sertlik değeri 82 HBN'den 102 HBN'ye artış gözlemlenmiştir.

Yumurta kabuğu tozunun üçlü hibrit kompozit malzeme üretiminde alümina ve silisyum karbür gibi takviye malzemesi olarak kullanılabilceği öngörülmektedir.

5.2.3 Maksimum Çekme Gerilmesi Deneysel Verileri

5.2.3.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Maksimum Çekme Gerilmesine Etkisi

Hibrit kompozite ait çekme numune örnekleri Şekil 43'de görülmektedir.

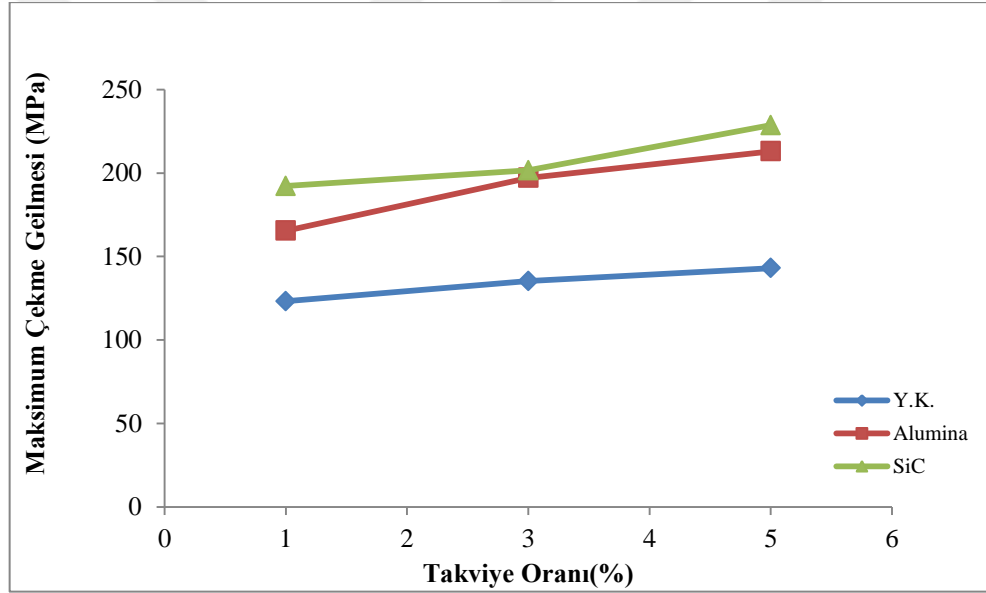


Şekil 43: Çekme numuneleri.

Yumurta kabuğu tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri Tablo 12'de verilmekte ve Şekil 44'de gösterilmektedir. Al 6061 matris malzemenin maksimum çekme gerilmesi 110,00 MPa ölçülmüştür.

Tablo 12: Takviye elemanlarının kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Maksimum Çekme (Mpa)
99	1	0	0	123,20
97	3	0	0	135,30
95	5	0	0	143,00
99	0	1	0	192,19
97	0	3	0	201,65
95	0	5	0	228,63
99	0	0	1	165,45
97	0	0	3	197,12
95	0	0	5	212,97



Şekil 44: Takviye elemanlarının kompozitin maksimum çekme gerilmesine etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak yumurta kabuğu tozu kullanıldığında takviye oranı % 1'den % 3'e değişirken çekme dayanımı 123,20 Mpa'dan 135,30 Mpa'a, yumurta kabuğu tozu takviye oranı % 5 olduğunda çekme dayanımı 143,00 MPa'a artmıştır.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak alümina kullanıldığında takviye oranı % 1'den % 3'e değişirken çekme dayanımı 165,45 Mpa'dan 197,12 Mpa'a, alümina takviye oranı % 5 olduğunda çekme dayanımı 212,97 MPa'a artmıştır.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak silisyum karbür kullanıldığında takviye oranı % 1'den % 3'e değişirken çekme dayanımı 192,19 Mpa'dan 201,65 Mpa'a, silisyum karbür takviye oranı % 5 olduğunda çekme dayanımı 228,63 MPa'a artmıştır.

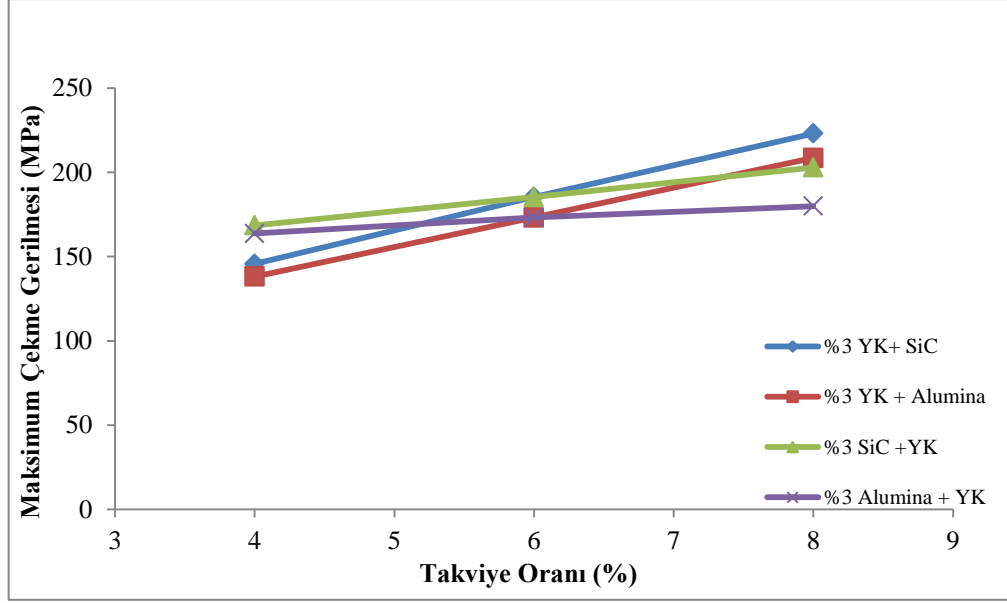
Yumurta kabuğu tozunun kompozitin maksimum çekme gerilmesini arttırdığı görülmüştür.

5.2.3.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Maksimum Çekme Gerilmesine Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri Tablo 13'de verilmekte ve Şekil 45'de gösterilmektedir.

Tablo 13: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Maksimum Çekme (Mpa)
96	3	1	0	145,71
94	3	3	0	185,36
92	3	5	0	223,10
96	3	0	1	138,15
94	3	0	3	173,18
92	3	0	5	208,53
96	1	3	0	168,60
94	3	3	0	185,36
92	5	3	0	202,95
96	1	0	3	163,71
94	3	0	3	173,18
92	5	0	3	179,95



Şekil 45: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etkisi.

Üretilen % 3 SiC'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; çekme dayanımı 168,60 Mpa'dan 202,95 Mpa'a artmıştır.

Üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; çekme dayanımı 163,71 Mpa'dan 179,95 Mpa'a artmıştır.

Üretilen % 3 YK'lı ikili hibrit kompozitlerde;

SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken çekme dayanımı 145,71 MPa'dan, 223,10 MPa'a artmıştır. Alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken çekme dayanımı 138,15 MPa'dan 208,53 MPa'a artmıştır.

Üretilen ikili hibrit kompozitlerde en düşük çekme dayanımı % 3 YK + % 1 alümina numunesinde 138,15 Mpa, en yüksek çekme dayanımı da % 3 YK + % 5 SiC numunesinde 223,10 Mpa olarak görülmüştür.

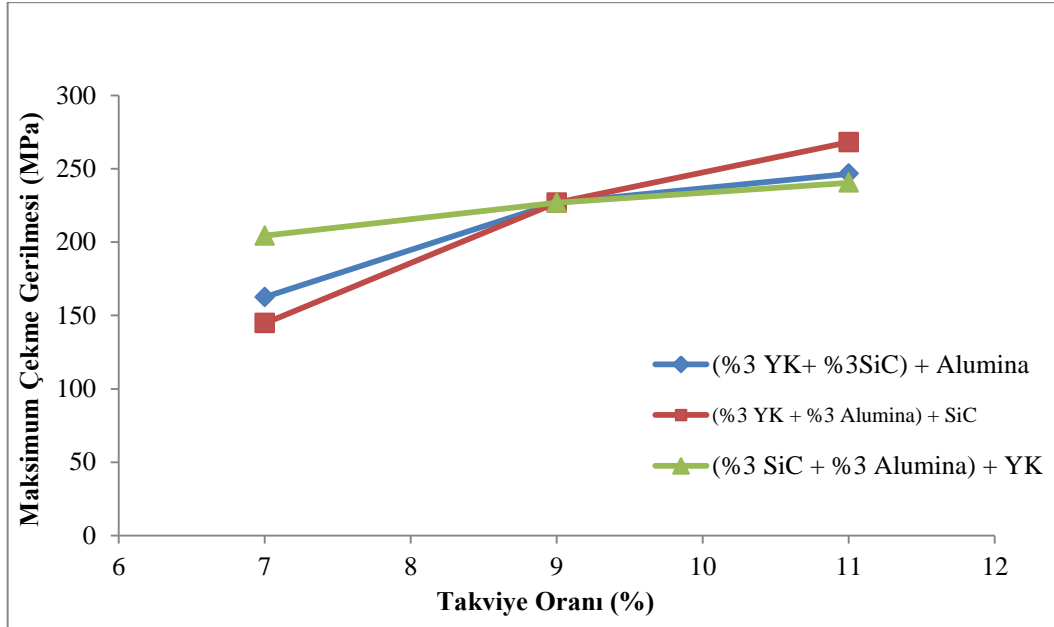
Yumurta kabuğu tozunun ikili hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesini arttırdığı gözlemlenmiştir.

5.2.3.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Maksimum Çekme Gerilmesine Etkisi

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri Tablo 14’de verilmekte ve Şekil 46’da gösterilmektedir.

Tablo 14: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Maksimum Çekme (Mpa)
93	3	3	1	162,40
91	3	3	3	226,78
89	3	3	5	246,53
93	3	1	3	144,70
91	3	3	3	226,78
89	3	5	3	268,02
93	1	3	3	204,29
91	3	3	3	226,78
89	5	3	3	240,43



Şekil 46: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin maksimum çekme gerilmesine etkisi.

Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃ üçlü hibrit kompozitlerde ise yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; çekme dayanımı 204,29 Mpa'dan 240,43 Mpa'a artış gözlemlenmiştir.

% 3 YK + % 3 SiC üçlü hibrit kompozitlerde alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken; çekme dayanımı 162,40 MPa'dan 246,53 MPa'a artış gözlemlenmiştir.

% 3 YK + % 3 alümina üçlü hibrit kompozitlerde SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken; çekme dayanımı 144,70 MPa'dan 268,02 MPa'a artış gözlemlenmiştir.

Ayrıca, yaptığımız çalışmalarda takviye oranı ağırlıkça % 11 değerinden sonra yapıda mikro çatlaklar oluştuğu için maksimum çekme gerilmesinde düşme görülmüştür.

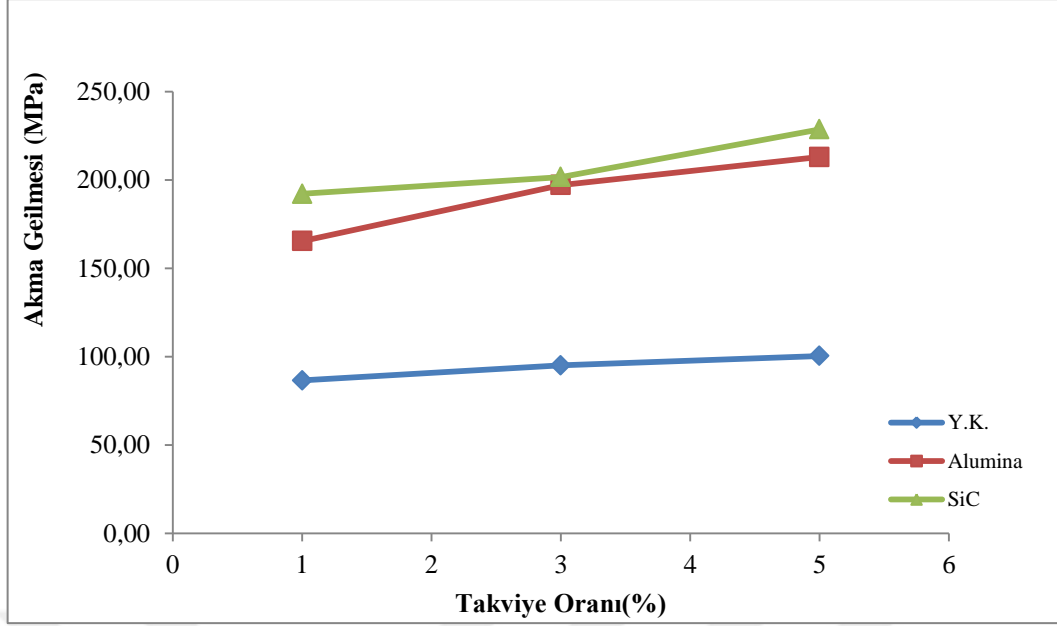
5.2.4 Akma Gerilmesi Deneysel Verileri

5.2.4.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Akma Gerilmesine Etkisi

Yumurta kabuğu tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin akma gerilmesine etki değerleri Tablo 15'de verilmekte ve Şekil 47'de gösterilmektedir. Al 6061 matris malzemenin akma gerilmesi 85,00 MPa ölçülmüştür.

Tablo 15: Takviye elemanlarının kompozitin akma gerilmesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Akma Gerilmesi (Mpa)
99	1	0	0	86,55
97	3	0	0	95,05
95	5	0	0	100,45
99	0	1	0	162,19
97	0	3	0	189,65
95	0	5	0	201,63
99	0	0	1	155,45
97	0	0	3	164,12
95	0	0	5	182,97



Şekil 47: Takviye elemanlarının kompozitin akma gerilmesine etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak yumurta kabuğu tozu kullanıldığında takviye oranı % 1'den % 5'e değişirken; akma gerilmesi 86,55 Mpa'dan 100,45 Mpa'a artmıştır.

Takviye malzemesi olarak SiC kullanıldığında takviye oranı % 1'den % 5'e değişirken; akma gerilmesi 162,19 Mpa'dan 201,63 Mpa'a artmıştır.

Takviye malzemesi olarak alümina kullanıldığında takviye oranı % 1'den % 5'e değişirken; akma gerilmesi 155,45 Mpa'dan 182,97 Mpa'a artış gözlemlenmiştir.

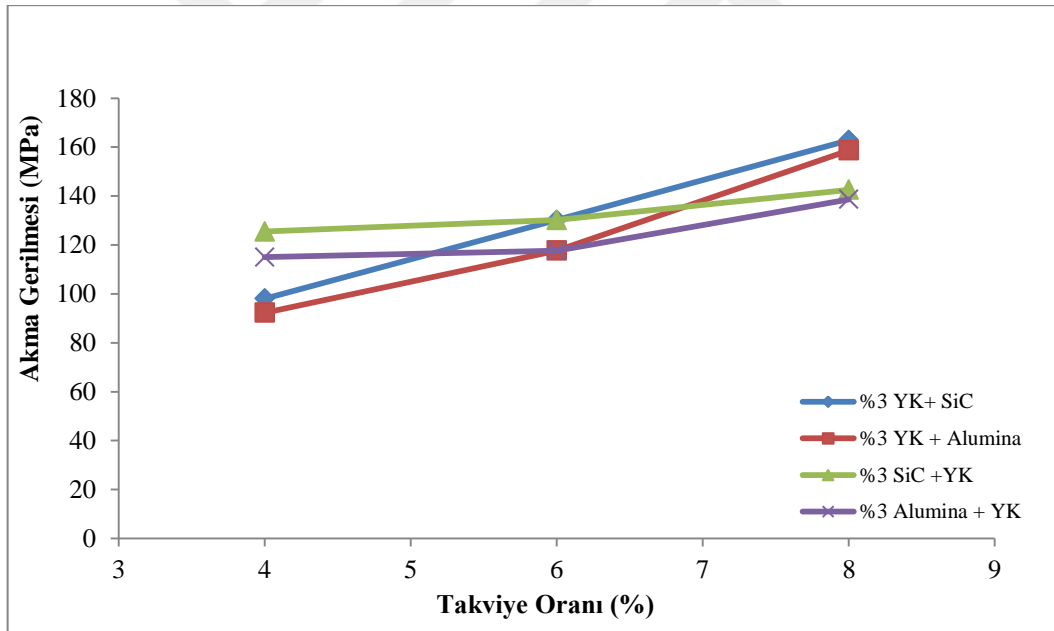
Yumurta kabuğu tozunun kompozitin akma gerilmesini arttırdığı görülmüştür.

5.2.4.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Akma Gerilmesine Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin akma gerilmesine etki değerleri Tablo 16'da verilmekte ve Şekil 48'de gösterilmektedir.

Tablo 16: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin akma gerilmesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Akma Gerilmesi (Mpa)
96	3	1	0	98,08
94	3	3	0	130,21
92	3	5	0	162,83
96	3	0	1	92,29
94	3	0	3	117,66
92	3	0	5	158,67
96	1	3	0	125,46
94	3	3	0	130,21
92	5	3	0	142,57
96	1	0	3	115,01
94	3	0	3	117,66
92	5	0	3	138,65



Şekil 48: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin akma gerilmesine etkisi.

Üretilen % 3 SiC'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; akma gerilmesi 125,46 Mpa'dan 142,57 Mpa'a artmıştır.

Üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; akma gerilmesi 115,01 Mpa'dan 138,65 Mpa'a artmıştır.

Üretilen % 3 YK'lı ikili hibrit kompozitlerde;

SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken akma gerilmesi 98,08 MPa'dan, 162,83 MPa'a artmıştır. Alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken akma gerilmesi 92,29 MPa'dan 158,67 MPa'a artmıştır.

Üretilen ikili hibrit kompozitlerde en düşük akma gerilmesi % 3 YK + % 1 alümina numunesinde 92,29 Mpa, en yüksek çekme dayanımı da % 3 YK + % 5 SiC numunesinde 162,83 Mpa olarak görülmüştür.

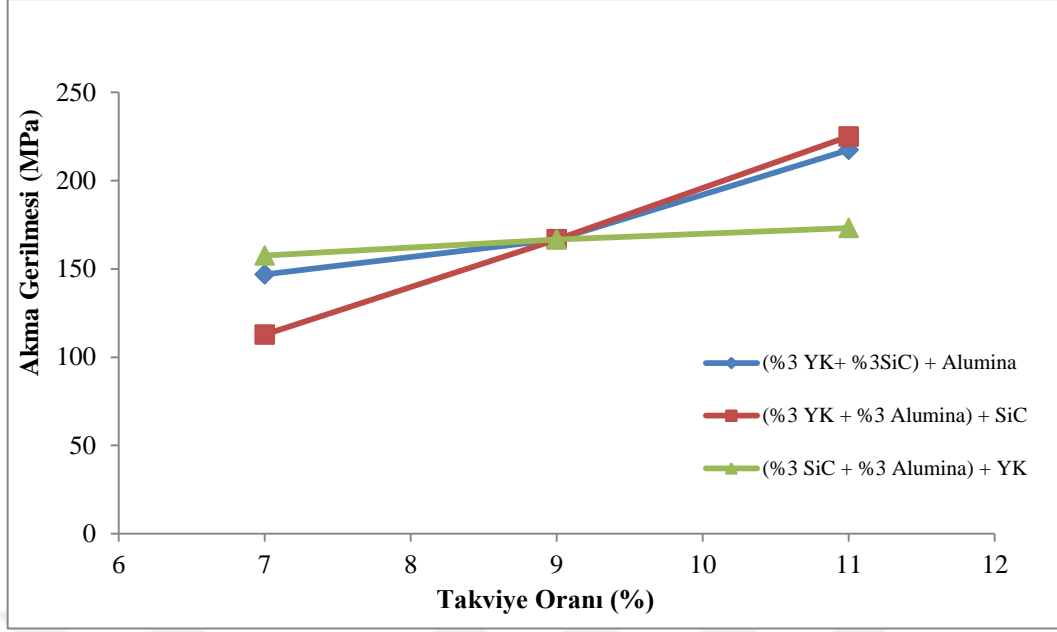
% 3 Alümina + YK takviyeli ikili hibrit kompozitte % 3 oranına kadar yumurta kabuğu tozu ilavesi akma gerilmesini daha düşük miktarda artırırken, yumurta kabuğu tozu oranı % 5'e çıkarıldığında akma gerilmesini artırıcı etkisinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

5.2.4.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Akma Gerilmesine Etkisi

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin akma gerilmesine etki değerleri Tablo 17'de verilmekte ve Şekil 49'da gösterilmektedir.

Tablo 17: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin akma gerilmesine etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Akma Gerilmesi (Mpa)
93	3	3	1	146,83
91	3	3	3	166,67
89	3	3	5	217,39
93	3	1	3	112,75
91	3	3	3	166,67
89	3	5	3	225,01
93	1	3	3	157,56
91	3	3	3	166,67
89	5	3	3	173,18



Şekil 49: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin akma gerilmesine etkisi.

Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃ üçlü hibrit kompozitlerde ise yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; akma gerilmesi 157,56 Mpa'dan 173,18 Mpa'a artış gözlemlenmiştir.

% 3 YK + % 3 SiC üçlü hibrit kompozitlerde alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken; akma gerilmesi 146,83 MPa'dan 217,39 MPa'a artış gözlemlenmiştir.

% 3 YK + % 3 alümina üçlü hibrit kompozitlerde SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken; akma gerilmesi 112,75 MPa'dan 225,01 MPa'a artış gözlemlenmiştir.

Ayrıca, yaptığımız çalışmalarda takviye oranı ağırlıkça % 11 değerinden sonra yapıda mikro çatlaklar oluştuğu için akma gerilmesinde düşme görülmüştür.

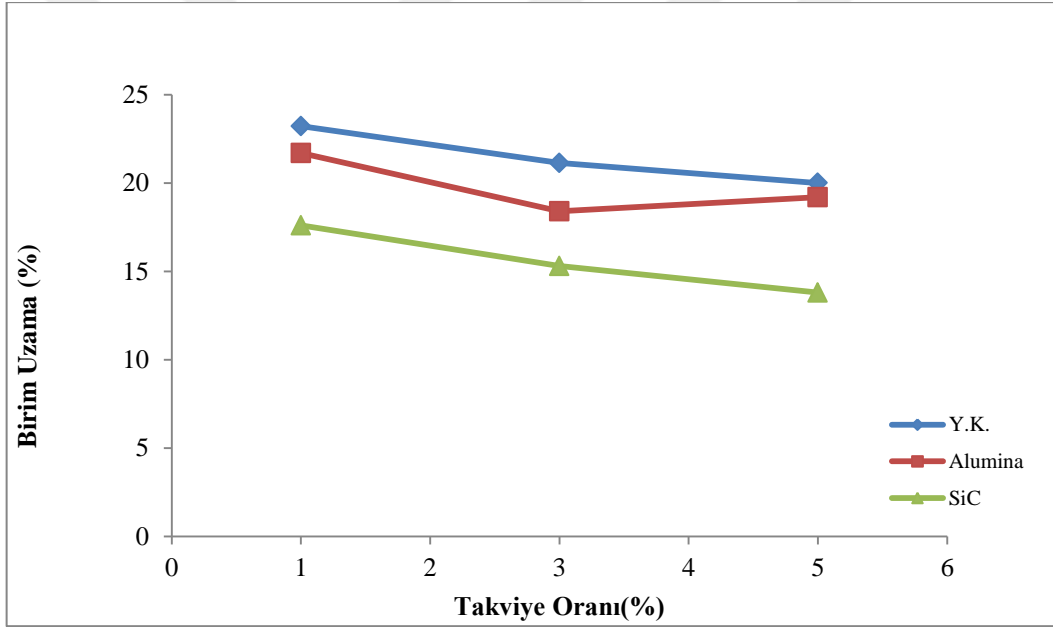
5.2.5 Birim Uzama Miktarı Deneysel Verileri

5.2.5.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Birim Uzama Miktarına Etkisi

Yumurta kabuğu tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri Tablo 18'de verilmekte ve Şekil 50'de gösterilmektedir. Al 6061 matris malzemenin birim uzama miktarı % 26,00 ölçülmüştür.

Tablo 18: Takviye elemanlarının kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Birim Uzama (%)
99	1	0	0	23,21
97	3	0	0	21,14
95	5	0	0	20,00
99	0	1	0	17,6
97	0	3	0	15,3
95	0	5	0	13,8
99	0	0	1	21,7
97	0	0	3	18,4
95	0	0	5	19,2



Şekil 50: Takviye elemanlarının kompozitin birim uzama miktarına etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak yumurta kabuğu tozu kullanıldığında takviye oranı % 1'den % 5'e değişirken; kompozitin birim uzama miktarına etkisi % 23,21'den % 20,00'a düşmüştür.

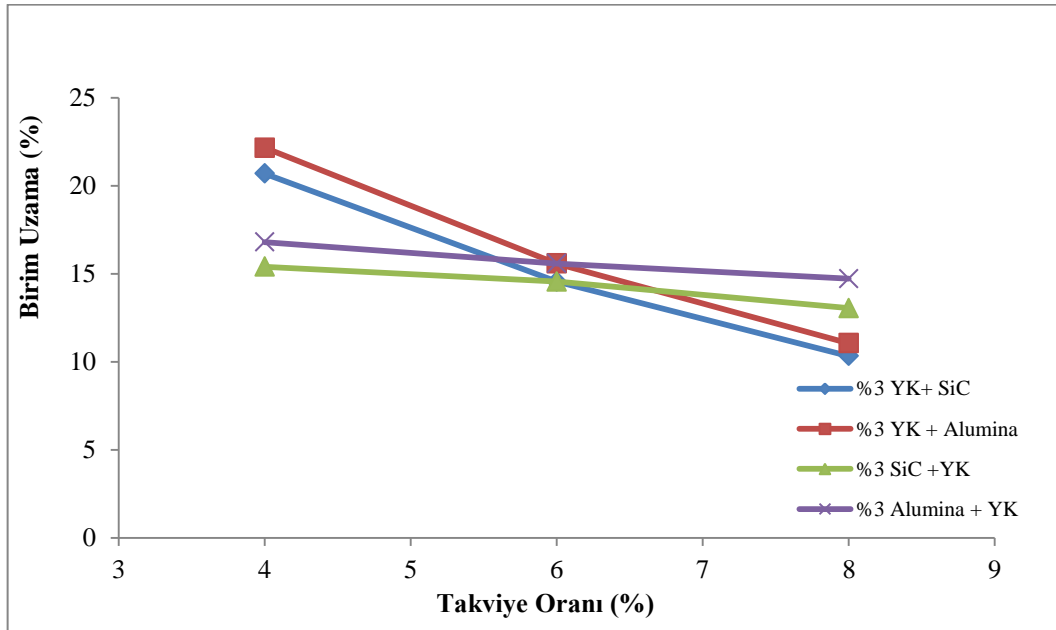
Alümina takviyeli kompozitte % 3 oranına kadar birim uzama miktarı düşerken, alümina oranı % 5'e çıkarıldığında birim uzama miktarını arttırıcı etkisi olduğu görülmüştür.

5.2.5.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Birim Uzama Miktarına Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri Tablo 19'da verilmekte ve Şekil 51'de gösterilmektedir.

Tablo 19: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Birim Uzama (%)
96	3	1	0	20,69
94	3	3	0	14,56
92	3	5	0	10,33
96	3	0	1	22,15
94	3	0	3	15,58
92	3	0	5	11,06
96	1	3	0	15,40
94	3	3	0	14,56
92	5	3	0	13,05
96	1	0	3	16,80
94	3	0	3	15,58
92	5	0	3	14,72



Şekil 51: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi.

Üretilen % 3 SiC'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi % 15,40'dan % 13,05'e düşmüştür.

Üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi % 16,80'den % 14,72'ye düşmüştür.

Üretilen % 3 YK'lı ikili hibrit kompozitlerde;

SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi % 20,69'dan % 10,33'e düşmüştür. Alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi % 22,15'den % 11,06'ya düşmüştür.

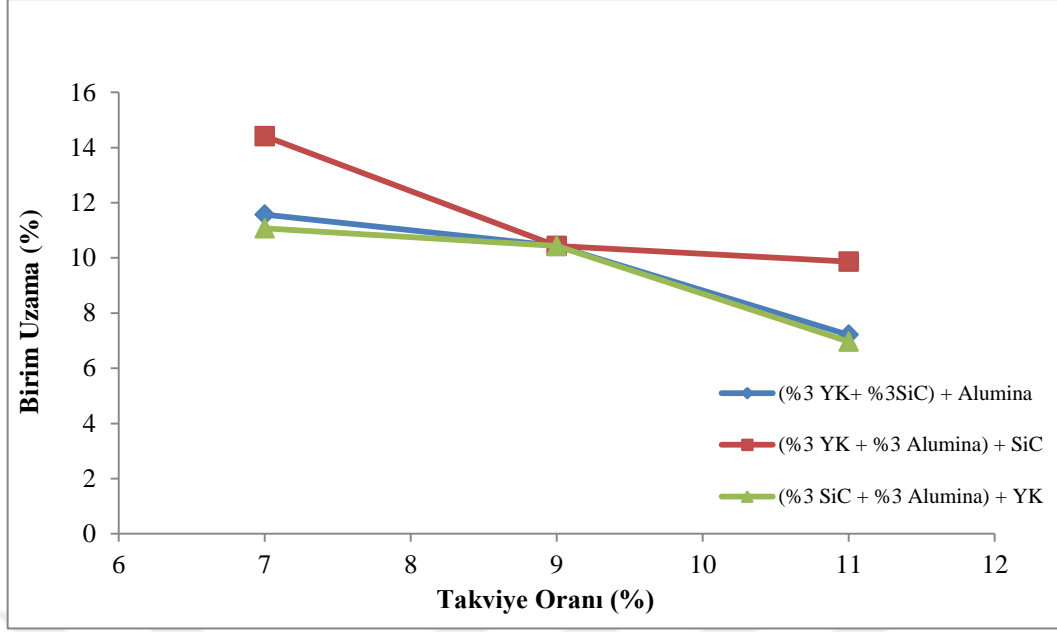
% 3 SiC ve % 3 Alümina ikili hibrit kompozitlere yumurta kabuğu tozu ilavesi benzer oranlarda birim uzama miktarını düşürmektedir.

5.2.5.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Birim Uzama Miktarına Etkisi

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri Tablo 20'de verilmekte ve Şekil 52'de gösterilmektedir.

Tablo 20: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin birim uzama miktarına etki değerleri.

Al 6061	YK	SiC	Al ₂ O ₃	Birim Uzama (%)
93	3	3	1	11,57
91	3	3	3	10,43
89	3	3	5	7,21
93	3	1	3	14,41
91	3	3	3	10,43
89	3	5	3	9,86
93	1	3	3	11,07
91	3	3	3	10,43
89	5	3	3	6,96



Şekil 52: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi.

Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃ üçlü hibrit kompozitlerde ise yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken; hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi % 11,07'den % 6,96'ya düşüş gözlemlenmiştir.

% 3 YK + % 3 SiC üçlü hibrit kompozitlerde alümina oranı % 1'den % 5'e değişirken; hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi % 11,57'den % 7,21'e düşüş gözlemlenmiştir.

% 3 YK + % 3 alümina üçlü hibrit kompozitlerde SiC oranı % 1'den % 5'e değişirken; hibrit kompozitin birim uzama miktarına etkisi % 14,41'den % 9,86'ya düşüş gözlemlenmiştir.

Üçlü hibrit kompozitte % 3 SiC + % 3 Alümina oranına % 3 YK ilavesi birim uzama miktarını düşürürken, YK oranı % 5'e çıkarıldığında birim uzama miktarını azaltıcı etkisinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Üretilen numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen yumurta kabuğu tozu oranının % 1'den % 5'e artarken Al 6061 malzemenin sertlik değerinin arttığı, üretilen % 3 SiC'lü ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e artarken sertlik değerinin arttığı, üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde de yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken sertlik değeri % 3 SiC'lü ikili hibrit kompozitlere oranla daha az artmıştır. Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃'li üçlü hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken sertlik değerinin ikili hibrit kompozitlere kıyasla daha düşük oranda arttığı gözlemlenmiştir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan çevresel atık yumurta kabuğu tozunun kompozitin sertliğini arttırdığı ve kullanılan takviye elemanının oranı arttıkça üçlü hibrit kompozitin sertlik değerinin de arttığı görülmüştür.
2. Üretilen numunelerin porozite değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen yumurta kabuğu tozu oranının % 1'den % 5'e artarken Al 6061 malzemenin porozite değerinin arttığı, üretilen % 3 SiC'lü ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e artarken porozite değerinin arttığı, üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde de yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken porozite değeri % 3 SiC'lü ikili hibrit kompozitlere oranla daha çok artmıştır. Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃'li üçlü hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken porozite değerinin ikili hibrit kompozitlere kıyasla daha yüksek oranda arttığı gözlemlenmiştir.
3. Üretilen numunelerin gerilme dayanımlarının belirlenmesi için yapılan çekme deneyleri sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen yumurta kabuğu tozu oranının % 1'den % 5'e artarken Al 6061 malzemenin çekme gerilmesi ve akma gerilmesi değerlerinin arttığı, üretilen % 3 SiC'lü ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e artarken çekme gerilmesi ve akma gerilmesinin arttığı, üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde de yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken çekme ve akma dayanımlarının % 3 SiC'lü ikili hibrit

kompozitlere oranla daha az artmıştır. Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃'li üçlü hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken çekme gerilmesi ve akma gerilmesinin ikili hibrit kompozitlere kıyasla daha yüksek oranda arttığı gözlemlenmiştir. Üretilen kompozitler genel olarak değerlendirildiğinde geleneksel takviye malzemeleri olan SiC ve Al₂O₃'e kıyasla yumurta kabuğu tozunun çekme gerilmesi ve akma gerilmesini artırma düzeyi daha düşüktür. Buna rağmen yumurta kabuğu tozunun maliyetine kıyasla çekme gerilmesi ve akma gerilmesi değerlerini oldukça yüksek oranda arttırabildiği belirlenmiştir. Bu nedenle hibrit kompozit malzeme üretiminde çekme ve akma gerilmesi değerlerini arttıran yumurta kabuğu tozunun takviye malzemesi olarak seçileceği öngörülmektedir.

4. Çalışmada kullanılacak ağırlıkça takviye oranlarının belirlenmesi amacıyla üretilen numuneler çekme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçları incelendiğinde, kompozitin ağırlıkça takviye oranı % 11 değerini aştığında yapıda mikro çatlaklar oluştuğu için akma gerilmesi ve maksimum çekme gerilmesinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu yüzden üretilen hibrit kompozitlerde ağırlıkça % 11 takviye oranı aşılmamıştır.
5. Üretilen numunelerin birim uzama miktarlarının belirlenmesi için yapılan deneylerin sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen yumurta kabuğu tozu oranının % 1'den % 5'e artarken Al 6061 malzemenin birim uzama miktarı değerinin azaldığı, üretilen % 3 SiC'lü ikili hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e artarken birim uzama miktarı değerlerinin azaldığı, üretilen % 3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde de yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken birim uzama miktarı değerleri % 3 SiC'lü ikili hibrit kompozitlere oranla daha az azalmıştır. Üretilen % 3 SiC + % 3 Al₂O₃'li üçlü hibrit kompozitlerde yumurta kabuğu tozu oranı % 1'den % 5'e değişirken birim uzama miktarı değeri ikili hibrit kompozitlere kıyasla daha yüksek oranda azaldığı gözlemlenmiştir. Kullanılan takviye elemanın oranı arttıkça hibrit kompozitin birim uzama miktarı değerinin azaldığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H., Durman, M. (1995). SiC Partikül Takviyeli Al-Si Metal Matrisli Kompozitlerin Santrifüj Dökümü, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, s. 687-692.
- Akın, E. (2007). Mermer Tozları ve Uçucu Kül İle Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Ankara, 70 s.
- Altuner, S. (2011). Y₂O₃ Kaplanmış Al₂O₃ Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı, İstanbul. 123 s.
- Altuner, S., Keleşoğlu, E. (2012). Pruduction Of Y₂O₃ Coated Al₂O₃ Reinforced Aluminium Matrix Composites and the Coating of Interface Effects Over Wettability Properties. PhD Research Article, Journal of Engineering and Natural Sciences, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 30, s. 252-258.
- Aycan, M.F. (2010). Yaşlandırma Isıl İşleminin SiC ve Al₂O₃ Parçacık Takviyeli Alüminyum Alaşımı Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 106 s.
- Arıcı, R., Köksal, N.S., Ömeroğlu, E. (2015). AA6061 Alaşımının İki Farklı Dolgu Teli Kullanılarak TIG Kaynağında Özelliklerin İncelenmesi. CBÜ Fen Bil. Dergisi, Cilt 11, Sayı 2, s. 233-239.
- Bakar, B. (2009). Alümina Katkılı β Silisyum Karbürün Sinterlenmesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Müh. Programı, İstanbul. 75 s.
- Bardal, A. (1992). Wettability and Interfacial Reaction Products in the Al-Si-Mg Surfaceoxidized SiC System, Materials Science and Engineering, s. 119-125.
- Bayar, H., Subaşı, M., Karataş, Ç. (2015). SiC Takviyeli Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemenin Yüksek Basıncılı Kalıp Dökümü ve Mekanik Özellikleri. Gazi University Journal of Science, GU J Sci Part C, 3(4):603-612 (2015).
- Bedir, F., Durak, E., Delikanlı, K. (2006). Alüminyum Alaşımının Otomotiv Endüstrisinde Uygulanabilirliği ve Mekanik Özellikleri. Makina Mühendisleri Odası Aylık Yayın Organı, Mühendis ve Makina, Cilt 47, Sayı 555, s. 37-46.
- Bulut, M. (2014). Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 77 s.

- Büyükuncu, G. (2000). Bor Karbür / Silisyum Karbür Kompozitlerinin Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği, İstanbul, 65 s.
- Clyne, T.W., Withers, P. (1993). An Introduction To Metal Matrix Composites, Cambridge University Pres, Cambridge, UK.
- Çalın, R. (2006). Magnezya Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi Ve Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Doğan, M.A. (2012). Al₂O₃ Partikül Takviyeli 6061 Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin İşlenebilirliği. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Antakya, Hatay. 65 s.
- Ekinci, V.Ş. (2007). Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara. 93 s.
- Er, A. (2012). Kompozit Yapı Malzemelerinin Performans Özelliklerinin ve Mimarlıkta Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İzmir. 103 s.
- Eral, G. (2003). Kompozit Malzemelerdeki Termal Gerilmelerin ve Sürünme Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. Lisans Bitirme Tezi, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir. 48 s.
- Erdem, M. (2001). Alüminyum Alaşımlarının (5083 ve 7039) Kaynak Öncesi ve Sonrası Mekanik ve Balistik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi, Ankara. 105 s.
- Erdem, Y. (2010). Çelik Talası/Silikon Kompozit Malzeme Üretimi ve Düşük Hızlı Darbe Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya. 115 s.
- Foltz, J.V. (1990). Metal Matrix Composites, ASM Handbook, Volume 2, ASM International, USA.
- Gökşahin, E. (2007). Sert Eloksal İle Kaplanmış 6xxx Serisi Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Mühendisliği Programı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul. 62 s.
- Hassan, S.B., 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, s. 49–56. www.ksu.edu.sa, www.sciencedirect.com

- Hull, D. (1992). An Introduction to Composite Materials, Cambridge University Pres, s. 71-79.
- İpekoğlu, G., am, G. (2012). Farklı Al-Alaşımı Levhaların (AA6061/AA7075) Sürtünme Karıştırma Kaynağına Temper Durumunun Etkisi. TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 53, Sayı 629, s. 40-47.
- Kafalı, H., Ay, N. (2014). Sürtünme Karıştırma Kaynağıyla Birleştirilmiş Havacılık ve Uzay Yapılarında Kullanılan Al 6013-T6 Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, s. 85-101.
- Kanca, E., Günen, A., (2016). Investigations on Machinability of Al₂O₃ Reinforced Al6061 Metal Matrix Composites. Süleyman Demirel University, Journal of Natural and Applied Sciences Volume 20, Issue 3, s. 434-441.
- Kurnaz, S.C., Akbulut, H., Durman, M. (1993). Saffil (δ -Al₂O₃) Fiber Takviyeli inko-Alüminyum Alaşımı (ZA.12) Metal Matrisli Kompozitlerin İnfiltasyon Yöntemi İle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ankara, s. 1155-1164,
- Kurşun, T. (2011). Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Birleştirilmesinde Al₄C₃ Oluşunun Önlenmesi ve Sinerjik Kontrollü Darbeli Mig (GMAW-P) Kaynak Yöntemi. Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergi, Cilt 10, Sayı 1, s. 86-98.
- M.E.B. (2011). evre Sağlığı Teknisyenliği Meslek Dalı, Yumurta ve Ürünleri Modülü, Kod 850CK0021, <http://www.megep.meb.gov.tr/?page=moduller>, Ankara, 46 s.
- Mindivan, H. (2007). Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 224 s.
- Mindivan, H., Kayalı E.S. (2007). SiC Takviyeli 2618 Al Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışı. itüdergisi/d mühendislik, Cilt:6, Sayı:2, İstanbul, s. 63-70
- Mutlu, İ. (2012). Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 4, No 1, s. 31-36.
- Onat, A. (2015). Kompozit Malzemeler Ders Notu. Sakarya Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Sakarya. 105 s.
- Ömercikoğlu, A. (2009). Metal Katmanlar İçeren Hibrit Katmanlı Kompozit Plakların Anlık Basınç Yükü Altındaki Dinamik Cevabının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uçak ve Uzay Mühendisliği, İstanbul. 107 s.
- Özcömert, M. (2006). Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum. İstanbul Ticaret Odası, 21 s.

- Pul, M., Çalın, R., Çıtak, R., Şeker, U. (2011). Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozit Malzemelerin Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 26, No 1, Ankara. s. 81-88.
- Shirzadi, AA. (1997). Diffusion Bonding of Aluminium Alloys and Composites, New Approaches and Modelling. Doktora Tezi, Cambridge Üniversitesi, UK.
- Sur, G., Şahin, Y., Gökçaya, H. (2005). Ergimiş Metal Karıştırma ve Basınçlı Döküm Yöntemi ile Alüminyum Esaslı Tanecik Takviyeli Kompozitlerin Üretimi. Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der., J. Fac. Eng. Arch. Gazi University, Cilt 20, No 2, Ankara. s. 233-238.
- Şahin, Y., Öksüz, K.E. (2012). TM Metodu İle Üretilen Al₂O₃ – Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Aşınma Davranışı İçin İstatistiksel Model Oluşturulması. 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, 29-30 Kasım 2012, Balıkesir. s. 442-455.
- Taya, M., Arsenault R. (1988). Metal Matrix Composites- Thermal and Mechanical Behavior. Pergamon Pres, New York.
- Toptan, F. (2011). Alüminyum Matrisli B₄C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzeme Üretimi. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı, İstanbul, 133 s.
- Turhan, S. (2002). Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Programı. İstanbul. 64 s.
- URL-1, (2014). <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fakademi.itu.edu.tr%2Ffuralmu%2FDosyaGetir%2F65047%2Fch08PolimerKompozit.pdf>, Polimerler ve Kompozit Malzemeler, 08 Temmuz 2014.
- URL-2, (2015). <http://ansys.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2015/12/12.pdf>, Kompozit Malzemeler, Son Erişim Tarihi: 22 Şubat 2016, 47 s.
- URL-3, (2016). Seykoç Alüminyum. <http://www.seykoc.com.tr/aluminyum-alasimlar/6061.aspx>, Son Erişim Tarihi: 21 Şubat 2016.
- URL-4, (2016). <http://www.tzob.org.tr/Bas%C4%B1n-Odas%C4%B1/Haberler/ArtMID/470/ArticleID/1025/Yumurta-tavuk-eti-ve-inek-s252t252-252retimindeki-art%C4%B1%C5%9F-s252r252yor>. Son Erişim Tarihi: 23.02.2016.
- Uygur, I. (1999). Environmentally Assisted Fatigue Response of Al-Cu-Mg-Mn With SiC Particulate Metal Matrix Composites. Ph.D.Thesis, University of Wales, Swansea.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Akif TOK
Doğum Yeri ve Tarihi : Kurucaşile - 1976

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi, (1999).

Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, (2014).

Yüksek Lisans Öğrenimi : Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Tezli Yüksek Lisans, (2001).

Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, devam ediyor.

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (2/10)

Bilimsel Faaliyet/Yayımlar :

1- Milli Eğitim Bakanlığı Milli Eğitim Dergisi, “Mesleki Eğitimde Öğrenci Memnuniyeti ve Etkili Öğretim”, 172. Sayı, Güz 2006 – ISSN-1302-5600.

2- Suluova İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü, Suluova Eğitim Bülteni, “Mesleki Eğitimde Etkili Öğretim”, Mayıs 2010, Yıl 2, Sayı 2.

3- Bartın İl Milli Eğitim Müdürlüğü Kültür ve Sanat Dergisi, “Mesleki Eğitimde Kalite Anlayışı”, Mart 2016, Sayı 4, s. 49-50 – ISSN 1308-1616.

4- Bartın İl Milli Eğitim Müdürlüğü Kültür ve Sanat Dergisi, “Ekmeğini Taştan Çıkaranlar...”, Mart 2016, Sayı 4, s. 25-26 – ISSN 1308-1616.

5- 2. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, “Yumurta Kabuğu Tozu, SiC, Al₂O₃ Takviyeli Al6061 Matrisli Hibrit Kompozitlerin Gerilme Dayanımlarının İncelenmesi”, Kocaeli Wellborn Hotel,

12/13 Mayıs 2017.
Aldığı Ödüller : 3 Adet Teşekkür Belgesi,
1 Adet Takdir Belgesi,
3 Adet Başarı Belgesi,
1 Adet Üstün Başarı Belgesi,
1 Adet Aylıkla Ödül Belgesi,
24.11.2013 Yılım Öğretmeni

İş Deneyimi

Stajlar :
Projeler ve Kurs Belgeleri : Avrupa Birliği Hayat Boyu Öğrenme Programı Leonardo da Vinci Ortaklık Projesi kapsamında 21 Kasım 2012’de başlayan Polonya, Hırvatistan ve Litvanya ile birlikte gerçekleştirilen “INTEGRATION OF SOCIAL ECONOMY SKILLS INTO VET- Sosyal, Ekonomi Becerilerinin Mesleki Eğitimle Bütünleşmesi” adlı projede katılımcı (Bartın Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi) olarak görev aldım.
27 Adet MEB. Hizmetiçi Eğitim kursuna kursiyer olarak katıldım.
MEB. Hizmetiçi Eğitim kursları ve bilgilendirme toplantılarında Eğitim Görevlisi olarak görevlendirildim.

Çalıştığı Kurumlar : Özel Sektör (01.02.1995 - 19.11.1997)
M.E.B. Teknik Öğretmen (11.10.1999 - 25.05.2015)
M.E.B. Makine Mühendisi (27.05.2015 - Devam Ediyor)

İletişim

E-Posta Adresi : tokakif@hotmail.com
Tarih : 13 / 07 / 2017 (Tez sınav tarihi)