



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ
KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

HASAN TOPRAK

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
YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Hasan TOPRAK

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Prof. Dr. İbrahim UZUN	- Kırıkkale Üniversitesi
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI	- Bartın Üniversitesi

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Hasan TOPRAK tarafından hazırlanan “GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞININ 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 : Prof. Dr. İbrahim UZUN

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 YORULMA DAVRANIŞININ 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.

imza

13.07.2017

Hasan TOPRAK

ÖNSÖZ

Günümüzde dünya nüfusundaki artışa rağmen, var olan hammadde kaynakları azalmaktadır hammadde ve enerji tüketimi miktarındaki artışla beraber dünyamız teknolojik atık çöplüğü halini almaya başlamaktadır. Söz konusu atıkların hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi bir seçenek olmasından ziyade zorunluluk halini almış durumdadır. Böylelikle atıkların yeniden kullanılması gibi atık yönetimi konuları giderek önem kazanmaya başlamıştır.

İki veya daha çok malzemenin en iyi özelliklerinin yeni oluşturulan malzemede bir araya getirilmesi amacıyla malzemelerin makro düzeyde birleştirilmesi ile kompozit malzemeler elde edilir. Kompozit malzemelerin endüstriyel alanlarda kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde atıkların metal matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği de atıkların yeniden değerlendirilmesi konularına katkı sağlamaktadır.

Makine elemanları tüm ömür süreleri içerisinde statik yüklere nazaran daha büyük bir oranda dinamik yüklere maruz kalırlar. Makine parçalarının üretimi veya kullanımları esnasında içyapılarında mikro çatlaklar meydana gelebilir. Söz konusu mikro çatlaklar makine parçalarındaki kırılmaların ilk başlangıç yerini teşkil eder ve sürekli yinelenen yükler altında mikro çatlaklar büyüyüp gelişerek geri dönüşü olmayan kalıcı şekil değişimlerine neden olurlar. Bu nedenle makinelerin kritik görev ifa eden parçalarının yorulma dayanımlarının ve buna bağlı olarak ömür sürelerinin belirlenmesi hayati önem taşımaktadır. Örneğin uçak kazalarına ait kaza kırım raporları incelendiğinde, kaza nedenleri arasında malzeme yorulmasının ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Makine parçalarının kullanım esnasında maruz kaldıkları yorulmaların belirlenmesi neredeyse imkansız olduğundan, bu parçaların üretiminde kullanılan malzemelerin yorulma dayanımları ve buna bağlı olarak ömürlerinin belirlenmesi hayati derecede bir öneme sahiptir.

Havacılık ve otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan Al 6061 alaşımının yorulma dayanımı geleneksel takviye malzemeleri ile arttırılabilmektedir. Bu çalışmada söz konusu takviye elemanlarının üretiminde dışa bağımlılık söz konusu olduğundan atık takviye elemanı kullanılarak yorulma dayanımının benzer seviyelere çıkarılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada Alüminyum matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak sıklıkla kullanılmakta olan seramiklerin başında yer alan SiC ve Al₂O₃'e alternatif olabilecek hiçbir ticari değeri olmayan atık mermer parçaları toz haline getirilerek kompozit üretiminde takviye elemanı olarak kullanılmıştır.

Günümüzde enerjiye olan ihtiyaç ve SiC, Al₂O₃, vb. seramiklerin üretiminde gerek duyulan enerji göz önüne alındığında atık malzemelerin takviye elemanı olarak kullanılabilirliği üzerine araştırmalar her geçen gün artarak devam etmektedir. Atık mermer parçalarının toz haline getirilerek takviye elemanı olarak kullanılması ile üretilen kompozitlerin mikroyapıları elektron mikroskobu ile görüntülenmiş ve porozite, sertlik, yorulma dayanımı değerleri belirlenerek mermer tozunun metal matrisli hibrit kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak ortaya koyulmuştur.

Bu çalışmaya katkılarından dolayı danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Duygu TOPRAK'a ve oğlum Berk'e sevgilerle...

Hasan TOPRAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GELENEKSEL VE ATIK TAKVİYELİ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Hasan TOPRAK

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ

Bartın - 2017, sayfa: XVII + 67

Bu çalışmada matris malzemesi olarak Al6061 alaşımı, geleneksel takviye elemanlarından otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan SiC ve Al₂O₃ seramikleri ve atık takviye malzemesi olarak ise Afyon bölgesinde mermer üretimi yapan işletmelerin atık alanlarından toplanan mermer parçalarının bilyalı değirmende toz haline getirilmesi ile elde edilen mermer tozu kullanılmıştır. Geleneksel ve atık takviye malzemeleri kullanılarak tekli kompozitler ile ikili ve üçlü hibrit kompozitler üretilmiştir. Mermer tozumuzun elek analizi yapılarak çalışmada kullanacağımız 22-59µm toz boyutuna sahip olan tozlar elde edilmiş, 22-59µm toz boyutuna sahip olan SiC ve Al₂O₃ takviyeleri de piyasadan temin edilmiştir.

Tekli kompozitler ve hibrit kompozitler sıvı hal üretim yöntemlerinden olan iki kademeli karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Bu yöntemde öncelikle Al6061 alaşımını 700°C sıcaklığına çıkartılmış daha sonra alaşımın sıcaklığı 600°C ye düşürülerek bu sıcaklıkta yarı katı hal de olan alaşıma önceden 250°C ye ısıtılmış olan takviye elemanları eklenmiş ve elle karıştırılmıştır. Daha sonra alaşım süper ısıtmaya tabii tutularak alaşımın sıcaklığı 800°C ye çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 250dev/dk. hızında alaşım mekanik olarak 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sırasında inert gaz

olarak azot gazı kullanılmış ve bu sayede ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Daha sonra 300mm uzunluğunda ve 14mm çapındaki metal kalıplara döküm yapılarak kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu ile görüntülenerek incelenmiş, EDS analizleri alınmış porozite miktarları Arşimet prensibi ile hesaplanmış, sertlikleri ise Brinell sertlik ölçüm yöntemi ile belirlenmiştir. Üretilen kompozitlerin yorulma dayanımları için dönel eğmeli yorulma cihazı kullanılarak belirlenen 9 farklı gerilme değerinde numuneler kopuncaya kadar çevrim sayıları ölçülmüştür. Her numuneden 3'er adet üretilerek porozite miktarları ve Brinell sertlik değerleri belirlenmiştir. Yapılan porozite ölçümlerinde mermer tozu takviyeli tekli kompozit malzemelerde SiC ve Al₂O₃ takviyelerinden daha fazla porozite olduğu belirlenmiştir. Matrise eklenen takviye malzemesinin ağırlıkça oranı arttıkça porozite değerinin de bununla birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan sertlik deneylerinde kompozite ilave edilen takviyenin ağırlıkça oranının artması ile kompozitin sertliğinde artış meydana gelmiş ve mermer tozunun da kompozitin sertlik değerini arttırmada neredeyse SiC ve Al₂O₃ kadar etkili olabildiği belirlenmiştir. Mermer tozu takviyesi tekli kompozit, ikili ve üçlü hibrit kompozitlerin yorulma dayanımını artırmıştır.

Anahtar Kelimeler

Alüminyum matrisli kompozit, mermer tozu, yorulma, sertlik, porozite

Bilim Kodu

625.02.05

Abstract
Master thesis
Investigation of fatigue behaviors of traditional and waste reinforced metal matrix composites

HASAN TOPRAK
Bartın University
Institute Of Science Sciences
Machine Engineering Main Science
Thesis Advisor: Assistant Professor Serkan Ateş
Bartın-2017, Page: XVII + 67

In this study, a16061 alloy as a matrix material, SIC and Al₂O₃ ceramics which are frequently used in the automotive industry from traditional reinforced elements and marble dust obtained by powdering marble pieces collected from waste areas of Afyon region opium marble production enterprises as waste reinforcement material are used. Besides single composites, Dual and triple hybrid composites were produced by using traditional and waste reinforced materials. powders with a powder size of 22-59 µm which will be used in our study were obtained by carrying out sieve analysis of the marble powder , SIC and Al₂O₃ powders with a powder size of 22-59 µm were also supplied from the market.

Single composites and hybrid composites were produced using the two-ply mixing casting process, which is a liquid casting process. In this method, the alloy A16061 is first heated to 700 ° C, then the temperature of the alloy is reduced to 600 ° C, and preheated to 250 ° C Reinforcement elements are added to the alloy, which is semi-solid at this temperature, is heated and mixed with hand.

The alloy was then superheated and the temperature of the alloy increased to 800 ° C and at this temperature, At speed 250 rpm, the alloy was mechanically mixed for 10 minutes.

Nitrogen was used as an inert gas during the mixing process and the oxygen in the environment was removed. Composites were then produced by casting metal molds with a length of 300 mm and a diameter of 14 mm. The microstructures of the produced composites were examined by scanning electron microscope, EDS analysis were obtained,

The prototype quantities were calculated by Archimedes principle and hardnesses were determined by Brinell hardness measurement method.

For the fatigue strengths of the composites produced, 9 different stress value were measured until the samples were broken off by using the rotary curvature fatigue device. Three samples were produced from each sample and the prototype quantities and brinell hardness values were determined. Thus The reliability of the measurements is increased. The marble dust we used as reinforcements in the production of single and double composite and triple hybrid composites has increased the fatigue strength of A16061 to 11% by weight of reinforcement.

In the prototype measurements, it was determined that the single composite materials reinforced with marble slurry had more prototypes than the SIC and Al_2O_3 reinforcements. It was observed that as the weight ratio of the reinforcement material added to the matrix increases, the prototype value increases with it.

It has been determined that the hardness of composites increases with the weight ratio of the compound added in the hardness tests and that the marble powder is almost as effective as SIC and Al_2O_3 in increasing the hardness value of the composite.

Key words

Aluminum matrix composite marble dust, fatigue, hardness, porozite

Science code

625.02.05

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
TABLolar DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 KURAMSAL BİLGİLER.....	3
2.1 Kompozit Malzemeler	3
2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri	4
2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları	4
2.4 Matrisler.....	6
2.4.1 Alüminyum Alaşımları.....	6
2.4.2 Al 6061 ve Özellikleri.....	8
2.5. Takviye Malzemeleri	10
2.5.1 Al ₂ O ₃	12
2.5.2 SiC	14
2.5.3 Mermer Tozu	15
2.6 Kompozit Malzemelerin ve Kullanım Alanları	17
2.6.1 Havacılık Uygulamaları	17
2.6.2 Otomotiv Uygulamaları	19
2.6.3 Diğer Mühendislik Uygulamaları	21
2.7 MMK Üretim Yöntemleri.....	21
2.7.1 Karıştırılmalı Döküm Üretim Yöntemleri	22
BÖLÜM 3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	25

BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	27
4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları.....	27
4.2 Kullanılan Ekipmanlar	27
4.2.1 Ergitme Fırını.....	27
4.2.2 Bilyalı Değirmen	29
4.2.3 Sarsma Makinası	30
4.2.4 Hassas Kesme Cihazı	30
4.2.5 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı	31
4.2.6 SEM	31
4.2.7 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı.....	33
4.2.8 Hassas Terazı	34
4.2.9 Yorulma Cihazı	36
BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5.1 Porozite	37
5.1.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	37
5.1.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	38
5.1.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi	40
5.2 Sertlik.....	41
5.2.1 Takviye Elemanlarının Kompozit ve Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi.....	41
5.2.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi.....	43
5.2.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi.....	44
5.3 Yorulma Dayanımı Testleri Sonrasında Al 6061 Alaşımı Üzerinde Elde	
Edilen Yorulma Dayanımı Sonuçları.....	45
5.3.1 Mermer Tozunun Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması	46
5.3.2 SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması	48
5.3.3 Al ₂ O ₃ 'ün İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması...	49
5.3.4 SiC ve Al ₂ O ₃ 'ün İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına	
Etkisinin Karşılaştırılması	51
5.3.5 Mermer Tozunun İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına	
Etkisinin Karşılaştırılması.....	53

5.3.6 Al ₂ O ₃ 'ün Üçlü Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması..	54
5.3.7 SiC Üçlü Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması	56
5.3.8 Mermer Tozu, SiC ve Al ₂ O ₃ 'ün Üçlü Hibrit KompozitlerinYorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması	58
5.3.9 Mermer Tozunun Üçlü Hibrit KompozitlerinYorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması.....	59
 BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
 KAYNAKLAR	63
 ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Al_2O_3 'ün SEM görüntüsü	14
2. SiC'ün SEM görüntüsü.....	15
3. Mermer tozunun SEM görüntüsü.....	16
4. Mermer tozunun EDS analizi.....	16
5. Karıştırmalı döküm ünitesi.....	28
6. Döküme hazır olan bir kum kalıbın kesiti ve döküm görüntüsü.....	28
7. Kompozit üretim yöntemi ve aşamaları	29
8. Bilyalı değirmen ve mermer tozu.....	29
9. Sarsma makinası.....	30
10. Hassas kesme cihazı	30
11. Otomatik yüzey hazırlama cihazı.....	31
12. FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu	31
13. Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüleri	32
14. Üretilen numunelere ait EDS analizleri	32
15. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi	33
16. Brinell sertlik ölçüm cihazı	34
17. Hassas terazi.....	35
18. Yorulma cihazı.....	36
19. Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.	38
20. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi	39
21. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi	41
22. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.....	42
23. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.....	43
24. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi	45
25. Hibrit kompozite ait yorulma numune örneği.....	46
26. Mermer tozunun kompozitin yorulmasına etkisinin karşılaştırılması.....	47
27. SiC'ün ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi.....	49
28. Al_2O_3 'ün ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi	50
29. SiC ve Al_2O_3 'ün ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi	52
30. Mermer tozunun ikili hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi	54
31. Al_2O_3 'ün üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi	55

32.	SiC'ün üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi.....	57
33.	Mermer tozu, SiC ve Al ₂ O ₃ 'in üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi.....	59
34.	Mermer tozunun üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi.....	60



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1. Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi.....	7
2. Al 6061 kimyasal bileşimi	9
3. Al 6061 mekanik özellikleri.....	10
4. Çeşitli seramiklere ait özellikler.....	12
5. %85,0-99,7 saflıkta aluminaların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	13
6. Havacılık uygulamaları için metel matris uygulamaları	18
7. Alüminyum matris kompozitleri üreten üreticiler.....	20
8. Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi	37
9. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozite etki değerleri	39
10. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri	40
11. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri	42
12. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri	43
13. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri	44
14. Üretilen kompozitlerin takviye oranları	46
15. Üretilen kompozitlerin çevrim sayısı.....	46
16. Üretilen kompozitlerin takviye oranları	48
17. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.....	48
18. Üretilen kompozitlerin takviye oranları	50
19. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.....	50
20. İkili hibrit kompozitin Takviye oranları.....	51
21. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.....	52
22. Üretilen kompozitlerin takviye oranları	53
23. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.....	53
24. Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları	54
25. Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı	55
26. Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları	56
27. Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı	56
28. Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları	58
29. Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı	58
30. Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları	59
31. Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı	60

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
SEM	:	Taramalı elektron mikroskobu
EDS	:	Enerji dağılımlı spektroskop
SiC	:	Silisyum karbür
Al ₂ O ₃	:	Alüminyum oksit (Alümina)
Al	:	Alüminyum
MT	:	Mermer tozu
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



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Son yıllarda teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, geleneksel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle sürekli olarak gelişen teknolojik faaliyetler, beraberinde endüstriyel sanayinin temel maddesi olan malzemelerde de ilerlemeyi gerekli kılmıştır. Bu sebepten dolayı malzeme bilimciler, doğal ve alaşım maddelerinden daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeleri araştırmaya yönelmişlerdir. Bu sayede diğer malzemelerden farklı olarak, üstün niteliklere sahip, "Kompozit Malzemeler" adı altında yeni malzemeler üretilmiştir. Geleneksel malzemelere göre birçok üstünlüğü bulunan kompozit malzemelerin en belirgin özelliği, hafif ancak yüksek dayanıma sahip olmasıdır (Acılar,2002).

İki veya daha çok malzemenin en iyi özelliklerinden yeni oluşturulan malzemede bir araya getirilmesi amacıyla malzemelerin makro düzeyde birleştirilmesi ile kompozit malzemeler elde edilir. Kompozit malzemeler matris ve takviye fazı olmak üzere iki fazdan meydana gelirler. Kompozit malzemeler takviyelerine göre partikül ve fiber takviyeli olmak üzere iki şekilde ifade edilirler. Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerde, matris yük taşıma özeliğine sahiptir. Takviye faz ise matrisi deformasyona uğratarak metal matrisin mukavemetini artırmaktadır (Lloyd,1994).

Son yıllarda geliştirilen kaliteli ve ucuz partikül ve kısa fiberler sayesinde MMK'ler daha ucuz olarak üretilmeye başlanmıştır. Otomobil endüstrisi başta olmak üzere bir çok endüstri alanında MMK'lerin kullanım yaygınlığı artmaktadır (Ramesh, 2005; Stubbington, 1988). Bundan dolayı partikül takviyeli MMK'lerin geliştirilmesi çalışmaları büyük önem taşımaktadır (Şahin, 1994).

Çalışmamızda matris malzemesi olarak otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan Al6061 alaşımı, partikül takviye malzemesi olarak ise geleneksel takviye malzemelerinden SiC, Al₂O₃ ve atık takviye malzemesi olarak mermer tozu kullanılmıştır. Literatürde metal matrisli kompozit üretiminde SiC ve Al₂O₃'in takviye malzemesi olarak kullanıldığı çok sayıda çalışma vardır. Bu iki seramiğin birlikte kullanılması ile üretilen hibrit kompozitlere

de önceki çalışmalarda rastlanmaktadır. Ancak mermer tozunun takviye malzemesi olarak kullanıldığı hiçbir çalışma daha önce yapılmamıştır. Ayrıca çalışmamızda mermer tozu, SiC ve Al₂O₃ birlikte kullanılarak yeni ikili ve üçlü hibrit kompozitler de üretilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, mermer tozunun metal matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliğinin ortaya konması ve kompozitin porozite miktarı, sertlik değeri ve yorulma dayanımına etkisinin belirlenmesidir. Bu amaçla Arşimet prensibi ile porozite miktarları, Brinell sertlik ölçüm metodu kullanılarak sertlik değerleri ve Dönel eğilmeli yorulma cihazı ile de kompozitlerin yorulma dayanımlarının ifade eden numunenin kopuncaya kadar ki çevrim sayıları belirlenmiştir.



BÖLÜM 2

KURAMSAL BİLGİLER

2.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun bir malzeme için makro seviyede birleştirilmesi sonucu elde edilen malzemelerdir (Hiçyılmaz, 1999). Esas olarak kompozit malzemeleri oluşturan bileşenler birbiri içinde çözülemez. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler yapı içerisinde kendi özelliklerini korurlar, öyle ki fiziksel olarak belirlenebilir ve bileşenler arasındaki ara yüzey kolaylıkla gözlenebilir (Şahin, 1999).

Kompozit malzeme temel olarak bir matris malzemesi ve matris malzemesinin çevrelediği, içerdiği ve bir arada tuttuğu takviye malzemesinden oluşur. Kompozitin içerisindeki takviyelerin temel işlevleri; yük taşımak, sertlik, mukavemet, ısı kararlılık ve diğer mekanik özellikleri sağlamak ve istenilen elektriksel özellikleri sunmaktır. Matris malzemesinin temel görevleri ise; takviyelere bağlanarak bir arada tutmak, takviyelere yük aktarımı ve rijitliği sağlamak, takviyelerin ayrı ayrı hareket etmesine olanak tanımak ve böylece çatlak ilerlemesini durdurmak veya yavaşlatmaktır (Mazumdar, 2002).

Tarihte, uzak doğu ülkelerinden Tayland ve Endonezya da, Avrupa ülkelerinden Almanya, İngiltere, Belçika ve Fransa da, ayrıca İran'da da kompozitlere örnek teşkil edebilecek bazı yapılara rastlanmıştır (Wadsworth vd, 1999).

Metal matrisli kompozitler (MMK) üzerine yapılan çalışmalar ise, 1950'ler ve 1960'ların başlarına dayanmaktadır. 1960'ların sonları ve 1970'lerin başlarında, bor ve silisyum karbür gibi yüksek dayanımlı mono filamanların geliştirilmesiyle, fiber takviyeli metal matrisli kompozitlerin üzerindeki çalışmalar artmıştır. 1970'lerin sonlarında ise çalışmalar, SiC visker (whisker) takviyeler kullanılarak üretilen süreksiz takviyeli MMK'ler üzerinde yoğunlaşmıştır. MMK'lerin üretiminde 1980'lerde büyük bir artış yaşanmıştır. Partikül veya fiber takviyeli alüminyum, magnezyum, demir ve bakır matrisli MMK'ler, otomotiv

ve havacılık endüstrileri, ısı ve triboloji gibi alanlarda en büyük ilgiyi görmüştür. Bu ilgi, bugüne dek artarak sürmüştür (Miracle vd, 2001).

2.2 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler şekillendirme, mukavemet, korozyon dayanımı vb. daha pek çok avantajlı özellikleri ile tasarım, iyileştirme, yenileştirme, bakım/onarım işletme, idame vb. her aşamada daha az parça kullanımını mümkün kılmaktadır. Kullanılan parça sayısının az olması veya azaltılabilmesi sistem mühendisliği yaklaşımıyla ele alındığında bakım/onarım, işletme ve idame faaliyetleri için gerekli yedek parça miktar ve çeşitliliğinin azalmasını ve sistemin veya ürünün ömür devri maliyetlerinde önemli bir düşüş sağlamaktadır (Yılmaz vd, 2015). Bu özelliklerin hepsini aynı zamanda geliştirmek imkânsızdır. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler geliştirilir. Böylece kullanım yerinde istenen özelliklere uygun kompozit malzemeler üretilmektedir. (Armatlı, 1999. Mondal, 2005).

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

Spesifik dayanım; kompozitin maksimum akma gerilmesinin ağırlığına oranıdır. Hafif olmasına karşın akma gerilmesi değerleri yüksektir.

Yüksek rijitlik; kompozitlerin plastik şekil değişimine uğramadan taşıyabilecekleri yük miktarı yüksektir. Başka bir ifade ile elastik limite karşılık gelen yük miktarı fazladır.

Düşük yoğunluk; kompozitlerin birim hacim başına ağırlıkları düşüktür. bu özellik yolcu ve yük taşımacılığında spesifik dayanımla birlikte beklenen en önemli özelliktir.

Yüksek yorulma dayanımı; kompozitlerin dinamik yük altında hasara uğramadan ömür süreleri uzundur.

Yüksek aşınma direnci; eş çalışan parçaların sürtünme suretiyle yüzeylerinden malzeme kaybı gerçekleşir. Kompozitlerin sertlikleri ve yüzey gerilmeleri yüksek olduğundan aşınmaya karşı oldukça dayanıklıdırlar.

Yüksek korozyon direnci; özellikle deniz araçlarında ve sulu çalışma şartlarında oluşan korozyona karşı dayanımları yüksektir.

İstenen yönde ısı özellikleri; uygun matris ve takviye elemanı seçimi ile ısı iletkenliğinin yüksek olması istenen yerlerde yüksek ısı iletkenlik değerine, yalıtım istenen yerlerde ise düşük ısı iletkenlik değerine sahip kompozitler üretilebilir.

İzotropik özellik; özellikle partikül ve kısa fiber takviyeli kompozitlerde her yönde aynı mekanik özellikler elde edilebilmektedir.

Bütün bu istenen özelliklerine rağmen kompozit malzemelerin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Yüksek maliyet; matris malzemeleri ve özellikle takviye elemanlarının üretiminin ileri teknolojiye ihtiyaç duymakta ve dolayısıyla yüksek maliyet getirmektedir.

Gözenek oluşumu; üretim esnasında içyapıda kalan hava zerreciklerinin tamamı katılaşma esnasında yapıyı terk edecek zaman bulamayıp içyapıda hapis olurlar. Bu kısımlara ergimiş matris nüfus edip yerleşemediğinden gözenekler meydana gelir. Gözenekler mekanik özellikleri olumsuz etkilerler.

Anizotropik özellik; özellikle sürekli fiber takviyeli kompozitlerde, fiberlerin doğrultusunda maksimum çekme gerilmesi değeri yüksek iken, fiberlere dik doğrultuda çekme gerilmesi değeri daha düşük olmaktadır. Bu tür kompozitlerde her yönde aynı mekanik özellikler elde edilememektedir.

Geri dönüşüm; kompozit malzemeler üretilirken matris ve takviye malzemeleri makro düzeyde birleştirilebilmesine karşın, kompoziti oluşturan bu iki faz herhangi bir yöntemle birbirinden ayrıştırılamamaktadır.

2.4 Matrisler

Kompoziti oluşturan en önemli eleman matristir. Matris kompozitin birçok özelliğini üstünde taşır. Kompoziti oluşturan, en önemli eleman olan matrisin takviye elemanlarını bir arada tutmanın dışında daha birçok kritik görevi vardır. Birçok takviye elemanı gevrek veya kırılındırlar. Matris bunların yüzeylerini kazıma aşınması vb. gibi dış ve çevresel etkenlere (bu etkenler ileride çatlaklara sebep olmaktadır) karşı koruyup dirençlerini artırmakta, kompozit üzerine gelen yükü fiberlere homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içindeki hata ihtimalini azaltmaktadır (Özdamar, 1991).

Genellikle kompozit malzeme yarı mamul ve çeşitli mekanik özellikleri belirlenmiş halde bulunmamakta, yapılacak her üretim için uygulamada istenilen teknik özelliklere göre takviye elemanı ve matris seçimi yapılmaktadır (Topçu vd, 1991). Bu nedenle birbirinden farklı teknik özellikleri taşıyan matrisler, önemle ve hassasiyetle özellikleri belirlenip seçilmektedir. Bunlar, alüminyum, magnezyum, titanyum, bakır, kurşun, vb. gibi metallerdir (Şahin, 1994. Demirkese, 1991).

Kompozitler kullanılan matris malzemelerine göre, metal, polimer ve seramik matrisli olmak üzere 3 kısma ayrılırlar. Metal matrisli kompozitlerde en çok kullanılan matris malzemeleri; hafiflik, düşük ergime sıcaklığı, iyi ıslatılabilirlik, kuvvetli arayüzey bağı oluşturma özelliğinden dolayı, Alüminyum alaşımlarıdır (Oral,1987. Eker, 2009). Ayrıca Alüminyum alaşımlarının özellikleri takviye elemanı sayesinde daha da geliştirerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, termal kararlılık, kolay üretilebilirlik özelliklerinin artırılması söz konusudur. Buna rağmen Alüminyum alaşımlarının düşük ergime sıcaklıkları yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanımlarını kısıtlamaktadır (Mobasherpour vd, 2013).

2.4.1 Alüminyum Alaşımları

Çoğu alüminyum alaşımlarının yoğunluğu saf alüminyuma yakındır. Diğer aday matris metallerle karşılaştırdığımız zaman saf alüminyum 660 °C’de ergimekte olup ve bu da toz metalurjisi gibi katı faz yöntemiyle veya geleneksel döküm yöntemleriyle alüminyum

matris kompozitlerin üretimine imkân vermektedir.

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre dövme alaşımları ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılırlar. Bu iki grupta kendi içinde sertleştirilebilen ve sertleştirilemeyen alaşımlar olarak gruplandırılabilir (Şahin, 2000).

Alüminyum matris kompozitler için çeşitli ısı işlemleri yapılabilir ve çok çeşitli alüminyum alaşımları matris malzemesi olarak seçilebilir. Dövme alaşımlarından 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi gibi ısı işlemleriyle sertleştirilebilir alüminyum alaşımları matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Al matris seçimi, yaşlandırma ile elde edilen mukavemet, alaşım elementlerinin eklenmesiyle tokluk ve korozyon direncine bağlı olarak değişmektedir (Soy, 2009).

Alüminyum alaşımları için dünyada en yaygın olarak kullanılan simgeleme dizgesi Amerikan Standartlar Birliği (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 alüminyum (%99.XX) gösterir. Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi.

Simge	Temel Alaşım Elementi
1XXX	Saf Alüminyum
2XXX	Bakır
3XXX	Mangan
4XXX	Silisyum
5XXX	Magnezyum
6XXX	Magnezyum – Silisyum
7XXX	Çinko
8XXX	Diğer Elementler
9XXX	Kullanılmayan Dizi

6xxx serisi Al-Mg-Si alaşımlarıdır ve yine Tablo 1’den görüldüğü gibi 6xxx serisini diğer serilerden ayıran özellik içinde alüminyuma katkı elementi olarak bulundurduğu Magnezyum ve Silisyumdur.

6xxx serisi alüminyum alaşımlarının sahip olduğu süneklik, yüksek dayanım, korozyon direnci gibi özellikleri ilave edilen magnezyum tarafından alaşıma kazandırılan özelliklerdendir. Ayrıca kaynak kabiliyetini artırır. % 8 den fazla Mg içeren Al-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri ısıtılma işlemle geliştirilebilir ve ayrıca dövme alaşımlarında % 1-6 Mg şekil verme kolaylığı için kullanılır. Son olarak da magnezyum Al-Si alaşımlarına da ısıtılma işlem yapabilme kabiliyeti kazandırmak için ilave edilir. Silisyum bakırdan sonra alüminyuma ilave edilen en önemli alaşım elementidir. En fazla % 13 dolayında bulunabilen silisyum sıvı alüminyumun akışkanlığını artırır. Silisyum özellikle Mg, Ni ve Cu ile birlikte ısıtılma işlem ile sertleştirilebilen alaşım yapar. Ancak bu alaşımların çekme mukavemeti değerlerinin yüksekliği ilave edilen silisyum miktarı ile doğru orantılıdır (Soy, 2009).

6xxx serisinde daha öncede belirtildiği gibi alüminyuma silisyum ve magnezyum ilave edilmektedir. İlave edilen bu elementler fiziksel ve mekaniksel özellikleri geliştirmektedir. Otomotiv sektöründe en fazla kullanım alanına sahip olan Alüminyum alaşımı Al 6061'dir.

6xxx serisinde daha öncede belirtildiği gibi alüminyuma silisyum ve magnezyum ilave edilmektedir. İlave edilen bu elementler fiziksel ve mekaniksel özellikleri geliştirmektedir. Otomotiv sektöründe en fazla kullanım alanına sahip olan Alüminyum alaşımı Al 6061'dir.

2.4.2. Al 6061 ve Özellikleri

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, mükemmel mukavemet, tokluk ve korozyon dayanımı gibi özellikleriyle havacılık sanayiinde önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Özel olarak değinmek gerekirse Al – Cu – Mg ve Al – Zn – Mg – Cu alaşımları çökelme sertleşmesine tabi tutulabilen en önemli alaşımlardır. Alüminyum – Lityum alaşımları da çökelme sertleşmesine tabi tutulabilmektedir. Lityum, birincil alaşım elementi olarak ilave edildiğinde alaşımın yoğunluğunu düşürür ve elastik modülü artırır. Bu gelişmedeki en önemli kullanım alanı havacılık sektörüdür (Chawla,1998). Matris malzemesi olarak alüminyum alaşımları normalde bor veya borsic (SiC kaplanmış Bor) filamentleri için kullanılmaktadır. 6061 alaşımı; 2024 veya 1100 (Saf Alüminyum) alaşımlarına göre daha sık kullanılmaktadır. 2024 alaşımı yüksek mukavemet, 1100 alaşımı üstün darbe dayanımı, 6061 ise çok iyi mukavemet ve tokluk kombinasyonu ile korozyon dayanımı sağlamaktadır. (Schwartz, 1997). Al 6061 Kimyasal bileşimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Al 6061 Kimyasal bileşimi (URL-1 2017).

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

Tablo 2’de verilen Al6061’in özellikleri aşağıda verilmiştir.

•Si (Silisyum); Akışkanlığı ve yenim direncini artırır, sıcak çatlama eğilimini azaltır.

•Mg (Magnezyum); Katı çözelti sertleşmesi meydana getirir. Al-Si alaşımlarının dayancını artırır. Yüksek yenim direncine sahiptir.

•Mn (Mangan); Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır. Metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir, çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır.

•Fe (Demir); Az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayancını artırır, dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltır. Demir alüminyum alaşımlarında mümkün olduğunca kullanılmamasının nedeni meydana getirdiği gevrekliktir.

•Cu (Bakır); Bakır alüminyuma %12 oranına kadar katıldığında dayancı artırır, daha fazlası gevreklik yaratır. Genellikle yüksek sıcaklık özellikleriyle işlenebilirliği artırır. %4-6 arasında katıldığında yaşlandırılabilir alaşımlar oluşturur. Dökümü zorlaştırır ve gerilim yenimini azaltır.

•Zn (Çinko); Yüksek çinko içeren alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler. Çinko diğer alaşım elementleriyle birlikte dayanımı çok artırır, buna karşı dökülebilirliği düşürür. %3 çinkodan daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarında belirgin bir etkisi görülmez. Al 6061 fiziksel ve mekanik özellikleri (Keskin, 2002) Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Al 6061 fiziksel ve mekanik özellikleri

Özgöl ağırlık (g/cm^3)	2.713
Ergime noktası ($^{\circ}\text{C}$)	640
Çekme dayanımı (kg/cm^2)	1266
Akma dayanımı (kg/cm^2)	562
Sertlik	30 HBN

Karakteristik özellikleri: Yüksek sertlik, yüksek korozyon dayanımı, iyi kaynak yapılabilirliktir.

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

Alüminyum – silisyum – magnezyum alaşımları; içyapısında % 1.3'e kadar silisyum (Si) ve magnezyum (Mg) eşit olarak bulunur. Az miktarda bakır (Cu), krom (Cr) ya da kurşun (Pb) yaşlandırma durumunda korozyon direncini ve dayanımını artırmak amacıyla ilave edilir. Al 6061 vida, makine parçaları, mobilya ve köprü taşıma elemanları üretiminde kullanılır. (Er, 2006).

Al 6061 ısıtılabilir bir Al-Mg-Si alaşımıdır. Yüksek dayanım/ağırlık oranı, çok iyi süneklik, mükemmel kaynak edilebilirlik, iyi korozyon direnci ve şekil değiştirme kararlılığı gibi mükemmel mekanik özelliklere sahiptir (Altuner vd, 2012). Alüminyum, magnezyum ve silisyum alaşımına sahip 6061 malzemesi alüminyum esaslı kaynaklı imalat sahasında mekanik özelliklerinin iyi olmasından dolayı yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Al 6061 serisi alüminyum alaşımlarının korozyon dayanımının yüksek olması ve kaynak yapılabilirliğinin iyi olmasından dolayı özellikle kazan imalatında da kullanılmaktadır (Arıcı vd, 2015). Ayrıca Al 6061 ağırlıkça hafif ve özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde çok yoğun kullanılmakta olduğundan dolayı seçilmiştir (Akkurt, 2009).

2.5 Takviye Malzemeleri

Bir kompozit malzemede takviye elemanının en önemli görevi; matris içerisinde tekdüze olarak dağılıp, matrisin maruz kaldığı gerilmeleri destekleyerek kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktır. Seramik partikül takviyeli MMK'lerin başarılı sonuçlar vermesi, seramik-matris arasındaki ara yüzey bağ mukavemetinin kuvvetli olmasına bağlıdır. Ara yüzeyde bağ mukavemetini, dolayısıyla sıvı katı ara yüzeyinde ıslanmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Partikül dağılımının homojen olması için, partikül boyutunun, sıvının vizkositenin ve katılma hızının yüksek olması gerekir (Yılmaz vd, 1995).

Genel olarak takviye elemanlarında aranan ortak özellikler aşağıda belirtilmiştir;

Isıl direnç ve kararlılık; işletme şartlarına bağlı olarak, fonksiyonel parçaların herhangi bir nedenle oluşan ısı hareketlere karşı direnç gösterebilmesi için, yüksek sıcaklıklardaki karakteristiklerinin iyi ve kararlı olması çok önemlidir.

Kimyasal uygunluk; takviye elemanının matris ile kimyasal bir reaksiyona girmemesi ve ara yüzey bağının iyi teşekkül etmesi gerekir.

Yoğunluk; ağırlığın önemli olduğu uygulama alanları için (uzay araçları ve hava taşımacılığı) spesifik mukavemet, spesifik modülün yüksek olması istenilen projelerde düşük yoğunluklu ve yüksek mekanik özelliklere sahip takviye elemanları tercih edilir.

Üretim kolaylığı; yüksek miktarlarda yapılan üretimlerde, parça maliyetini doğrudan ilgilendiren durumlarda önemli bir faktördür. Ancak büyük bir projede imal edilecek az miktardaki parçalar için kabul edilebilir sınırlar içerisinde, üretimin yavaş olması, zor olması ve yüksek maliyetli olması bütün proje kapsamı içerisinde bir engel olarak görülmeyebilir. Çeşitli seramiklere ait özellikler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4: Çeşitli seramiklere ait özellikler (Durlu vd, 1995).

Tipi	Bileşimi	Boyut (μm)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Dayanım (Gpa)	E (Gpa)
PARTİKÜL	Grafit	40-250	1,6-2,2	20	910
	❖ SiC	15-340	3,2	3	480
	SiO ₂	53	2,3	4,7	70
	MgO	40	2,7		
	Si ₃ N ₄	46	3,2	3,6	360
	TiC	46	4,9	0	320
	BN	46	2,25	0,8	100-500
	ZrO ₂	75-180	5,65-6,15	0,14	210
	B ₄ C	40-340	2,5	6,5	480
	TiO ₂	20	3,9-4,3		
	❖ Al ₂ O ₃	40-340	3,97	8,5	460
	Cam	30-120	2,55	3	110

❖ Çalışmamızda kullanılan takviye malzemeleri

2.5.1 Alüminyum oksit (Al₂O₃)

Al₂O₃, kristalografik olarak oksijen iyonlarının alüminyum iyonları tarafından sıkı hegzogonal olarak sarılması ile ifade edilebilir. Dış görünüş olarak beyaz bir tozdur (Kara, 1998). Ergime sıcaklığı 2050°C, kaynama noktası ise 2080 °C olan Al₂O₃ yüksek sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden biridir (Özdemir, 2004. Kara, 1998). Al₂O₃'in molekül ağırlığı 101,96g/mol reaktif indeksi 1.765, oluşum serbest enerjisi ise -1582,4kj/mol'dür (İpek, 2005). Al₂O₃ suda ve şayet iyi kalsine edilmişse hem mineral asitlerinde hemde bazlarda çözünmezler.

Alümina, Sodyum karbonat, kostik soda ve sodyum peroksit saf alümina potalarda az tahribatla eritilebilir. 1700-1800⁰C gibi yüksek sıcaklıklarda flor gazı dışında bütün gazlara karşı direnç gösterir. Al₂O₃ oksitleyici ve redükleyici atmosferde 1900 ⁰C'ye kadar kullanılabilir (Özdemir,2004).

Alüminanın takviye elemanı olarak en yaygın kullanıldığı matris malzemesi alüminyum ve alaşımlarıdır. Al₂O₃, SiC ile karşılaştırıldığında daha düşük modül ve dayanıma, daha yüksek yoğunluğa sahiptir. Fakat Al₂O₃ maliyet açısından, SiC'e göre daha avantajlıdır (ASM Composite Handbook, 2002).

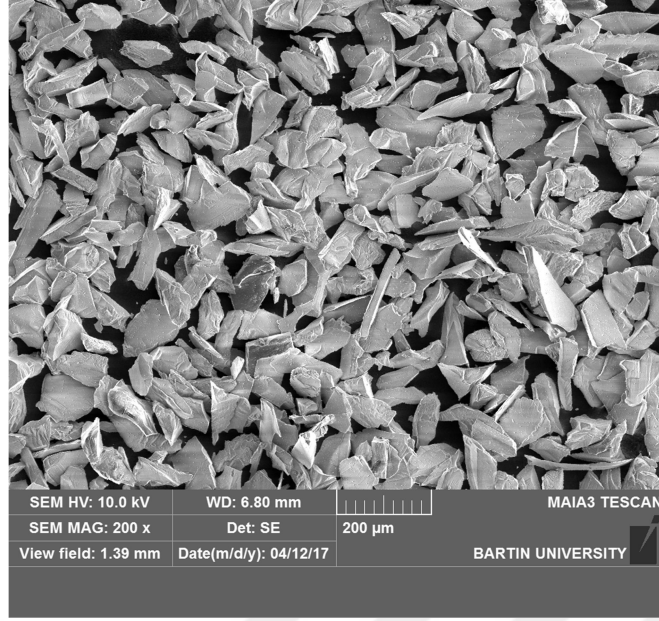
Alüminyum alaşımlarına Al_2O_3 , SiC, SiO_2 gibi seramik partiküllerinin ilavesiyle üretilen kompozit malzemelerin özellikle aşınma dayanımlarının arttığı bilinmektedir. Ayrıca sürtünme çiftlerinin aşınma mukavemetlerinin artırılması ve kompozitlerin özelliklerinden yararlanma çalışmalarının sistematik şekilde yürütülmesi gerekmektedir (Mutlu, 2012).

Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modül ve rijitlik, takviye elemanı olarak kullanılmasının en önemli nedenlerindendir (Onat, 2015). Alümina, aşınmaya karşı dirençli oluşu, sertliği ve mekanik dayanımı nedeni ile öğütücü değirmenlerin bilyelerinde, tekstil endüstrisinde kesici takımlarda kullanılmaktadır. Ayrıca bu özellikleriyle merkezi ısıtma sistemlerinde, sirkülasyon pompalarının yataklarında, otomobillerin soğutma sistemlerinde ve zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır (Bakar, 2009). %85,0-99,7 saflıkta aluminaların fiziksel ve mekanik özellikleri. Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. %85,0-99,7 saflıkta aluminaların fiziksel ve mekanik özellikleri.

%99,7 Saflıkta Al_2O_3	
Özellik	Değeri
Yoğunluk (g/cm^3)	3,9
Dielektrik sabiti	9,0-10,1
Dielektrik Mukavemeti (kv/mm)	10-35
Hacim direnci (600^0C ’de)	4×10^{10}
Termal iletkenlik (W/m^0C)	28-35
Termal genleşme katsayısı ($10^{-6}/^0C$)	8
Maksimum kullanım sıcaklığı (0C)	1700
Spesifik ısı (J/K.kg)	-----
Eğme mukavemeti (MPa 20^0C ’de)	350
Basma mukavemeti (MPa 20^0C ’de)	2200-2600
Elastik modül (GPa)	380-410
Poission oranı	0,24-0,27
Sertlik (HV)	1500-2000

Kompozit ve hibrit kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan Al_2O_3 ’in 200 büyütme SEM görüntüsü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Al_2O_3 'in SEM görüntüsü.

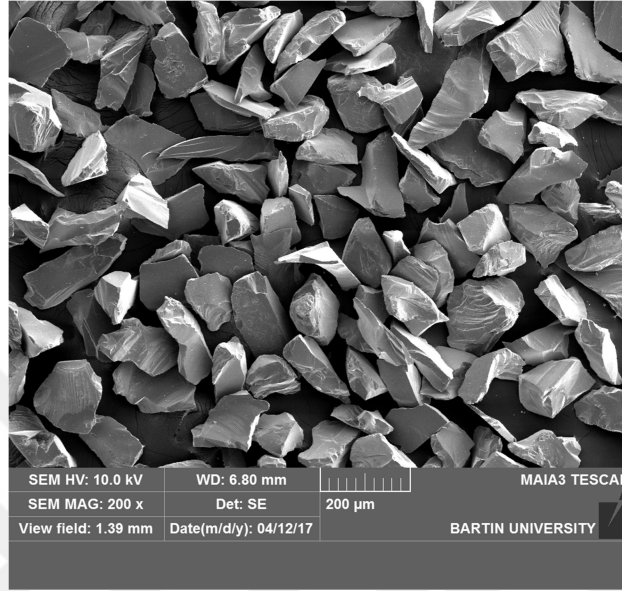
2.5.2 Silisyum karbür (SiC)

Karbür bileşikler sınıfında yer alan silisyum karbür 40,1 molekül ağırlığına, 3,2 g/cm³ yoğunluğa, 2500 °C bozunma sıcaklığına, 27,4 GPa sertliğe (mohs skalasına 9,5-9,75), 126W/mK ısı iletkenliğe ve 5.10-6/°C ısı genleşme, düşük özgül dirence (0,1.10-6 Ωcm) ve kullanılabilir bir elektriksel dirence sahiptir (Yıldırım, 2002) Genel olarak SiC kimyasallara karşı tepkimesizdirler. Bazik, asidik ve tuzlu çözeltilere karşı konsantrasyona bağlı olmaksızın hiç etkilenmezler. Organik çözeltilerde SiC'ü etkilemez (Emrullahoğlu vd, 2005). Saf SiC renksiz (saf α /hegzogonal), sarı (β /kübik), yeşil (azot veya fosfor daldırılmış), mavi (alüminyum daldırılmış), kahverengi (bor daldırılmış) ve siyah (yoğun bir şekilde alüminyum daldırılmış) olarak hazırlanmaktadır (Büyükcü vd, 2005).

Silisyum karbür en çok kullanılan yapısal seramiklerden bir tanesidir. 1970'lerden başlamak üzere günümüze kadar sahip olduğu birçok özellik nedeniyle özellikle karmaşık şekilli mühendislik malzemelerinin üretiminde yeni uygulama alanları bulmuştur. Silisyum karbür, tungsten karbür yerine sahip olduğu yüksek aşınma direnci sebebiyle kullanılmaya başlanmıştır (Büyükcü, 2000). Silisyum karbür doğada direkt rastlanmamasına rağmen, ana bileşenleri olan silisyum ve karbona doğada bol miktarda rastlanmaktadır (Yıldırım,

2002). Mineral ismi moissanit olan SiC sentetik olarak üretilmektedir (Emrulloğlu vd, 2005).

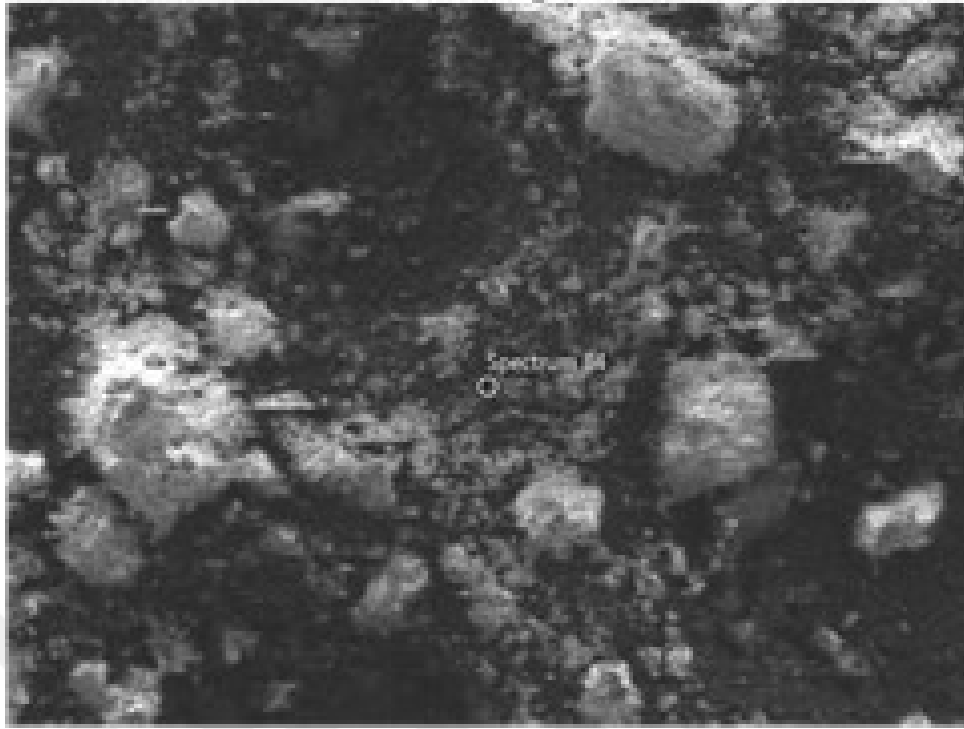
Numune üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan SiC' ün 200 büyütme SEM görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



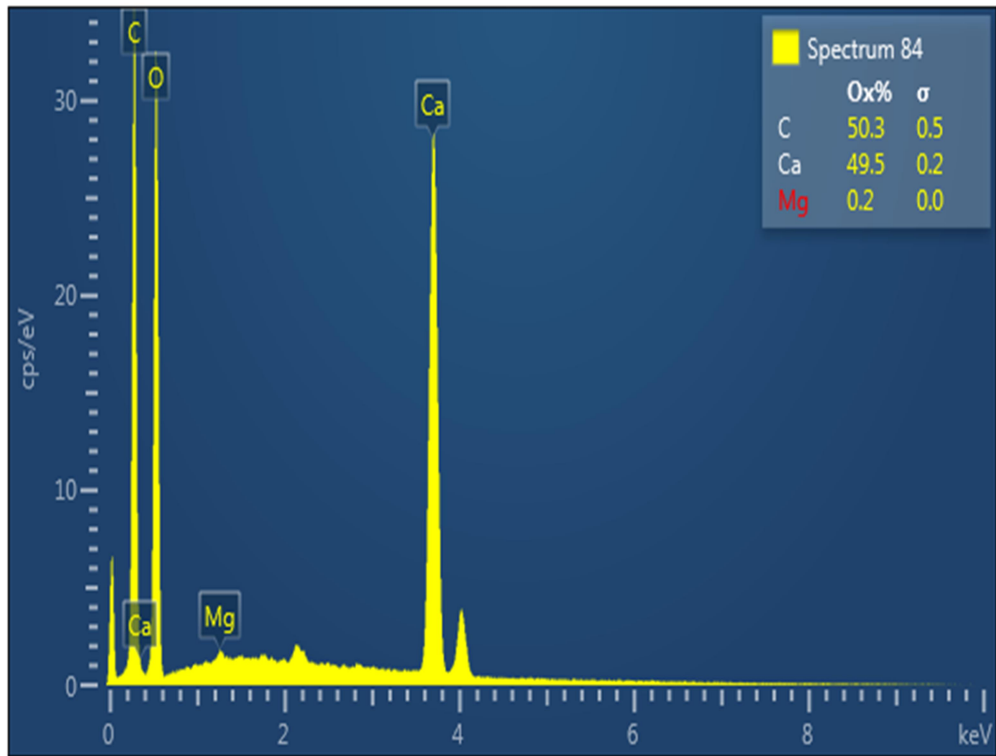
Şekil 2: SiC'ün SEM görüntüsü.

2.5.3 Mermer Tozu

Kireçtaşı ve dolemitlerden oluşan mermer dünyamızın değişik bölgelerinde bulunabilen sert ve ağır bir kayadır. Zengin metal oksit oranı, kil oranı mermerin dal yapısını ve rengini belirler. Maden Tetkik Arama Enstitüsü raporuna göre Türkiye beş milyar metreküp mermer rezervine sahip olduğu bilinmektedir Mermer bloklarının işlenmesi sırasında mermer tozu açığa çıkmakta ve buda işlenen mermer bloğunun yaklaşık %30 - 40 civarına tekabül etmektedir. Afyon ilinde yıllık yaklaşık 150000 ton atık mermer tozu oluşmaktadır. (Ersoy, 2003). Mermer tozunun SEM görüntüsü Şekil 3'de, Mermer tozunun EDS analizi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3: Mermer tozunun SEM görüntüsü



Şekil 4: EDS analizi

SEM görüntüleri incelendiğinde, Güneyisi ve arkadaşlarının 2009 yılında yaptıkları çalışmadakine benzer şekilde mermer tozunun tanelerinin yuvarlak veya keskin köşeli şekillere sahip olduğu görülmüştür.

Mermer ocaklarında çıkarılan mermer parçalarının ve tozlarının atık değil, hammadde özelliği taşıyan artıklardır. CaCO_3 oranı %92,35 nem miktarı %0,11 hidroklorik asitte çözülmeyen kül miktarı % 3, magnezyum oranı %0,18, demir oranı %0,03 ve kurşun miktarını da % 0,05 den az bir değerde olduğunu XRD analiz sonucunda elde edilmiştir (Sabah, 2001).

2.6 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

1950'lerden bu yana artan şekilde devam eden gelişen teknolojinin ihtiyaç duyduğu kompozit malzeme arayışı hız kesmeden devam etmektedir. Günümüzde geleneksel takviye malzemesi olarak adlandırabileceğimiz karbür ve oksitlerin başında SiC ve Al_2O_3 gelmektedir. En sık kullanılan matris malzemelerinin başında ise Al, Ti ve Ni alaşımları gelmektedir. Süregelen çalışmalar söz konusu alaşımların geleneksel takviyelerle güçlendirilmesi sonucunda üretilen metal matrisli kompozitlerin üstün mekanik özellikler sağlayabildiklerini ortaya koymuştur ve koymaya devam etmektedir.

Bu tür kompozitlerin; sertlik, tokluk, akma gerilmesi, aşınma dayanımı, oksidasyon ve korozyon direnci gibi mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde yüksek oranlarda artış kaydedilmiş durumdadır. Bundan dolayı parçacık ile güçlendirilmiş kompozitler; havacılık ve otomotiv uygulamalarının yanı sıra sağlık ve iş makinaları, inşaat ve tarım gibi diğer mühendislik uygulamalarında da cazip hale gelmiştir.

2.6.1 Havacılık Uygulamaları

Havacılık sektörünün en büyük problemi hava taşıtlarında kullanılmakta olan klasik malzemelerin spesifik dayanımlarının düşük olmasıdır. Kullanılan malzemeler dayanıklı ve mukavim olmalarına karşın ağırlıkları fazla idi. Fazla ağırlık büyük motorlara, büyük motorlarda fazla yakıtı ihtiyaç duymakta idi. Bu problemin çözümü hafif ancak dayanımı yüksek yeni malzemelerin keşfi ile giderilebilirdi. Hava taşıtı üreticileri tarafından yapılan Ar-Ge çalışmaları sonucunda yüksek performans ihtiyaçlarının karşılanması amacı ile

kompozit malzemeler keşfedildi ve 1999'lara gelindiğinde dünyada metal matrisli kompozit üretiminin %14'ü havacılık endüstrisi tarafından yapılmaktaydı (Cook, 1987). Havacılık uygulamaları için metal matris uygulamaları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Havacılık uygulamaları için metal matris uygulamaları (Cook, 1987).

Matris	Takviye	Muhtemel Uygulamalar
Alüminyum Magnezyum Kurşun Bakır	Grafit	Uydu, roket ve helikopter parçaları Uzay ve uydu parçaları Akümülatör klişeleri Elektrik kontaktı ve bağlantıları
Alüminyum Magnezyum Titanyum	Bor	Kompresör bıçakları ve yapı desteği Anten yapıları Jet motoru fan bıçakları
Alüminyum Titanyum	Bor	Jet motoru fan bıçakları Yüksek sıcaklık yapıları fan bıçakları
Alüminyum Kurşun Magnezyum	Alümina	Füzyon güç reaktörlerinde süper iletken Akümülatör klişeleri Helikopter iletim yapıları
Alüminyum Titanyum Co'lu süper alş.	Silisyum karbür	Yüksek sıcaklık yapıları Yüksek sıcaklık motor parçaları
Süper alaşım	Molibden	Yüksek sıcaklık motor parçaları
Süper alaşım	Tungsten	Yüksek sıcaklık motor parçaları

Havacılık uygulamalarında performans gereklilikleri maliyeti ikinci plana atmaktadır. Bu da fonksiyonel maliyet kavramının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Maliyet açısından daha pahalı olmasına rağmen uzayda ki olumsuz hava şartlarına daha dayanıklı olması nedeni ile seramik takviyeli metal matrisli kompozitler maliyeti daha düşük olan diğer malzemeler yerine tercih edilmektedirler. Örneğin füze yapımında SiC partikül takviyeli Al alaşımlı matris kompozitler daha hafif olmaları nedeni ile zehirli berilyum yerine kullanılmaktadırlar. Yine hafif olmaları ve yoğunluklu geleneksel titanyum malzemeleri ile hemen hemen aynı dayanım değerlerine sahip olmaları nedeni ile yüksek yoğunluklu geleneksel titanyum malzemelerinin yerine SiC partikül takviyeli Al matrisli kompozitler füze kanatlarında kullanılmaktadır. Bu sayede füzenin ağırlığı azaltılabilmekte ve aynı miktarda yakıt kullanılarak menzil artırılabilir. Ses üstü uçuşlarda oluşan ısınmalar nedeniyle meydana gelen termal problemlere karşı yüksek sıcaklık dayanımı yüksek olan kompozitler kullanılmaktadırlar. Uçak gövdesinin kargo katında kullanılan panel kompozitlerle de uçağın ağırlığında % 35 varan azalışlar sağlanmaktadır (Taha, 2001).

Ayrıca uçağın elektronik raflarında kullanılan karbon/epoksinin yerini SiC partikül takviyeli alüminyum matris kompozitler almıştır.

Ülkemizde havacılık ve savunma sanayii alanındaki çalışmalar TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. liderliğinde yürütülmektedir. Helikopterlerin “Glass Cockpit” uygulamaları ile ASELSAN bünyesinde yazılım ve seyrü sefer sistemler tasarımı, üretimi ve entegrasyonu amacıyla projeler başlamıştır. Bu sayede geniş bir ürün hattı oluşturulmuş, başlangıçta lisans altında üretim modelleri uygulanırken bugün yurt içi tasarım esaslı bir üretim hattı oluşturulması yönünde sonuçlar alınmaya başlanmıştır. TUSAŞ aynı zamanda JSF/F-35 müşterek taaruz uçağı projesinde görev almaktadır. Uçağın en karmaşık yapısal bölümlerinden birisi olan “orta gövde” üretimi tek kaynak olarak ülkemizde yapılmaktadır. Bunun yanı sıra “kompozit komponentler, hava alığı, hava-yer harici yük taşıyıcı” dünyadaki iki yükleniciden biri olarak Türkiye’de üretilmektedir. Bu konuda yürütülen milli bütçeli diğer projeler ise Havadan Erken İhbar Uçağı (Barış Kartalı), Deniz Karakol Uçağı, İnsansız Hava Araçları (İHA) ve Yeni Nesil Eğitim Uçağı (Hürkuş), T-129 Taarruz Helikopteri, Genel Maksat Helikopteri projeleridir (Bulut, 2014).

ANKA uçak yapısının (kanat, gövde ve kuyruk) %90’ı karbon epoksi prepreg’ten oluşmaktadır. Bu projeler kapsamında birçok kompozit firması akredite edilerek alt yüklenici olarak belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Bugün artık kompozit firmaları başarılı bir performans göstermekte olup birçok uluslararası projede yüklenici ve/veya alt yüklenici olarak görev almaktadırlar (Bulut, 2014).

2.6.2 Otomotiv Uygulamaları

Seramik takviyeli Alüminyum matrisli kompozitlerin otomotiv sektöründe kullanımına ilişkin ilk ticari uygulama 1980’lerde Toyota firması tarafından dizel motorların alüminyum pistonlarında süreksiz seramik (alumina silikat) fiberlerin takviye malzemesi olarak kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. 2000’li yıllarda daha güçlü ancak daha ucuz kompozit sistemlere doğru bir yöneliş başladığı için partikül, kısa fiber veya kılcal kristal gibi süreksiz takviye içeren metal matris kompozitler üzerine çalışmalar yapılmıştır (Cook, 1987). Alüminyum matrisli kompozitleri üreten üreticiler Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7: Alüminyum matris kompozitleri üreten üreticiler (Cook, 1987).

Takviye	Parça	Özellik	Avantajları	Üretici
SiC(p)	Piston	Aşınma direnci, Yüksek mukavemet	Ağırlık azalması	Marietta, Lanxide Dural, Martin
Al ₂ O ₃ (f)	Piston ring kanalı	Aşınma direnci	Daha yüksek çalışma sıcaklığı	Toyota
Al ₂ O ₃ (f)	Piston dişi	Yorulma direnci Sürünme	Al kullanma fırsatı	T&N, JPL, Mahle vd.
SiC(p)	Silindir Fren çarkı, gömleği	Aşınma direnci	Ağırlık azalması	Dural, Lanxide
SiC(p)	Kardan mili	Özel direngenlik	Ağırlık azalması	GKN, Dural
SiC(w)	Biyel	Özel direngenlik, Mukavemet Termal genleşme	Ağırlık azalması	Nissan
Al ₂ O ₃ (f)	Biyel	Özel direngenlik, Mukavemet Termal genleşme	Ağırlık azalması	Dupont, Chrysler
Al ₂ O ₃ SiO ₂	Silindir gömleği	Aşınma direnci, genleşme	Azalan boyut Artan ömür,	Honda
TiC(p)	Piston, biyel	Aşınma, yorulma	Azalan ağırlık aşınma	Martin Marietta
Al ₂ O ₃	Valf yayı, kam	Aşınma Mukavemet	Azalan ağırlık aşınma	Lanxide

Otomobil endüstrisinde, özellikle dizel motorlarda piston başı olarak kullanılan geleneksel nikel ile alaşımlandırılmış dökme demirin ömrü 150 saat idi. Daha sonra bunların yerine piston başlarında seramik takviyeli metal matrisli kompozitlerin kullanılması ile Piston başının çalışma ömrü 1000 saate çıkarıldı (Harrigan, 1987).

Toyota ve Ford firmaları fren diski üretiminde Al-Si matrisli SiC partikül takviyeli kompozit kullanmaya başladılar. Bu sayede karşılaşılan biyel başı krank mili açıklık problemleri, seramik takviyeli alüminyum matrisli kompozitin termal genleşmesi çeliğe yakın olduğundan dolayı azaltılmış oldu (Benal vd, 2007).

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

2.6.3 Diğer Mühendislik Uygulamaları

Uygun şekilde düşük veya yüksek termal genleşme katsayısına, yüksek ısı iletkenliğe, düşük maliyet ve düşük yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle seramik takviyeli metal matrisli kompozitler, elektronikte paketleme malzemeleri olarak kullanılan geleneksel paketleme malzemelerinin yerine geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır (Benal vd, 2007).

2.7 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Üretilcek kompozitin şekline, beklenen fiziksel ve mekanik özelliklere, takviye elemanı şekline, türüne ve matrise göre kompozit malzemenin üretim yöntemi belirlenir. Kompozit malzeme üretim yöntemlerinin birbirlerine karşı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Ancak kompozit malzeme üretim yöntemleri, matris ve takviye elemanı arasındaki etkileşimler nedeniyle geleneksel üretim yöntemlerine göre daha karmaşıktır.

Metal matrisli, seramik takviyeli kompozitlerin üretim yöntemleri sıvı hal, katı hal ve in-situ olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir;

- Katı hal üretim yöntemleri
 - Toz metalürjisi
 - Difüzyonla birleştirme
 - Sıcak haddeleme
- İn-situ üretim yöntemleri
 - Ötektiklerin yönlü katılaştırılması
 - Tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu
 - Ekzotermik reaksiyon
- Sıvı hal üretim yöntemleridir
 - İnfiltrasyon
 - Sıkıştırılmalı döküm
 - Karma döküm
 - Yarı katı döküm

- Karıştırılmalı döküm
- Püskürtme çökmesi (Şahin, 2000).

Metal matrisli kompozit üretiminde hangi yöntem ile üretim yapılacağı belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken parametreler şunlardır;

Çalışma sıcaklığı aralığı

Takviye malzemesi şekli

Matris malzemesi ile takviye malzemesinin uyumu

Matris ve takviye malzemelerinin ek işlem gereksinimi

Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek reaksiyonlar

Elde edilecek üründen istenen boyut tamlığı

Takviyenin matris malzemesi içerisinde dağılımının homojen olması

Matris-takviye ara yüzey bağının tam olarak sağlanabilmesi (Akdoğan, 2005).

2.7.1 Karıştırılmalı Döküm Üretim Yöntemleri

Karıştırılmalı döküm yönteminin farklı uygulama biçimleri araştırmacılar tarafından bugüne kadar çalışılmış ve çalışılmaya devam etmektedir. Bu yöntemin temel felsefesi likidüs eğrisi civarında bir sıcaklığa kadar ısıtılarak ön ısıtmaya tabi tutulan partikül veya fiber (uzun / kısa) şeklindeki takviyenin ilave edilmesidir.

Karıştırılmalı döküm yönteminde takviye elemanının, yarı katı, sıvı veya süper ısıtılmış matrise homojen olarak karıştırılabilmesi için uygulanan bazı yöntemler aşağıda belirtilmiştir (Suresh vd, 2003).

- Takviye elemanlarının sıvı durumdaki matrise taşıyıcı soygaz içerisinde enjeksiyon tabancası vasıtasıyla taşınarak enjeksiyonu,
- Likidüs eğrisinin üstünde bir sıcaklığa ısıtılarak sıvı faza geçirilen matrisin kalıp içerisine doldurulması esnasında takviye elemanlarının ilave edilmesi,
- Sıvı matrise elle veya mekanik karıştırma esnasında partikül halindeki takviye elemanlarının ilave edilmesi,

- Toz halindeki matris malzemesi ve takviye elemanının istenilen oranlarda karıştırılarak pres vasıtasıyla ön şekil verilen bu toz karışımının sıvı matrise ilave edilmesi ve mekanik olarak karıştırılması. Burada matris ve takviye elemanın toz boyutlarının birbirine yakın olması homojen karışım elde edilebilmesi için bir gerekliliktir,
- Sıvı matris içerisine, takviye elemanının itilebilmesi için hidrolik bir güç vasıtasıyla karşılıklı hareket edebilen çubukların kullanılması,
- Ultrasonik etki vasıtasıyla sürekli hareket eden sıvı matriste oluşturulan merkezkaç kuvvetler ile toz veya kısa fiber halindeki takviyelerin sıvı matrise enjeksiyonunun sağlanması,
- Takviye elemanlarının, bir vakum ortamında yer alan sıvı matris içerisine sıfır yerçekimi süreci olarak adlandırılan ve yüksek sıcaklıklarda uzun zaman alan bir uygulama vasıtasıyla katılarak karıştırılması.

Karıştırmalı döküm tekniği yöntemlerinin hepsinde yüksek işlem sıcaklığı, matris ile takviye elemanı arasında güçlü bir bağ ve yeni faz oluşumu gereklidir. Bunları sağlamak için takviye elemanının matris tarafından ıslatılabilmesi gereklidir. Takviye elemanına matrisin yapışma derecesini ifade eden ıslatmanın tesis edilebilmesi veya geliştirilebilmesi için matrise bir alaşım elementi ilave edilmelidir. Islatmayı geliştirmede kullanılan en önemli alaşım elementi Mg'dur. Doğal olarak ıslanmayan parçacıklar için ıslatmayı iyileştirici alaşım elementi ilavesi karıştırmalı döküm yöntemi ile kompozit üretimi sırasında bağ oluşumunu teşvik ederek ıslatmayı sağlayacak aynı zamanda takviye elemanın zarar görmesine neden olmayacak miktarda olmalıdır (Şahin, 2000).

Karıştırma işlemi, atmosfere açık bir ortamda yapılırsa sıvı matrisin atmosfere açık olan üst kısmında bir oksit tabakası oluşur. Oksit tabakası oluşumunun önlenmesi için karıştırma işlemi ya inert gaz atmosferinde ya da vakum ortamında yapılmalıdır. Karıştırma işlemine etki eden en önemli faktörler karıştırma sıcaklığı, karıştırma hızı, karıştırıcı geometrisi, karıştırma derinliği ve süresidir. Karıştırma işlemi sırasında, takviye ve matris arasındaki yoğunluk farkından dolayı çökme, uygun olmayan karıştırma şartlarından dolayı ise aglomera, segregasyon, matris ve takviye elemanı arasındaki kimyasal ilgiden dolayı istenmeyen ara yüzey reaksiyonları ve takviyenin hasar görmesi

gibi sonuçlar ortaya çıkabilir. Karıştırmalı döküm yönteminin en büyük avantajı ise diğer yöntemlere nazaran oldukça ucuz olmasıdır.

Karıştırmalı döküm yöntemi matrisin bulunduğu faza bağlı olarak ‘Compocasting’ veya ‘Rheocasting’ adı verilen iki farklı uygulamaya sahiptir. Rheocasting yönteminde, matrisin sıcaklığı öncelikle likidüs eğrisinin 30°C ila 50°C üzerine çıkarılır daha sonra solidüs ve likidüs eğrilerinin arasında kalan ve matrisin yarı katı faza geçtiği bir sıcaklık değerine kadar soğutulur. Matris sıcaklığının yükseltilip, düşürülmesi işlemi, katılaşıp dendritleri kırarak ince küresel parçacıklara dönüştürüp yarı akışkan vizkozitesindeki yükselmeye de engel olur. Matris yarı katı durumda iken mekanik olarak karıştırılır bu esnada takviye elemanı ilave edilerek karıştırmaya devam edilir. Nispeten düşük viskositeye sahip karışım doğrudan basit kütük şeklinde dökülebilir. Compocasting yönteminde ise mekanik karıştırma ve takviye elemanı ilavesi işlemi matris sıcaklığı solidüs ve likidüs eğrileri arasından, likidüs eğrisinin 150°C ila 200°C üstüne çıkarılarak yapılır. Fakat helisel indüksiyon karıştırıcı kullanılarak da kompozit üretim çalışmaları yapılmaktadır. Bu proses sırasında deformasyon direnci oldukça düşük olduğundan dolayı, son şekle yakın parça, ekstrüzyon ve şekil verme yöntemleri kullanılarak üretilebilir (Şahin, 2000. Şefik, 2004).

BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

E. Bayraktar vd, (2006) araştırmalarında otomotiv endüstrisinde kullanılan yüksek frekanslı yorulma şartları altındaki farklı koşullarda ısıtılma işlem görmüş çelikler, dökme demir ve 220 MPa'dan 2350 MPa'a değişen çekme dayanımlarına sahip döküm alüminyum alaşımlarını incelemişlerdir. Bu alaşımların, $R = -1$ gerilim oranında, çekme – basma şartları altında piezoelektrik yorulma sistemi (20 kHz) kullanılarak çok yüksek tekrarda (gigacycle) yorulma özellikleri test edilmiştir. Oksit filmleriyle ilişkili gözenekliliğin belli miktarının uygulamaya bağlı olarak dökümde tolere edilebildiği fakat gaz (küresel) ve çekme (düzensiz şekilde) gözenekliliklerinin yorulma ömrü için çok zararlı olduğunu görmüşlerdir. Yorulma ömrünün döküm parçalardaki kritik kusur boyutuyla ilgili olduğu tespit edilmiştir.

Srivatsan vd, (2002) yaptıkları araştırmalarında, 2524 alüminyum alaşımının yüksek tekrarda yorulma özellikleri ve kırılma karakteristikleri üzerinde test sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Bunun için 5 Hz'te yaptıkları denemelerde T351 koşullarında temperlenmiş hadde ürünü plakanın enine ve boyuna numunelerinin yorulma ömrü üzerinde artan test sıcaklığının (-54°C 'de, oda sıcaklığında ve $+94^{\circ}\text{C}$ 'de) zararlı bir etki yarattığını bulmuşlardır. Numune doğrultusu ne olursa olsun kırılma yüzeyinin makroskopik olarak gevrek olduğunu, mikroskobik olarak yerel sünek ve gevrek kırılma mekanizmalarını andıran özellikler gözlemlemişlerdir. Ayrıca yüksek tekrarlı yorulma ömrünü etkileyen mekanizmalar, tekrar 8 deformasyonu ve kırılma karakteristikleri; uygulanan gerilmenin büyüklüğü, test sıcaklığı, kendine özgü mikro yapısal etkiler ve matris deformasyon karakteristiklerinin karşılıklı birbirini etkilemesinin ışığında ele almışlardır. Bütün test sıcaklıklarında, enine numunelerin gerilme büyüklüğü – yorulma ömrü tepkisi, özellikle yüksek gerilme genliklerinde boyuna olanlarla karşılaştırıldığında, ikinci derecede tekrarlı yorulma ömrü göstermiş ve kısa yorulma ömrü ile sonuçlanmıştır.

Chan vd, (2003) yaptıkları araştırmalarında çoğunlukla otomotiv uygulamalarındaki silindir başı ve motor blok malzemesi olarak kullanılan döküm Al – Si – Cu (B319) ve Al – Si – Mg (A356) malzemelerinin termal ve termomekanik yükler etkisindeki yorulma

direncini incelemişlerdir. B319 malzemesindeki yorulma işleminin mikro yapıya bağlı olduğunu, T5 ve T6 ısıt işlemleri için yaklaşık aynı sonuçla ve daha dolambaçlı çatlak ilerlemesi gözlenirken T7 ısıt işlemleri için farklı sonuçlar elde etmişlerdir. Değiştirilmemiş A356 – T6 daki yorulma işlemleri, düşük gerilim yoğunluk faktöründe parçacık/matris ara yüzeyinin ayrılmasının, daha yüksek gerilim yoğunluk faktöründe ise parçacık kırılmasının baskın olduğunu göstermişlerdir.

Gao vd, (2004) yorulma direnci üzerinde mikro yapının ve kusurların etkisiyle ilgili olarak yaptıkları araştırmalarında; en tehlikeli kusurların yerel gerilme seviyesini artıran numunenin yüzeyine yakın gözenekler olduğunu bulmuşlardır. Bu gözeneklerin varlığının, yorulma hasar sınırını çarpıcı biçimde ~%40 oranında düşürdüğünü; ötektik bölgedeki Fe – intermetalik tabakaların varlığı, yerel gerilim seviyesini ve sınırlandırılmış plastik zorlamayı arttırdığı, yorulma hasar sınırını ~%20 oranında düşürdüğünü; numune yüzeyine yakın büyük bir mikro hücre, daha yüksek gerilme/zorlama konsantrasyonlarına ve yorulma direncinde azalmalara neden olduğunu; Si parçacıklarının boyut artışı ve/veya onların arasındaki serbest boşluğun azalması, yorulma direncini azaltan yüksek gerilme/zorlama konsantrasyonlarıyla sonuçlandığını gözlemlemişlerdir.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları

Kompozit üretiminde %1 , %3 ve %5 oranında takviye malzemeleri kullanılmıştır. %4 - %6 ve %8 takviye oranları kullanılarak ikili hibrit kompozitler ve %7 - %9 ve %11 takviye oranları ile üçlü hibrit kompozitlerin üretimi yapılmıştır. Ayrıca sertlik ve porozite ölçümlerinde meydana gelebilecek hataları bertaraf etmek için her bir numuneden 3 adet üretim yapılarak tüm ölçümler bu 3 numune için de aynı şartlarda tekrarlanmıştır. Belirlenen 9 farklı gerilme değerine karşılık, çevrim sayıları belirlenerek yorulma dayanımları için S/N diyagramları oluşturulmuştur.

4.2 Kullanılan Ekipmanlar

Çalışmamızda; Ergitme Fırın, Bilyalı Değirmen, Sarsma Makinası, Hassas Kesme Cihazı, Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı, taramalı elektron mikroskobu, Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı, Hassas Terazı, dönel eğilmeli Yorulma cihazı kullanılmıştır.

4.2.1 Ergitme Fırını

Döküm ünitesi tasarımı ve imalatı Bartın Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde yapılmıştır. Isıtma 1.5mm çapında teller vasıtasıyla gerçekleştirilirken, yalıtım için ateş tuğlası imalatının yapıldığı harçlar kullanılmıştır. Dış çeper ise krom saçtan imal edilmiştir. Isıtma ünitesi kısa sürede 800°C'ye ulaşmakta ve $\pm 3^{\circ}\text{C}$ bir aralıkta sıcaklık sabit tutulabilmektedir. Karıştırıcı 3 kanatlı şekilde özel olarak ısıya dayanıklı kromdan imal edilmiştir. Isıtma ünitesinin yan yüzeyinde açılan bir delikten ısı çift yerleştirilerek, potanın dış yüzeyinden temaslı bir şekilde sıcaklıklar ölçülmüştür. Ergimiş matrisin üst yüzeyinin oksitlenmesini önlemek amacıyla üst kapaktan açılan bir delik vasıtasıyla fırının içerisine argon gazı verilmiştir. Matrise takviye elemanları ilave edilip 10 dakika süreyle karıştırıldıktan sonra, pota fırın içerisinden çıkarılmış ve önceden başka bir fırında 250 °C'ye ısıtılmış olan metal kalıba hızlıca dökülmüştür. Metal kalıp oda sıcaklığında

soğumaya bırakılmış ve daha sonra açılarak, içerisinden kompozitler çıkarılmıştır. Aynı anda kullanılan potanın kapasitesiyle orantılı olarak 2 metal kalıba döküm yapılmıştır. Karıştırılmalı döküm ünitesi Şekil 5’de Döküme hazır olan kalıbın kesiti ve döküm görüntüsü ise Şekil 6’de verilmiştir.

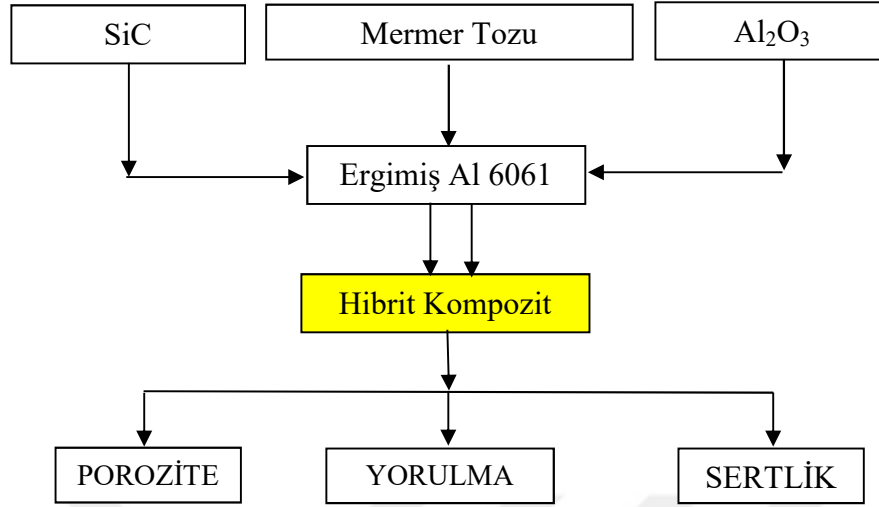


Şekil 5: Karıştırılmalı döküm ünitesi



Şekil 6: Döküme hazır olan bir kum kalıbın kesiti ve döküm görüntüsü

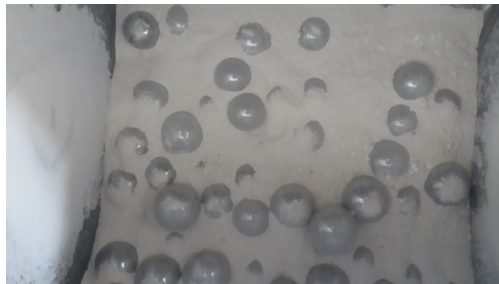
Çalışmamızda kullandığımız tekli kompozit ile ikili ve üçlü hibrit kompozitlerin üretimin aşamaları Şekil 7’de verilmiştir



Şekil 7: Kompozit üretim yöntemi ve aşamaları

4.2.2 Bilyalı Değirmen

Kompozit ve hibrit kompozit üretiminde kullanılan mermer tozu üretimi bilyalı değirmende gerçekleştirilmiştir. Mermer parçaları 3 saat boyunca 3 farklı çapta çelik bilya kullanılarak öğütülmüş ve toz haline getirilmiştir. Bilyalı değirmen ve mermer tozu Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8: Bilyalı değirmen ve mermer tozu.

4.2.3 Sarsma Makinası

Bilyalı değirmende öğütülmüş mermer tozları sarsma makinasına yerleştirilen elek setinden geçirilerek, çalışmada kullanılacak olan 22-59 μ m tane aralığında olanlar takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. : Sarsma makinası Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9: Sarsma makinası.

4.2.4 Hassas Kesme Cihazı

Üretilen tekli kompozitler ve hibrit kompozitler sertlik ölçümleri, mikroyapı incelemeleri ve porozite değerlerinin belirlenmesi için hassas kesme cihazında elmas kesici kullanılarak 10 mm kalınlığında kesilmiştir. Hassas kesme cihazı. Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10: Hassas kesme cihazı.

4.2.5 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı

Hassas kesme cihazında kesilen tekli kompozitler ve hibrit kompozitler bakalite alındıktan sonra mikroyapı incelemeleri için otomatik yüzey parlatma ve numune hazırlama cihazında sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh numarasına sahip zımparalar kullanılarak 400 d/d hızda 5 dakika süreyle zımparalanmıştır. Otomatik yüzey hazırlama cihazı. Şekil 11’de gösterilmiştir.



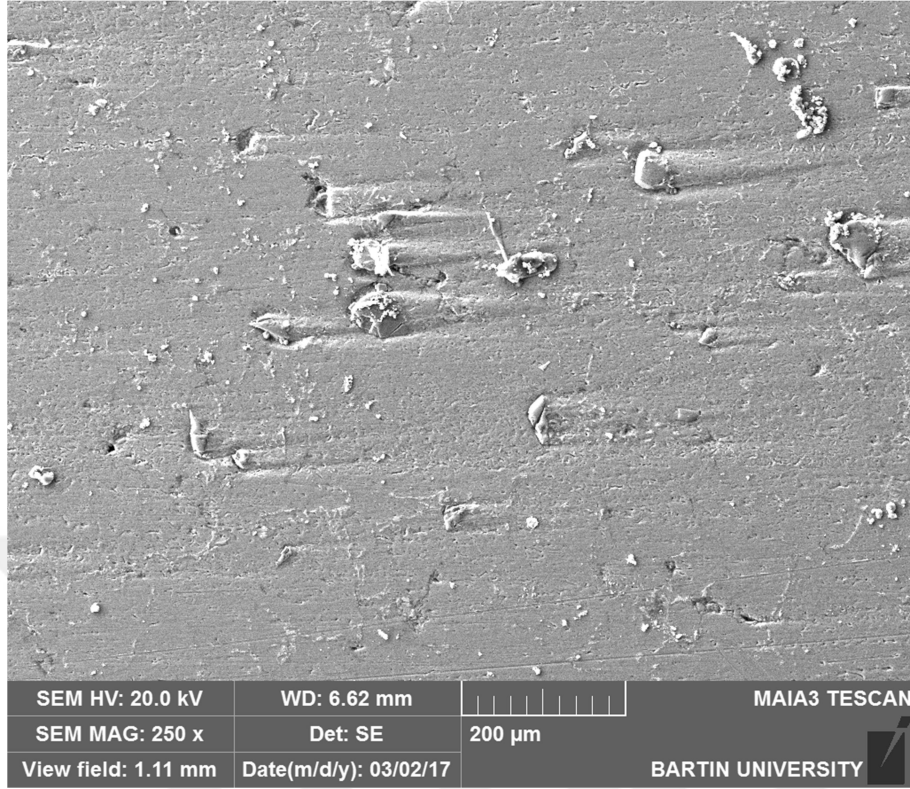
Şekil 11: Otomatik yüzey hazırlama cihazı.

4.2.6 SEM

Mikroyapı görüntülemeleri için ise 1000000 kat büyültme özelliğine sahip FEI Quanta FEG 450 marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu Şekil 12’de, Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüleri Şekil 13’da, gösterilmiştir.

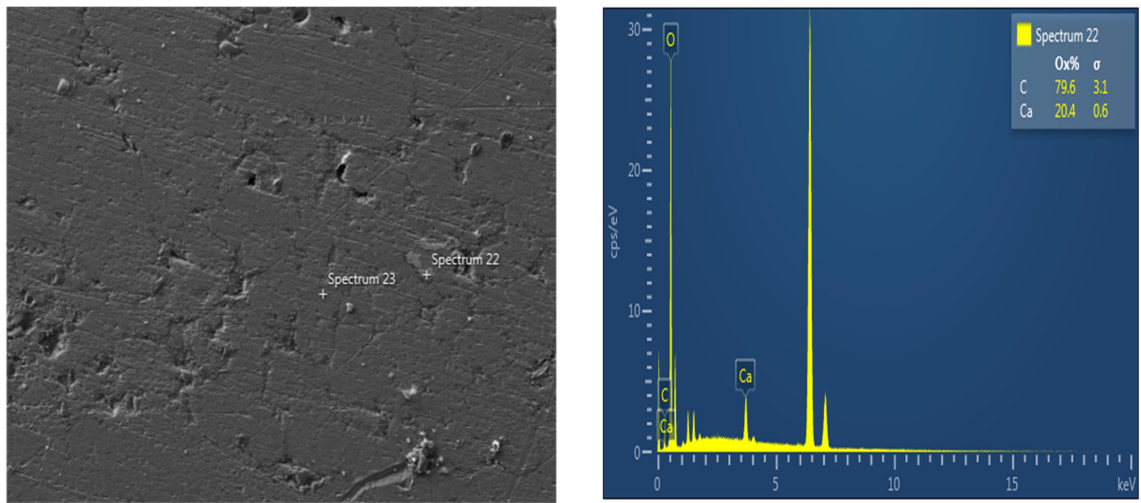


Şekil 12: FEI quanta FEG 450 marka taramalı elektron mikroskobu.



Şekil 13: Hibrit kompozite ait mikroyapı görüntüleri

Mermer tozu, SiC ve Al₂O₃ takviyeli üretilen numuneler mikroyapılar incelendiğinde aglomera (topaklanmalar) olduğu görülmüştür topaklanmaların yapılarda takviye elemanlarının yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Üretilen numunelere ait EDS analizleri de gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular Şekil 14’de verilmiştir.

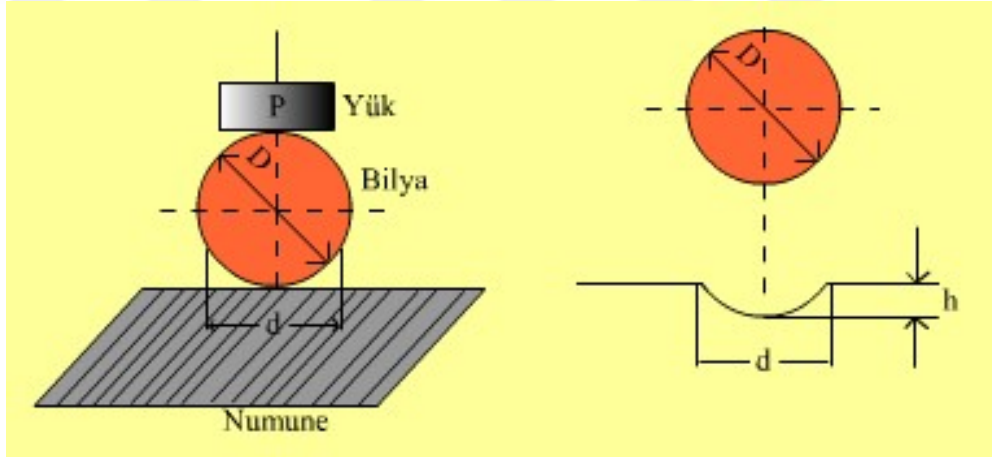


Şekil 14: Üretilen numunelere ait EDS analizleri

4.2.7 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı

Sertlik izafi bir kavram olup malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçmelerinden elde edilen değer, malzemenin plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu dirençtir.

Brinell sertlik deneyi malzeme yüzeyine belirli bir yükün (F') belirli bir çaptaki (D) sert malzemenin yapılmış bir bilya yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu yüzeyde kalıcı bir iz (d) meydana getirme esasına dayanır. Daha sonra bu kuvvetin oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle Brinell sertlik değeri elde edilir.



Şekil 15: Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi.

Brnell sertlik değeri;

(1)

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

Bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıda yer alan F uygulanan yükü (kg), D bilya çapını (mm) ve d ise iz çapını (mm) gösterir. Standart deney koşullarında çapı 10 mm olan bilye kullanılır. Yük, malzemenin cinsine göre seçilir ve uygulama süresi 10-15 saniye arasında değişir. Ancak bazı durumlarda çapları 10 mm'den daha küçük olan (örneğin 1,25, 2,5 ve 5,0 mm) bilye biçimindeki uçlarda kullanılır.

Malzemenin üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilya çapına göre seçilmektedir. $d/D = 0,20 - 0,70$ oranı sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir.

Deney yükünün saptanmasında $F=CD^2$ bağıntısı kullanılır. Burada F deney yükü, C malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesidir.

- Demir esaslı malzeme (Çelik, DD) (C=30)
- Cu ve Al alaşımlı malzeme (C=10)
- Yumuşak malzeme (C=5) Brinell sertlik ölçüm cihazı şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16: Brinell sertlik ölçüm cihazı.

4.2.8 Hassas Terazi

Kompozitin gerçek yoğunluğu 0,0001 hassasiyete sahip hassas terazi ve digital termometre kullanılarak Arşimet prensibiyle hesaplandı. Bu metotta numune önce normal tartıldı. Daha sonra numune içinde saf su bulunan kabın tabanına ve cidarına dokunmaksızın suya daldırılarak tartıldı. Numunenin su içine batan kısmının hacmi kadar su kütlesi çıkarılarak numunenin hacmi bulundu. Numunenin önceki tartı miktarı hacmine bölünerek deneysel

yoğunluğu hesaplandı. Daha sonra partikül katkı oranları ve Al 6061'in yoğunluğu ile SiC, Al₂O₃ ve mermer tozunun yoğunluğu göz önüne alınarak kompozitlerin teorik yoğunlukları hesaplandı.

(2)

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

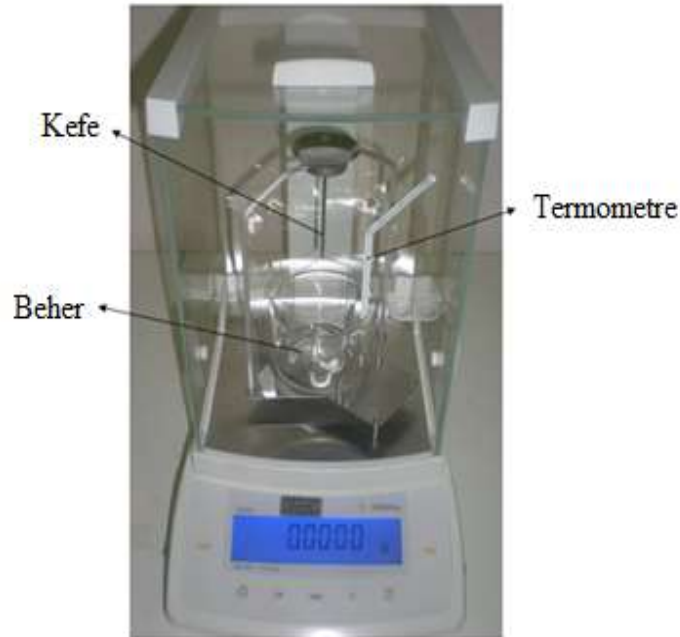
$$\rho_{deneysel} = \frac{G(havada)}{G(havada) - G(suda)} \cdot f$$

Teorik yoğunluk ile gerçek yoğunluk farkından numunelerin porozite oranları;

(3)

$$\%porozite = \frac{\rho_{teo.} - \rho_{den.}}{\rho_{teo.}} \times 100$$

formülü ile hesaplanmıştır. Şekil 17'de hassas terazinin şekli verilmiştir.



Şekil 17: Hassas terazi.

4.2.9 Yorulma Cihazı

Parçaların yorulma hasarı, lokal gerilmelerin, malzemenin akma gerilmesini geçtiği gerilim

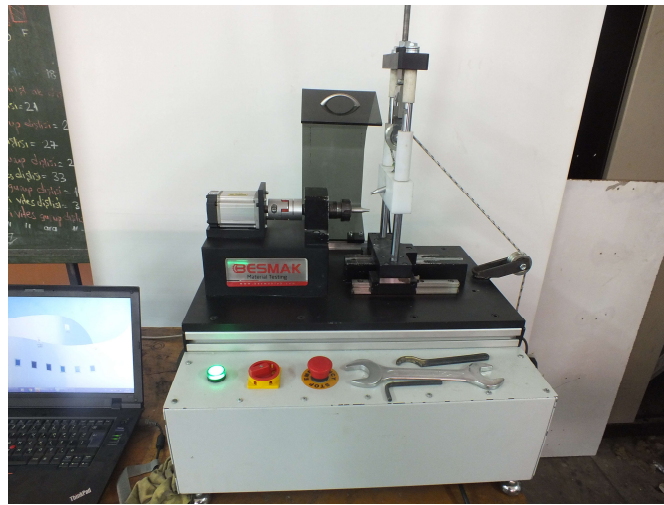
arttırıcıların olduğu bölgelerde meydana gelir. Yük iniş çıkışlarının belirli bir sayısından sonra, birikmiş hasar, plastik olarak hasarlanmış bölgelerde çatlak ya da çatlakların başlangıcına ve sonrasında yayılmasına neden olur. Daha şiddetli gerilim konsantrasyonları, daha kısa sürede yorulma çatlağı başlatır (Eryürek, 1993).

Genelde yorulma hasarı üç aşamada oluşur;

1. Çatlak başlama ve mikro çatlakların ilk yayılması,
2. Fiziksel olarak kısa ve sonra bağlı olarak uzun çatlakların büyümesi,
3. Son olarak kırılma.

Bir kez başlayan çatlaklar, mikro çatlaklar olarak ilk basamakta yayılırlar. Yayılmanın bu ilk basamağında, mikro çatlaklar tipik olarak malzemenin tane boyutunun sınırı boyuncadır. Daha sonra çatlak birkaç tane boyunca büyüdüğü için mikro yapısal etkiler ortadan kalkar ve böyle çatlaklar fiziksel olarak kısa çatlak kabul edilir. Fiziksel olarak kısa çatlak, sürekli olarak yayılır ve sonrasında uzun çatlak gelişir. Çatlak bu boyuta bydğde kalan bağlar uygulanan yükü artık taşıyamazlar ve parça kırılır (Eryürek, 1993).

Yapılan yorulma Deneylerinde kullanılan dönel eğilmeli yorulma cihazı şekil 18’de gösterilmiştir.



şekil 18: Yorulma cihazı

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Porozite

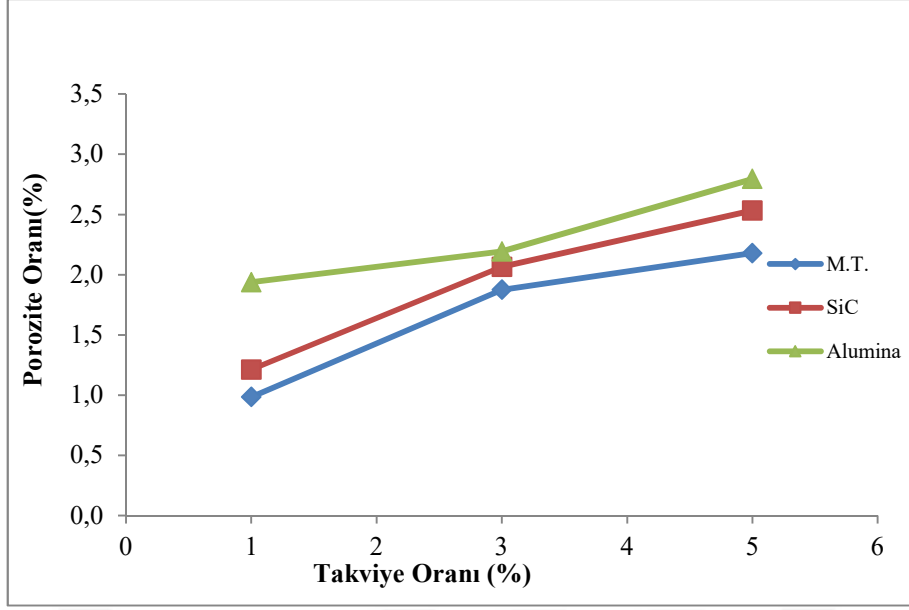
5.1.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Porozitesine Etkisi

Mermer tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi Tablo 8’de gösterilmektedir.

Tablo 8: Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.

Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik Yoğunluk	Deneyisel Yoğunluk	Gözeneklilik
1	99	1	0	0	2,7184	2,6916	0,9847
2	97	3	0	0	2,7152	2,6643	1,8753
3	95	5	0	0	2,7120	2,6529	2,1791
25	99	0	1	0	2,7238	2,6908	1,2112
26	97	0	3	0	2,7314	2,6750	2,0647
27	95	0	5	0	2,7390	2,6696	2,5329
28	99	0	0	1	2,7322	2,6793	1,9371
29	97	0	0	3	2,7566	2,6962	2,1927
30	95	0	0	5	2,7810	2,7033	2,7945

Mermer tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi Şekil 19’da gösterilmektedir.



Şekil 19: Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak mermer tozu kullanıldığında takviye oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 0,9847'den % 2,1791'a artmıştır. Takviye malzemesi olarak SiC'lü kullanılan kompozitler de SiC oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 1,2112'den % 2,5329'a artmıştır. Al_2O_3 'lü takviyeli kompozitlerde Al_2O_3 oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 1,9371'den % 2,7545'e artmıştır. Takviye elemanlarının kompozitin porozite miktarına etkisi değerlendirildiğinde, porozite miktarlarının sırasıyla mermer tozu, SiC ve Al_2O_3 olacak şekilde arttığı gözlemlenmiştir, bu sıralamanın seçtiğimiz matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi oranı artırıldıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür.

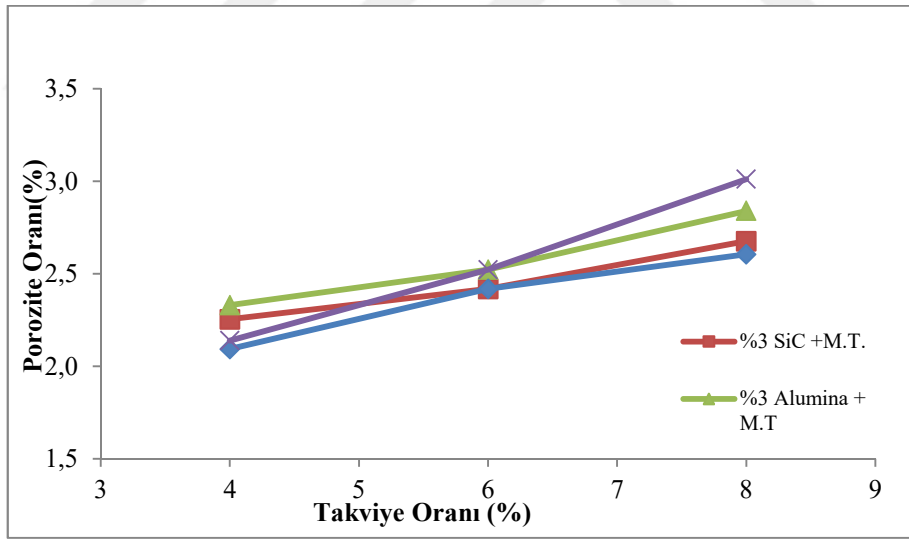
5.1.2 Takviye Elemanlarının Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi

Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik Yoğunluk	Deneysel Yoğunluk	Gözeneklilik
4	96	3	1	0	2,7190	2,6621	2,0934
5	94	3	3	0	2,7266	2,6607	2,4181
6	92	3	5	0	2,7342	2,6630	2,6055
7	96	3	0	1	2,7274	2,6691	2,1388
8	94	3	0	3	2,7518	2,6824	2,5223
9	92	3	0	5	2,7762	2,6926	3,0111
16	96	1	3	0	2,7298	2,6683	2,2542
17	94	3	3	0	2,7266	2,6607	2,4181
18	92	5	3	0	2,7234	2,6505	2,6759
19	96	1	0	3	2,7550	2,6908	2,3303
20	94	3	0	3	2,7518	2,6824	2,5223
21	92	5	0	3	2,7486	2,6705	2,8401

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi Şekil 20’de gösterilmektedir.



Şekil 20: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen ikili kompozitlerde; %3 mermer tozu takviyeli kompozite %1 SiC ile %1 Al₂O₃ takviyeli numuneler incelendiğinde %1 SiC’li numunenin porozite değeri 2,0934 iken %1 Al₂O₃ takviyelide 2,1388 olmuştur. %3 mermer tozu takviyeli kompozite %1 Al₂O₃’ün takviyesinin %1 SiC takviyesine göre poroziteyi daha fazla artırdığı görülmüştür. %3 SiC

ve %1 mermer tozu takviyeli kompozit ile %3 Al_2O_3 ve %1 mermer tozu takviyeli kompozitler incelendiğinde SiC'li numunenin porozite değeri 2,2542 iken Al_2O_3 takviyelide 2,3303 olmuştur. Al_2O_3 takviyeli numunenin poroziteyi daha fazla artırdığı görülmüştür.

%3 mermer tozlu ikili hibrit kompozitlere; %5 SiC ve %5 Al_2O_3 takviye ilave edildiğinde SiC takviyeli numunenin porozite değeri % 2,6055 iken Al_2O_3 takviyeli de porozite % 3,011 olmuştur. %3 SiC'lü ve %3 Al_2O_3 ikili hibrit kompozitlere %5 mermer tozlu ilave edildiğinde SiC'lü numunenin porozite değeri % 2,6759 iken Al_2O_3 'li numunenin porozite değeri ise % 2,8401 olmuştur. İkili hibrit kompozit porozite değerlerinde en düşük porozitenin %3 mermer tozu ve %1 SiC takviyeli kompozitte, en yüksek değer ise %3 mermer tozlu ve %5 Al_2O_3 takviyeli ikili hibrit kompozitte görülmüştür. Bunun gerçekleşmesinin matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi oranı artırıldıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür.

5.1.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

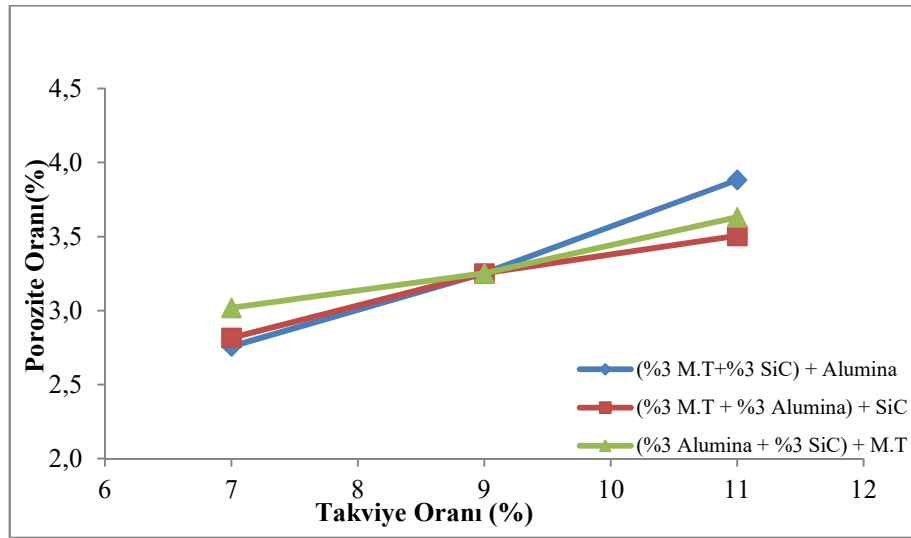
Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi Tablo 10'da gösterilmektedir.

Tablo 10:Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi

Numune No	Al6061	MT	SiC	Al_2O_3	Teorik Yoğunluk	Deneyisel Yoğunluk	Gözeneklilik
10	93	3	3	1	2,7388	2,6633	2,7578
11	91	3	3	3	2,7632	2,6733	3,2523
12	89	3	3	5	2,7876	2,6794	3,8826
13	93	3	1	3	2,7556	2,6780	2,8156
14	91	3	3	3	2,7632	2,6733	3,2523
15	89	3	5	3	2,7708	2,6737	3,5044
22	93	1	3	3	2,7664	2,6829	3,0182
23	91	3	3	3	2,7632	2,6733	3,2523
24	89	5	3	3	2,7600	2,6598	3,6307

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi Şekil 21'de

gösterilmektedir.



Şekil 21: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen üçlü hibrit kompozitlerde; %3 mermer tozu,%3 SiC ve %1 Al_2O_3 takviyeli numunenin porozite değeri 2,7578'e Al_2O_3 takviyesinin oranını %5'e çıkardığımızda 3,8826'ya çıkmaktadır. %3 mermer tozu,%3 Al_2O_3 ve %1 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 2,8156'ya SiC takviyesinin oranını %5'e çıkardığımızda 3,8826'ya çıkmaktadır. %3 mermer tozu,%3 SiC ve %1 Al_2O_3 takviyeli numunenin porozite değeri 2,7578'e Al_2O_3 takviyesinin oranını %5'e çıkardığımızda 3,5044'e çıkmaktadır. %3 SiC, %3 Al_2O_3 ve %1 mermer tozu takviyeli numunenin porozite değeri 3,0182'ye mermer tozu takviyesinin oranını %5'e çıkardığımızda 3,6307'ye çıkmaktadır. %3 mermer tozu %3 Al_2O_3 ve %5 SiC içeren numunenin porozite değerinin matris ve takviyeler arasındaki yoğunluk farkından dolayı %3 SiC, %3 Al_2O_3 ve %5 mermer tozu takviyeli numunenin porozite değerinden, daha yüksek olması beklenirken tam aksi bir sonuç elde edilmiştir.

5.2 Sertlik

Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi, takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi, takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi incelenmiştir.

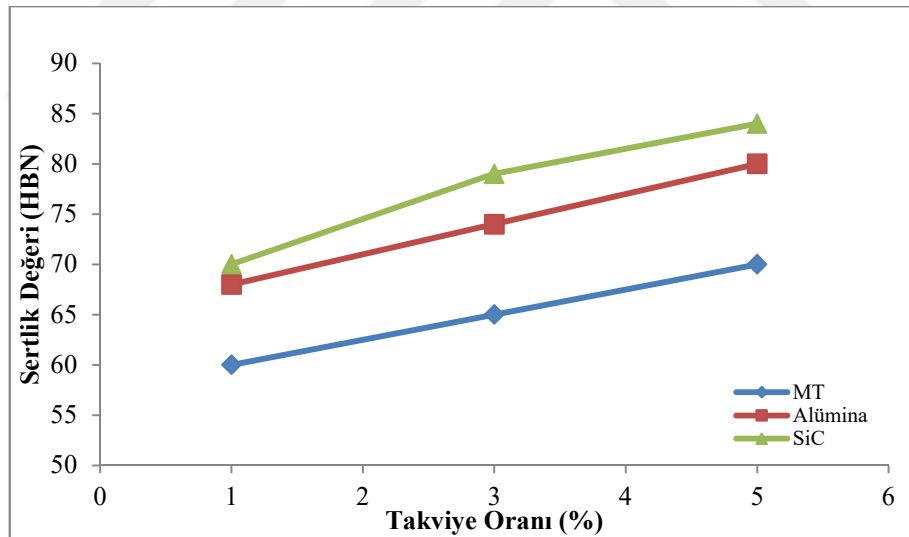
5.2.1 Takviye Elemanlarının Kompozit ve Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi

Mermer tozu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi Tablo 11’de gösterilmektedir.

Tablo 11: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi

Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik
1	99	1	0	0	60
2	97	3	0	0	65
3	95	5	0	0	70
25	99	0	1	0	70
26	97	0	3	0	79
27	95	0	5	0	84
28	99	0	0	1	68
29	97	0	0	3	74
30	95	0	0	5	80

Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi Şekil 22’de gösterilmektedir.



Şekil 22: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan Al6061 numunesinin sertliği 58 HBN değerinde ölçülmüştür. %1 mermer tozu takviyeli numunenin sertliği 60 HBN değerinde %3 mermer tozu takviyeli numunenin sertliği 65 HBN değerinde %5 mermer tozu takviyeli numunenin sertliği 70 HBN değerinde ölçülmüştür. %1 Al₂O₃ takviyeli numunenin sertlik değeri 68 HBN, %3 Al₂O₃ takviyeli numunenin sertlik değeri 74 HBN, %5 Al₂O₃ takviyeli numunenin ise sertlik

değeri 80 HBN ölçülmüştür. %1 SiC takviyesi sertlik değerini 70 HBN'ye, %3 SiC takviyesi sertlik değerini 79 HBN'ye, %5 SiC takviyesi sertlik değerini 84 HBN'ye yükselmiştir. Mermer tozunun SiC ve Al₂O₃ kadar sertliği artırmaya bile matrise ilave edilen % 5'lik mermer tozunun sertliği % 21 oranında artırdığı belirlenmiştir.

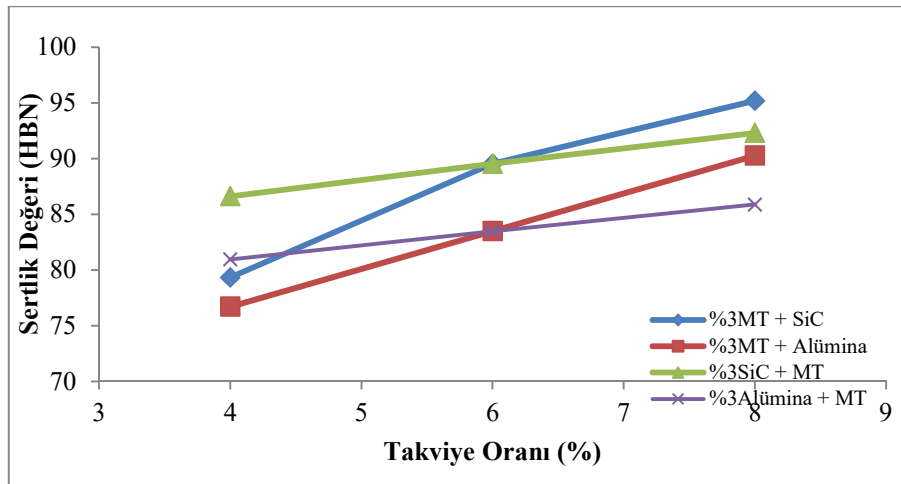
5.2.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi Tablo 12'de gösterilmektedir.

Tablo 12: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi

Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik
4	96	3	1	0	79
5	94	3	3	0	90
6	92	3	5	0	95
7	96	3	0	1	77
8	94	3	0	3	83
9	92	3	0	5	92
16	96	1	3	0	87
17	94	3	3	0	89
18	92	5	3	0	90
19	96	1	0	3	81
20	94	3	0	3	83
21	92	5	0	3	86

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi Şekil 23'de gösterilmektedir.



Şekil 23: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan ikili hibrit kompozitlerin sertlik değerleri incelendiğinde %3 mermer tozu ve %1 Al_2O_3 takviyeli numunenin sertlik değerinin 77 HBN'e, %3 mermer tozu ve %5 Al_2O_3 'lü takviyeli numunenin sertliğinin 92 HBN değerinde olduğu, %3 mermer tozu ve %1 SiC'lü takviyenin sertlik değerinin 79 HBN'e, %3 mermer tozu ve %5 SiC'lü takviyeli numunenin sertlik değerinin 95 HBN'e olduğu belirlendi. %3 mermer tozu takviyeli matrisimizi %5 Al_2O_3 takviyesi numunenin sertlik değerini 22 HBN değerinde artırırken, %5 SiC takviyeli numune 25 HBN değerinde artırmıştır. SiC'ün Al_2O_3 'ye göre sertliği daha fazla artıran takviye malzemesi olduğu belirlenmiştir. %3 SiC ve %1 mermer tozlu takviyeli numunenin sertliği 87 HBN değerinde, %3 Al_2O_3 ve %1 mermer tozu takviyeli numunenin sertliği 81 HBN değerinde olduğu belirlendi. %3 SiC ve %5 mermer tozu takviyeli numunenin sertliği 90 HBN değerinde belirlendi, %3 Al_2O_3 ve %5 mermer tozu takviyeli numunenin sertliği 86 HBN değerinde olduğu belirlendi.

Mermer tozu takviyesinin miktarı arttıkça ikili hibrit kompozitin sertliği artmıştır. Mermer tozunun ikili hibrit kompozit malzeme üretiminde Al_2O_3 ve SiC takviye malzemesi gibi bir takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

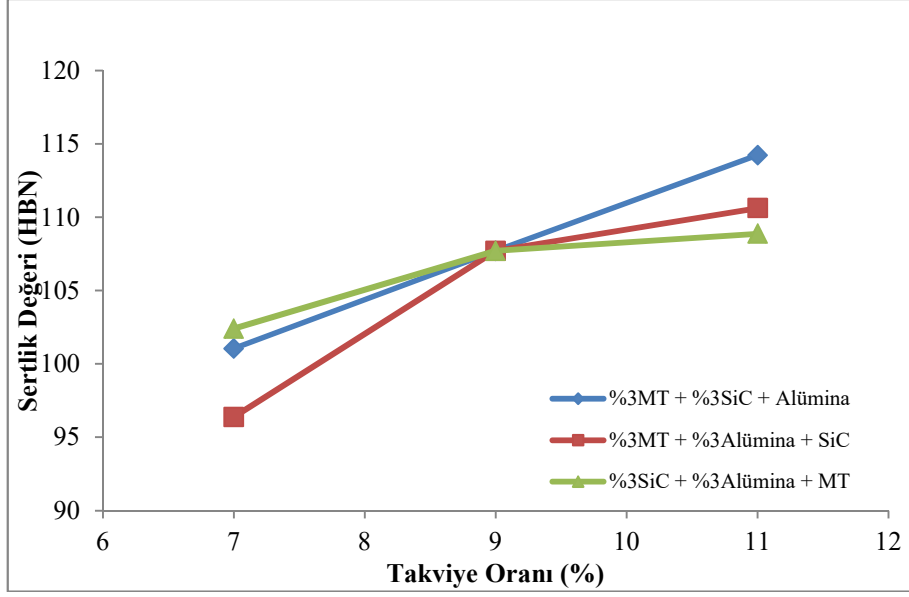
5.2.3 Takviye Elemanlarının üçlü Hibrit Kompozitin Sertliğine Etkisi

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi Tablo 13'de gösterilmektedir.

Tablo 13: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi

Numune No	Al6061	MT	SiC	Al_2O_3	Sertlik
10	93	3	3	1	101
11	91	3	3	3	108
12	89	3	3	5	111
13	93	3	1	3	96
14	91	3	3	3	108
15	89	3	5	3	114
22	93	1	3	3	102
23	91	3	3	3	108
24	89	5	3	3	109

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi Şekil 24'de gösterilmektedir.



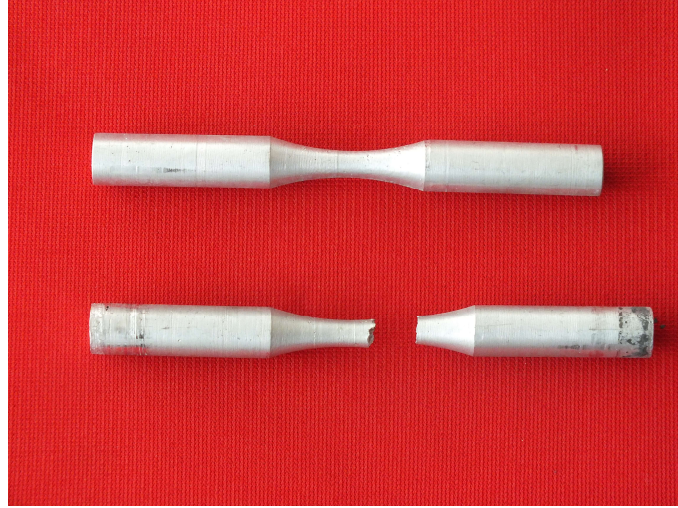
Şekil 24: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde %3 mermer tozu ve %3 SiC takviyeli numuneye %1 Al_2O_3 takviyesi kompozitin sertlik değerini 101 HBN'e, %5 Al_2O_3 takviyesi numunenin sertlik değerini 111 HBN'e artırdığı, %3 mermer tozu ve %3 Al_2O_3 takviyeli kompozite %1 SiC takviyesi numunenin sertlik değerini 96 HBN'ye, %5 SiC takviyesi numunenin sertliğini 114 HBN değerine artırdığı, %3 SiC ve %3 Al_2O_3 takviyeli malzemeye %1 mermer tozu takviyesi numunemizin sertlik değerinin 102 HBN'e, %5 mermer tozu takviyesi numunenin sertliğini 109 HBN değerine artırmıştır.

Mermer tozunun üçlü hibrit kompozit malzeme üretiminde Al_2O_3 ve SiC takviye malzemesi gibi bir takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

5.3 Yorulma Dayanımı Testleri Sonrasında Al6001 Alaşımı Üzerinde Elde Edilen Yorulma Dayanımı Sonuçları

Hibrit kompozite ait yorulma numune örneği Şekil 25'de görülmektedir.



Şekil 25: Yorulma numuneleri

5.3.1 Mermer Tozunun Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması

Üretilen mermer tozu takviyeli kompozitin Takviye oranları Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14: Üretilen kompozitlerin takviye oranları.

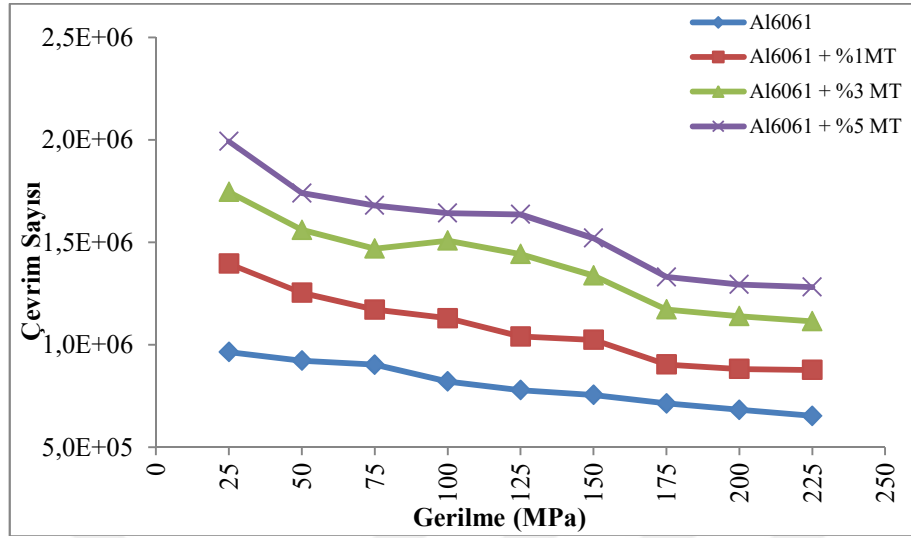
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃
0	100	0	0	0
1	99	1	0	0
2	97	3	0	0
3	95	5	0	0

Üretilen kompozitin çevrim sayısı Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15: Üretilen kompozitlerin çevrim sayısı.

Gerilme (MPa)	Numune No			
	0	1	2	3
25	964396	1396432	1745920	1992808
50	922784	1253832	1560631	1740948
75	903197	1171965	1469843	1680435
100	820783	1129636	1508927	1643127
125	778741	1040503	1443035	1636490
150	755396	1024326	1338275	1520953
175	713840	903682	1172308	1330821
200	682595	882073	1139564	1294506
225	653078	877522	1114425	1281589

Mermer tozunun kompozitin yorulmasına etkisi Şekil 26’da verilmiştir.



Şekil 26: Mermer tozunun kompozitin yorulmasına etkisinin karşılaştırılması.

Üretilen numunelerin yorulma dayanımı testleri sonucunda çevrim sayıları Al6061’e göre takviye malzemesi olarak kullandığımız %1 mermer tozu 25N’da 432036 çevrim, 50N’da 331048 çevrim, 75N’da 268768 çevrim, 100N’da 308853 çevrim, 125N’da 261762 çevrim, 150N’da 268930 çevrim, 175N’da 189842 çevrim, 200N’da 199478 çevrim, 225N’da 224444 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak mermer tozunu %3 oranına artırdığımızda 25N’da 781520 çevrim, 50N’da 637847 çevrim, 75N’da 566646 çevrim, 100N’da 688144 çevrim, 125N’da 664294 çevrim, 150N’da 582879 çevrim, 175N’da 458468 çevrim, 200N’da 456969 çevrim, 225N’da 461347 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak mermer tozunu %5 oranına artırdığımızda 25N’da 1028412 çevrim, 50N’da 818164 çevrim, 75N’da 777238 çevrim, 100N’da 822344 çevrim, 125N’da 857749 çevrim, 150N’da 765567 çevrim, 175N’da 616981 çevrim, 200N’da 456969 çevrim, 225N’da 611911 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir. Alınan değerlere göre takviye malzemesi olarak kullandığımız mermer tozu oranı artıkça çevrim sayısının arttığı Al6061’in yorulma dayanımının yükseldiği görülmektedir.

5.3.2 SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması

İkili hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 16'de verilmiştir.

Tablo 16: Üretilen kompozitlerin takviye oranları.

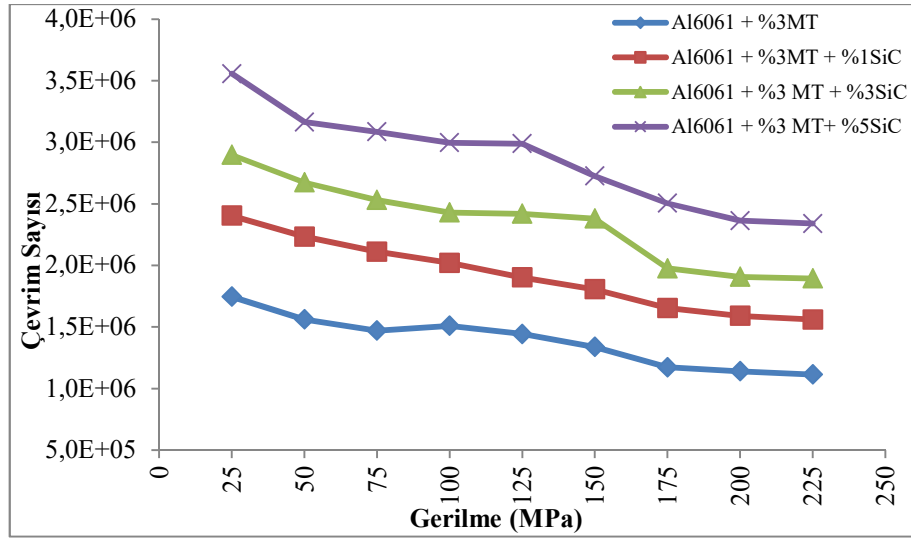
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃
2	97	3	0	0
4	96	3	1	0
5	94	3	3	0
6	92	3	5	0

Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17: Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.

Gerilme (MPa)	Numune No			
	2	4	5	6
25	1745920	2404288	2898064	3556432
50	1560631	2233954	2674236	3164538
75	1469843	2110952	2531048	3085321
100	1508927	2019837	2429675	2996753
125	1443035	1902249	2419160	2988374
150	1338275	1805675	2379742	2726433
175	1172308	1653487	1975335	2505457
200	1139564	1589424	1906435	2363658
225	1114425	1560195	1894523	2340293

SiC'ün İkili Hibrit kompozitin yorulmasına etkisi Şekil 27'de verilmiştir.



Şekil 27: SiC'ün ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi.

Üretilen numunelerin yorulma dayanımı testleri sonucunda %3 mermer tozlu Al6061'e göre; takviye malzemesi olarak kullandığımız %1 SiC'lü numunenin çevrim sayıları 25N'da 658368 çevrim, 50N'da 673323 çevrim, 75N'da 641109 çevrim, 100N'da 510810 çevrim, 125N'da 459214 çevrim, 150N'da 467400 çevrim, 175N'da 481179 çevrim, 200N'da 449860 çevrim, 225N'da 445770 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak SiC'ü %3 oranına artırdığımızda 25N'da 1152144 çevrim, 50N'da 113605 çevrim, 75N'da 1061205 çevrim, 100N'da 920748 çevrim, 125N'da 976125 çevrim, 150N'da 1041467 çevrim, 175N'da 835771 çevrim, 200N'da 766871 çevrim, 225N'da 780098 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak SiC'i %5 oranına artırdığımızda 25N'da 1810512 çevrim, 50N'da 1603907 çevrim, 75N'da 1615478 çevrim, 100N'da 1487826 çevrim, 125N'da 1545339 çevrim, 150N'da 1388158 çevrim, 175N'da 1333149 çevrim, 200N'da 1139564 çevrim, 225N'da 1225868 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir. Alınan değerlere göre takviye malzemesi olarak kullandığımız SiC oranı arttıkça çevrim sayısının arttığı %3 mermer tozlu Al6061'in yorulma dayanımının yükseldiği görülmektedir.

5.3.3 Al₂O₃'ün İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması

İkili hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18: Üretilen kompozitlerin takviye oranları.

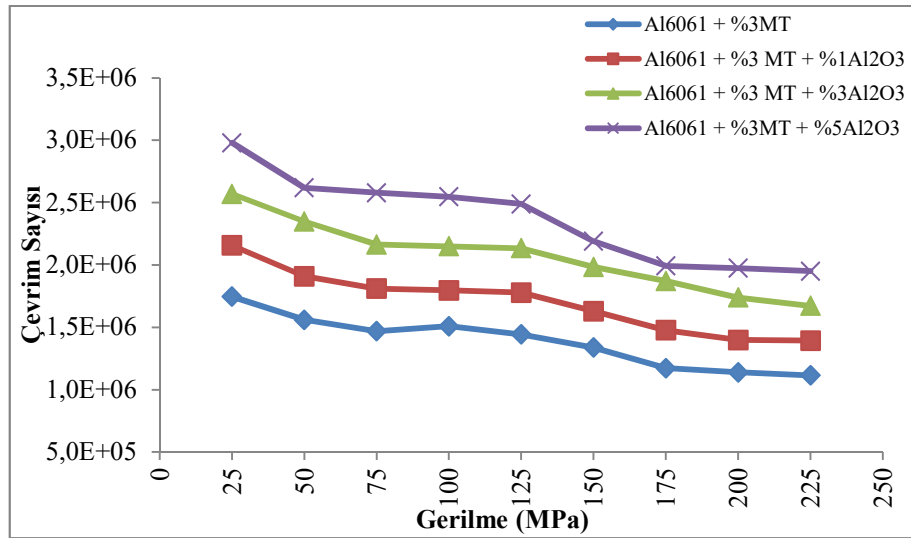
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃
2	97	3	0	0
7	96	3	0	1
8	94	3	0	3
9	92	3	0	5

Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19: Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.

Gerilme (MPa)	Numune No			
	2	7	8	9
25	1745920	2157400	2568880	2980360
50	1560631	1909467	2348548	2619530
75	1469843	1810538	2163421	2579391
100	1508927	1796536	2149510	2547402
125	1443035	1778794	2134553	2490311
150	1338275	1629631	1984015	2190725
175	1172308	1477402	1870432	1993574
200	1139564	1398748	1739427	1975433
225	1114425	1393031	1671638	1950244

Al₂O₃’ün İkili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi Şekil 28’de verilmiştir.



Şekil 28: Al₂O₃’ün ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi.

Üretilen numunelerin yorulma dayanımı testleri sonucunda %3 mermer tozlu Al6061’e

göre takviye malzemesi olarak kullandığımız %1 Al_2O_3 'i numunenin çevrim sayıları 25N'da 411480 çevrim, 50N'da 348836 çevrim, 75N'da 340695 çevrim, 100N'da 287609 çevrim, 125N'da 335759 çevrim, 150N'da 291356 çevrim, 175N'da 305094 çevrim, 200N'da 259184 çevrim, 225N'da 278606 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak Al_2O_3 'i %3 oranına artırdığımızda 25N'da 822960 çevrim, 50N'da 787917 çevrim, 75N'da 693578 çevrim, 100N'da 640583 çevrim, 125N'da 691518 çevrim, 150N'da 645740 çevrim, 175N'da 698124 çevrim, 200N'da 599863 çevrim, 225N'da 557213 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak Al_2O_3 'i %5 oranına artırdığımızda 25N'da 1234440 çevrim, 50N'da 1058899 çevrim, 75N'da 1109548 çevrim, 100N'da 1038475 çevrim, 125N'da 1047276 çevrim, 150N'da 852450 çevrim, 175N'da 821266 çevrim, 200N'da 835869 çevrim, 225N'da 835819 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir. Alınan değerlere göre takviye malzemesi olarak kullandığımız Al_2O_3 'i oranı artırdıkça çevrim sayısının arttığı %3 mermer tozlu Al6061'in yorulma dayanımının yükseldiği görülmektedir.

5.3.4 SiC ve Al_2O_3 'in İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması

İkili hibrit kompozitin Takviye oranları Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20: İkili hibrit kompozitin Takviye oranları.

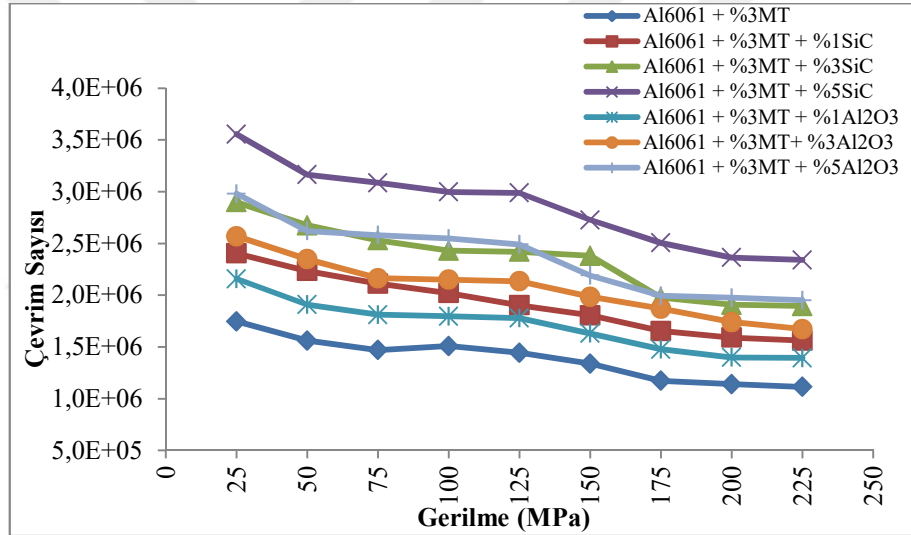
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al_2O_3
2	97	3	0	0
4	96	3	1	0
5	94	3	3	0
6	92	3	5	0
7	96	3	0	1
8	94	3	0	3
9	92	3	0	5

Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21: Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.

Gerilme (MPa)	Numune No						
	2	4	5	6	7	8	9
25	1745920	2404288	2898064	3556432	2157400	2568880	2980360
50	1560631	2233954	2674236	3164538	1909467	2348548	2619530
75	1469843	2110952	2531048	3085321	1810538	2163421	2579391
100	1508927	2019837	2429675	2996753	1796536	2149510	2547402
125	1443035	1902249	2419160	2988374	1778794	2134553	2490311
150	1338275	1805675	2379742	2726433	1629631	1984015	2190725
175	1172308	1653487	1975335	2505457	1477402	1870432	1993574
200	1139564	1589424	1906435	2363658	1398748	1739427	1975433
225	1114425	1560195	1894523	2340293	1393031	1671638	1950244

SiC ve Al₂O₃'ün ikili hibrit kompozitin yorulma dayanımına etkisi Şekil 29'da verilmiştir.



Şekil 29: SiC ve Al₂O₃'ün ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi.

%3 mermer tozu takviyeli Al6061'e %1-3-5 oranında SiC ve Al₂O₃ takviyesi eklenmiş numuneler incelendiğinde en düşük yorulma dayanımı %1 Al₂O₃ takviye eklenen numunede en yüksek yorulma dayanımı ise % 5 SiC takviye edilen numunede görülmüştür. %5 Al₂O₃ takviyeli numune ile % 3 SiC takviyeli numunede çevrim sayısının birbirine yakın bir değer olduğu bu iki numunenin yorulma dayanımlarının da birbirine yakın olduğu belirlendi ayrıca %3 Al₂O₃ takviyeli numune ile % 1 SiC takviyeli numunede çevrim sayısının birbirine yakın bir değer olduğu bu iki numunenin yorulma dayanımlarının da birbirine yakın olduğu belirlendi. İkili Hibrit kompozitler de SiC'ün Al₂O₃'e göre yorulma dayanımını artıran bir takviye malzemesi olduğu belirlendi.

5.3.5 Mermer Tozunun İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması

İkili hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22: Üretilen kompozitlerin takviye oranları

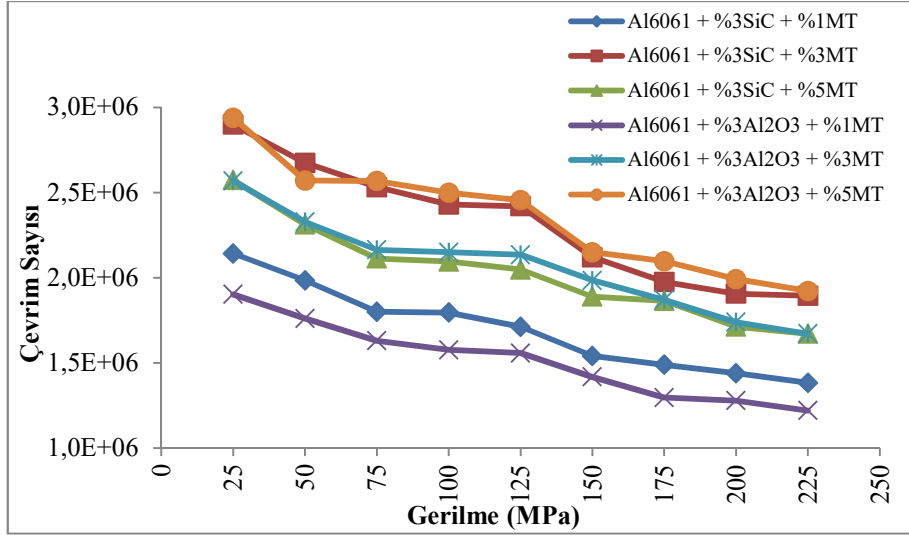
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃
16	96	1	3	0
17	94	3	3	0
18	92	5	3	0
19	96	1	0	3
20	94	3	0	3
21	92	5	0	3

Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23: Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı

Gerilme (MPa)	Numune No					
	16	17	18	19	20	21
25	2142587	2898064	3173418	1902282	2568880	2939212
50	1984230	2674236	2893502	1760364	2328548	2570275
75	1800326	2531048	2747834	1630273	2163421	2567532
100	1795378	2429675	2705281	1576357	2149510	2499262
125	1711986	2419160	2674722	1558223	2134553	2454735
150	1540877	2119742	2498466	1418363	1984015	2149650
175	1489437	1975335	2397256	1296342	1870432	2097234
200	1439860	1906435	2193912	1279365	1739427	1991895
225	1383001	1894523	2101151	1220295	1671638	1922383

Mermer tozunun ikili hibrit kompozitlerin yorulmasına etkilerinin karşılaştırılması Şekil 30’da verilmiştir.



Şekil 30: Mermer tozunun ikili hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi.

%3 SiC ve Al_2O_3 takviyeli Al6061'e %1-3-5 oranında mermer tozu takviyesi eklenmiş numuneler incelendiğinde en düşük yorulma dayanımı %3 Al_2O_3 ile %1 mermer tozu takviye edilen numunede en yüksek yorulma dayanımı ise birbirine yakın çevrim sayısı çıkan %3 Al_2O_3 ile %5 mermer tozu takviyeli numune ile %3 SiC ile %3 mermer tozu takviyeli numunelerde görülmüştür.

SiC ve Al_2O_3 takviye malzemeleri gibi mermer tozu da ikili hibrit kompozitler de yorulma dayanımını artıran bir takviye malzemesi olduğu belirlenmiştir.

5.3.6 Al_2O_3 'ün Üçlü Hibrit Kompozitlerin Yorulmasına Etkilerinin Karşılaştırılması

Üçlü hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 24'de verilmiştir.

Tablo 24: Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları

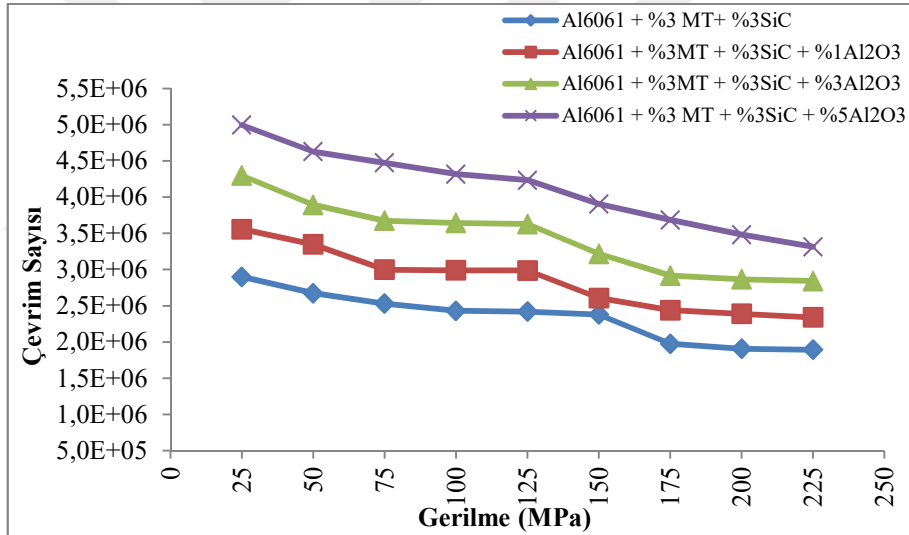
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al_2O_3
5	94	3	3	0
10	93	3	3	1
11	91	3	3	3
12	89	3	3	5

Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 25'de verilmiştir.

Tablo 25: Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı

Gerilme (MPa)	Numune No			
	5	10	11	12
25	2898064	3556432	4297096	4996612
50	2674236	3347524	3894233	4629843
75	2531048	2997543	3674324	4474148
100	2429675	2990343	3643580	4318207
125	2419160	2988374	3628739	4233529
150	2379742	2606443	3217432	3905286
175	1975335	2438955	2917578	3685032
200	1906435	2389539	2866543	3482589
225	1894523	2340293	2841784	3315414

Al_2O_3 'ün üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkilerinin karşılaştırılması Şekil 31'de verilmiştir.



Şekil 31: Al_2O_3 'ün üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi.

Üretilen numunelerin yorulma dayanımı testleri sonucunda %3 mermer tozlu takviyeli ve %3 SiC takviyeli Al6061'e göre takviye malzemesi olarak kullandığımız %1 Al_2O_3 'i numunenin çevrim sayıları 25N'da 658368 çevrim, 50N'da 673288 çevrim, 75N'da 464495 çevrim, 100N'da 560668 çevrim, 125N'da 569214 çevrim, 150N'da 226701 çevrim, 175N'da 463620 çevrim, 200N'da 483104 çevrim, 225N'da 445770 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak Al_2O_3 'i %3 oranına artırdığımızda 25N'da 133032 çevrim, 50N'da 1219997 çevrim, 75N'da 1143276 çevrim, 100N'da 1213905 çevrim, 125N'da 1209579 çevrim, 150N'da 837690 çevrim, 175N'da 698124 çevrim, 200N'da 960108 çevrim, 225N'da 947261 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak Al_2O_3 'i %5 oranına artırdığımızda 25N'da 2098548 çevrim, 50N'da 1955607 çevrim, 75N'da 1943100 çevrim, 100N'da 1888532 çevrim, 125N'da 1814369 çevrim, 150N'da 1525544 çevrim, 175N'da 1709697 çevrim, 200N'da 1576154 çevrim, 225N'da 1420891 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir. Alınan değerlere göre takviye malzemesi olarak kullandığımız Al_2O_3 'i oranı artırdıkça çevrim sayısının arttığı %3 mermer tozlu takviyeli ve %3 SiC takviyeli Al6061'in yorulma dayanımının yükseldiği görülmektedir.

5.3.7 SiC'ün Üçlü Hibrit Kompozitlerin Yorulmasına Etkilerinin Karşılaştırılması

Üçlü hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 26'de verilmiştir.

Tablo 26: Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları

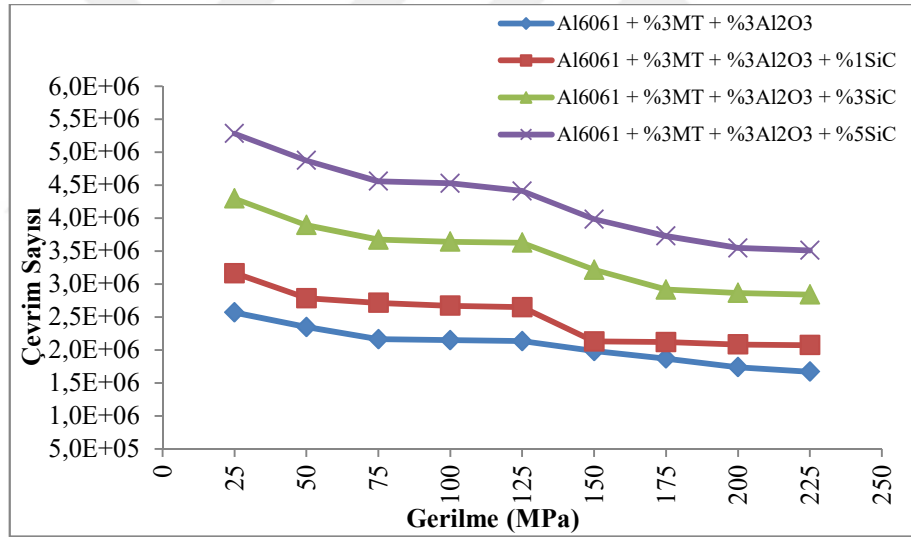
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al_2O_3
8	94	3	0	3
13	93	3	1	3
14	91	3	3	3
15	89	3	5	3

Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27: Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı

Gerilme (MPa)	Numune No			
	8	13	14	15
25	2568880	3163880	4297096	5284648
50	2348548	2785402	3894233	4875348
75	2163421	2715324	3674324	4560241
100	2149510	2670539	3643580	4529054
125	2134553	2648980	3628739	4412560
150	1984015	2128543	3217432	3985329
175	1870432	2119303	2917578	3728676
200	1739427	2083046	2866543	3548364
225	1671638	2074502	2841784	3510439

SiC'ün üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkilerinin karşılaştırılması Şekil 32'de verilmiştir.



Şekil 32: SiC'ün üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi

Üretilen numunelerin yorulma dayanımı testleri sonucunda %3 mermer tozlu takviyeli ve Al₂O₃'i takviyeli Al6061'e göre takviye malzemesi olarak kullandığımız %1 SiC'li numunenin çevrim sayıları 25N'da 595000 çevrim, 50N'da 436854 çevrim, 75N'da 551903 çevrim, 100N'da 521029 çevrim, 125N'da 514427 çevrim, 150N'da 144528 çevrim, 175N'da 248871 çevrim, 200N'da 343619 çevrim, 225N'da 402864 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak SiC'ü %3 oranına artırdığımızda 25N'da 1728216 çevrim, 50N'da 1545685 çevrim, 75N'da 1510903 çevrim, 100N'da 1494070 çevrim, 125N'da 1494186 çevrim, 150N'da 1233417 çevrim, 175N'da 1047146 çevrim, 200N'da 1127116 çevrim, 225N'da 1170146 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak SiC'ü %5 oranına artırdığımızda 25N'da 2715768 çevrim, 50N'da 2526800 çevrim, 75N'da 2396820 çevrim, 100N'da 2379544 çevrim, 125N'da 2278007 çevrim, 150N'da 2001314 çevrim, 175N'da 1870432 çevrim, 200N'da 1808937 çevrim, 225N'da 1838801 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir. Alınan değerlere göre takviye malzemesi olarak kullandığımız SiC oranı artıkça çevrim sayısının arttığı %3 mermer tozlu takviyeli ve %3 Al₂O₃'i takviyeli Al6061'in yorulma dayanımının yükseldiği görülmektedir.

5.3.8 Mermer Tozu, SiC ve Al₂O₃'in Üçlü Hibrit Kompozitlerin Yorulmasına Etkilerinin Karşılaştırılması

Üçlü hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 28'de verilmiştir.

Tablo 28: Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları

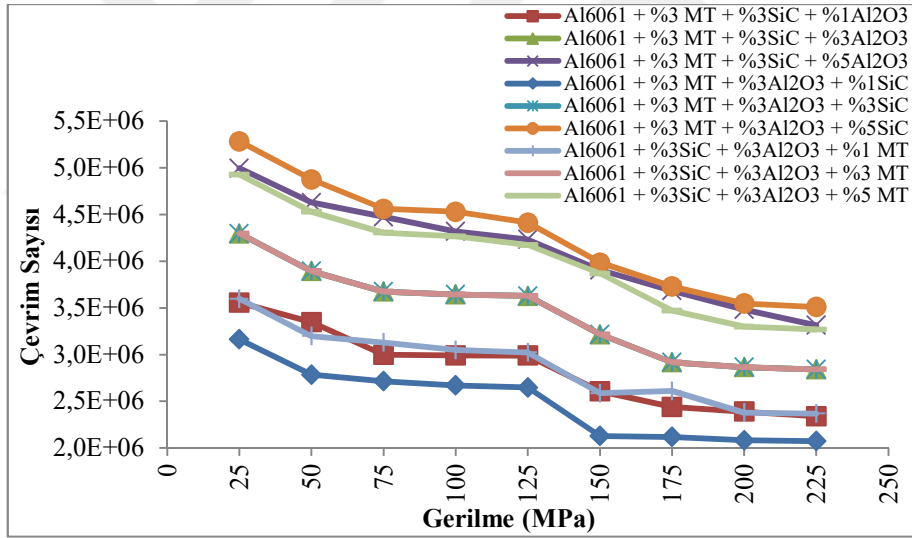
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃
10	93	3	3	1
12	89	3	3	5
13	93	3	1	3
15	89	3	5	3
22	93	1	3	3
23	91	3	3	3
24	89	5	3	3

Mermer tozu, SiC ve Al₂O₃'in üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 29'da verilmiştir.

Tablo 29: Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı

Gerilme (MPa)	Numune No						
	10	12	13	15	22	23	24
25	3556432	4996612	3163880	5284648	3597580	4297096	4926660
50	3347524	4629843	2785402	4875348	3197430	3894233	4528965
75	2997543	4474148	2715324	4560241	3129785	3674324	4306139
100	2990343	4318207	2670539	4529054	3049324	3643580	4266387
125	2988374	4233529	2648980	4412560	3023949	3628739	4173050
150	2606443	3905286	2128543	3985329	2586431	3217432	3868325
175	2438955	3685032	2119303	3728676	2610735	2917578	3470422
200	2389539	3482589	2083046	3548364	2379597	2866543	3299663
225	2340293	3315414	2074502	3510439	2368153	2841784	3268051

Mermer tozu, SiC ve Al_2O_3 'in üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi Şekil 33'de verilmiştir.



Şekil 33: Mermer tozu, SiC ve Al_2O_3 'in üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi

Mermer Tozu, SiC ve Al_2O_3 'in Üçlü Hibrit Kompozitlerin Yorulmasına Etkisi incelendiğinde en düşük yorulma dayanımı %3 Al_2O_3 , %3 mermer tozu ve %1SiC'li numune, en yüksek yorulma dayanımı ise %3 Al_2O_3 , %3 mermer tozu ve %5 SiC'li numune olduğu görüldü, %1 Al_2O_3 , %3 mermer tozu ve %3 SiC takviye katkılı numune ile %3 Al_2O_3 , %1 mermer tozu ve %3 SiC takviye katkılı numunelerin yorulma dayanımlarının birbirine yakın bir değer olduğu, %3 Al_2O_3 , %3 mermer tozu ve %5 SiC

takviye katkılı numune, %5 Al₂O₃, %3 mermer tozu ve %3 SiC takviye katkılı numune ile %3 Al₂O₃, %5 mermer tozu ve %3 SiC takviyeli numunelerin yorulma dayanımlarının birbirine yakın olduğu; üçlü hibrit kompozitlerde SiC, Al₂O₃ Takviye malzemesi kullanıldığı gibi mermer tozu takviyesi de yorulma dayanımını artırdığı belirlendi.

5.3.9 Mermer Tozunun Üçlü Hibrit Kompozitlerin Yorulmasına Etkilerinin Karşılaştırılması

Üçlü hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 30’da verilmiştir.

Tablo 30: Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları

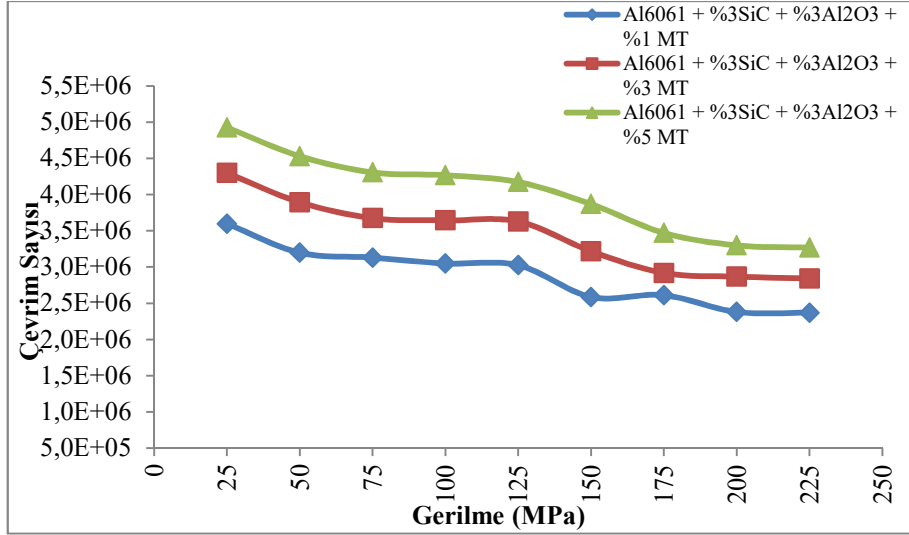
Numune No	Al6061	MT	SiC	Al ₂ O ₃
22	93	1	3	3
23	91	3	3	3
24	89	5	3	3

Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 31’de verilmiştir.

Tablo 31: Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı

Gerilme (MPa)	Numune No		
	22	23	24
25	3597580	4297096	4926660
50	3197430	3894233	4528965
75	3129785	3674324	4306139
100	3049324	3643580	4266387
125	3023949	3628739	4173050
150	2586431	3217432	3868325
175	2610735	2917578	3470422
200	2379597	2866543	3299663
225	2368153	2841784	3268051

Mermer tozunun üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkilerinin karşılaştırılması Şekil 34’de verilmiştir.



Şekil 34: Mermer tozunun üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi

Üretimi yapılan $\%3\text{SiC}, \text{Al}_2\text{O}_3$ ve mermer tozu takviyeli üçlü hibrit kompozitte 100 MPa gerilim altında $\%1$ mermer tozu takviyeli numunede 3049324 çevrim, $\%3$ mermer tozu takviyeli numunede 3643580 çevrim, $\%5$ mermer tozu takviyeli numunede 4266387 çevrim elde edilmiş üçlü hibrit kompozitte mermer tozu miktarı arttıkça yorulma dayanımının arttığı ve mermer tozunun üçlü hibrit kompozitlerde yorulma dayanımını artıran bir takviye malzemesi olduğu belirlenmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Üretilen numunelerin porozite değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen mermer tozu oranı %1'den %5'e çıkarıldığında Al 6061 malzemesinin porozite değerinin 0,9847'den 2,1791 değerine ulaştığı, %3 SiC'li ikili hibrit kompozitlerde mermer tozu oranı %1'den %5'e çıkarıldığında porozite değerinin 2,2542'den 2,6759 değerine arttığı, üretilen %3 Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde de mermer tozu oranı %1'den %5'e çıkarıldığında porozite değeri 2,3303'den 2,8401 değerine ulaştığı, üretilen %3 SiC ve %3 Al₂O₃'li üçlü hibrit kompozitlerde mermer tozu oranı %1'den %5'e çıkarıldığında porozite değeri 3,0182'den 3,6307 değerine ulaştığı belirlendi. İkili hibrit kompozitlere kıyasla daha yüksek oranda arttığı gözlemlenmiştir. Mermer tozu takviyeli kompozit malzemelerde SiC ve Al₂O₃ takviyelerinden daha fazla porozite oluşturduğu belirlendi. Matrise eklenen takviye malzemesi oranları arttıkça porozite değerinin de arttığı belirlendi.

2. Üretilen numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize %1 mermer tozu takviye eklendiğinde malzemenin sertliğinin 60 HBN değerine, %3 mermer tozu takviyesinde 65 HBN değerine, % 5 mermer tozu takviyesinde 70 HBN değerinde olduğu, ikili hibrit kompozitlerde mermer tozu takviyesinin sertlik değeri incelendiğinde %3 SiC takviyeli malzemelerde %1 mermer tozu takviyesi setliği 87 HBN değerine, %5 mermer tozu takviyesi setliği 92 HBN değerine artırdığı, %3 Al₂O₃ takviyeli malzemelerde %1 mermer tozu takviyesi setliği 81 HBN değerine, %5 mermer tozu takviyesi setliği 86 HBN değerine artırdığı, üçlü hibrit kompozitlerde mermer tozu takviyesinin sertlik değeri incelendiğinde %3 Al₂O₃ ve %3 SiC takviyeli malzemelerde %1 mermer tozu takviyesi setliği 102 HBN değerine, %5 mermer tozu takviyesi setliği 109 HBN değerine artırdığı, mermer tozunun kompozit, ikili ve üçlü hibrit kompozitlerde malzemenin setliğini artıran takviye malzemesi olduğu belirlendi.

3. Üretilen kompozit numunelerin yorulma dayanımları incelendiğinde 100 Mpa gerilimle yapılan çalışmada Al 6061 matrisimize eklenen %1 mermer tozu takviyesi 308853 cevrim, %3 mermer tozu takviyesi 688144 cevrim, %5 mermer tozu takviyesi 822344 cevrim artırmıştır. %3 SiC'li ve Al₂O₃'li ikili hibrit kompozitlerde eklenen mermer tozu takviyeli numuneler 100 MPa gerilimde yorulma testine tutulduğunda SiC'li malzemede

%3 mermer tozu takviyesi 2429675 cevrim değerine, Al_2O_3 'li malzemede %3 mermer tozu takviyesi 2149510 cevrim değeri olduğu, %3 SiC' ve % 3 Al_2O_3 'li üçlü hibrit kompozitlerde eklenen mermer tozu takviyeli numuneler 100 MPa gerilimde yorulma testine tutulduğunda %1 mermer tozu takviyesi 3049324 cevrim, %3 mermer tozu takviyesi 3643580 cevrim, %5 mermer tozu takviyesi 4266387 cevrima ulaştığı belirlendi. Kompozit ve hibrit kompozit üretiminde kullandığımız mermer tozu Al6061'in Yorulma dayanımını artırdığı kullanılan mermer tozunun ağırlıkça oranı arttıkça yorulma dayanımı değerinde artış olduğu belirlendi.

4.Bu çalışmada belirlenen yorulma dayanımına ek olarak bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda mermer tozunun kompozitin aşınma ve gerilme dayanımı gibi diğer mekanik özelliklere etkisi de belirlenebilir.

5. Bu çalışmada mermer tozunun ağırlıkça takviye miktarı en fazla %5 olacak şekilde belirlenmiştir. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda, daha yüksek takviye oranlarında mermer tozunun kompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi belirlenebilir.

6. Bu çalışmada kompozit üretiminde iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Üretim yönteminin kompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisinin oldukça yüksek olduğu göz önüne alındığında bundan sonra gerçekleştirilecek araştırmalarda mermer tozu takviyeli kompozitlerin farklı üretim yöntemleri ile üretilerek üretim yönteminin mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi belirlenebilir.

7. Farklı atık malzemeler belirlenerek bunlarla ilgili çalışmalar hız kesmeden devam etmelidir. Özellikle savunma sanayi için kompozitlerden zırh üretimine odaklanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Acılar, (2002). *Al/SiC Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Akdoğan, (2005) *İmalatta Kompozit Malzemeler*, Lisans Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akkurt vd, (2009). “*Ezme ve Geleneksel Bitirme İşlemlerinin Al 6061 Alüminyum Alaşımı Parçaların Yüzey Pürüzlülüğü ve Daireselliği Üzerine Etkisi*”, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 15, Sayı 3, 2009, Sayfa 371-382.
- Altuner vd, (2012) *Pruduction Of Y_2O_3 Coated Al_2O_3 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.
- Arıcı vd, (2015). *AA6061 Alaşımının İki Farklı Dolgu Teli Kullanılarak TIG Kaynağında Özelliklerin İncelenmesi*. CBÜ Fen Bil. Dergisi, Cilt 11, Sayı 2, s. 233-239.
- Armatlı, (1999). *Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet- Maliyet Analizleri*, Gazi Üniversitesi Merkez Kütüphanesi.
- Bakar, (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..
- Bayraktar, (2006). Garcias, I. M.; Bathias, C. “*Failure mechanisms of automotive metallic alloys in very high cycle fatigue range*” International Journal of Fatigue 28 1590–1602.
- Benal, M.M. and Shivanand, H.K. (2007)., *Effects of reinforcements content and ageing durations on wear characteristics of Al (6061) based hybrid composites*, Wear, Volume 262, Issusue 5-6, Pages 759-763
- Bulut, (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.
- Büyükuncu, (2000). “*Bor Karbür / Silisyum Karbür Kompozitlerinin Üretimi*”, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran, 2000.
- Chan vd, (2003). “*Fatigue crack growth and fracture paths in sand cast B319 and A356 aluminium alloys*” Materials Science and Engineering A341 18-34.
- Chawla, (1998). *Composite Materials Science and Engineering*, Springer-Verlag, New

York.

Cook vd, (1987). *Whiker-reinforced MMC's, Engineering Composites Handbook*, Vol. 1: Composites, ASM International, Metal Park, Ohio, USA, 896-902.

Demirkesen, (1991). ''Kompozit Malzemeler'', ĐTÜ. Kimya – Metalurji Fakóltesi, 11-12.

Eker, (2009) “*Metal Matrisli Kompozitler*” ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Emrullahoğlu vd, (2005). “Kullanılmış SiC Kasetlerden Dökülebilir Refrakter Üretimi”, *I. Endüstriyel Fırınlar ve Refrakter Sempozyumu, Sakarya, 24-26 Mart*.

Er, (2006). *Yüksek Frekanslı, Genlik Ayarlı Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı ve 1100-H14 Alüminyum Levhasının Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.

Ersoy, (2003) Mermer İşleme Tesisi Atık Su Arıtımında Kullanılan Flokülanların tanıtımı *Türkiye ıv Mermer sempozyumu bildiriler kitabı Afyon 449-462*.

Eryürek, (1993) “*Hasar Analizi*” ĐTÜ Makine Fakóltesi Makine Malzemesi ve imalat.

Gao vd, (2004). “A mikro-cell model of the effect of microstructure and defects on fatigue resistance in cast aluminium alloys” *Acta Materialia* 52 (2004) 5435 – 5449.

Güven, (1990). *Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları*, Isparta Mühendislik Fakóltesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta.

Harrigan, (1987). *Discontinuous silicon fiber MMC's, Engineering Composites Handbook*, Vol.1: Composites, ASM International, Metal Park, Ohio, USA.

Hassan vd, (2015). *Effects of Eggshell on the Microstructures and Properties of Al–Cu–Mg/Eggshell Particulate Composites*. Journal of King Saud University – Engineering Sciences, 27.

Hiçyılmaz, (1999). *Toz metalurjisi yöntemleri ile elde edilen seramik tanecik destekli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri*, Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

İpek, (2005). “*İki Farklı Yolla Üretilmiş Alumina-Zirkonya Kompozitlerin Sinterlenme ve Kırılma Davranışlarının İncelenmesi*”, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Mayıs.

Kara, (1998). “*Alüminyum Oksitin Sürtünme ve Aşınma Davranışları*”, Sakarya Üniversitesi., Yüksek Lisans Tezi, Eylül.

Keskin, (2001). “*Malzeme el kitabı*“, Onarsan İnşaat Sanayii ve Ticaret A.Ş. Genişletilmiş II. Baskı, Ankara.

- Lloyd, (1994). Particle reinforced aluminum and magnesium matrix composites, *International Materials Review*, 39(1), 1-23.
- Mazumdar, (2002). *Composites Manufacturing*, Third Edition, CRC Press, London.
- Mingü, (2002) “*Alümina Esaslı Dökülebilir Refrakterlerin SiC ve C İlavesi ile Geliştirilmesi*” İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ocak.
- Miracle vd, (2001). *ASM Handbook*, Volume 21, Composites, ASM International.
- Mobasherpour vd, (2013).Effect of nano-size Al_2O_3 reinforcement on the mechanical behavior of synthesis 7075 aluminum alloy composites by mechanical alloying, *Materials Chemistry and Physics*, 138: 535-541.
- Mondal vd, (2005). *High Stress Wear Behaviour of Aluminium Hard Particle Composites: Effect of Experimental Parameters*, Particle Size and Volume Fraction, *Tribology International*,1-9.
- Mutlu, (2012). Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 4, No 1, s. 31-36.
- Onat, (2015). Kompozit Malzemeler Ders Notu. Sakarya Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Sakarya. 105.
- Oral vd, (1987). “Bileşik Malzemelerin Endüstriyel Kullanımı”, *Makina Tasarım ve imalat Dergisi*, ODTÜ, Ankara, 1: 5.
- Özdamar, (1991). “Kompozit Malzemeler ve Kullanımı”, *Mühendis ve Makina*, 32:374.
- Özdemir, (2004) “*Kaolen-Sepiyolit Katkılı Kordiyerit Üretimi*”, A.K.Ü., Uşak Müh. Fak., Seramik Müh. Bölümü, Mezuniyet Tezi, Afyon.
- Ramesh vd, (2005). Rvikumar, N. and Savanprabhu, P., “*Prediction of wear coefficient of Al6061-TiO2 composites*”, *Wear*, 259: 602-608.
- Sabah, (2001) Mermer Atıklarının Hayvan Yemi Katkı maddesi olarak kullanabilirliğinin araştırılması *III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı Afyon* 309-315.
- Schwartz, (1997). *Composite Materials Volume I: Properties, Nondestructive Testing and Repair*, Prentice-Hall PTR Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Srıvatsan vd, (2002).“The cyclic fatigue and fracture behavior of aluminium alloy 2524” *Materials and Design* 23 129 – 139.
- Soy, (2009). “*Metal Matris Kompozit Malzemeler*”, Sakarya Üniversitesi.
- Stubbington, (1988). “Materials trend in military airframes”,*Metals mater.*, 4: 424- 431.

- Suresh vd,(2003). "Tensile and wear properties of aluminium composites" *Wear* 255.
- Şahin, (1999). *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Şahin, (2000). **Kompozit Malzemelere Giriş**, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Şahin,(1994). "*The machanical and wear behaviour of SiC reinforced metal matrix composite*" Ph. D.Thesis, The University of Aston, Birmigham, 28-31.
- Şevik, (2004). "*Alümina Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Kompozitlerin Basınçlı Döküm Yöntemi İle Üretilmesi Ve Özelliklerinin İncelenmesi*", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taha, (2001). Practicalization of cast metal matrix composites (MMCCs), *Materials & Design*, 22 (6), 431-441.
- Topçu vd, (1991). " Mühendislik Malzemesi Olarak Kompozitler ve Özelliklerini Belirleyen Faktörler", *Mühendis ve Makina*, 1: 420.
- Wadsworth vd,(1999). Ancient and Modern Laminated Composites - From the Great Pyramid of Gizeh to Y2K, *International Metallographic Society 1999 Conference, Cincinatti, October 21 - November 3*.
- Yıldırım, (2002) "*Al₂O₃ ve SiC'ün Mukavemet Özellikleri Üzerine Üretim Şartları ve Bileşimin Etkisi*", İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eylül.
- Yılmaz vd,(1995). Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitte Arayüzey Reaksiyonu, 8. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, C2, TMMOB, Yayın no. 32, 1323-1334, İstanbul.
- Yılmaz vd, (2015). Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceği. *Savunma Bilimleri Dergisi*, The Journal of Defense Sciences, Kasım/November, Cilt/Volume 14, Sayı/Issue 2, Ankara, s. 77-109.
- URL- 1 (15.05.2017) <http://www.bilgiustam.com>

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Hasan TOPRAK

Doğum Yeri ve Tarihi : A.karıncalı – 1975

Eğitim Durumu:

Lisans Öğrenimi : Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
(Makine Eğitimi)1998

Bildiği Yabancı Diller :İngilizce

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar:

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bartın Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

İletişim

E-Posta Adresi : hasantoprak74@hotmail.com

Tarih : 14/07/2017