



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Al 6061 MATRİSLİ SiC,Al₂O₃ VE YÜKSEK FIRIN CURUFU TAKVİYELİ
HİBRİT KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

AHMET ŞANLI

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. SERKAN ATEŞ

BARTIN-2017



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Al 6061 MATRİSLİ SiC,Al₂O₃ VE YÜKSEK FIRIN CURUFU TAKVİYELİ
HİBRİT KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Ahmet ŞANLI

JÜRİ ÜYELERİ

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

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Ahmet ŞANLI tarafından hazırlanan “AL 6061 MATRİSLİ SiC,Al₂O₃ VE YÜKSEK FIRIN CURUFU TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 14.07.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Zühtü Onur PEHLİVANLI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Volkan KIRMACI

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

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

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

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “AL 6061 MATRİSLİ $\text{SiC,Al}_2\text{O}_3$ VE YÜKSEK FIRIN CURUFU TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

İmza

13.07.2017

Ahmet ŞANLI

ÖNSÖZ

Birbiri içerisinde çözünmeyen iki malzemenin en iyi özelliklerinin toplamından daha iyi mekanik ve fiziksel özellikleri bünyesinde barındırması amacıyla üretilen yeni birleşik malzemelere kompozit malzemeler adı verilir. Kompozit malzemelerde ana ve miktarca çok olan faza matris fazı, tali ve miktarca az olan faza ise takviye fazı adı verilir. Kompozit malzeme üretilirken birden çok takviye malzemesi kullanıldığında bu kompozitlere hibrit kompozit denir.

Ülkeler endüstriyel yönden hızlı ve büyük bir gelişim içerisinde. Bu büyük gelişim insanlık açısından olağanüstü bir öneme sahiptir. Endüstriyel gelişimin yararlarının yanı sıra şüphesiz ki bir takım olumsuz getirileri de göz ardı edilemez bir gerçektir. Endüstriyel gelişimin insanlık ve çevre için olumsuz getirilerinin başında atık maddeler bulunmaktadır. Bu atık maddelerin faydalı geri dönüşüm mekanizmaları ile tekrar kullanılması hem çevresel korunum yönünden hem de ekonomik kazanım yönünden çok büyük öneme sahiptir (Beycioğlu vd., 2008).

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.

Ülkemizde de değerlendirilmeyen yüksek fırın cüruflarının genellikle demir çelik fabrikalarından oldukça uzak bir yere taşınması gerekmektedir. Depolama sırasında işletmelere yüklenen ek taşıma masrafı ve taşıma sisteminde oluşabilecek arızalar nedeniyle demir çelik fabrikalarının zaman zaman düşük kapasiteyle çalışması üretimde de kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle yüksek fırın cüruflarının metal matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği bizim araştırma konumuzu teşkil etmektedir.

Çalışmamızda Alüminyum matrisli kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılmakta olan seramiklerin başında yer alan SiC ve Al₂O₃'e alternatif olabilecek yüksek fırın cürufları toz haline getirilerek kompozit üretiminde takviye elemanı olarak kullanılmıştır. 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. Makine parçalarının kullanım esnasında maruz kaldıkları yorulmaların belirlenmesi neredeyse imkansız olduğundan, bu parçaların üretiminde kullanılan malzemelerin yorulma dayanımları ve buna bağlı olarak ömürlerinin belirlenmesi gerekir.

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.

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 yüksek fırın curufu toz haline getirilerek takviye elemanı olarak kullanılması ile üretilen kompozitlerin mikroyapıları elektron mikroskobu ile görüntülenmiş ve porozite, sertlik, yorulma dayanımı değerleri belirlenerek yüksek fırın cürufunun metal matrisli hibrit kompozit üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılabilirliği deneysel olarak ortaya koyulmuştur.

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

Destegini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Hacer ŞANLI'ya ve oğullarım B.Taha ve A.Kaan'a sevgilerimi sunarım.

Ahmet ŞANLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Al 6061 MATRİSLİ SiC,Al₂O₃ VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU TAKVİYELİ HİBRİT KOMPOZİTLERİN YORULMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ahmet ŞANLI

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Serkan ATEŞ

Bartın - 2017, sayfa: XVII+ 67

Çalışmamızda matris malzemesi olarak Al6061 alaşımı, geleneksel takviye elemanlarından otomotiv endüstrisinde sıklıkla kullanılan SiC ve Al₂O₃ seramikleri ve atık takviye malzemesi olarak ise yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu demir çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Demir üretiminde hammadde olarak demir cevheri, kireç taşı ve kok kömürü kullanılmaktadır. Yüksek fırındaki 1600°C sıcaklığa ulaşan işlem sonucu bu maddeler ayrışır. Yüksek sıcaklık sonucu ergiyen malzemelerden yoğunluğu fazla olan pik demir fırının alt kısmında, yoğunluğu az olan cüruf ise fırının üst kısmında toplanır. Ergimiş cüruf ve pik demir ayrı ayrı tahliye edilir. Toplanan cüruflar bilyalı değirmende toz haline getirilmiş ve toz büyüklüklerine göre ayrıldıktan sonra 22-59µm toz boyutuna sahip olanlar metal matrisli kompozit üretiminde takviye elemanı olarak kullanılmıştır. 22-59µm toz boyutuna sahip olan SiC ve Al₂O₃ seramikleri de piyasadan temin edilmiştir. Geleneksel ve atık takviye malzemeleri kullanılarak tekli kompozitler ile ikili ve üçlü hibrit kompozitler üretilmiştir.

Tekli kompozitler ve hibrit kompozitler sıvı hal üretim yöntemlerinden olan iki kademeli karıştırmalı 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 9 farklı gerilme değerinde numuneler kopuncaya kadar çevrim sayıları ölçülmüştür. Her numuneden 3'er adet üretilerek porozite miktarları ve Brinell sertlik değerleri belirlenmiştir. Bu sayede ölçümlerin güvenilirliği arttırılmıştır. Yapılan porozite ölçümlerinde yüksek fırın curufu tozu takviyeli tekli kompozit malzemelerde SiC ve Al₂O₃ takviyelerinden daha fazla porozite oluştuğu 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 yüksek fırın cürufu tozunun da kompozitin sertlik değerini arttırmada neredeyse SiC ve Al₂O₃ kadar etkili olabildiği belirlenmiştir. Tekli kompozit ile ikili ve üçlü hibrit kompozit üretiminde takviye elemanı olarak kullandığımız yüksek fırın curufu tozu, Al6061'in yorulma dayanımını, takviyenin ağırlıkça %11 oranına kadar arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler

Alüminyum matrisli kompozit, yüksek fırın curufu tozu, yorulma

Bilim Kodu

625.02.05

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Al 6061 INVESTIGATION OF FATIGUE BEHAVIORS OF MATRIXED SiC, Al₂O₃ AND HIGH FURNACE DRUG REINFORCED HYBRID COMPOSITES

Ahmet ŞANLI

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Serkan ATEŞ

Bartın-2017, pp: XVII + 67

In this study Al6061 alloy as matrix material, SiC and Al₂O₃ ceramics which are frequently used in automotive industry as traditional reinforcements and blast furnace slag as waste reinforcement material. Blast furnace slag is a side product that is turned on during iron production in blast furnaces in iron and steel plants. Iron ore, limestone and coke are used as raw materials in demi production. These processed materials, which have reached the high temperature of 1600°C in the high-temperature furnace, decompose. At the bottom of the pig iron furnace, where the density is higher than that of the high-temperature-ending melts, the less dense slag is collected at the top of the furnace. Molten slag and pig iron are separately evacuated. The collected slags were converted into powder by ball mill and after separation according to their powder sizes, those with a size of 22-59µm powder were used as reinforcement elements in metal matrix composite production. SiC and Al₂O₃ ceramics with a powder size of 22-59µm were also supplied from the market. Dual and triple hybrid composites were produced with single composites by using traditional and waste reinforcement materials.

onolithic composites and hybrid composites were produced using the two-stage mixing casting method, which is liquid state production methods. In this method, the Al6061 alloy is first heated to 700°C, then the alloy temperature is lowered to 600°C and the alloy,

which is semi-solid at this temperature, is preheated to 250°C and added by hand. The alloy is then superheated and the temperature of the alloy is increased to 800 ° C and at this temperature 250deg / min. The alloy was mechanically mixed for 10 minutes at speed. Nitrogen gas was used as the 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 investigated by scanning electron microscopy. The porosity values obtained from EDS analyzes were calculated with Archimedes principle and the hardnesses were determined by Brinell hardness measurement method. For the fatigue strengths of the composites produced, the number of cycles was measured up to the breaking of the specimens at 9 different stress values using the rotary curved fatigue device. The microstructures of the produced composites were investigated by scanning electron microscopy. The porosity values obtained from EDS analyzes were calculated with Archimedes principle and the hardnesses were determined by Brinell hardness measurement method. For the fatigue strengths of the composites produced, the number of cycles was measured up to the breaking of the specimens at 9 different stress values using the rotary curved fatigue device. The porosity amounts and Brinell hardness values were determined by producing 3 pieces from each sample. In this way, the reliability of the measurements is increased. In the porosity measurements, porosity was higher in SiC and Al₂O₃ than in SiC and Al₂O₃ reinforcements in blast furnace slag reinforced single composite materials. It has been observed that as the weight ratio of the reinforcing material added to the matrix increases, the porosity value increases with it. It has been determined that the hardness of the composites increases with the increase of the weight ratio of the composites added in the hardness tests and the blast furnace slag powder is almost as effective as SiC and Al₂O₃ in increasing the hardness of the composites. The blast furnace slag we use as reinforcement element in the production of double and triple hybrid composites with monocomponent has increased the fatigue strength of Al6061 up to 11% by weight of reinforcement.

Keywords

Aluminum matrix composite, blast furnace slag, fatigue

Science Code

625.02.05

İÇİNDEKİLER

Sayfa

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.....	5
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	11
2.5.2 SiC	12
2.5.3 Yüksek Fırın Curufu	13
2.6 Kompozit Malzemelerin ve Kullanım Alanları	15
2.6.1 Havacılık Uygulamaları	15
2.6.2 Otomotiv Uygulamaları	17
2.6.3 Diğer Mühendislik Uygulamaları	18
2.7 MMK Üretim Yöntemleri.....	19
2.7.1 Karıştırılmalı Döküm Üretim Yöntemleri.....	20

BÖLÜM 3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	23
BÖLÜM 4 MATERYAL VE METOT	25
4.1 Deney Numuneleri ve Takviye Oranları.....	25
4.2 Kullanılan Ekipmanlar	25
4.2.1 Döküm Ünitesi	25
4.2.2 Bilyalı Değirmen.....	27
4.2.3 Sarsma Makinası	28
4.2.4 Hassas Kesme Cihazı	28
4.2.5 Otomatik Yüzey Hazırlama Cihazı	29
4.2.6 Sem.....	29
4.2.7 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı.....	32
4.2.8 Hassas Terazı	33
4.2.9 Yorulma Cihazı	34
BÖLÜM 5 BULGULAR VE TARTIŞMA	36
5.1 Porzite	
5.1.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	36
5.1.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi.....	37
5.1.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi	39
5.2 Sertlik.....	41
5.2.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Sertliğine Etkisi	41
5.2.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozite Sertliğine Etkisi.....	42
5.2.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozite Sertliğine Etkisi.....	44
5.3Yorulma.....	45
5.3.1 YFC'nin Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması.....	45
5.3.2 SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması	47
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.....	50
5.3.5 YFC'nin İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin	

Karşılaştırılması.....	52
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 YFC'nin , SiC ve Al ₂ O ₃ 'ün Üçlü Hibrit KompozitlerinYorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması.....	57
5.3.9 YFC'nin Üçlü Hibrit KompozitlerinYorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması.....	59
 BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
 KAYNAKLAR	63
 ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Al_2O_3 'ün SEM görüntüsü	12
2. SiC'ün SEM görüntüsü.....	13
3. Yüksek fırın cürufunun SEM görüntüsü	14
4. Yüksek fırın cürufunun EDS analizi.....	14
5. Karıştırılmalı döküm ünitesi.....	26
6. Döküme hazır olan bir kum kalıbın kesiti ve döküm görüntüsü.....	26
7. Kompozit üretim yöntemi ve aşamaları	27
8. Bilyalı değirmen ve yüksek fırın curufu	27
9. Sarsma makinası.....	28
10. Hassas kesme cihazı	28
11. Otomatik yüzey hazırlama cihazı.....	29
12. FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskopu	30
13. Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüleri	30
14. Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüleri.....	31
15. Üretilen numunelere ait EDS analizleri	31
16. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi.....	32
17. Brinell sertlik ölçüm cihazı	33
18. Hassas terazi.....	34
19. Dönel Eğilmeli Yorulma cihazı ve yorulma numunesi.....	35
20. Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.	37
21. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi	38
22. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi	40
23. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.....	42
24. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.....	43
25. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi	45
26. Yüksek fırın cürufunun kompozitin yorulmasına etkisinin karşılaştırılması.....	46
27. SiC'ün ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi.....	48
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. Yüksek fırın curufunun 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.	YFC'nun, SiC ve Al ₂ O ₃ 'in üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi	59
34.	YFC'nun üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi	61



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1. Temel alüminyum alaşımlarının gösterilmesi.....	7
2. Al 6061 kimyasal bileşimi	8
3. Al 6061 mekanik özellikleri.....	9
4. Çeşitli seramiklere ait özellikler.....	11
5. %85,0-99,7 saflıkta aluminaların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	12
6. Havacılık uygulamaları için metel matris uygulamaları	16
7. Alüminyum matris kompozitleri üreten üreticiler.....	18
8. Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi	36
9. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozite etki değerleri	38
10. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etki değerleri	40
11. Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri	41
12. Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri	43
13. Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etki değerleri.....	44
14. Üretilen kompozitlerin takviye oranları	46
15. Üretilen kompozitlerin çevrim sayısı.....	46
16. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin takviye oranları.....	47
17. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.....	48
18. Üretilen kompozitlerin takviye oranları	49
19. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı	49
20. İkili hibrit kompozitin Takviye oranları.....	51
21. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.....	51
22. Üretilen kompozitlerin takviye oranları	53
23. Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.....	53
24. Üretilen hibrit kompozitlerin takviye oranları	55
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	60
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)
MM	:	Matris malzemeler
TM	:	Toz Metalurji
Al	:	Alüminyum
YFC	:	Yüksek fırın curufu
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

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 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).

Günümüzde teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, geleneksel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle sürekli olarak gelişen bu 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).

Günümüzde 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 yaygınlığının artmaktadır (Ramesh, 2005; Stubbington, 1988).

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 yüksek fırın curufu 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 yüksek fırın curufunun

takviye malzemesi olarak kullanıldığı hiçbir çalışma daha önce yapılmamıştır. Ayrıca çalışmamızda yüksek fırın cürufu tozu, SiC ve Al₂O₃ birlikte kullanılarak yeni ikili ve üçlü hibrit kompozitler de üretilmiştir.

Çalışmamızda iki kademeli karıştırmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde matris malzemesi öncelikle ergime sıcaklığının yaklaşık 50°C üstünde bir sıcaklığa çıkartılmış, daha sonra matrisin sıcaklığı matris yarı katı hale gelinceye kadar düşürülmüştür. Bu sıcaklıkta önceden ısıtılmış olan takviye malzemesi matrise ilave edilerek elle karıştırılmış daha sonra matrisin sıcaklığı ergime noktasının yaklaşık 150°C üstüne çıkarılarak (süper ısıtma) 10 dakika süreyle mekanik karıştırma işlemi yapılmıştır. Elde edilen karışım önceden ısıtılmış olan metal kalıplara dökülerek kompozitler üretilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, yüksek fırın cürufu 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

Metaller yüzyıllardır insanoğluna hizmet etmişler ve edegelmektedirler. Fakat kendilerine ait fiziksel, kimyasal, elektriksel ve mekaniksel özellikleri sebebiyle üzerinde oynama yapamadan kullanmak zorunda kalmışlardır. Geçen yüzyılın başlarında plastiklerin ortaya çıkması metallerin sınırlı kullanımını kırmış yeni bir çağ açmıştır. Öyleki: 1928 yılında Du Pont, Wallace Carothers poliamidi bulduğu zaman metallerin işi bitti manasına “Nylon” ismini koymuşlardır. Daha sonraları seramiklerin kullanımı ve yeni malzeme arayışları devam etmiştir. Böylece 1970’li yıllara kadar metaller, plastikler ve seramikler en önemli mühendislik malzemeleri olarak süregelmişlerdir. Geleneksel malzemelerin gelişen teknolojinin yeni ihtiyaçlarına cevap verememesi ve değişik sektörlerde (uçak, ağır sanayi, deniz altı sistemleri ve otomotiv endüstrisi) daha hafif daha dayanıklı yeni malzemelere olan ihtiyacın artması nedeniyle yeni malzeme türleri arayışı geçen yüzyılın ortalarından itibaren kompozit malzemelerin doğuşuna neden olmuştur.

Kompozitler, iki veya daha fazla farklı malzemenin en iyi özelliklerinin tek bir malzemede bir araya getirilmesi amacıyla (makro düzeyde birleştirilmesi) oluşturulan malzemelerdir. Kompozit, karışım anlamına gelmektedir (Şahin, 2000). 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, 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).

Çinlilerin yapılarında balmumu kullandıkları bilinmektedir. Bu ise elyaf takviyeli kompozitlere güzel bir örnektir. Arkeologlar, M.Ö. 2800 yıllarında Mısırda lamine edilmiş tahta plakalar bulmuşlardır. Orta doğuda ok yaylarının üst üste konan malzemelerle yapılarak daha fazla eğilme dayanımı sağlandığı bilinmektedir. Anadolu'da Türklerin ise saman ve çamuru karıştırarak kerpiç yapmaları yine kompozitlere örnektir (Güven, 1990).

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 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).

2.3 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin özelliklerinden Dayanımı, Korozyon direnci, Aşınma direnci, Estetik özeliği, Ağırlık, Yorulma ömrü, Sıcaklığa bağlı davranışı, Isı yalıtımı, termal iletkenlik ses yalıtımında iyileştirme yapılabilir.

Kompozit malzemelerin dezavantajları göz önüne alındığı takdirde en büyük dezavantajı diğer malzemelere oranla daha pahalı olmasıdır. Bu malzemelerde avantaj olarak değerlendirilecek fakat dezavantaj olabilecek diğer bir durum da anizotropi gösteren malzemelerin dizaynı ve kullanılmalarında gösterdiği karmaşıklık ve kısıtlamalar olabilmektedirler.

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 kritik görevleri de vardır. Birçok takviye elemanı gevrek veya kırılabilirler. 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; Demirkesen, 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. ve Eker, 2009).

Alüminyum alaşımlarının özellikleri takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, 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 ısıl işlemler yapılabilir ve çok çeşitli alüminyum alaşımları matris malzemesi olarak seçilebilir. Dövme alaşımlarından 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi gibi ısıl işlemle 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 alüminyumu (%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 magnezyumun tarafından alaşıma kazandırılan özelliklerdendir. Ayrıca kaynak kabiliyetini artırır. % 8 den fazla Mg içeren Al-Mg alaşımlarının mekanik özellikleri ısıtılma ile geliştirilebilir ve ayrıca dövme alaşımlarında % 1-6 Mg şekil verme kolaylığı için kullanılır. Son olarak da magnezyum Al-Si alaşımlarına da ısıtılma 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 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 tutulabilen önemli alaşımlardandır. Lityum, birincil alaşım elementi olarak ilave edildiğinde alaşımın yoğunluğunu düşürür ve elastik modülünü 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.

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

•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, 1991) Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Al 6061 fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özgül 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.

Uygulama alanları; Motorlar, Spor malzemelerinin üretimi (kayak, tenis raketleri), Dişli çarklar, Özel takımlar, Kamyon yaprak yayları, Karoseri elemanları, Boru tesisatları, Depolar, Yapı işler, Deniz araçları yapımında, Elektrik kontak malzemeleri, Nükleer reaktörler, Sürünme dirençli manyetik malzemeler, Batarya ızgaraları, Elektrik elemanları, ısıtıcılarıdır.

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

Al 6061 ısıl işlenebilir, 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 vd, 2009).

2.5 Takviye Malzemeleri

Bir kompozit malzemedeki takviye elemanının en önemli görevi; matris içerisinde tekdüze olarak dağılıp, matrisin maruz kaldığı gerilmeleri destekleyerek kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktır (Akın, 2007). 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. Ara yüzeyde partikül dağılımının homojen olması için, partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin 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 hareketlerine 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 kullandığımız seramik takviye malzemeleri

2.5.1 Al₂O₃

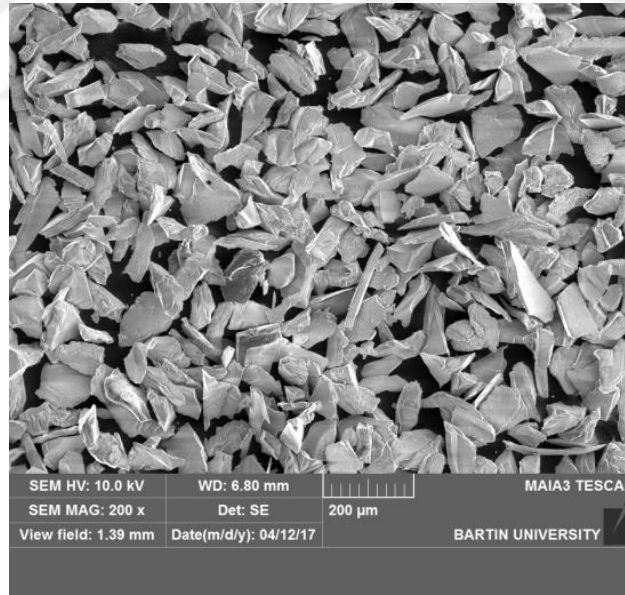
Alüminyum alaşımlarına Al₂O₃, SiC, SiO₂, gibi seramik partiküllerin ilavesiyle üretilen kompozit malzemelerin özellikle aşınma dayanımlarının arttığı bilinmektedir. Ayrıca sürtünme çiftlerinin aşınma mukavemetlerinin artırılması ve kompozitlerin özelliklerinden yararlanma çalışmalarının sistematik şekilde yürütülmesi gerekmektedir. (Atık, 1994; Mutlu, 2012).

Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modül ve rijitlik, takviye elemanı olarak kullanılmasının en önemli nedenlerindendir (Onat, 2015). %85,0-99,7 saflıkta alüminaların 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.



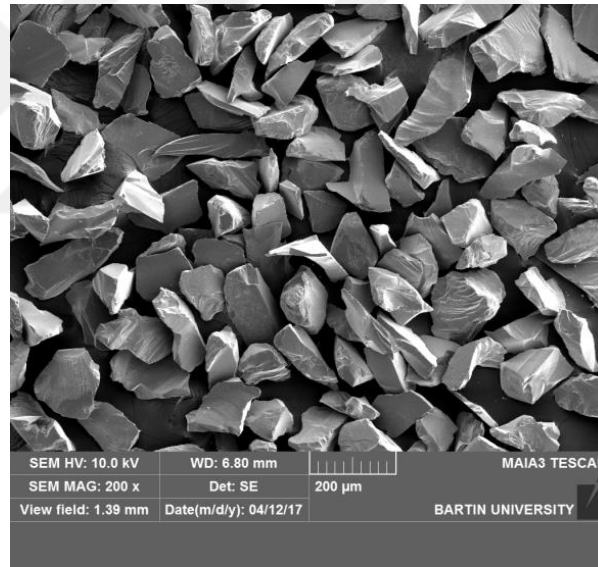
Şekil 1: Al_2O_3 'in SEM görüntüsü.

2.5.2 SiC

Silisyum karbür (SiC), yüksek sıcaklıklarda ulaştığı, iyi mekanik özelliklerle ileri teknoloji seramiklerinin en önemlileri arasında yerini almış bir malzemedir. SiC, düşük termal

iletkenliğe, düşük termal genleşme katsayısına, yüksek termal şok dayanımına sahip, sert, yarı iletken ve elmastan daha büyük refraktif indeks değerine sahip bir malzemedir. Aşındırıcı bir toz olarak, aşındırıcı takım malzemelerinde ve parlatma işlemlerinde kullanılmaktadır. Silisyum karbür elmas ve bor karbürden daha düşük sertliğe sahip olmakla beraber, çok geniş bir biçimde metal dışı malzemelerin öğütülmesinde, sert malzemelerin son işleme kademelerinde ve seramik parçalarda üretim maliyetinin önemli olduğu zamanlarda dolgu olarak kullanılır. Bunların dışında, seramik kaplamalarda, aşınma bileşenlerinde, ısıtma elemanlarında, kaplanmış aşındırıcılarda, seramik pompalarda, seramik ve metal matriks kompozitlerde, seramik conta ve halkalarda ve hafıza disklerinde kullanılmaktadır (Bakar, 2009).

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



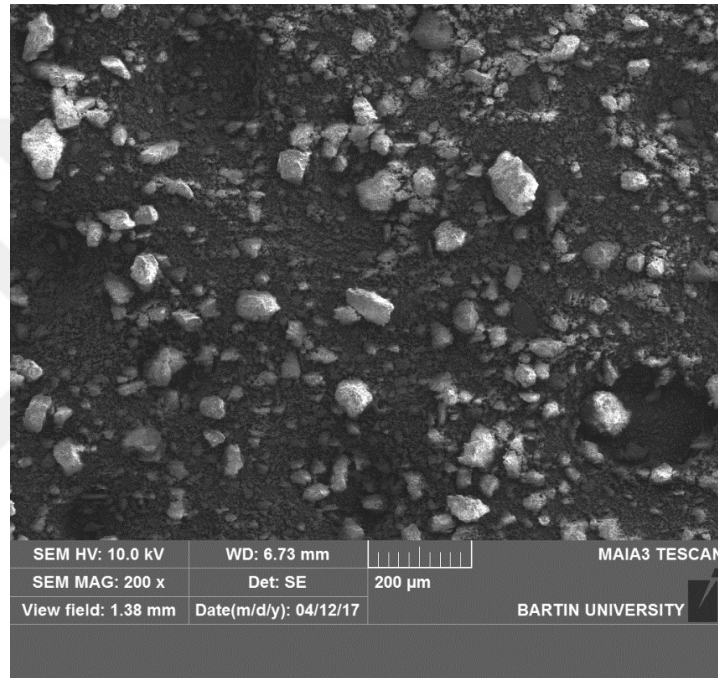
Şekil 2: SiC'ün SEM görüntüsü.

2.5.3 Yüksek Fırın Curufu

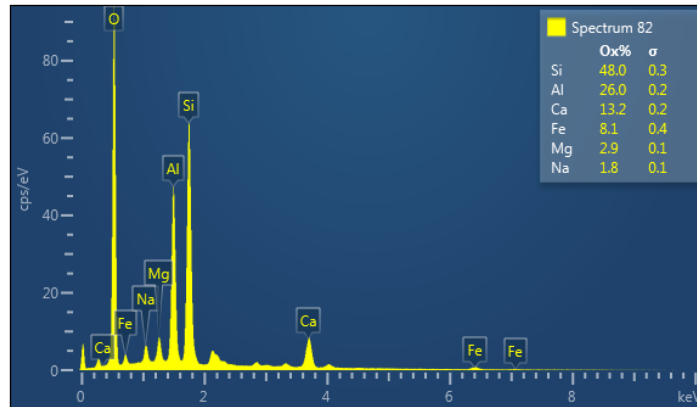
(YFC); demir-çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Demir üretiminde hammadde olarak demir cevheri, kireçtaşı ve kok kömürü kullanılmaktadır. Demir cevheri demir oksit ile birlikte silis, kükürt ve alümin gibi demir dışı maddeleri de içermektedir. Yüksek fırındaki işlem sonucu bu maddeler ayrışır. Kireçtaşı bu süreçte yardımcı bir hammadde olarak görev yapar. Kok kömürü ise gerekli

olan yakıtı sağlar. Hammaddelerle sürekli olarak beslenen yüksek fırınlarda sıcaklık 1600 °C'lere ulaşmaktadır. Yüksek sıcaklık sonucu ergiyen malzemeler üstte cüruf ve altta pik demir olacak şekilde fırının alt kısmında toplanır. Ergimiş cüruf ve demir ayrı ayrı tahliye edilir.

Kompozit ve Hibrit kompozit üretiminde kullanılan yüksek fırın cürufunun elektromikroskop görüntüsü Şekil 3'de, Bartın Üniversitesi'nde yapılan EDS görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir



Şekil 3: Yüksek fırın cürufunun elektromikroskop görüntüsü.



Şekil 4: Yüksek fırın cürufunun EDS analiz görüntüsü.

2.6 Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Malzemenin geri dönüşümü açısından bakıldığında alüminyum eşsiz bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Malzemenin kalitesi bozulmadan alüminyumun geri dönüşümü başarıyla sağlanmaktadır. Alüminyumun hurda değeri bu anlamda oldukça yüksektir. Otomobillerde kullanılan alüminyumun %95'i hurda alüminyumdan yeniden dönüştürülerek imal edilebilmektedir. Alüminyum birçok otomobil parçası için en ekonomik malzeme konumundadır. Çevreye duyarlı bir otomobil geliştirmek için daha üretim aşamasında otomobil üreticileri, üretim maliyetinde sağladığı avantajlar ve müşterilerinin yakıt tasarrufunu göz önüne alarak alüminyum kullanmaktadır. Otomobil üreticileri ile alüminyum imalatçıları otomobillerde alüminyum parçaların daha fazla yer alması için halen yakın işbirliği halinde çalışmaktadırlar. Önümüzdeki 10 yıl içinde otomobillerde kullanılan alüminyum miktarının 2 katına çıkacağı tahmin edilmektedir. Alüminyum, 21. yüzyılın çevreyle dost arabaları için daha çok tercih edilen malzeme olacaktır. 1970'lerde başlayan enerji krizi ile birlikte araçların hafifleştirilmesi yönünde bir eğilim olmuştur. 1980'lerde ise daha yüksek performans, daha fazla sürüş konforu, daha fazla emniyet ve kolay bakım imkanı sağlayan arabalara doğru bir trend izlenmiştir. Sonuç olarak artan çevre bilinci ve otomobillerin ağırlığı bir çatışmaya girmiş ve otomotiv endüstrisi, otomobillerin ağırlığının azaltılması gerekliliğini öncelikler listesinde ilk sıraya almıştır. Otomotiv endüstrisinde alüminyum, ağırlığın azaltılması çalışmaları için kullanılan malzemelerin başında gelmektedir. Örneğin; bir Avrupa menşeli otomobilde kullanılan alüminyum miktarı 65 kg'dır ve otomobil uygulamalarında alüminyum kullanımı her yıl %4 büyümektedir. Bu gelişmelere örnek olarak İskandinavya'da Volvo'nun 140 kg alüminyum içeren modelleri üretilmiş, Almanya'da ise Audi, 1994 yılında tamamı alüminyumdan imal edilmiş A8 modelini yapmıştır (Özcömert, 2006).

2.6.1 Havacılık Uygulamaları

Havacılık uygulamalarında MMK kullanılmıştır. Kullanım alanları tablo 6'da verilmiştir.

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

Matris	Takviye	Muhtemel Uygulamalar
Alüminyum Magnezyum Kurşun Bakır	Grafit	Uydu, roket ve helikopter parçaları Uzay ve uydu parçaları Akümülatör klışeleri 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 klışeleri Helikopter iletim yapıları
Alüminyum Titanyum Co'lı süper alşım.	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 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 matris kompozitler füze kanatlarında kullanılmaktadır. Bu sayede füzenin ağırlığı azaltılabilmekte ve aynı miktarda yakıt kullanılarak menzil arttırılabilmektedir. 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 taarruz 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 vd., 1987). Alüminyum matris kompozitleri üreten üreticiler Tablo 7’de verilmiştir.

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

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 kompozitleri 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 oksidasyon, Ekzotermik reaksiyon
- Sıvı hal üretim yöntemleri; İnfiltrasyon, Sıkıştırılmalı döküm, Karma döküm, Yarı katı döküm, Karıştırılmalı döküm, Püskürtme çökmesi (Şahin, 2000).

Metal matrisli kompozit üretiminde hangi yöntem ile üretim yapılacağının 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, yarı katı veya getirilen matrise 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,
- Sıvı matrise elle veya mekanik karıştırma esnasında partikül halindeki takviye elemanlarının ilave edilmesi,
- Likidüs eğrisinin üstünde bir sıcaklığa ısıtılarak sıvı faza geçirilen matrisin kalıp içerisine doldurulması esnasında 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 viskoziteye sahip karışım doğrudan basit kütük şeklinde dökülebilir. Compocasting

yönteminde ise mekanik karıştırma ve takviye elemanı ilavesi işlemi matris sıcaklığı solidüs ve likidüs eğrileri arasından, liküdüs 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).



BÖLÜM 3

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

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.

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 gözeneklilik boyut etkisi nedeniyle sınırlı olduğu tespit edilmiştir.

Tan, (2013). Araştırmasında ticari saflıkta (%99,97) alüminyum, yüksek saflıkta (%99,99) çinko ve alüminyum-bakır (Al-50Cu) alaşımı ergitme işlemi yaparak Al-25Zn-3Cu ikil hibrit kompozit üretimi yapmış ticari olarak satılan Al-12Si alaşımıyla yorulma dayanımını karşılaştırmış, Al-25Zn-3Cu kompozitin yorulma dayanımını Al-12Si alaşımına göre yüksek çıktığını görmüştür.

Türker vd. (1999). Al ve SiC tozlardan mekanik alaşımlama tekniği ile daha küçük tane yapılı ve daha dayanıklı kompozit malzeme üretimini araştırmışlardır. Tozlar 1300 dev/dak da açık atmosferli ve su soğutmalı olarak 0.5, 1, 2.5, 5 ve 10 saat MA işlemine tabi tutulmuştur. Alaşımlama zamanı arttıkça toz boyutu küçülmüş ve sertlik artmıştır. Son olarak sertlik 62 HV olmuştur. MA tekniği ile daha küçük tane yapılı, ince parçacık dağılımlı ve daha dayanıklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. ince dağılımlı parçacıklarla kontrol edilen küçük tane yapısı yardımıyla sıcaklık dayanımında, toklukta, korozyon ve yorulma dayanımında iyileşmeler görülmüştür.

Önal, 2010. Konvansiyonel sıcak presleme yöntemi kullanılarak yerinde reaksiyonlarla Al/Al₂O₃ ve Al/Al₂O₃-TiC kompozitler üretmiş. Üretim işleminde uygulanan basınç, sinterleme süresi, sıcaklık, ısıtma ve soğutma hızları üretim parametrelerini almıştır. Buradan elde edilen sonuçlara dayanarak üretilen kompozit malzemelerin içyapı ve oluşum mekanizmaları incelenmiş. Al esaslı kompozitlere sertlik testleri yapılarak kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiş. Al₂O₃ ve TiC seramik fazları başarılı bir şekilde sentezlendiğini. kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini artırdığını görmüştür.

Literatür araştırmalarında geleneksel takviye malzemesi olarak Al₂O₃ ve SiC vb. kullanılmış genellikle sertlik kontrolleri yapılmış, Metal matris kompozit üretiminde Atık bir malzemeyi takviye malzemesi olarak kullanılmamış ve yorulma davranışları incelenmemiştir. Çalışmamızda atık malzeme olarak yüksek fırın cürufu kullanarak takviyenin Al6061 malzemesinin yorulmaya etkisini inceledik.

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 ölçümleri için 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

4.2.1 Döküm Ünitesi

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. Karıştırmalı döküm ünitesinin görüntüsü Şekil 5'de verilmiştir.



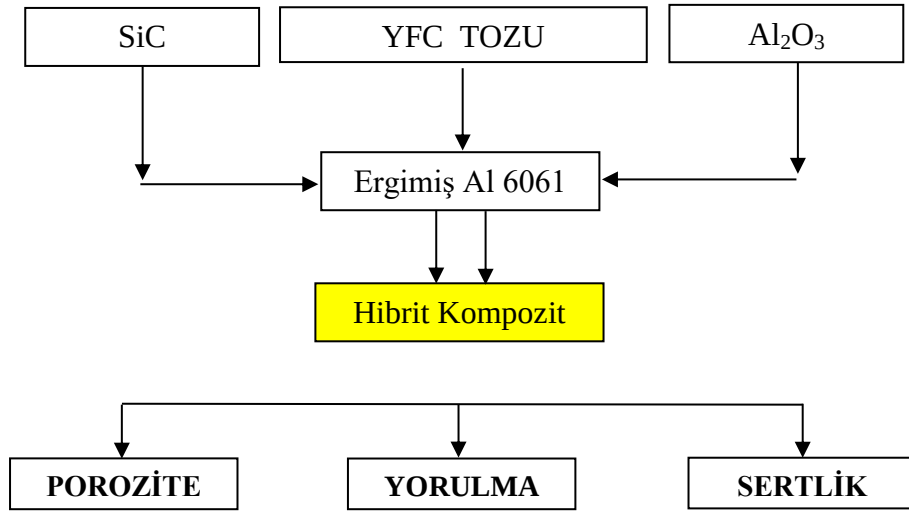
Şekil 5: Karıştırmalı döküm ünitesi.

Matrise takviye elemanları ilave edilip 10 dakika süreyle karıştırıldıktan sonra, pota fırın içerisinde 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, içerisinde kompozitler çıkarılmıştır. Aynı anda kullanılan potanın kapasitesiyle orantılı olarak 2 metal kalıba döküm yapılmıştır. Döküme hazır olan bir kalıbın kesiti ve döküm görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.



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

Çalışmamızda kullanacağımız tekli kompozit ile ikili ve üçlü hibrit kompozitlerin üretimin aşamaları aşağıdaki Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7: Kompozit üretim yöntemi ve aşamaları.

4.2.2 Bilyalı Değirmen

Kompozit ve hibrit kompozit üretiminde kullanılan yüksek fırın curufu tozu üretimi bilyalı değirmende gerçekleştirilmiştir. Yüksek fırın curufu 3 saat boyunca öğütülmüş toz haline getirilmiştir. Bilyalı değirmen ve yüksek fırın curufu tozu Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8: Bilyalı değirmen ve yüksek fırın curufu tozu.

4.2.2 Sarsma Makinası

Bilyalı değirmende öğütölmüş Bilyalı değirmen ve yüksek fırın curufu tozu. sarsma makinasına yerleştirilen elek setinden geçirilerek, çalışmada kullanılacak olan 22-59 μm tane aralığında olanlar takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Sarsma makinası Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: Sarsma makinası.

4.2.3 Hassas Kesme Cihazı

Üretilen tekli kompozitler ve hibrit kompozitler sertlik ölçümleri, mikro yapı 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.

4.2.4 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.

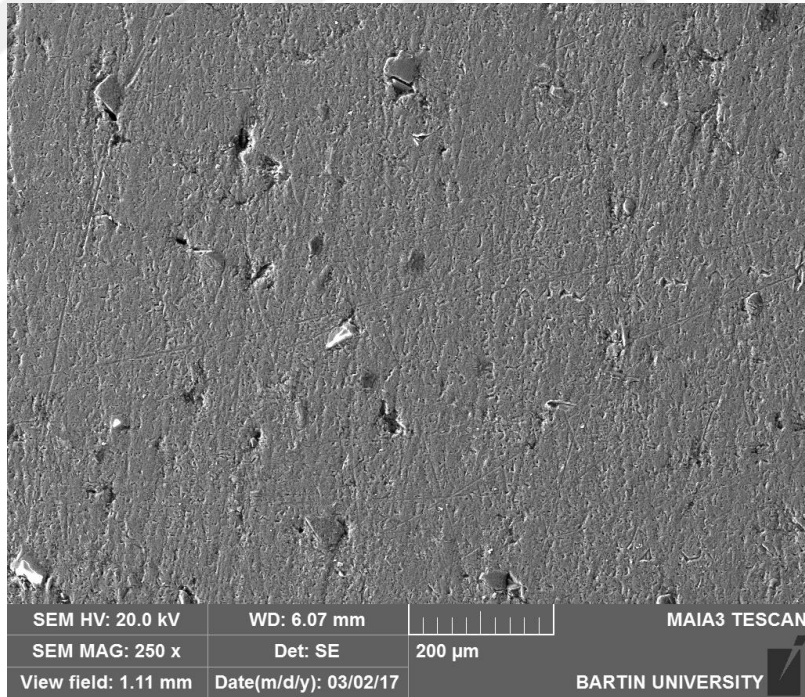
4.2.5 SEM

Mikroyapı görüntüleri için 1000000 kat büyültme özelliğine sahip FEI Quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu kullanılmıştır elektron mikroskobu Şekil 12’de verilmiştir.

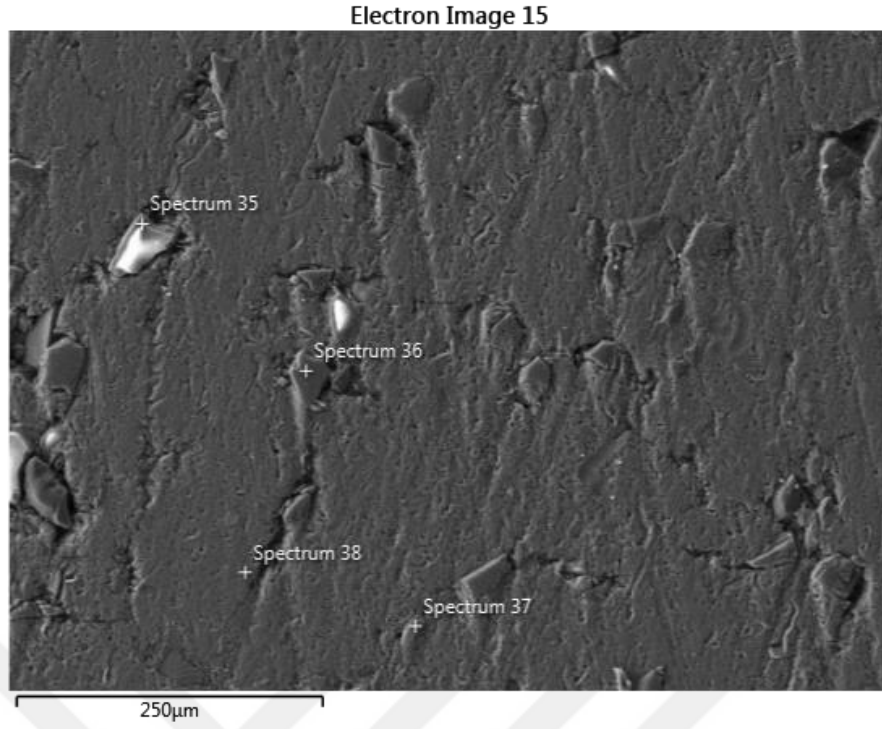


Şekil 12: FEI quanta FEG 450 marka elektron mikroskobu.

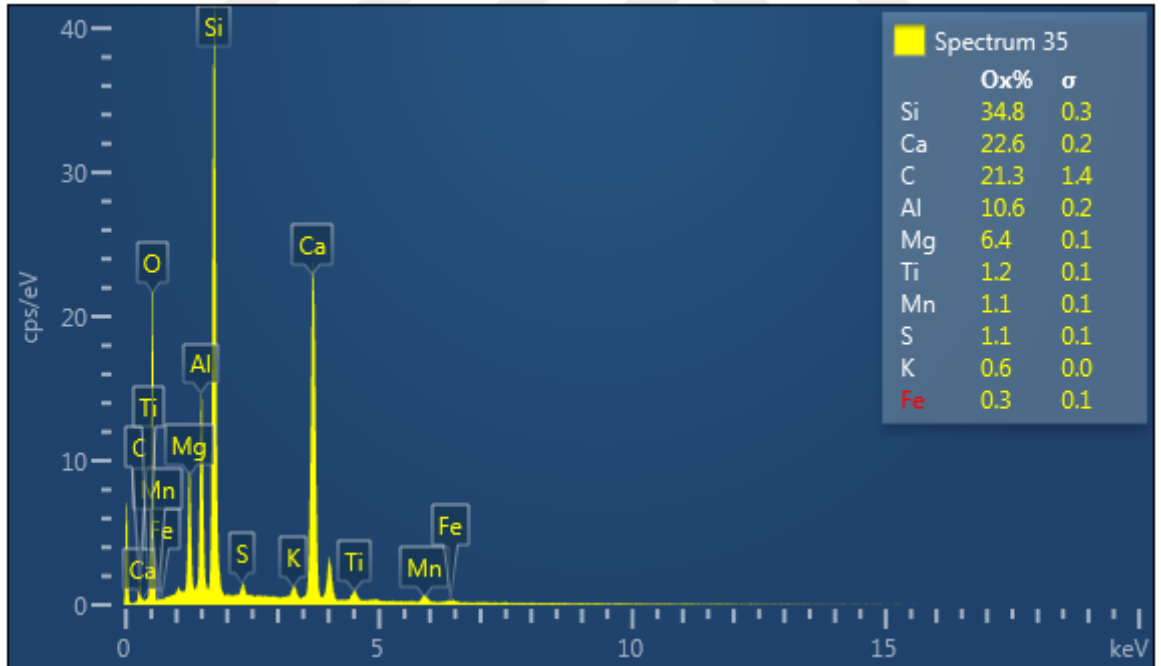
Yüksek fırın curufu, SiC ve Al₂O₃ takviyeli üretilen numuneler mikro yapılar incelendiğinde aglomera(topaklanmalar) olduğu görülmüş bununda yapılarda takviye elemanlarının yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüleri şekil 13 ve şekil 14’de verilmiştir. Üretilen numunelere ait EDS analizleri de gerçekleştirilmiş Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 13: Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüsü.



Şekil 14: Hibrit kompozite ait mikro yapı görüntüsü.

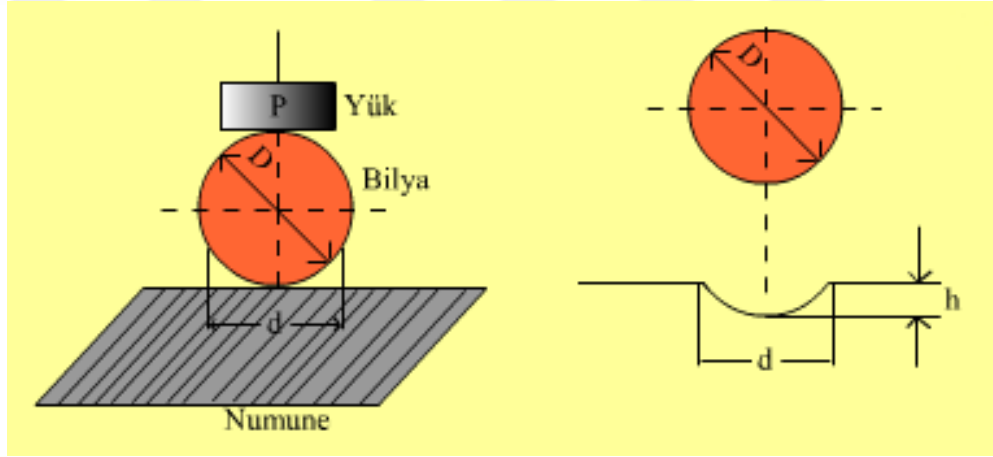


Şekil 15: Üretilen numunelere ait EDS analizleri.

4.2.6 Brinell Sertlik Ölçüm Cihazı

Sertlik izafi bir ölçü olup malzemelerin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence denir. Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçmelerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı göstermiş olduğu dirençtir.

Brinell sertlik deneyi malzeme yüzeyine belirli bir yükün (F') belirli bir çaptaki (D) sert malzemedan 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. Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16: Brinell sertlik deneyinin şematik gösterimi.

Brinell sertlik değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

(1)

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

Bağıntısıyla 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) Çalışmamızda kullanılan Brinell sertlik ölçüm cihazı. Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17: Brinell sertlik ölçüm cihazı.

4.2.7 Hassas Terazî

Kompozitin gerçek yoğunluğu 0,0001 hassasiyete sahip hassas terazî 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 yüksek fırın curufunun yoğunluğu göz önüne alınarak kompozitlerin teorik yoğunlukları hesaplandı.

$$\rho_{teorik} = \frac{m}{v} \quad (2)$$

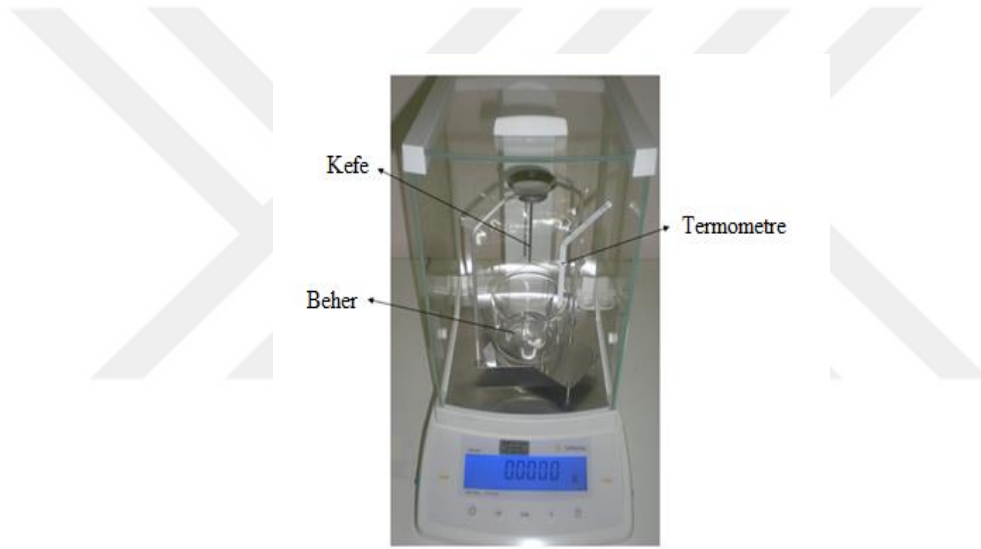
$$\rho_{deneyisel} = \frac{G(havada)}{G(havada) - G(suda)} \cdot f$$

Teorik yoğunluk ile gerçek yoğunluk farkından numunelerin porozite oranları;

(3)

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

formülü ile hesaplanmıştır. Şekil 18'de hassas terazinin şekli verilmiştir.



Şekil 18: Hassas terazi.

4.2.8 Yorulma Cihazı

Yorulma kelimesi genel olarak malzemelerin statik gerilme ve uzamalar altındaki davranışlarından farklı olarak, değişken gerilme veya uzamaların söz konusu olduğu durumlarda gösterdiği davranışlarını belirtmek üzere kullanılmaktadır. “Bazı nokta veya noktalardaki tekrarlı gerilme veya uzama şartlarına maruz malzemelerde görülen, yeterli bir tekrar sayısından sonra çatlakların büyümesine veya tamamen kırılmasına sebep olan lokalize sürekli gelişen kalıcı yapı değişikliği olayıdır (Değer, 1995; Er, 2006’dan).

Yorulma dayanımına malzemenin şekli, hazırlanan yorulma numunesinin yüzey kalitesi ve numuneye uygulanacak kuvvet etkindir (Saka, 1993)

Deneylerde kullanılan dönel eğilmeli yorulma cihazı ve çalışmamızda kullanılan yorulma numunesi şekil 19’da gösterilmiştir.



şekil 19: Dönel eğilmeli yorulma cihazı ve yorulma numunesi.

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Porozite

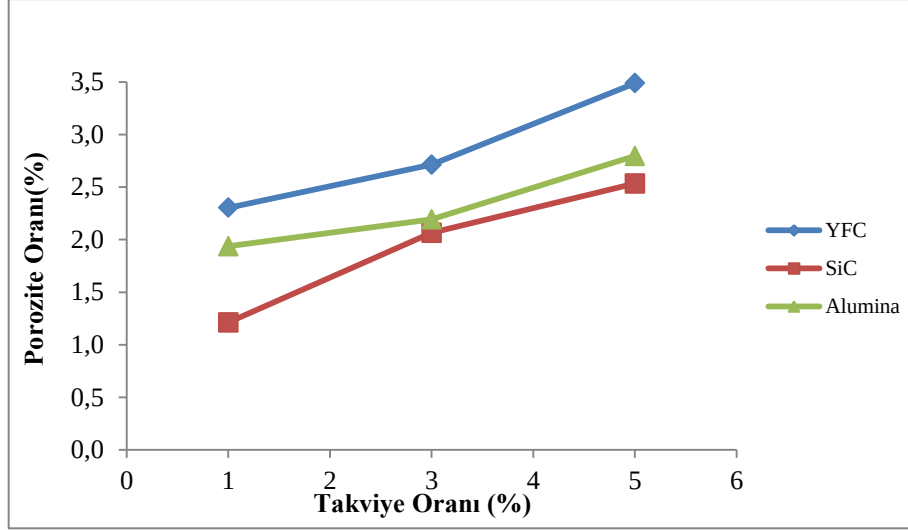
5.1.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Porozitesine Etkisi

Yüksek fırın curufu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi Tablo.8’de gösterilmektedir.

Tablo 8: Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.

Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik Yoğunluk	Deneyisel Yoğunluk	Gözeneklilik
1	99	1	0	0	2,7184	2,6558	2,3028
2	97	3	0	0	2,7152	2,6415	2,7136
3	95	5	0	0	2,7120	2,6174	3,4877
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

Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi Şekil 20’de gösterilmektedir.



Şekil 20: Takviye elemanlarının kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen tekli kompozitlerde; takviye malzemesi olarak yüksek fırın curufu kullanıldığında takviye oranı %1'den %5'e değişirken; porozite oranı % 2,3028'den % 3,4877'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 yüksek fırın curufu, 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.

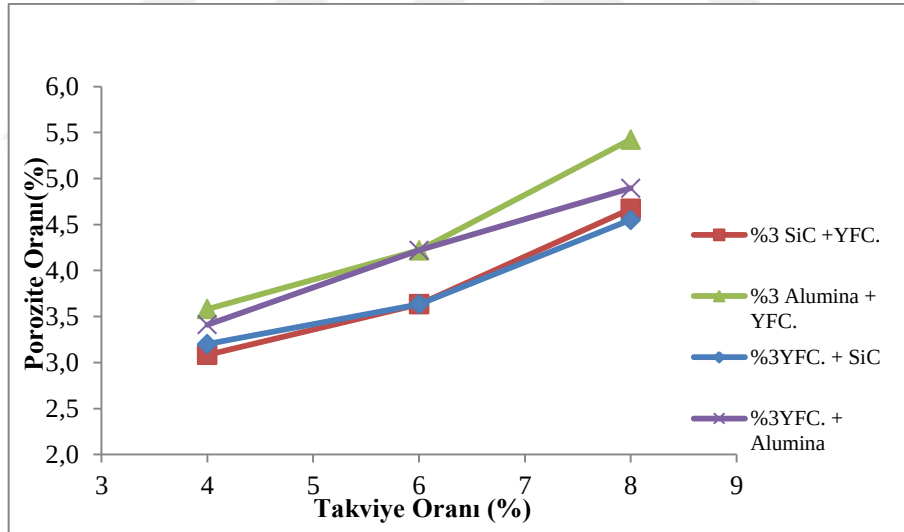
5.1.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

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

Tablo 9: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozite etkisi.

Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik Yoğunluk	Deneyisel Yoğunluk	Gözeneklilik
4	96	3	1	0	2,7190	2,6320	3,2001
5	94	3	3	0	2,7266	2,6275	3,6344
6	92	3	5	0	2,7342	2,6098	4,5503
7	96	3	0	1	2,7274	2,6344	3,4105
8	94	3	0	3	2,7518	2,6357	4,2201
9	92	3	0	5	2,7762	2,6403	4,8949
16	96	1	3	0	2,7298	2,6456	3,0842
17	94	3	3	0	2,7266	2,6275	3,6344
18	92	5	3	0	2,7234	2,5962	4,6712
19	96	1	0	3	2,7550	2,6563	3,5812
20	94	3	0	3	2,7518	2,6357	4,2201
21	92	5	0	3	2,7486	2,5995	5,4239

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi Şekil 21’de gösterilmektedir



Şekil 21: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin porozitesine etkisi değerlendirildiğinde, %3 yüksek fırın curufu ve %1 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 3,2001, %3 yüksek fırın curufu ve %1 Al₂O₃ takviyeli numunenin porozite değeri 3,4105 olmuştur. %3 yüksek fırın curufu takviyeli İkili hibrit kompozitte %1 Al₂O₃ takviyesi poroziteyi %1 SiC takviyesine göre daha fazla artırdığı görülmüştür.

%3 yüksek fırın curufu ve %5 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 4,5503, %3 yüksek fırın curufu ve %5 Al₂O₃ takviyeli numunenin porozite değeri 4,8949 olmuştur. %3 yüksek fırın curufu takviyeli İkili hibrit kompozitte %5 Al₂O₃ takviyesi poroziteyi %5 SiC takviyesine göre daha fazla artırdığı görülmüştür.

%3 SiC ve %1 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin porozite değeri 3,0842, %3 Al₂O₃ ve %1 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin porozite değeri 3,5812 olmuştur. %3 SiC takviyeli ve %3 Al₂O₃ takviyeli hibrit kompozitlere %1 yüksek fırın curufu takviyesi %3'lük SiC'li hibrit kompozitin porozitesini daha fazla artırdığı görülmüştür.

%3 SiC ve %5 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin porozite değeri 4,6712 , %3 Al₂O₃ ve %5 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin porozite değeri 5,4239 olmuştur. %3 SiC takviyeli ve %3 Al₂O₃ takviyeli hibrit kompozitlere %5 yüksek fırın curufu takviyesi %3'lük Al₂O₃'li hibrit kompozitin porozitesini daha fazla artırdığı görülmüştür. Porozite değeri yüksek olan %3 yüksek fırın curufu ve %5 Al₂O₃ takviyeli hibrit kompozit, düşük olan ise %3 SiC ve %5 yüksek fırın curufu takviyeli hibrit kompozit olmuştur. Bunun gerçekleşmesinin matris ile takviyelerinin yoğunluk farkından dolayı olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi oranı artırıldıkça porozite miktarında artış olduğu görülmüştür.

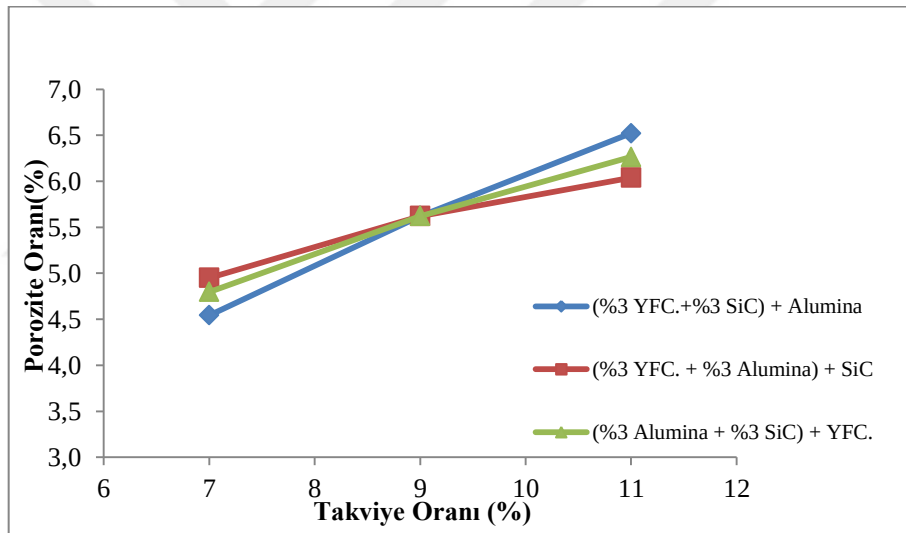
5.1.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozitin Porozitesine Etkisi

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

Tablo 10: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃	Teorik Yoğunluk	Deneysel Yoğunluk	Gözeneklilik
10	93	3	3	1	2,7388	2,6144	4,5435
11	91	3	3	3	2,7632	2,6079	5,6221
12	89	3	3	5	2,7876	2,6058	6,5211
13	93	3	1	3	2,7556	2,6192	4,9503
14	91	3	3	3	2,7632	2,6079	5,6221
15	89	3	5	3	2,7708	2,6035	6,0389
22	93	1	3	3	2,7664	2,6337	4,7965
23	91	3	3	3	2,7632	2,6079	5,6221
24	89	5	3	3	2,7600	2,5871	6,2644

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi Şekil 22’de gösterilmektedir.



Şekil 22: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin porozitesine etkisi.

Üretilen üçlü hibrit kompozitlerde; %3 yüksek fırın curufu, %3 SiC ve %1 Al₂O₃ takviyeli numunenin porozite değeri 4,5435 değerine Al₂O₃ takviyesinin oranını %5’e çıkardığımızda 6,5211’ya çıkmaktadır.

%3 yüksek fırın curufu, %3 Al₂O₃ ve %1 SiC takviyeli numunenin porozite değeri 4,9503’e ,SiC takviyesinin oranını %5’e çıkardığımızda 6,0389’ye çıkmaktadır.

%3 SiC, %3 Al₂O₃ ve %1 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin porozite değeri 4,7965'e yüksek fırın curufu takviyesinin oranını %5'e çıkardığımızda 6,2644'ye çıkmaktadır.

En düşük porozite değeri %3 yüksek fırın curufu,%3 SiC ve %1 Al₂O₃ takviyeli malzemede, en yüksek porozite değeri %3 yüksek fırın curufu,%3 SiC ve %5 Al₂O₃ takviyeli malzemede görülmüştür.

5.2 Sertlik

Yaptığımız çalışmada takviye elemanları eklenerek üretilen kompozitlerin sertliğine etkisi incelenmiştir.

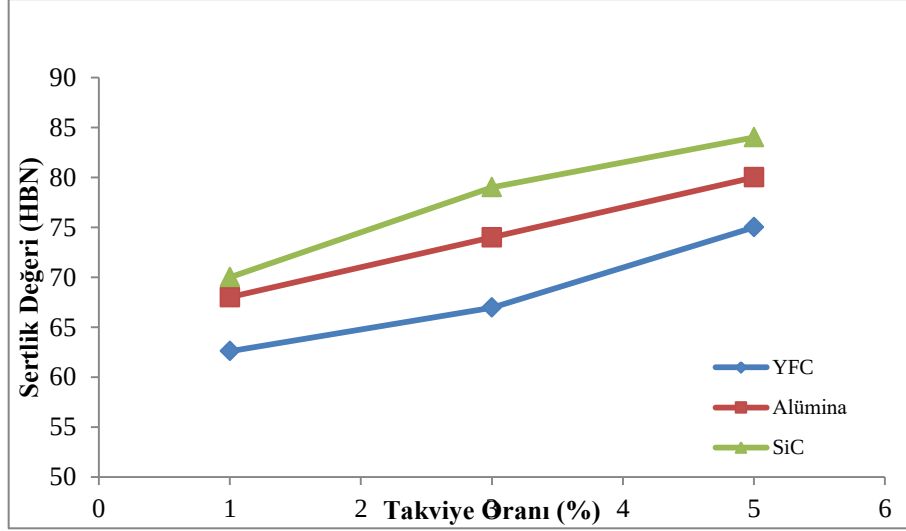
5.2.1 Takviye Elemanlarının Kompozitin Sertliğine Etkisi

Yüksek fırın curufu, alümina ve SiC takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri Tablo 11'de gösterilmektedir.

Tablo 11: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri.

Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik
1	99	1	0	0	63
2	97	3	0	0	67
3	95	5	0	0	75
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 23'de gösterilmektedir.



Şekil 23: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan Al6061 numunesinin sertliği 58 HBN değerinde ölçülmüştür. %1 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin sertliği 63 HBN değerinde %3 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin sertliği 67 HBN değerinde %5 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin sertliği 75 HBN değerinde ölçülmüştür. %1 Al_2O_3 takviyeli numunenin sertlik değeri 68 HBN, %3 Al_2O_3 takviyeli numunenin sertlik değeri 74 HBN, %5 Al_2O_3 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. Yüksek fırın curufu SiC ve Al_2O_3 kadar sertliği artırmaya bile matrise ilave edilen % 5'lik yüksek fırın curufu sertliği % 29 oranında artırdığı belirlenmiştir.

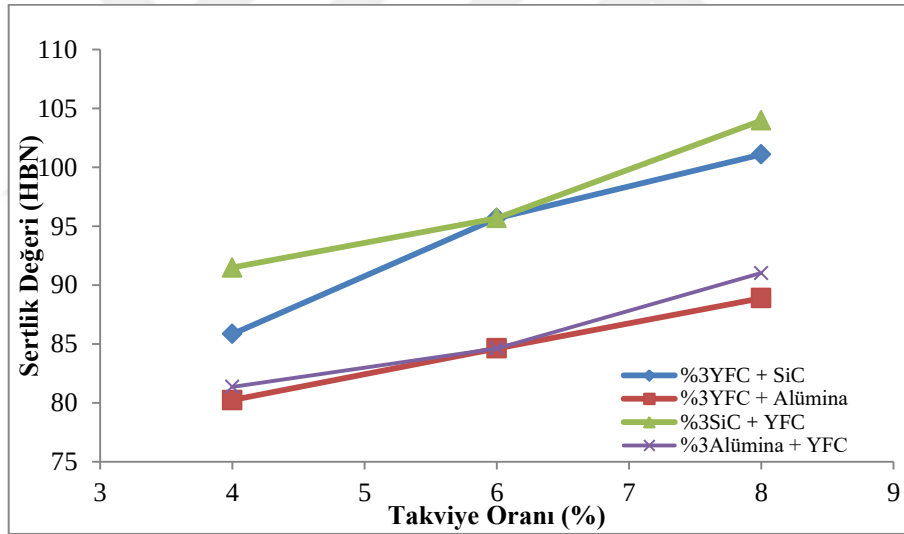
5.2.2 Takviye Elemanlarının İkili Hibrit Kompozite Sertliğine Etkisi

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

Tablo 12: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etki değerleri.

Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik
4	96	3	1	0	86
5	94	3	3	0	96
6	92	3	5	0	101
7	96	3	0	1	80
8	94	3	0	3	85
9	92	3	0	5	89
16	96	1	3	0	91
17	94	3	3	0	96
18	92	5	3	0	104
19	96	1	0	3	81
20	94	3	0	3	85
21	92	5	0	3	91

Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi Şekil 24’de gösterilmektedir.



Şekil 24: Takviye elemanlarının ikili hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan ikili hibrit kompozitlerin sertlik değerleri incelendiğinde %3 yüksek fırın curufu takviyeli ve %1 Al₂O₃ takviyeli numunenin sertlik değerinin 80 HBN’e, %3 yüksek fırın curufu takviyeli, ve %5 Al₂O₃’lü takviyeli numunenin sertliğinin 89 HBN değerinde olduğu, %3 yüksek fırın curufu takviyeli ve %1 SiC’lü takviyenin sertlik değerinin 86 HBN’e, %3 yüksek fırın curufu takviyeli, ve %5 SiC’lü takviyeli numunenin sertlik değerinin 101 HBN’e olduğu belirlendi. %3 yüksek fırın curufu takviyeli matrisimizi %5 Al₂O₃ takviyesi numunenin sertlik değerini 32 HBN değerinde

arttırırken, %5 SiC takviyeli numune 50 HBN değesinde arttırmıştır. SiC'ün Al₂O₃'ye göre sertliği daha fazla artıran takviye malzemesi olduğu belirlenmiştir. %3 SiC takviyeli ve %1 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin sertliği 91 HBN değesinde, %3 Al₂O₃ takviyeli ve %1 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin sertliği 81 HBN değesinde olduğu belirlendi.%3 SiC takviyeli ve %5 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin sertliği 104 HBN değesinde belirlendi,%3 Al₂O₃ takviyeli, ve %5 yüksek fırın curufu takviyeli numunenin sertliği 91 HBN değesinde olduğu belirlendi. Yüksek fırın curufu takviyesinin miktarı arttıkça ikili hibrit kompozitin sertliği artmıştır. Yüksek fırın curufu ikili hibrit kompozit malzeme üretiminde Al₂O₃ ve SiC takviye malzemesi gibi bir takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

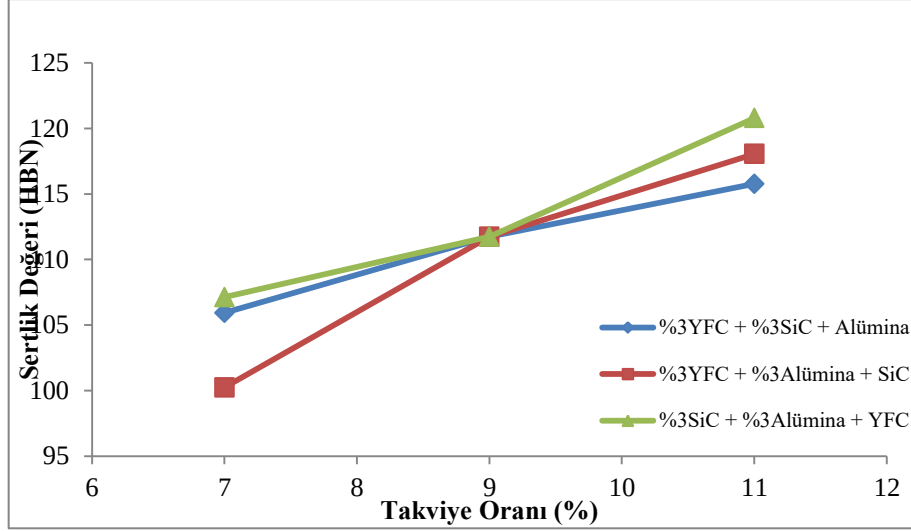
5.2.3 Takviye Elemanlarının Üçlü Hibrit Kompozite Sertliğine Etkisi

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

Tablo 13: Takviye elemanlarının kompozitin sertliğine etkisi.

Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃	Sertlik
10	93	3	3	1	106
11	91	3	3	3	112
12	89	3	3	5	116
13	93	3	1	3	100
14	91	3	3	3	112
15	89	3	5	3	118
22	93	1	3	3	107
23	91	3	3	3	112
24	89	5	3	3	121

Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi Şekil 25'de gösterilmektedir



Şekil 25: Takviye elemanlarının üçlü hibrit kompozitin sertliğine etkisi.

Hazırlanan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde %3 yüksek fırın curufu takviyeli ve %3 SiC takviyeli numuneye %1 Al_2O_3 takviyesi sertlik değerinin 106 HBN'e, %5 Al_2O_3 takviyesi numunenin sertlik değerinin 116 HBN'e artırdığı, %3 yüksek fırın curufu takviyeli ve %3 Al_2O_3 takviyeli malzemeye %1 SiC takviyesi numunenin sertlik değerini 100 HBN'ye, %5 SiC takviyesi numunenin sertliğini 118 HBN değerine artırdığı, %3 SiC takviyeli ve %3 Al_2O_3 takviyeli malzemeye %1 yüksek fırın curufu takviyesi numunemizin sertlik değerinin 107 HBN'e, %5 yüksek fırın curufu takviyesi numunenin sertliğini 121 HBN değerine artırmıştır. Yüksek fırın curufu üçlü hibrit kompozit malzeme üretiminde Al_2O_3 ve SiC takviye malzemesi gibi bir takviye malzemesi olduğu öngörülmektedir.

5.3 Yorulma

5.3.1 Yüksek Fırın Curufunun Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması

Üretilen yüksek fırın curufu takviyeli kompozitin Takviye oranları Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14: Üretilen kompozitlerin takviye Oranları.

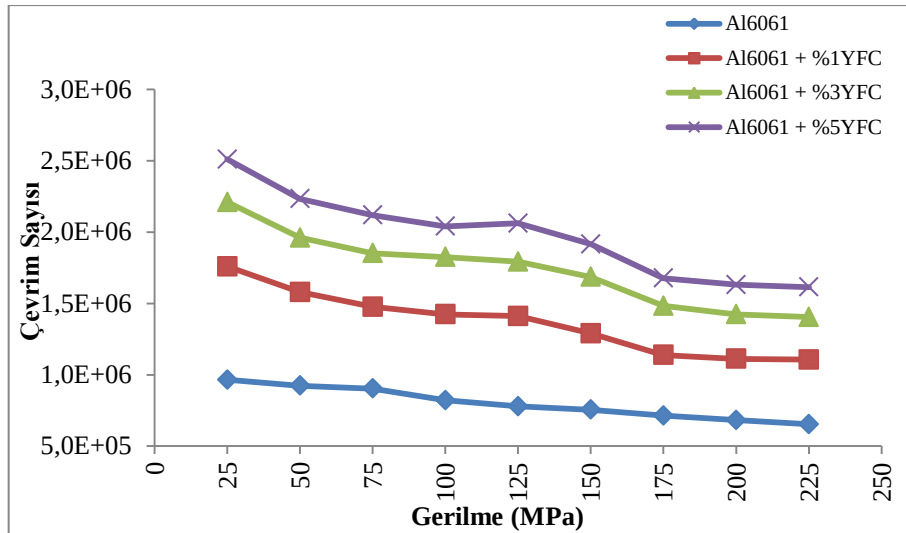
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃
0	100	0	0	0
1	99	1	0	0
2	97	3	0	0
3	95	5	0	0

Üretilen kompozitin çevrim sayısı Tablo 15’de verilmiştir

Tablo 15:Üretilen kompozitlerin çevrim sayısı.

Gerilme (MPa)	Numune No			
	0	1	2	3
25	964396	1759504	2209859	2510938
50	922784	1579828	1961395	2233594
75	903197	1476676	1852002	2119348
100	820783	1423341	1825648	2040340
125	778741	1411834	1793024	2061978
150	755396	1290651	1686227	1916401
175	713840	1138639	1483408	1676834
200	682595	1111412	1423251	1631078
225	653078	1105678	1404176	1614802

Yüksek fırın curufu kompozitin yorulmasına etkisi Şekil 26’da verilmiştir.



Şekil 26:Yüksek fırın curufu kompozitin yorulmasına etkisi.

Üretilen numunelerin yorulma dayanımı testleri sonucunda Al6061’de gerilme 25MPa’dan

225MPa'a çıkarıldığında çevrim sayısında % 67,7'lik bir azalma meydana gelmiştir. %1 Yüksek fırın cürufu takviyeli kompozit numunede gerilme 25MPa'dan 225MPa çıkarıldığında çevrim sayısındaki azalma % 62,8 seviyesinde meydana gelmiştir. %3 Yüksek fırın cürufu takviyeli kompozitte ise 25MPa'dan 225MPa'a artan gerilme değerine karşılık çevrim sayısında % 63'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. Yüksek fırın cürufu takviye oranı %5 olan kompozit numunede gerilim gerilme 25MPa'dan 225MPa'a çıkarılırken çevrim sayısının 2510938'den 1614802'ye % 64'lük bir azalış gösterdiği belirlenmiştir. 100MPa'lık gerilme değerine karşılık Al6061 alaşımına %1 oranında yüksek fırın cürufu ilave edildiğinde çevrim sayısı %73,4 oranında artmıştır. İlave edilen yüksek fırın cürufunun ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında çevrim sayısındaki artış oranı %122'lere çıkmaktadır. %5 yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen Al6061 matrisli kompozitin çevrim sayısındaki artış oranı ise %148'leri bulmaktadır. Takviye malzemesi olarak kullandığımız Yüksek fırın cürufu matrisimiz olan Al6061'den daha fazla çevrime ulaşmış dolayısıyla yorulma dayanımını artırmıştır, Takviye malzemesi miktarı arttıkça çevrim miktarının arttığı ve yorulma dayanımının arttığı belirlenmiştir.

5.3.2 SiC'ün İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması

İkili hibrit kompozitin takviye oranları Tablo16'da verilmiştir.

Tablo 16: Üretilen kompozitlerin takviye Oranları.

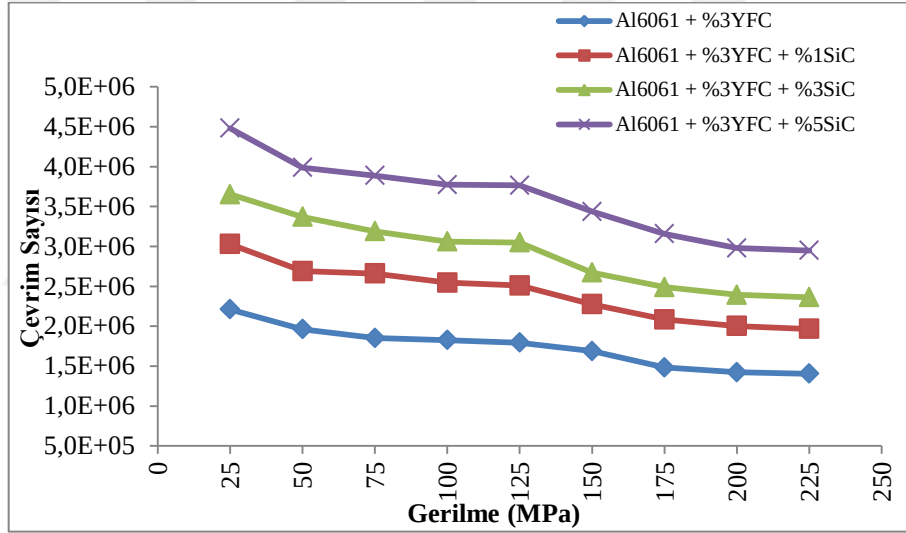
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃
2	97	3	0	0
4	96	3	1	0
5	94	3	3	0
6	92	3	5	0

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	2209859	3029403	3651561	4481104
50	1961395	2688782	3369537	3987318
75	1852002	2659800	3189120	3887504
100	1825648	2544995	3061391	3771909
125	1793024	2510234	3048141	3765351
150	1686227	2275151	2670875	3435306
175	1483408	2083394	2488922	3156876
200	1423251	2002674	2392108	2978209
225	1404176	1965846	2362098	2948769

SiC'ün İkili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi Şekil 27'de verilmiştir



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

Üretilen %3 yüksek fırın cürufu ve SiC takviyeli Al6061 alaşımlı numunelerin yorulma dayanımı testleri incelendiğinde ağırlıkça %1 SiC takviye edilen numunenin gerilme 25MPa'dan 225MPa'a çıkarıldığında çevrim sayısında % 65'lik bir azalma meydana gelmiştir. %3 SiC takviyeli kompozitte ise 25MPa'dan 225MPa'a artan gerilme değerine karşılık çevrim sayısında % 64'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. %5 SiC takviye oranı ile elde edilen kompozit numunede gerilme 25MPa'dan 225MPa'a çıkarılırken çevrim sayısının 4481104'den 2948769'a ve % 66'lık bir azalış gösterdiği belirlenmiştir. 100MPa'lık gerilme değerine karşılık %3 yüksek fırın cürufu ve SiC takviyeli Al6061

alaşımında %1 oranında yüksek fırın curufu ilavesinin etkisi incelendiğinde çevrim sayısı %39 oranında artmıştır. İlave edilen SiC ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında çevrim sayısındaki artış oranı %67'lere çıkmaktadır. %5 yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen Al6061 matrisli kompozitin çevrim sayısındaki artış oranı ise %106'ları bulmaktadır.

5.3.3 Al₂O₃'ün İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin karşılaştırılması

İkili hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18: İkili hibrit kompozitin Takviye oranları.

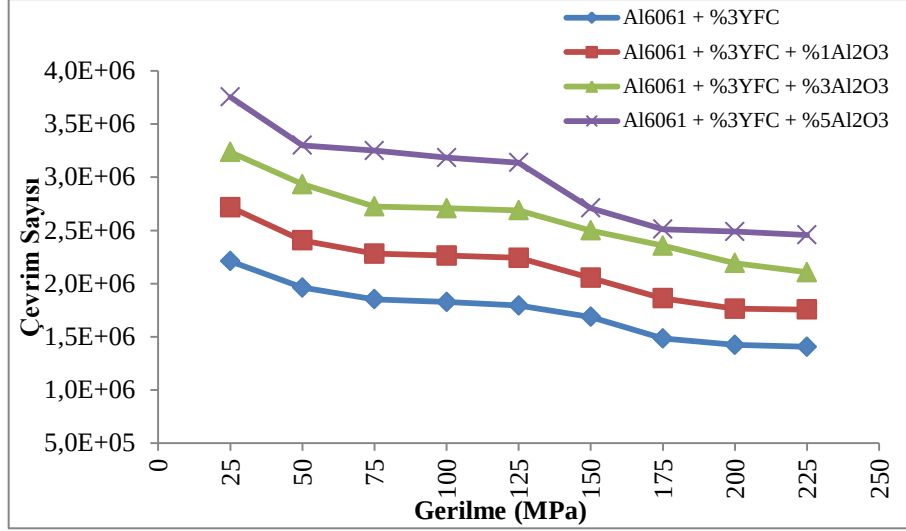
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃
2	97	3	0	0
7	96	3	0	1
8	94	3	0	3
9	92	3	0	5

Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı Tablo 19'de verilmiştir.

Tablo 19: Üretilen ikili hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.

Gerilme (MPa)	Numune No			
	2	4	5	6
25	2209859	3029403	3651561	4481104
50	1961395	2688782	3369537	3987318
75	1852002	2659800	3189120	3887504
100	1825648	2544995	3061391	3771909
125	1793024	2510234	3048141	3765351
150	1686227	2275151	2670875	3435306
175	1483408	2083394	2488922	3156876
200	1423251	2002674	2392108	2978209
225	1404176	1965846	2362098	2948769

Al₂O₃'ün İkili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi etkisi Şekil 28 'de verilmiştir



Şekil 28: Al_2O_3 'ün ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi.

Üretilen %3 yüksek fırın cürufu ve Al_2O_3 takviyeli Al6061 alaşımlı numunelerin yorulma dayanımı testleri incelendiğinde ağırlıkça %1 Al_2O_3 takviye edilen numunenin gerilme 25MPa'dan 225MPa'a çıkarıldığında çevrim sayısında % 64'lük bir azalma meydana gelmiştir. %3 Al_2O_3 takviyeli kompozitte ise 25MPa'dan 225MPa'a artan gerilme değerine karşılık çevrim sayısında % 65'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. %5 Al_2O_3 takviye oranı ile elde edilen kompozit numunede gerilme 25MPa'dan 225MPa'a çıkarılırken çevrim sayısının 3755254'den 2457307'a ve % 24'lik bir azalış gösterdiği belirlenmiştir. 100MPa'lık gerilme değerine karşılık %3 yüksek fırın cürufu ve Al_2O_3 takviyeli Al6061 alaşımında %1 oranında Al_2O_3 ilavesinin etkisi incelendiğinde çevrim sayısı %24 oranında artmıştır. İlave edilen Al_2O_3 ağırlıkça oranı %3'e çıkarıldığında çevrim sayısındaki artış oranı %48'lere çıkmaktadır. %5 Al_2O_3 kullanılarak üretilen Al6061 matrisli kompozitin çevrim sayısındaki artış oranı ise %74'leri bulmaktadır.

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.

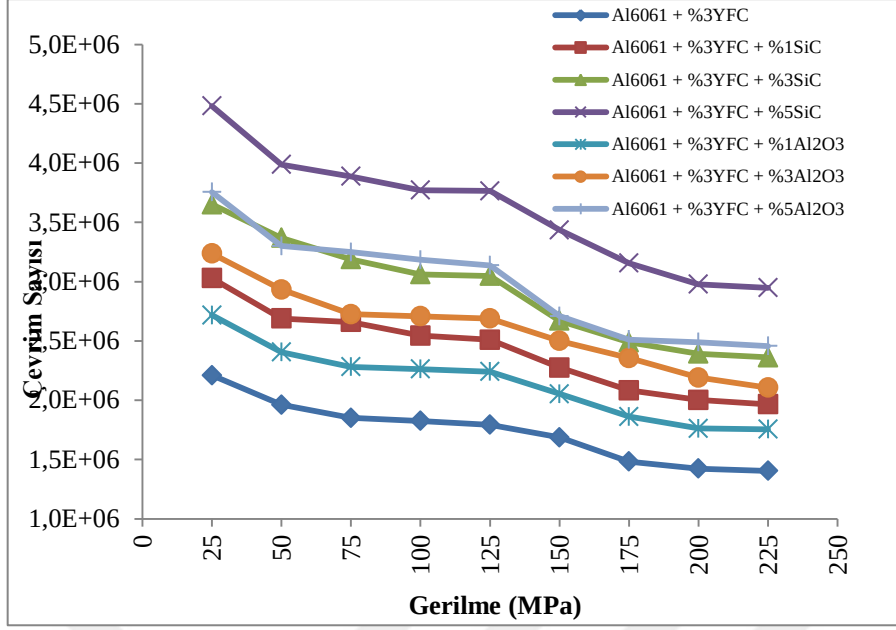
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃
2	97	3	0	0
4	96	3	1	0
5	94	3	3	0
6	92	3	5	0
7	96	3	0	1
8	94	3	0	3
9	92	3	0	5

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	2209859	3029403	3651561	4481104	2718324	3236789	3755254
50	1961395	2688782	3369537	3987318	2405928	2933970	3300608
75	1852002	2659800	3189120	3887504	2281278	2725910	3250033
100	1825648	2544995	3061391	3771909	2263635	2708383	3184527
125	1793024	2510234	3048141	3765351	2241280	2689536	3137792
150	1686227	2275151	2670875	3435306	2053335	2499859	2709914
175	1483408	2083394	2488922	3156876	1861527	2356744	2511903
200	1423251	2002674	2392108	2978209	1762422	2191678	2489046
225	1404176	1965846	2362098	2948769	1755219	2106263	2457307

SiC ve Al₂O₃’ın ikili hibrit kompozitin yorulma dayanımına etkisi Şekil 29’da verilmiştir.



Şekil 29: SiC ve Al₂O₃'in ikili hibrit kompozitin yorulma dayanımına etkisi.

%3 yüksek fırın curufu 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 daha fazla artıran bir takviye malzemesi olduğu belirlendi.

5.3.5 Yüksek Fırın Curufunun İkili Hibrit Kompozitin Yorulmasına Etkisinin Karşılaştırılması

İkili hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22: Üretilen kompozitlerin takviye Oranları.

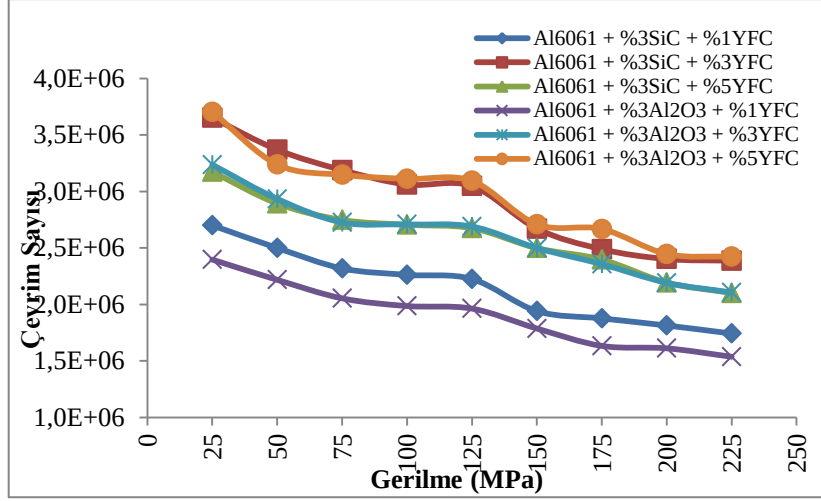
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃
16	96	1	3	0
17	94	3	3	0
18	92	5	3	0
19	96	1	0	3
20	94	3	0	3
21	92	5	0	3

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

Tablo 23: Yüksek fırın curufunun ikili hibrit kompozitin yorulmasına etkisi.

Gerilme (MPa)	Numune No					
	16	17	18	19	20	21
25	2699659	3651561	3173418	2396876	3236789	3703407
50	2500130	3369537	2893502	2218059	2933970	3238547
75	2318811	3189120	2747834	2054144	2725910	3146890
100	2262176	3061391	2705281	1986210	2708383	3111270
125	2225143	3048141	2674722	1963361	2689536	3092967
150	1941505	2670875	2498466	1787137	2499859	2708559
175	1876691	2488922	2397256	1633391	2356744	2667715
200	1814224	2402108	2193912	1612000	2191678	2446788
225	1742582	2387098	2101151	1537572	2106263	2422203

Yüksek fırın curufunun ikili hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi Şekil 30’da verilmiştir.



Şekil 30:Yüksek fırın curufunun ikili hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi.

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

SiC ve Al_2O_3 takviye malzemeleri gibi yüksek fırın curufu da İkili Hibrit kompozitler de yorulma dayanımını artıran bir takviye malzemesi olduğu belirlendi.

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.

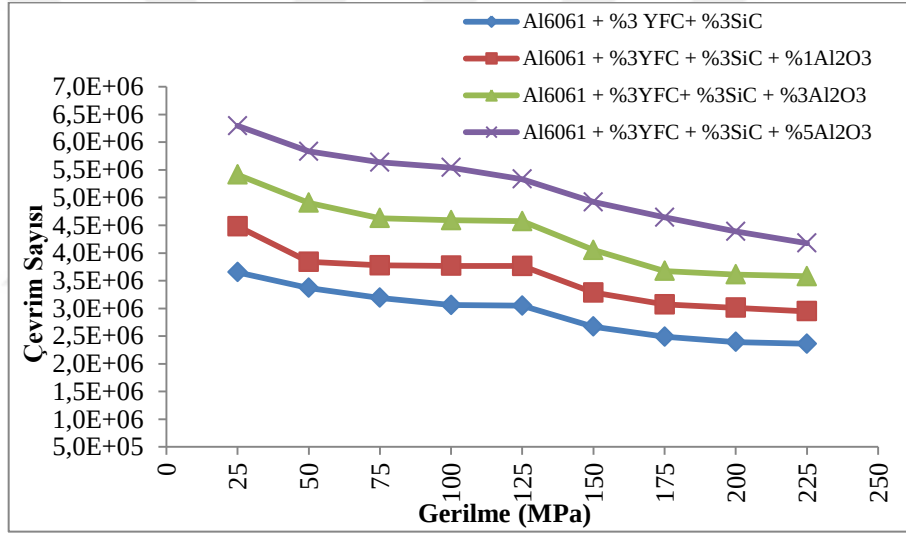
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al_2O_3
5	94	3	3	0
10	93	3	3	1
11	91	3	3	3
12	89	3	3	5

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

Tablo 25: Üretilen üçlü hibrit kompozitlerin çevrim sayısı.

Gerilme (MPa)	Numune No			
	5	10	11	12
25	3651561	4481104	5414341	5833602
50	3369537	3839880	4906734	5637426
75	3189120	3776904	4629648	5541741
100	3061391	3767832	4590911	5334247
125	3048141	3765351	4572211	4920660
150	2670875	3284118	4053964	4643140
175	2488922	3073083	3676148	4388062
200	2392108	3010819	3611844	4177422
225	2362098	2948769	3580648	5833602

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



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

Üretilen numunelerin yorulma dayanımı testleri sonucunda %3 yüksek fırın curufu takviyeli ve %3 SiC takviyeli Al6061'e göre takviye malzemesi olarak kullandığımız %1 Al_2O_3 'i numunenin 100 Mpa'da çevrim sayısını 706441 artırmıştır.

Takviye malzemesi olarak Al_2O_3 'i %3 oranına artırdığımızda 100 Mpa'da 1529520 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak Al_2O_3 'i %5 oranına artırdığımızda 100 Mpa'da 2576035 çevrim

sayısı artışı gözlenmiştir. Alınan değerlere göre takviye malzemesi olarak kullandığımız Al_2O_3 'i oranı artıkça çevrim sayısının arttığı %3 yüksek fırın curufu 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 üçlü hibrit kompozitlerin takviye Oranları.

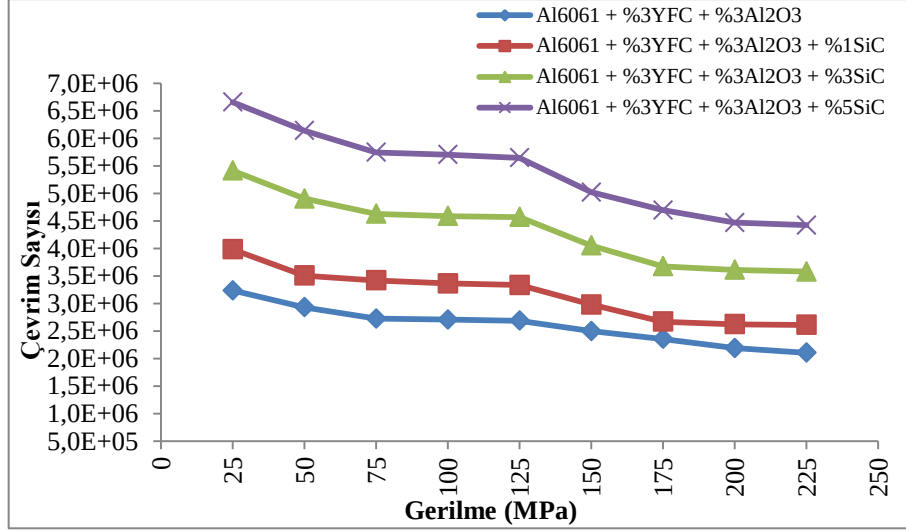
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al_2O_3
8	94	3	0	3
13	93	3	1	3
14	91	3	3	3
15	89	3	5	3

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	3236789	3986489	5414341	6658656
50	2933970	3509607	4906734	6142938
75	2725910	3421308	4629648	5745904
100	2708383	3364879	4590911	5706608
125	2689536	3337714	4572211	5648026
150	2499859	2981964	4053964	5021515
175	2356744	2670322	3676148	4698132
200	2191678	2624638	3611844	4470939
225	2106263	2613873	3580648	4423153

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



Şekil 32: SiC'ün üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi.

Üretilen numunelerin yorulma dayanımı testleri sonucunda %3 yüksek fırın curufu takviyeli ve %3 Al₂O₃ takviyeli Al6061'e göre takviye malzemesi olarak kullandığımız %1 SiC numunenin çevrim sayısını 656496 artırmıştır.

Takviye malzemesi olarak SiC %3 oranına artırdığımızda 1882528 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir.

Takviye malzemesi olarak SiC %5 oranına artırdığımızda 2998225 çevrim sayısı artışı gözlenmiştir. Alınan değerlere göre takviye malzemesi olarak kullandığımız SiC oranı arttıkça çevrim sayısının arttığı %3 yüksek fırın curufu takviyeli ve %3 Al₂O₃'i takviyeli Al6061'in yorulma dayanımının yükseldiği görülmektedir.

5.3.8. Yüksek Fırın Curufu, SiC ve Al₂O₃'in Üçlü Hibrit Kompozitlerin Yorulmasına Etkilerinin karşılaştırılması

Üçlü hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 28'da verilmiştir.

Tablo 28:Üçlü hibrit kompozitin takviye oranları.

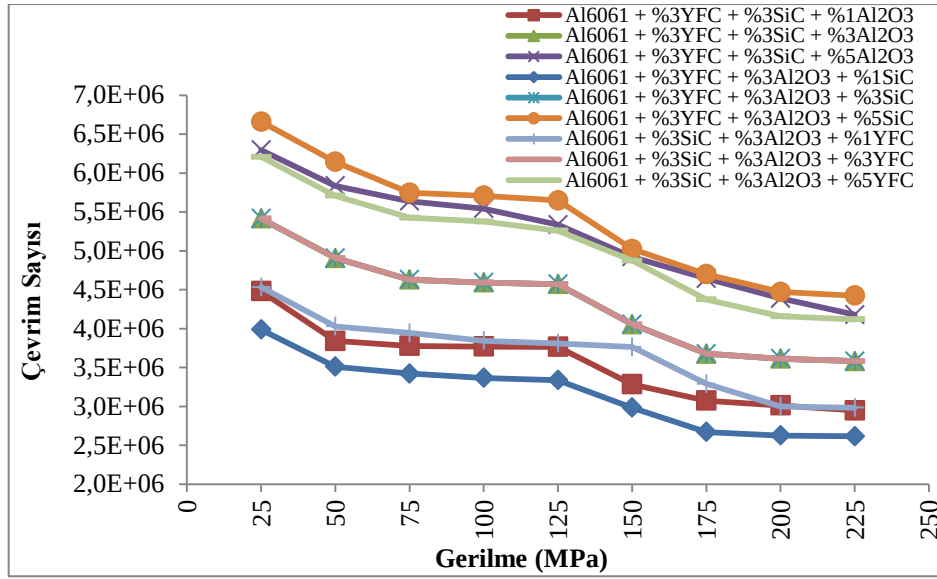
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃
10	93	3	3	1
12	89	3	3	5
13	93	3	1	3
15	89	3	5	3
22	93	1	3	3
23	91	3	3	3
24	89	5	3	3

Yüksek fırın curufu ,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	4481104	6295731	3986489	6658656	4532951	5414341	6207592
50	3839880	5833602	3509607	6142938	4028762	4906734	5706496
75	3776904	5637426	3421308	5745904	3943529	4629648	5425735
100	3767832	5541741	3364879	5706608	3842148	4590911	5375648
125	3765351	5334247	3337714	5648026	3810176	4572211	5258043
150	3284118	4920660	2981964	5021515	3762903	4053964	4874090
175	3073083	4643140	2670322	4698132	3289526	3676148	4372732
200	3010819	4388062	2624638	4470939	2998292	3611844	4157575
225	2948769	4177422	2613873	4423153	2983873	3580648	4117745

Yüksek fırın curufu ,SiC ve Al₂O₃'in üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi Şekil 33'de verilmiştir.



Şekil 33:Yüksek Fırın Curufu ,SiC ve Al₂O₃'in üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına Etkisi.

Yüksek fırın curufu ,SiC ve Al₂O₃'in Üçlü Hibrit Kompozitlerin Yorulmasına Etkisi incelendiğinde en düşük yorulma dayanımı %3 Al₂O₃, %3 yüksek fırın curufu ve %1SiC'lü numune, en yüksek yorulma dayanımı ise %3 Al₂O₃, %3 yüksek fırın curufu ve %5 SiC'lü numune olduğu görüldü, %1 Al₂O₃, %3 yüksek fırın curufu ve %3 SiC takviye katkılı numune ile %3 Al₂O₃, %1 yüksek fırın curufu ve %3 SiC takviye katkılı numunelerin yorulma dayanımlarının birbirine yakın bir değer olduğu, %3 Al₂O₃, %3 yüksek fırın curufu ve %5 SiC takviye katkılı numune, %5 Al₂O₃, %3 yüksek fırın curufu ve %3 SiC takviye katkılı numune ile %3 Al₂O₃, %5 yüksek fırın curufu ve %3 SiC takviyeli numunelerin yorulma dayanımlarının birbirine yakın olduğu; üçlü hibrit kompozitlerde SiC, Al₂O₃ Takviye malzemesi kullanıldığı gibi yüksek fırın curufu takviyesi de yorulma dayanımını artırdığı belirlendi.

5.3.9. Yüksek Fırın Curufunun Üçlü Hibrit Kompozitlerin Yorulmasına Etkilerinin karşılaştırılması

Üçlü hibrit kompozitin takviye oranları Tablo 30'de verilmiştir.

Tablo 30: Üretilen hibrit kompozitlerin takviye Oranları.

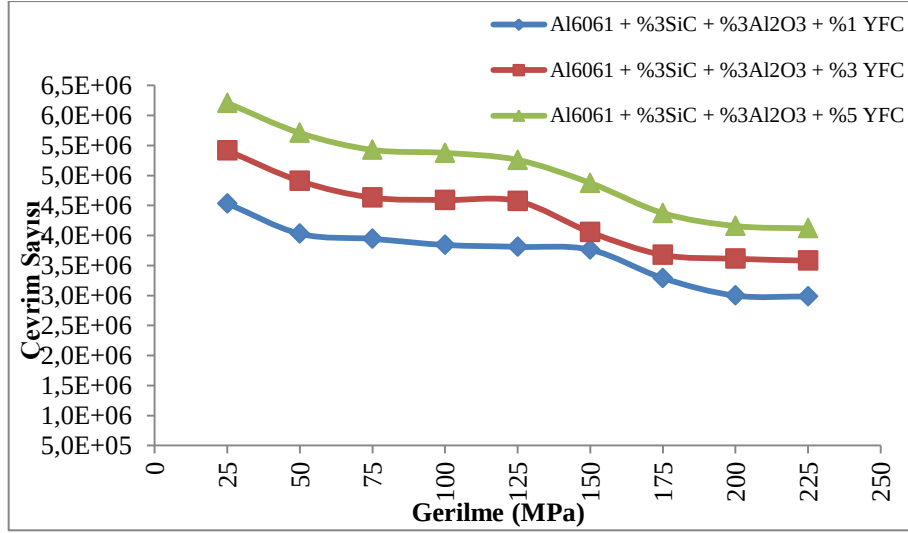
Numune No	Al6061	YFC	SiC	Al ₂ O ₃
22	93	1	3	3
23	91	3	3	3
24	89	5	3	3

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	4532951	5414341	6207592
50	4028762	4906734	5706496
75	3943529	4629648	5425735
100	3842148	4590911	5375648
125	3810176	4572211	5258043
150	3762903	4053964	4874090
175	3289526	3676148	4372732
200	2998292	3611844	4157575
225	2983873	3580648	4117745

Yüksek fırın curufunun üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkilerinin karşılaştırılması Şekil 34’de verilmiştir.



Şekil 34:Yüksek fırın curufunun üçlü hibrit kompozitlerin yorulmasına etkisi.

Üretimi yapılan %3SiC,Al₂O₃ ve yüksek fırın curufu takviyeli üçlü hibrit kompozitte 100 MPa gerilim altında %1 yüksek fırın curufu takviyeli numunede 3049324 çevrim, %3 yüksek fırın curufu takviyeli numunede 3643580 çevrim, %5 yüksek fırın curufu takviyeli numunede 4266387çevrim elde edilmiş üçlü hibrit kompozitte yüksek fırın curufu miktarı arttıkça yorulma dayanımının arttığı ve yüksek fırın curufu üçlü hibrit kompozitlerde yorulma dayanımını artıran bir takviye malzemesi olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretilen kompozit, ikili ve üçlü hibrit kompozitler değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Üretilen numunelerin porozite değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen yüksek fırın curufu kompozitin porozite değerini en çok yükselten takviye malzemesi olmuştur. İkinci sırada alümina sonrada SiC Oluşturmuştur. Eklenen takviye malzemesi oranı artıkça Porozite miktarıda artmaktadır.
2. Üretilen numunelerin sertlik değerlerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen yüksek fırın curufu SiC ve Al_2O_3 'te yakın bir değerde kompozitin sertliğini artırmıştır. Yüksek fırın curufu takviyesi ikili ve üçlü hibrit kompozitlerinde sertliğini artırmıştır.
3. Üretilen numunelerin yorulma dayanımının belirlenmesi için yapılan deneyler sonunda Al 6061 matrisimize takviye malzemesi olarak eklenen yüksek fırın curufu SiC ve Al_2O_3 'te yakın bir değerde kompozitin yorulma dayanımının artırmıştır. Yüksek fırın curufu takviyesi ikili ve üçlü hibrit kompozitlerinde yorulma dayanımını artırmıştır.
4. Yüksek fırın cürufunun bu özellikleri değerlendirilerek aşınma deneyleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Acılar, M. (2002). *Al/SiC Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Akdoğan, A. (2005). *İmalatta Kompozit Malzemeler*, Lisans Ders Notu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akkurt, A. ve Ovalı, İ. (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, Sayfa 371-382,009.
- Altuner, S. ve Keleşoğlu, E. (2012). *Pruduction Of Y2O3 Coated Al2O3 Reinforced Aluminium Matrix Composites and the Coating of Interface Effects Over Wettability Properties. PhD Research Article, Journal of Engineering and Natural Sciences*, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 30, s. 252-258.
- Bayraktar, E. ve Garcias, I. M. (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.
- Bayraktar, E. (2006). “*Failure mechanisms of automotive metallic alloys in very high cycle fatigue range*” International Journal of Fatigue 28 (2006) 1590–1602
- Benal, M.M. ve 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, M.,(2014). *Türkiye’de Kompozit Malzeme Üretimi ve Kompozit Malzeme Sektörünün Genel Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.

- Chawla, K.K. (1998). *Composite Materials Science and Engineering*, Springer-Verlag, New York.
- Cook, J.L. ve Mohn, W.R. (1987). " *Engineering Composites Handbook, Vol. 1: Composites*, ASM International, Metal Park, Ohio, USA, 896-902.
- Demirkesen, E. (1991). " *Kompozit Malzemeler* ", DTÜ. Kimya – Metalurji Fakültesi, 11-12.
- Gao, Y.X. Y1, J. Z. Lee, P.D. ve Lindley, T.C. (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, Ş.Y. (1990). *Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları*, Isparta Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- Hassan, S.B. ve Aigbodion, V.S. (2015). *Effects of Eggshell on the Microstructures and Properties of Al–Cu–Mg/Eggshell Particulate Composites*. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 27.
- Lloyd, D. (1994). Particle reinforced aluminum and magnesium matrix composites, *International Materials Review*, 39(1), 1-23.
- Keskin, İ. (1991). " *Malzeme el kitabı* ", Onarsan İnşaat Sanayii ve Ticaret A.Ş. Genişletilmiş II. Baskı, Ankara.
- Mazumdar, S.K. (2002). *Composites Manufacturing*, Third Edition, CRC Press, London, 2002.
- Miracle, D.B. ve Donaldson (2001). Volume 21, *Composites*, ASM International.
- Mobasherpour, I., Tofigh, A.A. ve Ebrahimi, M. (2013). Effect of nano-size Al₂O₃ reinforcement on the mechanical behavior of synthesis 7075 aluminum alloy composites by mechanical alloying, *Materials Chemistry*, 138: 535- 541.

- Mutlu, İ. (2012). *Alüminyum Matrisli Metal Kompozit Malzemelerin Üretilmesi*. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 4, No 1, s. 31-36.
- Onat, A. (2015). *Kompozit Malzemeler Ders Notu*. Sakarya Üniversitesi, Sakarya Meslek Yüksekokulu, Makina ve Metal Teknolojileri Bölümü, Metalurji Programı, Sakarya. 105.
- Oral, S. (1987) Kaftanoğlu, B., ''*Bileşik Malzemelerin Endüstriyel Kullanımı*'' , Makina Tasarım ve imalat Dergisi, ODTÜ, Ankara.
- Önal, M. (2010). *Al₂O₃ ve TiC içeren alüminyum metal matrisli kompozitlerin üretimi* yüksek lisans tezi.
- Özcömert, M. (2006). *Otomotiv endüstrisinde alüminyum* İstanbul Ticaret Odası.
- Özdamar, E. (1991). ''*Kompozit Malzemeler ve Kullanımı*'' , Mühendis ve Makina, 32:374.
- Ramesh, C.S. Anwar Khan, A.R. Rvikumar, N. ve Savanprabhu, P. (2005). ''*Prediction of wear coefficient of Al6061-TiO₂ composites*'' , Wear, 259: 602-608.
- Şahin, Y. (1999). *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Şahin, Y. (2000). *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Schwartz, M.M. (1997). *Composite Materials Volume I: Properties, Nondestructive Testing and Repair*, Prentice-Hall PTR Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Soy, U. (2009). ''*Metal Matris Kompozit Malzemeler*'' , Sakarya Üniversitesi.
- Suresh, K.R. Niranjan, H.B. Jebaraj, P.M. ve Chowdiah M.P. (2003). ''*Tensile and wear properties of aluminium composites*'' Wear 255.
- Taha, M.A. (2001). *Practicalization of cast metal matrix composites (MMCCs)*, Materials & Design, 22 (6), 431-441.

Tan, H.O. (2013). *Al-25Zn-3Cu Alaşımının yorulma özelliklerinin incelenmesi* yüksek lisans tezi

Topçu, M., Tarakılar, A.R.. ve Tařgetiren, S. (1991). '' *Mühendislik Malzemesi Olarak Kompozitler ve özelliklerini Belirleyen Faktörler*'' , Mühendis ve Makina, 1: 420.

Yılmaz, Durlu M.N., Mısırlı, Z. ve Altıntaş, S. (1995). Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitte Arayüzey Reaksiyonu, 8. Uluslararası *Metalurji ve Malzeme Kongresi*, C2, TMMOB, Yayın no. 32, 1323-1334, İstanbul.

Yılmaz, U. ve Evcı C. (2015). *Havacılık ve Savunma Sektöründe Kompozit Malzemelerin Geleceęi*. 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 : Ahmet ŞANLI
Doğum Yeri ve Tarihi : Efendi /Keskin- 1971

Eğitim Durumu:

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

Bildiği Yabancı Diller :İngilizce

Bilimsel Faaliyet/Yayınlar: Yüksek fırın cürufu, SiC ve Al₂O₃ takviyeli Al6061 matrisli hibrit kompozitlerin yorulma dayanımlarının incelenmesi, 2.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi 12-13 Mayıs 2017, s 479.

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bartın Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi

İletişim

E-Posta Adresi : ahmet7174@hotmail.com

Tarih : 13/07/2017 (Tez Sınav Tarihi)