

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKIM SİNERLEME İLE MMK MALZEME ÜRETİMİ  
VE ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Met. ve Malz. Müh. Güray BAĞDATLI**

**Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hatem AKBULUT**

**Ocak 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


AKIM SİNERLEME İLE MMK MALZEME ÜRETİMİ  
VE ÖZELLİKLERİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ

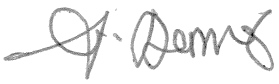
Met. ve Malz. Müh. Güray BAĞDATLI

Enstitü Anabilim Dalı : MET. VE MALZ. MÜH.

Bu tez 29 / 01 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Hatem AKBULUT  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr. S. Can KURNAZ  
Üye

  
Doç. Dr. Adem DEMİR  
Üye

## ÖNSÖZ

Tezin hazırlanması aşamasında öncelikle bana her türlü desteği veren, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hatem AKBULUT'a, tüm Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü öğretim üyeleri, araştırma görevlileri ve laboratuvar sorumlularına, ayrıca deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlileri Sayın Ramazan KARSLIOĞLU ve Sayın Mehmet UYSAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, çalışmalarım esnasında maddi manevi desteklerini esirgemeyen annem Nezaket BAĞDATLI, babam Rauf BAĞDATLI ve abim Eray BAĞDATLI'ya çok teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KOMPOZİT MALZEMELER.....	3
2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler.....	4
2.1.1. Takviye malzemeleri.....	5
2.1.1.1. SiC .....	5
2.1.1.2. Grafit .....	6
2.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler.....	6
2.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler.....	7
2.4. Karbon-Karbon Kompozit Malzemeler.....	8
BÖLÜM 3.	
ÇİNKO ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	9
3.1. Giriş.....	9
3.2. ZA Alaşımlarının Mikroyapısı.....	12
3.2.1. ZA-27 alaşımının mikroyapısı.....	13



3.3. ZA Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri.....	14
3.4. ZA Alaşımlarının Mekanik Özellikleri .....	15
3.4.1. Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi.....	17
3.4.2. Çinko alüminyum alaşımlarının aşınma özellikleri.....	18
3.4.3. Çinko alüminyum alaşımlarının sürünme özellikleri.....	19
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>SÜRTÜNME VE AŞINMA .....</b>	<b>21</b>
4.1. Sürtünme.....	21
4.2. Aşınma.....	22
4.2.1. Aşınmaya etki eden faktörler.....	25
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>AKIM DESTEKLİ SİNERLEME .....</b>	<b>26</b>
5.1. Giriş.....	26
5.2. Proses Parametreleri.....	27
<b>BÖLÜM 6.</b>	
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>29</b>
6.1. Deneysel Malzeme ve Teçhizat .....	29
6.1.1. Matris malzemesi.....	29
6.1.2. Takviye malzemesi.....	29
6.1.3 Kullanılan teçhizat ve sistem .....	30
6.2. SiC Tozlarının Akımsız Nikel Kaplanması.....	31
6.3. Alaşım ve Kompozit Üretimi .....	34
6.4. Metalografik İncelemeler.....	35
6.5. Optik Mikroskop İncelemeleri.....	35
6.6. Sertlik Ölçümleri.....	35
6.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları.....	35
6.8. Aşınma Deneyi Çalışmaları.....	36
6.9. Termal Genleşme Çalışmaları.....	37

## BÖLÜM 7.

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	38
7.1. Mikroyapı Sonuçları.....	38
7.1.1. Optik mikroskop sonuçları.....	38
7.1.2. SEM analizleri.....	44
7.2. Sertlik Sonuçları.....	59
7.3. Aşınma Deney Sonuçları.....	60
7.3.1. Aşınma Yüzeylerinin İncelenmesi.....	62
7.4. Termal Genleşme Deneyi Sonuçları.....	85
7.4.1. Termal genleşme deneyi sonrası SEM çalışmaları.....	87
7.4.2. Termal genleşme deneyi sonrası sertlik çalışmaları.....	93

## BÖLÜM 8.

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	96
8.1. Sonuçlar .....	96
8.2. Öneriler.....	98
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	102

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\mu$	: Sürtünme Katsayısı
MMK	: Metal matrisli Kompozit
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
EDS	: Enerji dağılım spektrometresi
CTE	: Termal genişleme katsayısı
ASTM	: Amerikan standart
PECS	: Darbeli elektrik akım sinterlemesi
SPS	: Kıvılcımlı akım sinterlemesi
PAS	: Plazma aktivasyon sinterlemesi
HP	: Sıcak presleme
N	: Newton
F	: Kuvvet
P	: Yük

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Zn-Al ikili denge diyagramı.....	13
Şekil 3.2.	Çekme mukavemetinin sıcaklıkla değişimi.....	18
Şekil 4.1.	Statik ve dinamik sürtünme katsayıları .....	22
Şekil 4.2.	Abrasif aşınma olayı.....	23
Şekil 4.3.	Adhesif aşınma olayı.....	23
Şekil 4.4.	Kırılma aşınması olayını.....	24
Şekil 4.5.	Korozif aşınma olayı .....	24
Şekil 5.1.	Akım destekli sinterleme prosesinin şematik gösterimi.....	27
Şekil 6.1.	Sistemin genel görünüşü.....	30
Şekil 6.2.	Ani sinterlenmenin gerçekleştiği kısım.....	31
Şekil 6.3.	SiC tozunun SEM görüntüsü.....	32
Şekil 6.4.	Akımsız Ni kaplanmış SiC tozunun SEM görüntüsü.....	33
Şekil 6.5.	Akımsız Ni kaplanmış SiC tozunun yapı içerisindeki SEM görüntüsü .....	33
Şekil 6.6.	Jeol JSM 6060 LV marka SEM cihazının fotoğrafı.....	36
Şekil 6.7.	CSM Instruments Tribometer Aşınma Cihazı.....	37
Şekil 6.8.	Anter Corporation Unitherm Model 1161 Dilatometer System markalı dilatometre cihazı.....	37
Şekil 7.1.	%20 SiC ilave edilmiş numunenin içyapısı.....	39
Şekil 7.2.	%20 SiC ve % 2.5 grafit ilave edilmiş numunenin içyapısı.....	40
Şekil 7.3.	%20 SiC ve % 5 grafit ilave edilmiş numunenin içyapısı .....	41
Şekil 7.4.	%20 SiC ve % 7,5 grafit ilave edilmiş numunenin içyapısı.....	42
Şekil 7.5.	%20 SiC ve % 10 grafit ilave edilmiş numunenin içyapısı .....	43
Şekil 7.6.	ZA-27 SEM fotoğrafları ve element dağılım sitokimyası.....	44

Şekil 7.7.	ZA-27 + %20 SiC kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi.....	45
Şekil 7.8.	ZA-27+%20 SiC+%2,5 grafit kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi e) 4 noktasındaki EDS analizi.....	47
Şekil 7.9.	ZA-27+%20 SiC+%5 grafit kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi e) 4 noktasındaki EDS analizi.....	50
Şekil 7.10.	ZA-27+%20 SiC+%7,5 grafit kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi e) 4 noktasındaki EDS analizi, f)5 noktasındaki EDS analizi.....	52
Şekil 7.11.	ZA-27+%20 SiC+%10 grafit kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi e) 4 noktasındaki EDS analizi, f)5 noktasındaki EDS analizi.....	55
Şekil 7.12.	Elde edilen numunelerin sertlik değerleri.....	59
Şekil 7.13.	ZA-27 ve üretilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değişimleri.....	61
Şekil 7.14.	ZA-27 ve üretilen kompozit malzemelerin aşınma hızı değişimleri.....	61
Şekil 7.15.	ZA 27 alaşımının 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri .....	63
Şekil 7.16.	ZA 27 alaşımının aşınma deneyinde kullanılan çelik bilyede görülen aşınma izlerinin optik mikroskop görüntüsü.....	64
Şekil 7.17.	%20 SiC takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş.....	65

Şekil 7.18.	%20 SiC takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi e) 4 ile gösterilen noktanın EDS analizi.....	66
Şekil 7.19.	%20 SiC+ %2,5 grafit takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri.....	69
Şekil 7.20.	%20 SiC+%2,5 Grafit takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi e) 4 ile gösterilen noktanın EDS analizi.....	71
Şekil 7.21.	%20 SiC+ %5 grafit takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri.....	74
Şekil 7.22.	%20 SiC+%5 Grafit takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi...	75
Şekil 7.23.	%20 SiC+ %7,5 grafit takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri.....	78
Şekil 7.24.	%20 SiC+%5 Grafit takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi...	79
Şekil 7.25.	%20 SiC+ %10 grafit takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri.....	81

Sekil 7.26.	%20 SiC+%10 Grafit takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi e) 4 ile gösterilen noktanın EDS analizi.....	82
Şekil 7.27.	ZA 27 alaşımı ve takviyeli kompozit malzemelerin sıcaklık-%genleşme grafikleri.....	86
Sekil 7.28.	ZA 27 alaşımı ve takviyeli kompozit malzemelerin sıcaklık-termal genleşme katsayısı grafikleri.....	86
Şekil 7.29.	ZA-27 alaşımı SEM fotoğrafları a) Termal genleşme öncesi, b) Termal genleşme sonrası.....	87
Sekil 7.30.	ZA-27+%20 SiC kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genleşme öncesi, b) Termal genleşme sonrası.....	88
Şekil 7.31.	ZA-27+%20 SiC+%2,5 Grafit kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genleşme öncesi, b) Termal genleşme sonrası.....	89
Sekil 7.32.	ZA-27+%20 SiC+%5 Grafit kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genleşme öncesi, b) Termal genleşme sonrası.....	90
Şekil 7.33.	ZA-27+%20 SiC+%7,5 Grafit kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genleşme öncesi, b) Termal genleşme sonrası.....	91
Şekil 7.34.	ZA-27+%20 SiC+%10 Grafit kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genleşme öncesi, b) Termal genleşme sonrası.....	92
Şekil 7.35.	Termal genleşme deneyi sonrasında elde edilen mikrosertlik değerleri.....	94
Şekil 7.36.	Termal genleşme deneyi öncesinde ve sonrasında elde edilen mikrosertlik değerleri.....	95





## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Çinko alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri.....	11
Tablo 3.2.	Çinko alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri.....	14
Tablo 3.3.	Çinko alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri.....	17
Tablo 6.1.	SiC'ün bazı özellikleri.....	29
Tablo 6.2.	Akımsız nikel kaplama bileşenleri ve kaplama şartları.....	32
Tablo 6.3.	Numunelerin hacimce ve ağırlıkça içerik bilgileri.....	34
Tablo 7.1.	Akım sinterleme üretim parametreleri.....	38
Tablo 7.2.	Numunelerin mikrosertlik değerleri.....	59
Tablo 7.3	ZA-27 ve üretilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı ve ağırlık değişimleri.....	60
Tablo 7.4.	Termal genişleme deneyi sonrasında elde edilen mikrosertlik değerleri.....	94

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Çinko-Alüminyum alaşımları, ZA-27, Metal matrisli kompozit, Akım destekli sinterleme, Aşınma, Sürtünme, Termal genleşme

MMK üretiminin ana amacı matris alaşımının mukavemet ve elastik modülünü arttırmaktır. Bununla beraber matris alaşımlar farklılığından dolayı değişik elastik modül, mukavemet ve termal genleşme katsayılı malzemeler üretebilmektir. En önemli özelliklerinden biri ise aşınma dirençlerinin çok iyi olmasından dolayı aşınma uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilenleridir.

Bu çalışmada, akım sinterleme prosesi ile ZA 27 alaşımı ve kompozitlerinin üretimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, hacimce %20 SiC ve/veya %2,5-5-7,5-10 grafit partikülleri ilave edilmiştir. Üretilen numunelerin mikroyapı, mikrosertlik, aşınma, sürtünme ve termal genleşme özellikleri incelenmiştir.

# **PRODUCTION OF METAL MATRIX COMPOSITES BY CURRENT ACTIVATED SINTERING AND PROPERTIES**

## **SUMMARY**

Key Words: Zinc-Alluminium alloys, ZA 27, Metal matrix composite, Current activated sintering, Wear, Friction, Thermal expansion

The main purpose of the MMC production is to increase the strength and elastic modulus of the matrix alloy. However, it is also possible to produce materials having different elastic modulus, strength and thermal expansion coefficient values. One of the most important parameter is used in the wear applications because of their high wear resistance.

In this study, production of zinc aluminium based ZA 27 alloy and its composites by current activated sintering process, was aimed. For this purpose, volume fractions %20 SiC and/or %2,5-5-7,5-10 graphite particle additions was considered. Microstructure, microhardness, wear, friction and thermal expansion properties of produced samples were analyzed.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Teknolojinin son derece hızlı ilerlemesi, kullanılan malzemelerden daha iyi özellikler beklenmesine ve yeni malzemeler geliştirilmesine yol açmıştır. Geliştirilen bu malzemelerin en önemlilerinden birisi olan kompozit malzemeler, kullanıldıkları uygulamalarda kendilerinden beklenen özellikleri en iyi şekilde karşılayabilen malzemelerdir. Kompozit malzemeler mühendislik uygulamalarında XX. yüzyılın ikinci yarısından beri kullanılmaktadır. Ancak matris malzemesi olarak çeşitli metallerin alaşımlarıyla birlikte kullanılması son yirmi yılda hızla artış göstermiştir. Bu artış, metal matrisli kompozit malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların yoğunlaşmasını da beraberinde getirmiştir.

Son yıllarda metal matrisli kompozitler üzerinde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin yerlerine kullanıldıkları diğer malzemelere göre yüksek elastik modül, yüksek mukavemet, yüksek sıcaklıklarda çalışabilme kabiliyeti, düşük ağırlık, yüksek tokluk ve aşınma direnci gibi bir çok üstün özellikleri bu tür kompozitlere olan ilgiyi arttırmıştır. Kompozit malzemelerde matrisin türü yanında takviye olarak kullanılan katkı malzemeleri de belirleyici rol oynar. Bunlar sürekli veya süreksiz fiberler ile partikül takviyeleridir. Ancak farklı boyutlardaki partikül takviyesi, üretim yöntemi olarak döküm tekniklerinin uygulanabilmesi nedeniyle üretim maliyetlerini düşürmekte ve işleme kolaylığı açısından, fiber takviyeli kompozitlere oranla daha çok tercih edilmektedir. Partikül takviyesi olarak da sıklıkla  $Al_2O_3$  ve  $SiC$  kullanılarak sertlik, mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma direnci gibi mekanik özellikleri ile ısı direnç ve iletkenlik gibi termal özellikleri iyileştirilmiş malzemeler elde edilir. Bu üstün özellikli malzemeler de özellikle havacılık ve otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılır.

ZA-27 alaşımı; çinko alaşımları arasında en dayanıklı ve hafif olanıdır. Aynı zamanda mükemmel yatak malzemesi ve aşınma direnci özellikleri gösterir. Ancak istenen iç yapının oluşabilmesi için ergime ve döküm sırasında dikkat gerektirir [1]. Çinko alüminyum alaşımları son yıllarda sürekli gelişen ve sık kullanım alanları bulan bir alaşım haline gelmiştir. Günümüzde ZA alaşım ailesi olarak bilinen ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımları, değişik alanlarda yaygın olarak kullanılan ZAMAK alaşımlarının uygulama alanlarını daha da genişleterek, birçok endüstriyel uygulamalarda (konstrüksiyon, otomotiv, madencilik vs.) yer almaktadır [2]. Çinko-alüminyum alaşımları mukavemetli, korozyon ve aşınma direnci iyi, aynı zamanda kolay dökülebilirliğe sahip alaşımlardır. Ancak özkütlesinin büyük ve yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemetli olması gibi dezavantajları vardır. Mukavemetini artırmak amacıyla hafif, sert, mukavemetli ve ucuz seramik takviyelerle özellikleri artırılabilir [3]. Üstün tribolojik özelliklere sahip olan çinko alüminyum esaslı alaşımlar, pek çok uygulamada beyaz metal, bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaktadır [4,5].

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen inko-Alüminyum alaşımlarının sinterlenmesinde büyük problemler yaşanmaktadır. Bunun nedeni sinterleme esnasında çinkonun buharlaşarak yapıdan uzaklaşmasıdır. Bu nedenle son yıllarda ilgi çeken akım sinterleme yöntemi inko-Alüminyum alaşımları için de cazip hale gelmiştir. Bu yöntemde çinko tozları buharlaşmaya vakit bulamadan Alüminyum tozları ile etkileşime girerek birbiri içerisinde difüze olurlar. İstenilen bileşimi ve yapıyı çok kısa sürede oluşturabilirler.

Bu çalışmada, oldukça iyi aşınma direnci ve mükemmel sertlik özelliklerine sahip SiC partikülleri ile yağlayıcı özelliğe sahip grafit partikülleri kullanılarak, ZA 27 alaşımının aşınma özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. ZA-27 alaşımının ve MMK malzemelerin üretimi akım destekli sinterleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Hacimce %20 SiC ve %0, %2,5, %5, %7,5 ve %10 grafit partikülleri takviye edilerek kompozit malzemeler üretilmiştir. Alaşım ve kompozitlerde mikroyapı incelemesi ve sertlik ölçümleri yapılmıştır.

## **BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER**

Kompozit malzemeler, şekil ve/veya kimyasal bileşimleri farklı, birbiri içerisinde pratik olarak çözünmeyen iki veya daha fazla sayıda makro bileşenin kombinasyonundan oluşan malzemeler olarak tanımlanabilir [6].

Kompozitler sadece kendi yapısal özellikleri için değil, aynı zamanda elektriksel, termal, tribolojik ve çevresel uygulamalar için de kullanılmaktadır. Modern kompozit malzemeler genellikle verilen bir uygulama alanında, belirli bir özellik dengesine ulaşmak için en iyi şekilde kullanılır. Genel bir pratik ifade olarak kompozit malzemeler, bir arada bulunan sürekli bir matris bileşeni içeren ve daha güçlü, kuvvetli bir takviye fazı bileşenlerinden oluşan malzemelerin önemini belirtmek için sınırlandırılabilir. Sonuçta kompozit malzeme, diğer malzeme bileşenleri ile tek başına daha üstün bir yapısal özellikler dengesine sahiptir [7].

İçyapıları çıplak gözle incelendiğinde yapıyı oluşturan bileşenler kolayca seçilip ayırt edilebilir. Sözlük anlamında kullanılan kompozit terimi çeşitli parçalardan veya elementlerden oluşan malzemeleri tanımlamaktadır. Bu tanıma göre de pek çok malzemenin kompozit grubu içerisine girmesi gerekmektedir. Başta alaşımlar olmak üzere konvansiyonel mühendislik malzemeleri ile gerçek anlamda kompozit malzemelerin birbirlerinden ayırt edilmesi güçleşecektir [1].

Bir malzemenin kompozit sayılabilmesi için kabaca şu özellikleri taşıması gerekmektedir [1]:

- İnsan tarafından üretilmelidir,
- Farklı bileşenlerle beraber kimyasal olarak birbirinden farklı en azından iki malzemenin kombinasyonundan oluşmalıdır,

- Kompozit malzemeyi oluşturan ayrı malzemeler üç boyutlu olarak birleşmelidir,
- Kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başlarına sahip olamayacakları özellikler göstermelidir

Kompozit malzemeler, yapısal bileşenlerin sekline göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır [5]:

- Fiberli kompozitler
- Levhasal kompozitler
- Partikül kompozitler
- Doldurulmuş kompozitler
- Tabakalı kompozitler

Kompozit malzemeler, kullanılan matris malzemesine göre şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Metal matrisli kompozitler
2. Seramik matrisli kompozitler
3. Polimer matrisli kompozitler
4. Karbon-karbon kompozitler

## **2.1. Metal Matrisli Kompozitler Malzemeler**

Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu, yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler, her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedirler [8]. Metal matris, özellikle oksitli ortamlarda ve yüksek sıcaklık uygulamalarında iyidir. Matris malzemesi olarak kullanılan en yaygın metaller alüminyum, magnezyum, titanyum, demir, nikel, tungsten ve bunların alaşımları ile bazı süper alaşımlar, takviye olarak kullanılan malzemeler ise sürekli fiber, kısa fiber, whisker veya partikül şeklinde üretilen, örneğin; bor, karbon, silisyum karbür ve alümina gibi seramikler veya çelik,

tungsten gibi bazı tellerdir. MMK'lerde tüm kompozit özellikleri, katkı ve matris alaşımlarının özelliklerine, üretim süreçlerine, katkı/matris ara yüzeyi ve mikro yapı özellikleri gibi çeşitli etkenlere bağlıdır [5].

Metaller organik reçinelere göre çok daha yüksek dayanımlı matrislerdir. Buna ek olarak metal matris, kompozit malzemelerin tokluğunun ve kullanım sıcaklığının yükselmesini sağlar. Ancak matrisin metal olduğu kompozit malzemelerin üretimi güçtür ve bunlar her fiber ile birlikte kullanılamazlar. Metal matris içinde en kolay kullanılabilen fiber en nadir ve pahalı fiber türü olan bor ve borik (yüzeyi silisyum karbür kaplı bor) fiberdir. Yaygın olarak kullanılan metal matrislere örnek olarak 6061 ve 2024 alüminyum alaşımları ile 1010 saf alüminyum gösterilebilir. Burada kompozit malzeme 450–550°C sıcaklıkta sıcak presleme ile üretilebilir. Böyle bir karma malzeme 300°C 'ye kadar, oda sıcaklığındaki özelliklerini korur. Titanyum alaşımları da yayınma bağı yoluyla borik ve SiC fiberle birleştirilerek matris olarak kullanılabilir. Bu tür bir kompozit malzemenin kullanım sıcaklığı 420-520°C'a çıkar. Karbon fiber da alüminyum alaşımı içine gömülebilir, ancak karbon ile alüminyum arasındaki galvanik korozyonun önlenmesi için önce yüzeyinin nikel veya gümüşle kaplanması gerekir [9].

### **2.1.1. Takviye malzemeleri**

Takviye malzemeleri kimyasal yapılarına göre oksitler, karbürler, nitrürler ve diğer ilave malzemeleri olarak dört ana başlıkta incelenebilir. Bu malzemelerin seçiminde; kolay temin edilebilmeleri, fiyatı, matris malzemesi ile uyumu ve katkıda bulunacağı özellikler göz önünde tutulmaktadır [5].

#### **2.1.1.1. SiC**

SiC erimiş metallerin içinde dahi mukavemet ve modül değerlerini kaybetmeksizin oksidasyon direnci yüksek olan bir malzemedir. Refrakter, aşındırıcı ya da kimyasal alanda kullanılmak üzere partikül ya da whisker yapısındaki SiC eldesi gayet kolay ve ucuzdur. Kum formundaki silika ve kok formundaki karbonun elektrikli bir



fırında 2400 °C'deki reaksiyonu ile SiC elde edilir. Üretilen SiC büyük parçalardan oluştuğu için arzu edilen boyuta öğütülmelidir [5].

Kısaca özetlenecek olursa SiC'ün özellikleri [5] şunlardır:

1. Mükemmel sertlik ve aşınma direnci
2. Mükemmel korozyon direnci
3. Ani sıcaklık değişimlerine karşı direnç
4. Çeliğe göre daha yüksek ısı iletim
5. Çok düşük ısı genleşme

### **2.1.1.2. Grafit**

Grafit ve karbon yapılarının esas kimyasal bileşeni olan elementsel karbonun fiziksel yapısına göre değişim göstermektedir. Karbon, camsı karbon halinde amorf yapılı, karbon siyahında turbo statik, kok kömürü ve kömürde kusurlu hegzagonal, grafit halinde mükemmel yakın hegzagonal kristal ya da elmasta mükemmel yakın tetragonal kristal şeklinde karsımıza çıkmaktadır. Farklı kimyasal saflık derecelerinde olabilen karbon fiberler ise farklı kullanım alanlarında farklı seçenekler sunmaktadır.

Genellikle karbon olarak tanımlanan malzeme kusurlu-amorf kristal yapıda olup proses sıcaklığı 1100 °C (2010 °F) civarı olan, düşük iletkenliğe ve göreceli olarak sert yapıya sahip malzemedir. Grafit olarak tanımlanan malzeme ise daha kusursuz kristal yapıda olan, 3000 °C (5430 °F) işlem sıcaklığına, daha yüksek iletkenliğe sahip, yumuşak ve katı yağlayıcılık özelliğine sahip bir malzemedir [5].

## **2.2. Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler**

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleştirilmelerinden oluşan seramik kompozitler, yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi dayanım göstermekle birlikte, rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği de gösterirler [8].

Seramik matrisli kompozitlerin geliştirilip kullanılmasındaki amaç, enerji darboğazında olan dünyada, daha hafif ama bir o kadarda mukavemetli malzemelere ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca seramiklerin vazgeçilmez özelliği olan yüksek sıcaklıkta çalışma, seramik matrisli kompozitlerin geliştirilip kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Özet olarak seramik matris, yüksek sıcaklıkta çalışma, korozyon direnci, sertlik, aşınma dayanımı, düşük yoğunluk gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Takviyelerinin amacı da malzemeye yüksek tokluk ve malzemenin kullanım ömrünün uzatma gibi özellikler katmak için kullanılmaktadır. Seramik malzemeler iki başlık altında toplanmaktadır. İlki monolitik seramik malzeme, diğeri ise seramik kompozit malzemelerdir. Monolitik seramikler kompozit seramiklere göre çok daha kırılğan olmaktadır. Seramik kompozitlerde ise takviye fazlarının katkısıyla yüksek tokluk değerlerine ulaşılabilmektedir [10].

Seramiklerin matris olarak kullanılması halinde kompozit malzemeler 1300°C'ye kadar kullanılabilme şansına sahip olur. Bu tür- kompozit malzemelerin en gelişmişlerine örnek olarak SiC veya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fiber ile takviye edilmiş, SiC ve Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> seramikleri gösterilebilir. Karbon fiberinde kullanılabildiği bu tür matrislerde (cam, seramik, mullit, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC) fiberlerin rolü farklıdır. Mekanik özellikleri bakımından matristen çok farklı olmayan fiberin buradaki görevi daha çok malzemenin tokluğunu arttırmaktır.

Karbon matris içine gömülü karbon fiberinden oluşmuş kompozitlerin 4000°C'ye kadar dayanma şansı vardır. Burada matris bir organik matrisin poligonizasyonu veya buhar çökeltme ile elde edilir. Bu kompozitler yüksek sıcaklıklarda olağanüstü ısı ve mekanik özelliklere sahiptirler [9].

### **2.3. Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler**

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha fazla komplekstirler. Matris olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışabilen malzemelerdir. Diğer taraftan düşük modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler

olarak iki gruba ayrılan polimer matrisler genellikle sürekli fiberlerle kullanılırlar. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen polyester, poliamidler ve epoksi reçine matrisleridir. Epoksi reçine matrisli kompozitlerin en önemli uygulamalarından biri havacılık uygulamalarıdır. F-14 ve F-15 uçaklarında dengeleyici olarak bor-epoksi kullanılmaktadır ve ayrıca sivil havacılık alanında da Boeing 757 ve 767 'lerde motor kaportaları da karbon/aramid-epoksidir [11]. Polimer matrisli kompozitlerle çalışırken göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden ikisi, sıcaklık ve nemdir. Özellikle iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinde hidro termal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir. Polimer matrisli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en çok kullanılan metotlardan bazıları; ele sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum metotlarıdır. Polimerde kullanılan takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam fiber, kevlar fiber, boron fiber ve karbon fiberlerdir [12].

#### **2.4. Karbon-Karbon Kompozit Malzemeler**

Matris malzemesi olarak kullanılan karbonun birim ağırlıktaki ısı kapasitesi oldukça yüksektir. Roket ağızlarında, uzay araçlarında bulunan koruyucu kalkanlarda, debriyaj ve fren balata-disk sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek teknoloji gerektiren askeri ve uzay alanlarındaki uygulamalarına nispeten düşük hacim sağlamasına karşın, katma değeri yüksek ve oldukça pahalı malzemelerdir [5].

## BÖLÜM 3. ÇİNKO ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

### 3.1. Giriş

ZAMAK alaşımları ilk olarak New Jersey Zinc Company tarafından 1920 yılında geliştirilmiştir. ZAMAK adını kendisini oluşturan alaşımların baş harflerinden alır: Z-Zinc, A- Aluminium, MA- Magnesium ve K- Kopper (Almanca bakır).

Bu alaşımlar hem hızlı hem de ekonomik bir döküme imkan sağlayan özelliklere sahiptir ve farklı basınçlı döküm alaşımları ile karşılaştırıldığında birçok avantajlara sahiptirler. Çinko alaşımlarının iyi dökülebilirlik özelliği de ince duvarlı çinko dökümüyle ekonomik üretime izin vermektedir. Çinko döküm alaşımlarının diğer bir çekici özelliği de daha kolay elektrolitik kaplama ve yüzey temizlemeye izin veren döküm sonrası elde edilen yüzey kalitesidir. 1960'lı yılların başında plastik malzemelerin piyasaya çıkmasıyla ZAMAK alaşımlarının kullanımı daraltılmıştır. Bunun sebebi de ZAMAK alaşımlarının yüksek sıcaklık özelliklerinin bekleneni verememesidir [13].

Ticari önemi gittikçe artan çinko-alüminyum esaslı yatak alaşımları ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları, yoğun bir biçimde devam etmektedir. Bu alaşımlar beyaz metal, bronz, pirinç, dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerine göre pek çok üstünlüklere sahiptir. Bunların başında; çinko-alüminyum esaslı alaşımların aşınma direncinin yüksek olması, alaşım elementlerinin kolaylıkla ve ucuza temin edilebilmesi, ideal döküm ve ısıl işlem özelliklerine sahip olması gelmektedir. Ancak çinko esaslı alaşımların mekanik özellikleri birçok uygulama için yetersiz kalmaktadır. Yapılan araştırmalar bakır, magnezyum, mangan ve silisyum gibi alaşım elementi katkılarının ikili çinko-alüminyum alaşımlarının mukavemetini arttırdığını göstermiştir [14].

Ülkemizde en çok tanınan ve geniş bir kullanım alanına sahip olan çinko-alüminyum “ZAMAK” alaşımlarından en çok olarak bilinen No. 3 ( Zn- % 4Al - % 0.05 Mg) ve No. 5 (Zn - % 4Al - % 1Cu - % 0.05 Mg) alaşımlarıdır. Bu alaşımların çinko-alüminyum ikili denge sisteminde ötektik altı bir bileşimde, düşük ergime sıcaklığı ve katılma aralığına sahip olmaları, ideal bir sıcak-basınçlı döküm işlemiyle çok ekonomik ve yüksek üretim hızları ile hassas şekilli parçaların üretilebilmesine imkan vermektedir [14].

ZAMAK 2: En dayanıklı ve sert ZAMAK alaşımıdır. Genellikle basınçlı döküm ile bazen de kokil döküm ile üretilirler.

ZAMAK 3: Arzulanan fiziksel ve mekanik özellikler arasında çok iyi bir denge vardır. Çok iyi bir dökülebilirlik ve uzun dönem boyutsal kararlılığa sahiptir.

ZAMAK 5: ZAMAK 3’ ten daha yüksek sertlik, mukavemet ve sürünme direncine sahiptirler. Bunun yanında süneklikleri daha düşüktür.

ZAMAK 7: ZAMAK 3’ün akıcılığı artırmak amacıyla daha düşük magnezyum içeriğine modifiye edilmiş halidir. Daha yüksek sünekliğe sahiptir.

ZA-8: İyi bir kokil döküm alaşımıdır. Özelliklerinin çok benzer olduğu 2 No’ lu hariç ZAMAK alaşımlarından gelişmiş sertlik, mukavemet, sürünme dayanımı gösterir.

ZA-12: ZA-12’nin hem basınçlı hem de kokil döküm ürünlerinin yüksek performans özellikleri ve üretim kolaylığı açısından diğer çinko – alüminyum alaşımları ile kıyaslanınca çok yönlü bir malzeme olduğu kabul edilebilir.

ZA-27: Çinko alaşımları arasında en dayanıklı olanıdır. Aynı zamanda en hafif olanıdır ve mükemmel yatak malzemesi ve aşınma direnci özellikleri gösterir. Ancak istenen içyapının oluşabilmesi için ergime ve döküm sırasında dikkat gerektirir. ZA-27 kaplama için tavsiye edilmez ancak yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren durumlarda mükemmel performans gösterirler [15].

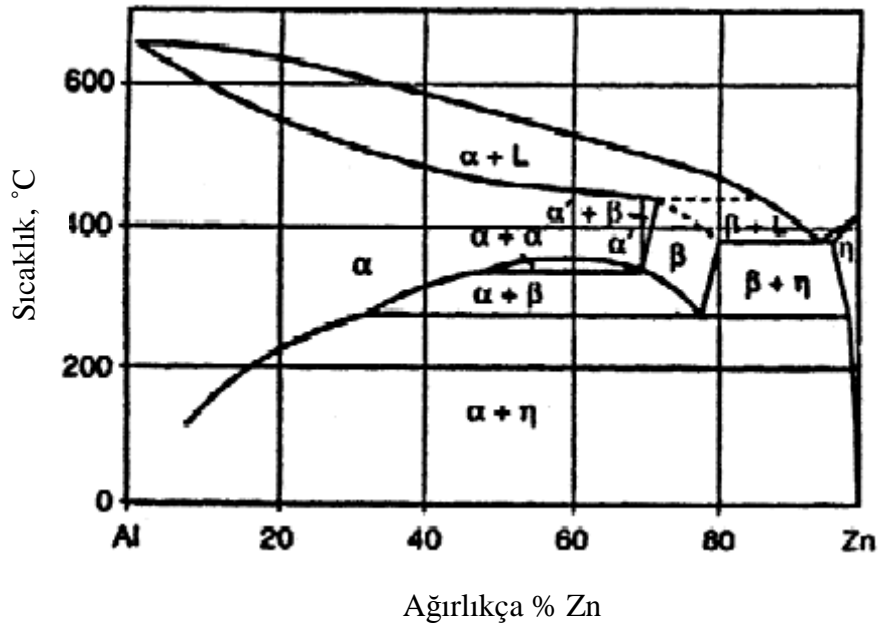
Çinko alüminyum alaşımlarının ASTM döküm standartlarına göre ağırlıkça kimyasal bileşimleri Tablo 3.1’ de verilmektedir.



### 3.2. ZA Alaşımının Mikroyapısı

Yüzyıla yakın zamandan beri alüminyum çinko ikili sistemleri araştırılmaktadır. Shepherd, Ewen ve Turner yüksek sıcaklık intermetalik bileşiminin (ZnAl) ağırlıkça % 70,6 Zn ile %80,6 Zn arasında 340°C'de oluştuğunu düşünmüşlerdir. Bunun yanında 277°C'de ağırlıkça %78 Zn'da bir ötektoid ve 443°C'de %72 Zn'da bir peritektik reaksiyon olduğunu belirlemişlerdir. Owen ve Pickup ise yüksek sıcaklık X-Ray cihazı ile herhangi bir peritektik reaksiyon görememişlerdir. 1938'de ise yüksek sıcaklık fazı, faz diyagramında yerini monotektoid reaksiyona bırakmıştır. Goldak ve Parr yüksek sıcaklıkta latis parametresindeki gözlemledikleri anomalilerden yeniden bir düzenleme yaparak %72 Zn'da çok dar bir  $\alpha + \beta$  bölgesini belirlemiştir [17].

Çinko atomları alüminyum atomları ile intermetalik faz oluşturmaya yatkın değildir ki bu da aralarındaki etkileşimin düşük olduğu anlamına gelir. Al'un atom çapı 1,43 Å, Zn'un atom çapı ise 1,34 Å'dur. Bu da Al-Zn alaşımlarının mikro yapılarına önemli ölçüde etki eder [18]. Zn-Al denge diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir [19]. Çinkoca zengin katı eriyiğe  $\eta$  fazı, alüminyumca zengin katı eriyiğe ise  $\alpha$  fazı adı verilmektedir. Oda sıcaklığında alüminyumun çinko içerisindeki çözünürlüğü % 0,05 iken sıcaklığın artmasıyla ötektik sıcaklığında %1,1 maksimum değerine ulaşmaktadır. Çinko ise alüminyum içerisinde %80'e kadar çözünmekte ve  $\alpha$ ,  $\alpha'$  ve  $\beta$  fazlarını oluşturmaktadır. Monotektoidin Zn tarafında kalan kısım  $\alpha'$ , yüzey merkezli ve daha fazla Zn içeren peritektik faz ise  $\beta$ 'dir. Alüminyumca zengin katı eriyiklerin kafes parametreleri birbirinden farklı olduğu için  $\alpha$  ve  $\alpha'$  olarak adlandırılmaktadır. Denge diyagramında %94,9 Zn ve 380°C'de ötektik, %72 Zn ve 443°C'de peritektik, %78 Zn ve 277°C'de ötektoid ve 340°C'de monotektik reaksiyonlar meydana gelmektedir [1,20].



Şekil 3.1. Zn-Al ikili denge diyagramı[20]

### 3.2.1. ZA-27 alaşımının mikroyapısı

Ötektik altı ve ötektik üstü alaşımların katılaşmalarından farklı olarak ZA-27 alaşımının katılaşması sırasında hem peritektik hem de ötektoid katılaşmalar meydana gelmektedir [1].

ZA-27 alaşımının mikroyapısı döküm prosesinin ve ardından gelen soğutma oranının bir fonksiyonudur. Yapılan çalışmalar gösteriyor ki ZA-27 alaşımının ergiyik halden oda sıcaklığındaki haline gelene kadar birçok faz dönüşümü göstermektedir [21]. Yaklaşık %27 alüminyum içeren sıvı haldeki alaşım içerisinde öncelikle alüminyumca zengin YMK  $\alpha$  fazı dendritleri oluşur ve  $\alpha+L$  yapısı oluşur. Sıvı faz büyüme esnasında çinkoca zenginleşir.  $443^{\circ}\text{C}$ ' de  $\alpha$  dendritlerinin sıvı ile peritektik reaksiyonu sonucu dendritler çevresinde çinkoca zengin  $\beta$  fazı oluşur. Katılaşma devam ettikçe önce  $\alpha+\beta$  fazı, ötektoid sıcaklığın altında da lamellar ya da düzensiz  $\alpha+\eta$  partiküllerine dönüşür [1,19,21]. ZA-27 alaşımındaki bakır içeriği  $377^{\circ}\text{C}$ ' de intermetalik  $\text{CuZn}_4$  ( $\epsilon$ ) bileşiğinin  $L \rightarrow \alpha+\eta+\epsilon$  üçlü ötektik reaksiyonu sonucu oluşmasına neden olur [21]. Çökelti partikülleri halinde  $\eta$  fazı içerisinde homojen dağılan bu faz çinko alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmektedir [1].



ZA-27 alaşımlarında kompozisyon dağılımı oldukça homojensizdir. Üretim aşamalarındaki denge dışı katılaşmalar çeşitli mikroyapıların oluşmasına neden olur [22]. Isıl işlem ile ZA-27' nin kompozisyonu homojenleştirilebilir. Alüminyum miktarı dendrit çekirdeğinde maksimum iken dendritler arası bölgede ise minimum seviyesindedir. Çinko için ise durum tam tersine dendritler arası bölgede maksimumken dendrit merkezinde minimumdur [23]. Miroslav, Boban ve Branislav'ın bir çalışmasında ZA-27 alaşımının 5 saatlik çözündürme ısıl işlemi ve ardından su verme işlemi sonrasında dendritler arası  $\eta$  fazının koagülasyonunun görüldüğü, dendritik çekirdeğin ise görülmediğini gözlemlemişlerdir. Bununla beraber dağılımın üniformluğu artmış ve mikro bileşen farklılığı azalmıştır [24].

Dendritik yapıdaki ZA-27 alaşımını küresel yapıya çevirmek belirli yöntemleri kullanarak mümkündür. Non-dendritik bir yapı oluşumu katılaştıran alaşımı kuvvetli karıştırma ya da kısmi ergime öncesi termomekanik işlem ile sağlanabilir. Yarı katı durumunda alaşım kuvvetli bir şekilde karıştırılırsa dendritler küresel forma geçmeye meylederler. Eğer alaşım yeteri kadar deforme edilir ve ısıtılırsa toparlanma ve yeniden kristalleşme sonucunda ince taneli bir yapı elde edilebilir[25].

### 3.3. ZA Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri

Tablo 3.2. Çinko alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri [16]

	#3	#5	#7	#2	ZA-8	ZA-12	ZA-27
<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	6,6	6,6	6,6	6,6	6,3	6,0	5,0
<b>Ergime Aralığı (°C)</b>	381-387	380-386	381-387	379-390	375-404	377-432	376-484
<b>Elektrik İletkenliği (%IACS)</b>	27	26	27	25	27,7	28,3	29,7
<b>Isıl iletkenlik (W/m/sa/°C)</b>	113	108,9	113	104,7	114,7	116,1	125,5
<b>Termal Genleşme Katsayısı (100-200°C <math>\mu\text{m}/\text{mm}/^\circ\text{C}</math>)</b>	27,4	27,4	27,4	27,8	23,3	24,2	26
<b>Çekme Payı in/in</b>	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,0075	0,008

Alaşımların yoğunluğu alüminyum içeriği ile ilgilidir.  $5 \text{ gr/cm}^3$  yoğunluğundaki ZA-27, bakırdan %5, dökme demirden %45 daha hafif, alüminyumdan ise %85 daha ağırdır. Oda sıcaklığındaki elektrik direnci ve iletkenliği alüminyum oranıyla fazla değişmemektedir. ZA-12'nin oda sıcaklığındaki elektrik iletkenliği %28,3 IACS iken alüminyumun %39 IACS, A380' in %27 IACS, pirinç ve bronzun ise yaklaşık %10 IACS ve dökme demirin %7 IACS 'dir. ZA alaşımının termal genleşme katsayısı çoğu alüminyum ve bakır alaşımından daha yüksektir ve dökme demirin iki katına yakındır [13].

### 3.4. ZA Alaşımlarının Mekanik Özellikleri

Çinko alüminyum alaşımları özellikle yatak alaşımları olmak üzere birçok uygulamada geleneksel alaşımların yerini başarıyla almıştır. Özellikle ZA-27 alaşımının 400-440 MPa değerleri arasında sahip olduğu çekme mukavemeti dikkat çekmektedir. Bu değer alüminyum alaşımlarından %35, pirinçten ve bronzdan %80 daha fazladır [1]. ZA-12 orta dirençteki ihtiyaçları karşılamakta ve alüminyum alaşımlarına, dökme demirlere ve bronzlara karşı alternatif malzeme olarak görülmektedir. Kum dökümdeki çekme gerilmesi 275-310 MPa, kokil dökümde ise 310-345 MPa değerindedir. ZA-8 de orta dirençteki ihtiyaçları karşılamaktadır fakat ZA-12 'den düşük çekme gerilmesi değerine sahiptir [13]. ZA alaşımlarının farklı döküm yöntemlerinden etkilenecek farklı çekme ve akma mukavemeti değerleri gösterebilmektedir. Oda sıcaklığında sıkıştırma döküm ZA-27, kokil döküm ZA-27 alaşımından %10 daha iyi çekme mukavemetine sahiptir. Sıkıştırma döküm ZA-12 ise sıkıştırma döküm ZA-8' den %10 daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında sıkıştırma döküm ZA-8 alaşımı da kokil döküm ZA-12 alaşımından yaklaşık %25 daha iyi çekme mukavemeti göstermektedir [26].

ZA-27 alaşımı dökme demir ve diğer alaşımlarla kıyaslanınca çok daha yüksek sertlik değerine sahiptir [1,26]. Bunun nedeni ZA-27 alaşımının diğerlerinden yüksek alüminyum oranı içermesi ve hızlı katılma sonrası küçük tanelerin ve dekompoze bölgelerin olması olarak açıklanabilir [26]. Ayrıca ZA alaşımları %8-11 arasındaki değeri ile en iyi sünekliğe sahiptir.

ZA alaşımları çentik hassasiyetine sahip olduklarından darbe deneyi değerleri çentiksiz numuneler kullanılarak elde edilir [13]. ZA alaşımlarının oda sıcaklığındaki darbe özellikleri bronz, pirinç ve alüminyum alaşımlarına nazaran daha iyidir [1]. ZA alaşımlarında yapılan darbe deneyleri, ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarında çok açık olarak gevrek-senek geçiş sıcaklığının bulunduğunu göstermiştir. Fakat bu ZA-27 alaşımında çok açık olarak belli değildir [13]. Oda sıcaklığı şartlarında basınçlı döküm tekniği ile üretilen ZA-8 alaşımının ZA-27 ve ZA-12 alaşımlarına göre daha yüksek darbe direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir. ZA-27'nin düşük olan darbe dayanımı, döküm esnasında oluşan çekilme boşluğu ve porozite ile ilişkilidir. Bununla birlikte, soğuk kamaralı basınçlı döküm tekniği ile daha kaliteli dökümlerin elde edilebileceği belirtilmektedir [1,13].

Kuma döküm basınçlı döküm ZA-27 alaşımının, en yüksek kırılma tokluğu değerine sahip olan alaşım olduğu belirlenmiştir. Bu değer homojenleştirme ısıl işlemi yapılırsa bir miktar daha arttırılabilmektedir. ZA alaşımlarının kırılma tokluğu değerleri, diğer döküm alaşımları özellikle alüminyum alaşımları ve dökme demirler ile karşılaştırılabilecek seviyededirler [13].

ZA-27 alaşımı ortalama 150 MPa'lık yorulma değerine sahiptir ve diğer ZA alaşımlarına nazaran daha yüksek bir değere sahiptir [1,13]. En düşük bakır ve alüminyum içeriğine sahip olan ZA-8 ve ZA-12 alaşımları alaşımlar arasında en düşük yorulma direncine sahiptirler. Bu da alüminyum oranının yorulma dayanımına ne kadar önemli bir etki ettiğini gösterir [26]. Çinko-alüminyum esaslı alaşımların üretiminde kullanılan döküm yönteminin, alaşımların yorulma davranışı üzerinde büyük bir etkisi vardır. Kokil döküm yöntemi ile üretilen alaşımlarda, basınçlı döküm yöntemi ile üretilen alaşımlara göre daha fazla gözenek oluşmaktadır. Bu gözeneklerde yorulma çatlaklarının oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır [13]. Kuma döküm ZA alaşımları 172 MPa'lık yorulma dayanımları ile basınçlı döküm ZA-27 alaşımlarından (145 MPa) daha yüksek bir dayanıma sahiptir [1].

Tablo 3.3. Çinko alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri [16]

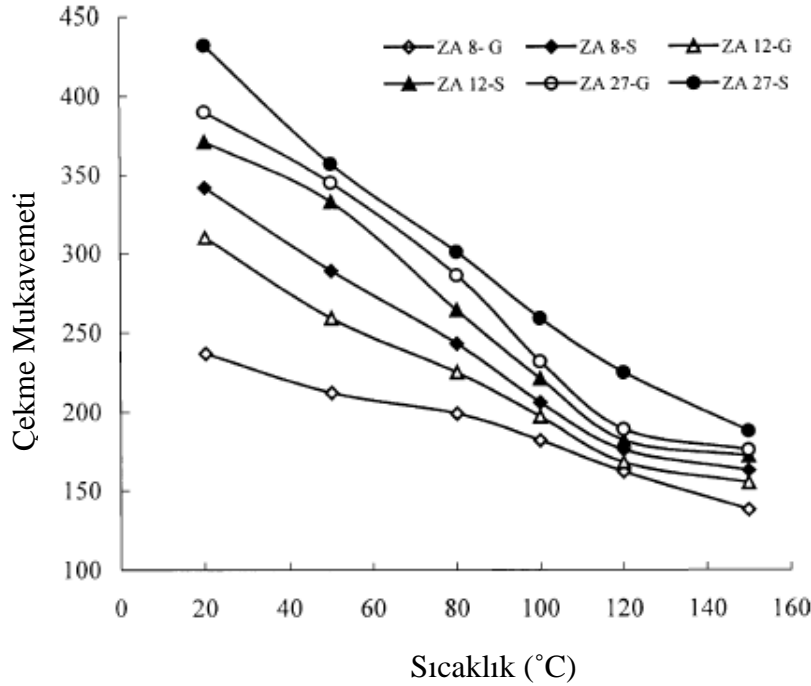
Çinko Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri							
	#3	#5	#7	#2	ZA-8	ZA-12	ZA-27
<b>Çekme Dayanımı (MPa)</b>	283	328	283	359	374	400	421
<b>Akma Dayanımı-%0,2 (MPa)</b>	221	269	221	283	290	317	379
<b>% Uzama</b>	10	7	13	7	6-10	4-7	1-3
<b>Kayma Dayanımı (MPa)</b>	214	262	214	317	275	296	325
<b>Brinell Sertliği</b>	82	91	80	100	95-110	95-115	105-125
<b>Darbe Direnci (J)</b>	58	65	58	48	42	29	5
<b>Yorulma Dayanımı- <math>5 \times 10^8</math> çevrim (MPa)</b>	48	57	47	59	103	117	145
<b>Elastik Modül (GPa)</b>	85,5	85,5	85,5	85,5	-	-	-
<b>Poisson Oranı</b>	0,27	0,27	0,27	0,27	0,29	0,3	0,32

### 3.4.1. Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi

Çinko-Alüminyum alaşımlarının düşük ergime sıcaklığına sahip olması üretim yönünden avantajlar sağlamasına karşın, alaşımların özelliklerini sıcaklığa karşı duyarlı hale getirmektedir. Sıcaklık arttıkça çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve sertlik düşerken süneklik artmaktadır [13]. Bunun yanında ısıl işlenmiş alaşımların uzamasında işlem görmemiş alaşımlara göre daha fazla olduğu da gözlenmiştir. Oda sıcaklığında ZA-27 alaşımı %2,4 uzama gösterirken, 370°C’ de 3 ve 5 saatlik ısıl işlem sonucunda %5,2 ve 6,4’ lük uzama göstermiştir [26]. ZA-12 ’nin oda sıcaklığındaki uzaması yaklaşık %2,5 iken bu değer 80°C ’de yaklaşık %20 ’ye ulaşmaktadır. ZA-8 ’de ise bu değer %2 ’den %5 ’e (80°C ’de) çıkmaktadır. Bu iki alaşımın eğrileri 70°C ile 85°C arasında hızlı bir yükseliş göstermesine rağmen, ZA-27 ise dereceli bir yükselme gösterir [13].

ZA alaşımlarından ZA-8 artan sıcaklıkla mukavemeti en düşük oranda düşen alaşım iken ZA-27 ise en yüksektir. Başlangıçta aralarında oldukça mukavemet farkı olan alaşımlar 150°C civarında benzer mukavemet değerleri göstermektedirler. Şekilde sıkıştırma ve kokil dökümle üretilmiş ZA alaşımlarının sıcaklık ile çekme mukavemetlerinin değişimi verilmiştir. Sıkıştırma döküm ZA-27 ve onu takip eden

kokil döküm ZA-27 her sıcaklıkta en yüksek mukavemeti göstermektedir. Grafikten anlaşılan bir başka önemli nokta da üretim yönteminin ne kadar etkili olduğudur. Daha düşük alüminyum oranlı sıkıştırma döküm ZA-8 alaşımı kokil döküm ZA-12 alaşımından daha yüksek mukavemete değerleri göstermektedir [26].



Şekil 3.2. Çekme mukavemetinin sıcaklıkla değişimi [26]

### 3.4.2. Çinko alüminyum alaşımlarının aşınma özellikleri

ZA alaşımlarının diğer bir mühendislik özelliği de, yatak ve aşınma özelliklerinin endüstrideki diğer yatak malzemelerine kıyasla daha üstün olmasıdır. Genellikle yatak uygulamaları için ZA-12 ve ZA-27 kuru ve yağlı aşınma ortamlarında süper performans gösterirler. Bunlar daha düşük sürtünme katsayısına, daha iyi yük-yatak kabiliyetine, daha düşük çalışma sıcaklıklarına ve daha geniş hidrodinamik yağlama oranına sahiptirler [13]. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar içerisinde ZA-27 alaşımı diğer ticari alaşımlardan (ZA-8, ZA-12) üstün mekanik ve tribolojik özellikler sergilemesi nedeniyle yatak uygulamalarında daha fazla tercih edilmektedir [27].

Marczah ve Ciach %2 Cu ve %40 Al içeren ZA alaşımlarının çok iyi aşınma özelliklerine sahip olduklarını göstermiştir. Alaşımın iyi aşınma özelliği

göstermesinin nedeni boyutsal kararsızlıklarının ortadan kaldırılması için uygulanan ısıtma işlemi sonucu meydana gelen çok fazlı yapı ile yatak yüzeyinde oluşan çinko oksit ve alüminyum oksitten ileri geldiği söylenmektedir. Alüminyum oksidin sertliği alaşımından büyük olduğu için aşınma direnci kazandırır. Çinko oksit ise çok daha yumuşak olup yatak mil arasında bir sıkışma olması halinde yatağı yağlama görevi görür [1,13].

Balalan ve Kaplan [28] farklı bileşimlerdeki çinko alüminyum alaşımlarının kuru kayma aşınması şartları altında pin-on disk aşınma testi ile SAE 7140 nitrürlenmiş 60 mm çapındaki karşı aşınma malzemesi çelik kullanılarak aşınma davranışlarını incelemiştir. Deney numunelerinin aşınma testleri oda sıcaklığında 80 N yük altında ve 190 rpm kayma hızında yapılmıştır. Aşınma kaybı değişimleri 1200 m mesafeye kadar ve her 50 m' de bir ölçülerek alınmıştır. Sonuçlar artan Cu ve Si oranları ile  $CuZn_5$  ( $\epsilon$ ) ve  $\tau'$  fazlarının teşekkülü sonucunda aşınma kaybında azalma olduğunu göstermiştir. Bu gelişmenin Zn-Al alaşımlarının yüzeyinde oluşan oksit tabakalarının yanında, silisyumun verdiği sertlik ile bakırın oluşturduğu  $\epsilon$  ve  $\tau'$  gibi sert bileşiklerden ileri geldiği söylenebilir.

Bronziar (SAE 660) ve ZA alaşımları bugün ağır yük ve hafif hız uygulamasında kullanılan birkaç yatak alaşımından iki tanesidir. ZA alaşımları, endüstride kullanılan SAE 660 Pb-Sn bronzu gibi konvansiyonel yatak alaşımlarına kıyasla daha iyi aşınma özellikleri sergilemektedir.

### 3.4.3. Çinko alüminyum alaşımlarının sürünme özellikleri

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların sürünme dayanımı ile ilgili birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Naziri ve Pearce, %20 Al içeren ötektoid bileşime yakın alaşımlarda %1'e kadar bakır ilavelerinin sürünme davranışına etkisini araştırmıştır. Burada, Cu ilavesinin oda sıcaklığında sürünme dayanımını arttırdığı, 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise önemli bir etkiye sahip olmadığı, ancak tespit edilmiştir [1,20].

ZA-8 alaşımı, diğer ZA ve ZAMAK alaşımları içinde en yüksek sürünme direncine sahip olan alaşımdır. Kayalı, Durman ve Türk [1] alaşım elementlerinin ZA-8 alaşımının sürünme dayanımı üzerine etkisini incelemiştir. İlave edilen Mn, Si, Ti ve Cr alaşım elementleri ZA-8 alaşımının sürünme dayanımını önemli ölçüde arttırmıştır. Alaşım elementleri içerisinde sürünme dayanımını arttırmada en etkin elementin silisyum olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında ZA-8 alaşımına ayrı ayrı ilave edilen manganez, silisyum, titanyum ve krom alaşım elementleri, bu alaşımın çekme mukavemeti değerlerini %5-15 oranlarında azalmasına neden olmuştur.

Nuttall [1], %4 Cu ve %0,2 Mn içeren ötektoid esaslı alaşımlara ısılı şlem uygulamış ve sürünme hızı değerlerini incelemiştir. Bileşiminde Mn bulunan alaşımın sürünme dayanımı, bakır içeren alaşımdan daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Thornton [1], %1,5 Cu - %0,3 Al içeren Zn alaşımlarına Li ve Mn elementi ilavesinde bulunmuş ve 100°C' de 50 MPa gerilmede sürünme özelliklerini incelemiştir. Mn elementinin Al-Mn partikülü halinde tane sınırlarında okeldiği, Li elementinin ise Li-Zn bileşiği oluşturduğu böylece alaşımın sürünme dayanımının önemli miktarda iyileştirdiği belirtilmektedir.

## **BÖLÜM 4. SÜRTÜNME VE AŞINMA**

Genel anlamda sürtünme temasta olan ve izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı gösterdikleri dirençtir. Aşınma ise malzemelerin sürtünmesi sonucu yüzeylerden mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak tarif edilir. Temas eden yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise işleme toleranslarının kötüleşmesine neden olmaktadır [10].

Sürtünme, aşınma, yağlama konularını ve bunlara bağlı olan olayları inceleyen bilim dalına “Triboloji” denilmektedir. Aşınma genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbiri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunuyor olsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlanmanın bozulması iki yüzeyin birbiri ile doğrudan temasına sebebiyet verebilir. Bu temas ile oluşan sürtünme, malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya neden olur. Bu hasar, uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir [10].

### **4.1. Sürtünme**

İki malzeme birbirlerine temas edecek şekilde yerleştirilirse, bu malzemelerden birini diğeri üzerinde kaydırmak için uygulanan kuvvete sürtünme kuvveti direnç gösterir. Kaymayı başlatan kuvvet ( $F_s$ ) ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet ( $W$ ) arasında

$$F_s = \mu_s W \quad (4.1.)$$

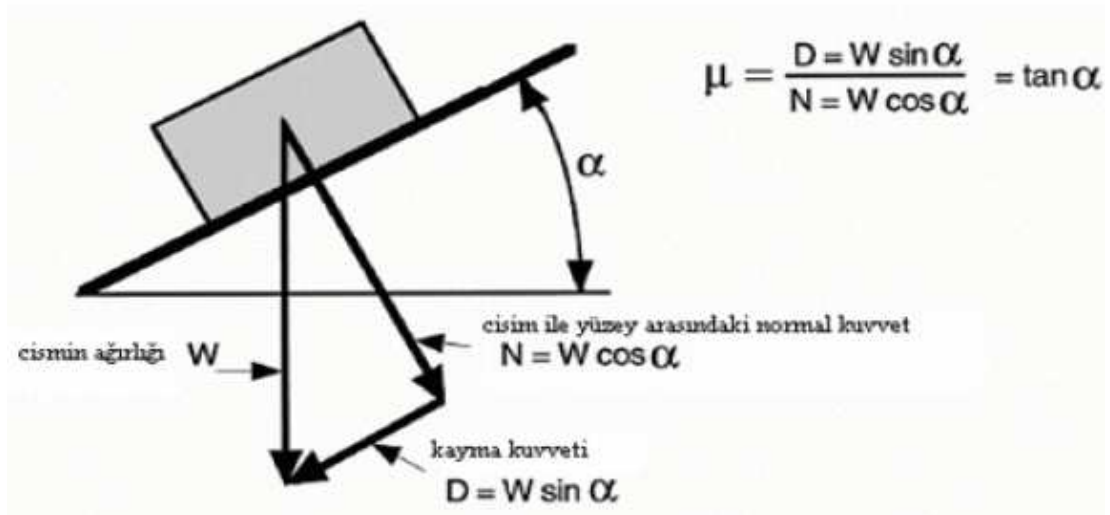
bağıntısı mevcuttur. Burada  $\mu_s$  statik sürtünme katsayısıdır. Kayma başladıktan sonra sürtünme kuvvetinde bir azalma olur ve bu durumda;



$$F_k = M_k \cdot W \quad (4.2.)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada  $M_k$  kinetik sürtünme katsayısıdır. Genellikle statik sürtünme katsayısı ( $M_s$ ), kinetik sürtünme katsayısından ( $M_k$ ) daha büyüktür. Şekil 4.1’de statik ve dinamik sürtünme katsayıları görülmektedir.

Sürtünme olayı incelenirken temas yüzeylerinin pürüzlü oldukları gibi hususlar göz önünde tutulmalıdır. Ne kadar hassas işlenmiş veya parlatmış olursa olsunlar iki yüzey birbiriyle temas ettiğinde, gerçek temas bir takım pürüzlerin birbirlerine dokunduğu noktalarda olur.

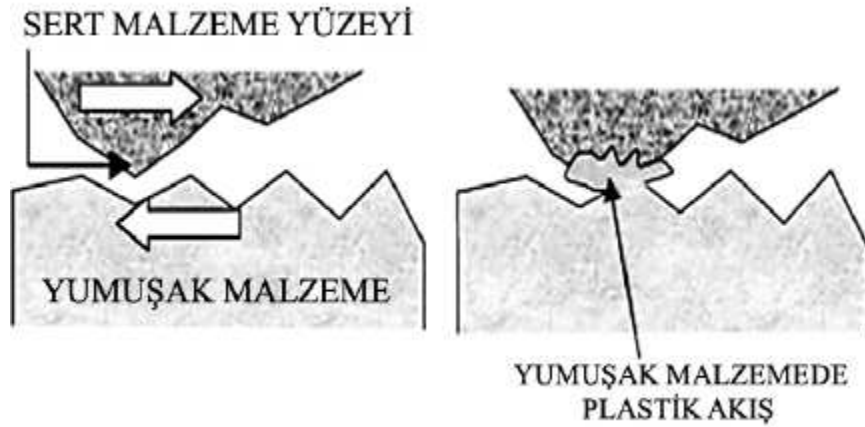


Şekil 4.1. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları [10]

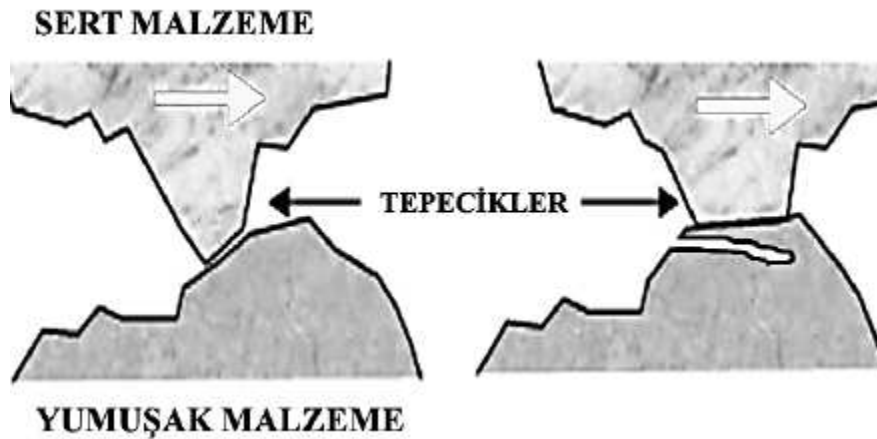
## 4.2. Aşınma

Katı yüzeyler oksit filmleri ile ve sınır tabaka yağlayıcıları ile korunsa bile, oksit filmlerinin mekanik yük altında parçalandığı yerlerde ve aktif sınır tabaka yağlayıcısının zayıf olduğu yerlerde, katı ile katı arasında temaslar oluşur. Bu temaslar aşınmaya neden olur. Genel olarak dört tip aşınma mekanizması bulunmaktadır. Bunlar;

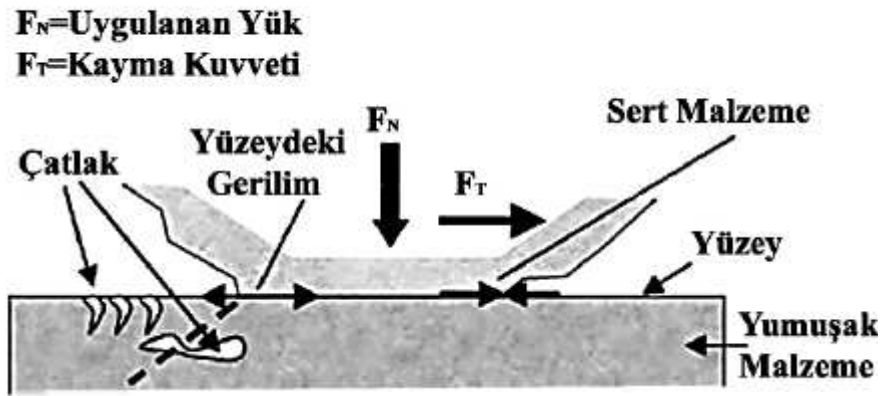
- Abrasif (Şekil 4.2): Abrasif aşınma, karşıt iki malzeme yüzeyinin birbirlerini kuvvetle tutarak yaptıkları kayma hareketi sırasında, sert partiküller veya yüzey tümsekleri tarafından yüzeylerden malzeme kaldırılmasıyla gerçekleşir.
- Adhesif (Şekil 4.3): Adhesif aşınma, bir malzeme yüzeyinin bir başka malzeme yüzeyindeki bağlı hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu meydana gelmektedir.
- Kırılma (Şekil 4.4): Kırılma aşınması, Değişken, tekrarlı yükler sonucu yorulan malzemede ortaya çıkan aşınma şeklidir.
- Korozif (Şekil 4.5): Korozif aşınma, kayma esnasında korozif ortamların etkisiyle malzeme yüzeylerinde oluşan korozyon ürünlerinin, sert partiküller veya yüzey tepecikleri tarafından süpürülmesi ile meydana gelen bir aşınma türüdür.



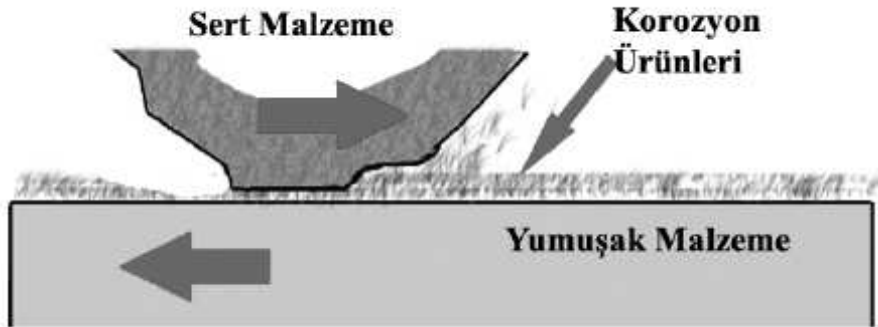
Şekil 4.2. Abrasif aşınma olayı [29]



Şekil 4.3. Adhesif aşınma olayı [29]



Şekil 4.4. Kırılma aşınması olayı[29]



Şekil 4.5. Korozyif aşınma olayı [31]

Al-Cu-Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al/kömür tozu, Al-Si/Grafit ve Al-2014/SiC kompozit sistemlerinde, partikül takviye oranına göre aşınma miktarı veya oranının incelenmesi sonucunda sabit takviye oranında en iyi aşınma direnci olan grafit takviyeli metal kompozit olmakta ve onun ardından sırasıyla SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve kömür tozu ile takviye edilmiş metal ana fazlı kompozitler gelmektedir. Grafit sıkı paket hegzagonal kristal yapısı nedeniyle katı yağlayıcı gibi işlev görmekte ve aşınan veya sürtünen yüzeyler arasında yağlayıcı bir tabaka oluşturmaktadır [30].

#### 4.2.1. Aşınmaya etki eden faktörler

Aşınmayı etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler[10];

Ana malzemeye bağlı faktörler;

- Malzemenin kristal yapısı
- Sertlik
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi

Ortamin etkisi;

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

Servis koşulları;

- Basınç
- Hız
- Kayma yolu

## **BÖLÜM 5. AKIM DESTEKLİ SİNERLEME**

### **5.1. Giriş**

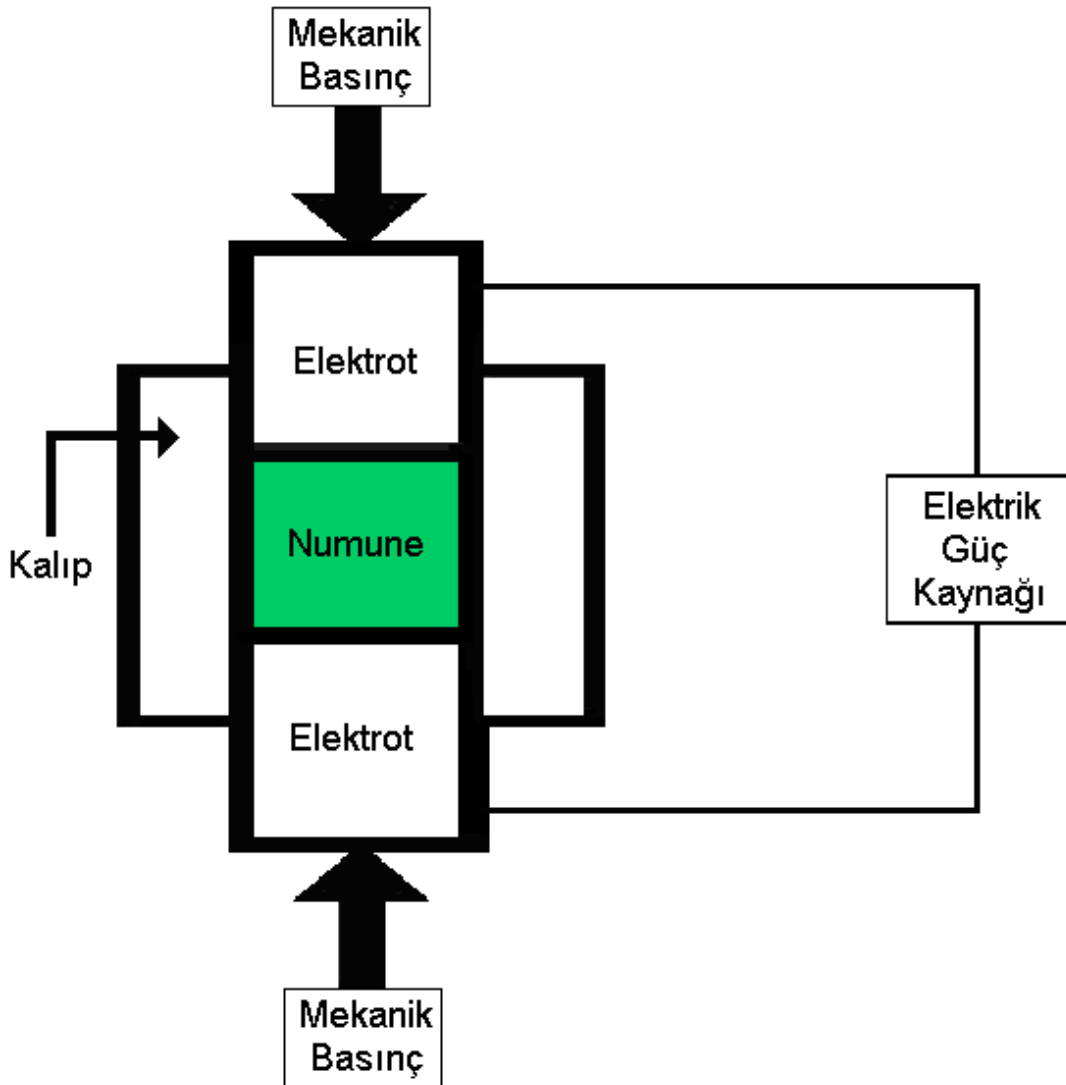
Darbeli elektrik akım sinterlemesi (PECS), kıvılcımlı akım sinterlemesi (SPS) ya da plazma aktivasyon sinterlemesi (PAS) isimleriyle de bilinmekte olan akım destekli sinterleme; çeşitli malzemelerin, özellikle de geleneksel üretim yöntemleriyle kolay üretilemeyen ürünlerin sinterlenmesine imkan tanıyan bir sentezleme tekniğidir. Bu yöntem; kalıplar içerisine yerleştirilen şekillendirilmemiş veya soğuk şekillendirilmiş tozların belirlenen zaman aralığında, istenen basınçta ve arzu edilen sıcaklıkta tutulması ile ürün eldesi prensibine dayanmaktadır. Isı, tozlardan veya kalıptan elektrik akımının geçirilmesi ile sağlanır.

Yüksek ısıtma hızı, düşük sinterleme sıcaklığı, kısa işlem süresinde sinter bağları oluşturmaya yarayan bu yeni sentezleme yaklaşımı; geleneksel metotlarla üretimi zor olan nano boyuttaki yarı kararlı tozların, metal matrisli kompozitlerin (MMK), fiber takviyeli seramiklerin (FRC), intermetalik bileşiklerin ve fonksiyonel tabakalı malzemelerin (FGM) fabrikasyonunda kullanılmaktadır. İşlem süresinin kısa olmasından dolayı kontrollü bir atmosfere gerek duyulmamaktadır. Ayrıca ekipman gereksiniminin azlığı ve malzeme kaybının olmaması nedeniyle düşük maliyet gerektiren ekonomik bir yöntemdir.

Tozların şekillendirilmesi için bir araç olarak kullanılan ani sinterleme metodunun artan önemini son yıllarda yayımlanan makalelerin artan sayısı göstermektedir. En azından abstract seviyesinde, İngilizce olarak 1922'den 2007'ye kadar yayımlanan makaleler göz önüne alındığında 1999'dan sonra yapılan çalışmaların arttığı açıkça görülmektedir. Akım destekli sinterleme yöntemi ticaretleştiğinden beri en çok yayın Japonya'da yapılmış ve bunu sırasıyla Çin ve Kore izlemiştir.

## 5.2. Proses Parametreleri

Akım destekli sinterleme prosesinde, arzu edilen yoğunlukta spesifik ürünlerin sentezlenmesi veya tozların birleştirilmesi için mekanik basınç ile beraber elektrik akımı uygulanmaktadır. Kullanılan elektrik akımının türü, isteğe bağlı olarak alternatif akım veya doğru akım şeklinde uygulanmakta; mekanik yük ise amaca yönelik olarak sabit tutulmakta veya değiştirilmektedir. Özellikle elektrik akımı, sıcaklığı takip etmek amacıyla otomatik aygıtlarla ayarlanmaktadır.



Şekil 5.1. Akım destekli sinterleme prosesinin şematik gösterimi [31]

Tozlar; tüp, kalıp gibi bir kap içinde ve elektrik akımı kullanılarak ısıtma suretiyle birleştirilmektedir. İletken tozlar kullanıldığında kalıp iletken ya da yalıtkan olabilmektedir. Alternatif olarak yalıtkan kalıp yerine iç yüzeyi yalıtkan malzeme ile astarlı iletken kalıplar da kullanılmaktadır. Tozların yalıtkan olduğu durumlarda kalıp, elektrik akımını geçirmesi için iletken olmak zorundadır. Aynı şekilde elektrotlar da; bakır, grafit ve paslanmaz çelik gibi elektriği ileten malzemelerden imal edilmektedir. İletken tozlar, Joule etkisi ile kalıp ve elektrotlardan ısı transferi sayesinde ısınırken iletken olmayan tozlar sadece ısı transferi ile ısınmaktadır. İletken kalıplar grafit, seramik veya çelik olabilir. Grafit kalıplar ani sinterleme yönteminde oldukça yaygın olarak kullanılmakta ve mekanik basınç düşük seviyelerde sabit tutulmaktadır.

Akım destekli sinterleme bazı yönlerden sıcak preslemeye (HP) benzerlik gösterirken elektrik akımının uygulama şekline bağlı olarak kısa işlem süresi gerektirmesi sayesinde benzer yöntemlerden ayrılmaktadır. Bu etkili sentezleme yaklaşımının başlıca problemi, reaksiyona giren tozlardan birinin reaksiyona girme aktivasyon enerjisinin yüksek olması sonucu, verilmesi gereken enerji değerinin yüksek tutulması neticesinde ergime sıcaklığı düşük olan diğer malzemenin buharlaşma riski taşımasıdır.

Homojen bir sinterleme elde etmek için malzemeye bağlı olarak değişen işlem parametrelerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Ani sinterleme prosesinde; sentezlenecek tozların ve kalıbın elektrikselsel ve termal özellikleri, uygulanan akım türü (alternatif veya doğru akım), akım yoğunluğu, basınç miktarı ve basıncın sürekliliği sistem üzerinde etkili olan parametrelerdir [31].

## BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 6.1. Deneysel Malzeme ve Teçhizat

#### 6.1.1. Matris malzemesi

MMK malzeme üretiminde kullanılan matris malzemesi ZA-27 alaşımıdır. Alaşım ağırlıkça %73 Zn %27 Al bileşimindedir. Çinko ve alüminyum tozlarının boyutları 45-90  $\mu\text{m}$  arasında olup Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunun GTV Verschleiss-Schutz GmbH marka tozlardan yararlanılmıştır.

#### 6.1.2. Takviye malzemesi

Yapılan deneysel çalışmalarda takviye malzemesi olarak SiC ve grafit kullanılmıştır. %20 oranında SiC ve %2,5, 5, 7,5, 10 oranlarında grafit takviye malzemesi kullanılmıştır.

Kullanılan SiC tozlarının boyutu  $\sim 55\mu\text{m}$ 'dir. Grafit tozları boyutu yaklaşık  $100\mu\text{m}$ 'dir. Bu tozlar da Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. Tablo 6.1'de SiC'e ait bazı bilgiler verilmiştir.

Tablo 6.1. SiC'ün bazı özellikleri

Malzeme Türü	Yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Elastik Modül (GPa)	Poisson Oranı	Kırılma Tokluğu ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )	Basma Mukavemeti (MPa)
SiC	3,2	410	0,14	4,6	3900



### 6.1.3 Kullanılan teçhizat ve sistem

Deneyle maksimum 3000A ve 20V değerlerini sağlayabilen bir g¼ç kaynağı kullanılarak yapılmıştır. G¼ç kaynağından çıkan artı ve eksi y¼kler, farklı kablolar yardımıyla sisteme taşınmıştır. Sistem, Şekil 6.1'de g¼sterilmiřtir.

Numunelerde herhangi bir boyutsal değişimi ¼nlemek için elik bilezik hazırlanmış ve bakır elektrotlar arasına yerleştirilen numune bu bileziğin içine yerleştirilmiştir. Bakır elektrodun yukarı aşağı hareketinin sağlanması ve 5 bar'lık basınç verilmesi pn¼matik bir sistem yardımıyla uygulanmıştır . Numuneler ¼n Őekillendirme için 20 MPa'lık basınç altında elik kalıp kullanılarak çiğ numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 6.1 Sistemin genel g¼r¼n¼ř¼



Şekil 6.2. Ani sinterlenmenin gerçekleştiği kısım

## 6.2. SiC Tozlarının Akımsız Nikel Kaplanması

SiC tozlarının matris ile iyi bir uyum sağlayabilmesi, başka bir deyişle matris tarafından iyi ıslatılabilmesi için nikel ile kaplanmışlardır. SiC tozları alkali akımsız nikel kaplamayla kaplanmıştır.

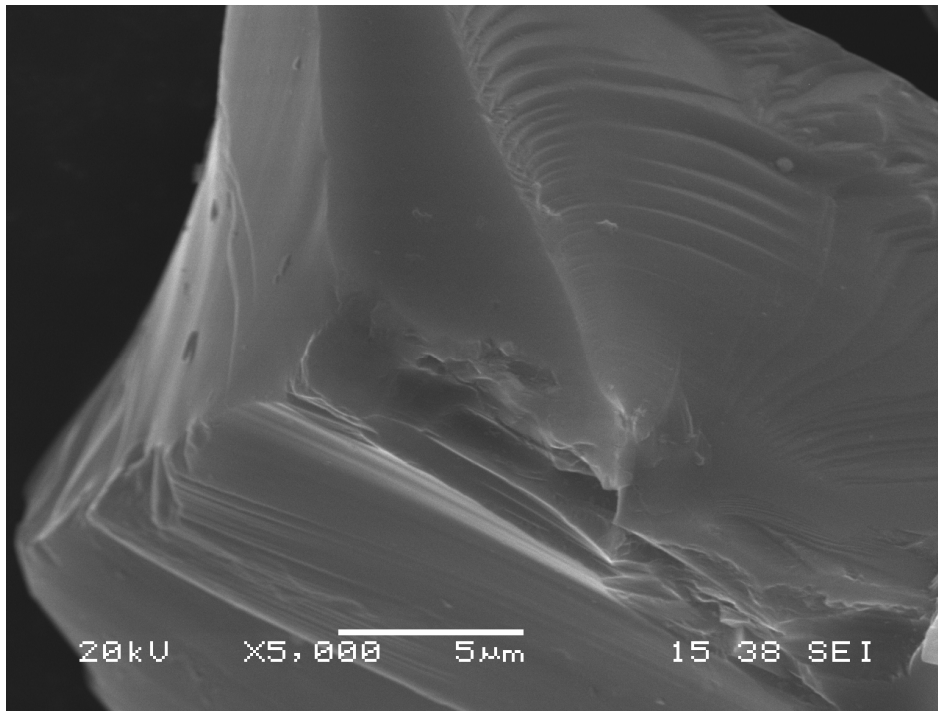
Kaplama işlemi gerçekleştirilmeden önce SiC tozlarının yüzeyinin nikelin tutunabilmesi için aktifleştirilmesi gerekmektedir. Bunun içinde  $PdCl_2$  çözeltisi kullanılmıştır.  $55\mu m$  boyutundaki SiC tozlarının yüzeyleri öncelikle ultrasonik karıştırıcıda aseton içerisinde 20 dk boyunca temizlenmiştir. Süzülen tozlar daha sonra  $HNO_3$  çözeltisinde 20 dk temizlenmiştir. Temizleme işleminden sonra hassaslaştırma işlemi için  $SnCl_2$  ve  $HCl$  çözeltisi hazırlanmış ve tozlar çözeltiliye ilave edilerek 20 dk boyunca karıştırılmıştır. Tozlar bu çözeltiliden de süzüldükten sonra hazırlanan  $PdCl_2$ - $HCl$  çözeltisine ilave edilerek bir 20 dk daha karıştırılmış ve tozların ıslatma açısı düşürülmüştür ve etüve konularak kurumaya bırakılmıştır.

Yüzey aktive işlemi tamamlandıktan sonra kaplama banyosu hazırlanmıştır. Banyoda kullanılan bileşenler, miktarları ve kaplama şartları Tablo 6.2'de verilmiştir.

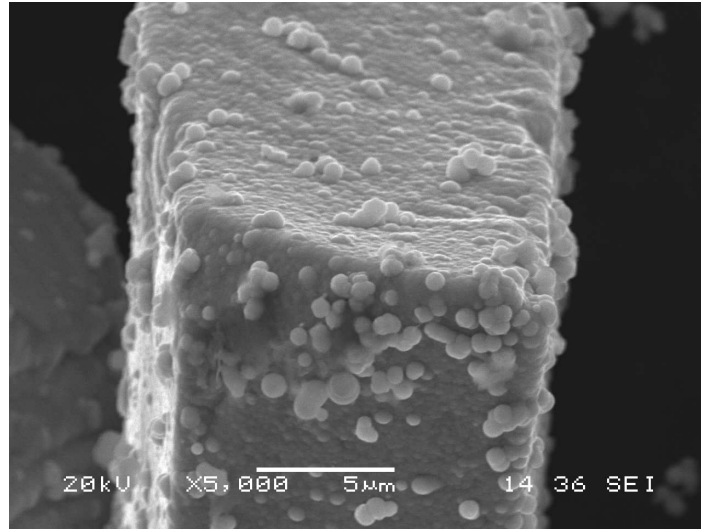
Tablo 6.2. Akımsız nikel kaplama bileşenleri ve kaplama şartları

Nikel klorür ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	45 gr $\text{L}^{-1}$
Sodyum hipofosfit( $\text{NaH}_2\text{O}_2\text{H}_2\text{O}$ )	10 gr $\text{L}^{-1}$
Sodyum citrate	100 gr $\text{L}^{-1}$
Amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )	50 gr $\text{L}^{-1}$
Banyo pH'ı	8-9
Banyo sıcaklığı	60-70°C
Karıştırma süresi	10dk

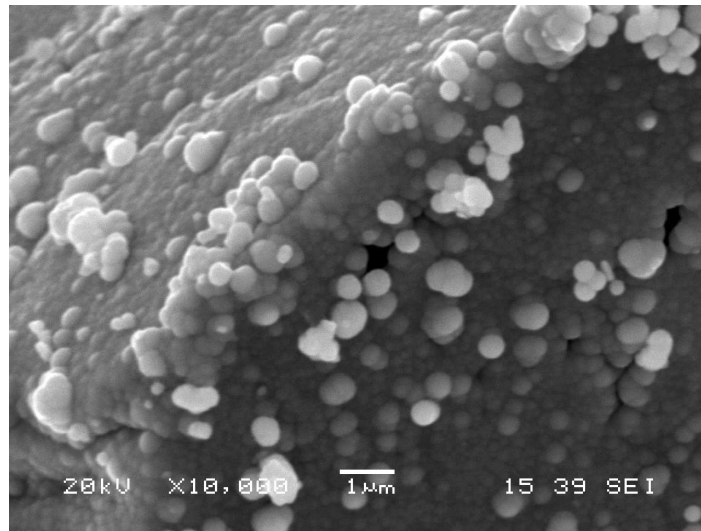
Çözelti hazırlandıktan sonra pH'ın 8-9 arasında olabilmesi için NaOH kontrollü olarak banyoya ilave edilmiş ve karıştırılmıştır. pH ayarlandıktan sonra manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilen beher içindeki banyo ısıtmaya başlanmış ve yaklaşık 50°C'de 1000ml banyo için 50-55gr toz çözeltiye eklenmiştir ve banyo sabit bir hızda karıştırılmıştır. Banyo sıcaklığı 55°C civarına geldiğinde reaksiyon hızlı bir şekilde başlamış ve devam etmiştir. Reaksiyon başlangıcından 10dk sonra işlem tamamlanmıştır ve başarılı bir kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.3. SiC tozunun SEM görüntüsü

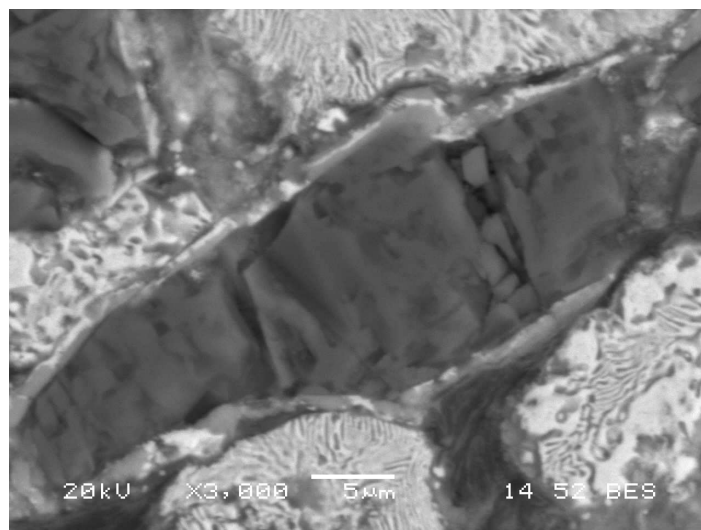


a)



b)

Şekil 6.4. Akımsız Ni kaplanmış SiC tozunun SEM görüntüsü



Şekil 6.5. Akımsız Ni kaplanmış SiC tozunun yapı içerisindeki SEM görüntüsü

### 6.3. Alaşım ve Kompozit Üretimi

Deneysel çalışmalar için her birinden 20 cm<sup>3</sup> olmak üzere, alaşım ve farklı hacimsel oranlarda kompozitler elde etmek amacıyla 6 adet numune üretilmiştir. Laboratuardan temin edilen 45-90 µm boyutu aralığında çinko ve alüminyum tozları ile 55µm tane boyutlu SiC tozları ve 100µm boyutlu grafit tozları Tablo 6.3’de belirtilen miktarlarda hassas terazide tartılmıştır. Alüminyum tozunun kolay oksitlenme riskinden dolayı tartım işlemi kontrollü atmosfer altında (Argon) yapılmıştır.

Tablo 6.3. Numunelerin hacimce ve ağırlıkça içerik bilgileri

Numune Çeşidi	% Hacim Oranı			Miktar (gr)				
	SiC	Grafit	ZA 27	SiC (3,2 gr/cm <sup>3</sup> )	Grafit (2,2 gr/cm <sup>3</sup> )	ZA-27 (5 gr/cm <sup>3</sup> )	Zn	Al
1. numune	-	-	100	-	-	100	73	27
2. numune	20	-	80	12,8	-	80	58,4	21,6
3. numune	20	2,5	77,5	12,8	1,1	77,5	56,58	20,92
4. numune	20	5	75	12,8	2,2	75	54,75	20,25
5. numune	20	7,5	72,5	12,8	3,3	72,5	52,9	19,6
6. numune	20	10	70	12,8	4,4	70	51,1	18,9

Hazırlanan toz karışımları bilyalı değirmende ZrO<sub>2</sub> bilyeler kullanılarak 4 saat süreyle kuru ortamında mekanik alaşımlamaya tabi tutulmuştur. Homojen karışan her numune tozlarından 15'er gram tartılarak üzerlerine 10 dk boyunca 200 MPa'lık basınç uygulayıp silindirik numuneler elde edilmiştir. Numunelerin sistemde sinterleme süreleri sinterleme akımını belirlemek amacıyla ön çalışmalar yapılmış ve optimum şartlar tespit edilmiştir. Numuneler akım sinterleme sistemine yerleştirilip

1000A akım, 2V gerilim, 0,5 Mpa basınç altında 40'ar saniye süreyle 15 çevrim sonunda sinterlenir.

#### **6.4. Metalografik İncelemeler**

Elde edilen numunelere metalografik incelemeler yapılmıştır. İlk olarak zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için 220, 600, 1200 mesh'lik elmas zımparalar kullanılmıştır. Zımparalama işleminden sonra parlatma aşamasına geçilmiştir.

Parlatma işlemi için 1µm'lik alumina toz partikülleri bulunan süspansiyon ve parlatma çuhası kullanılmıştır. Parlatma işlemi STRUERS LABOPOL-25 cihazında yapılmıştır. Parlatma işlemleri tamamlandıktan sonra numuneler güzelce yıkayıp kurutulmuştur. Kurutulan numuneler optik mikroskop incelemesi için nital çözeltisinde (%3 HNO<sub>3</sub> + %97 alkol) dağlanmıştır. Dağlandıktan sonra numuneler tekrar yıkama ve kurulamanmış optik incelemeye geçilmiştir.

#### **6.5. Optik Mikroskop İncelemeleri**

Metalografik olarak hazırlanıp alumina süspansiyon ile parlatılan alaşım ve kompozitler NIKON ECLIPSE L150A optik mikroskobu ile incelenmiş ve partikül dağılımları araştırılmıştır. İncelemeler sonrası mikroyapı fotoğrafları 10, 20, 50 ve 100 büyütme kullanılarak çekilmiştir.

#### **6.6. Sertlik Ölçümleri**

Optik resimleri verilen alaşım ve kompozitlere Future Leica VMHT MOT Mikro sertlik Cihazı ile 50 gr yük 10 saniye süreyle uygulanmıştır. Sertlik ölçümleri partiküller arası bölgelerden, matris üzerinden alınmıştır. Ölçümün sağlıklı olabilmesi için her numuneden beşer adet ölçüm alınmıştır. Ölçümler mikro sertlik cihazı ile mikro sertlik ucu kullanılarak yapılmış olup ölçülen değerlerin ortalaması alınarak tek bir değere indirgeme yapılmıştır.

### 6.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Çalışmaları

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ve EDS analizleri “Jeol JSM 6060 LV” marka cihazla yapılmıştır (Şekil 6.6.).



Şekil 6.6. Jeol JSM 6060 LV marka SEM cihazının fotoğrafı

### 6.8. Aşınma Deneyi Çalışmaları

Üretilmiş olan ZA-27 alaşımı, hacimce %20 SiC ve %2.5, 5, 7.5, 10 grafit takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme ve aşınma deneyleri, DIN 50 324 ve ASTM G 99-95a standartlarına göre dizayn edilmiş, Ball-on-disk prensibine göre çalışan “CSM Instruments Tribometer” markalı aşınma cihazında yapılmıştır (Şekil 6.7.). 1N yük altında ve 0,5 m/s hızda, 500m deney mesafesinde her bir numune için ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 6.7. CSM Instruments Tribometer Aşınma Cihazı

### 6.9. Termal Genleşme Çalışmaları

Termal genleşme çalışmaları Şekil 6.8.'de görülen “Anter Corporation Unitherm Model 1161 Dilatometer System” markalı dilatometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Fırın sıcaklığı  $350^{\circ}\text{C}$ ' ye ayarlanmış ve test yapılacak olan numunenin de sıcaklığının  $350^{\circ}\text{C}$ ' ye çıkabilmesi için bu sıcaklıkta 20dk bekleme süresi verilmiştir.



Şekil 6.8. Anter Corporation Unitherm Model 1161 Dilatometer System markalı dilatometre cihazı



## BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 7.1. Mikroyapı Sonuçları

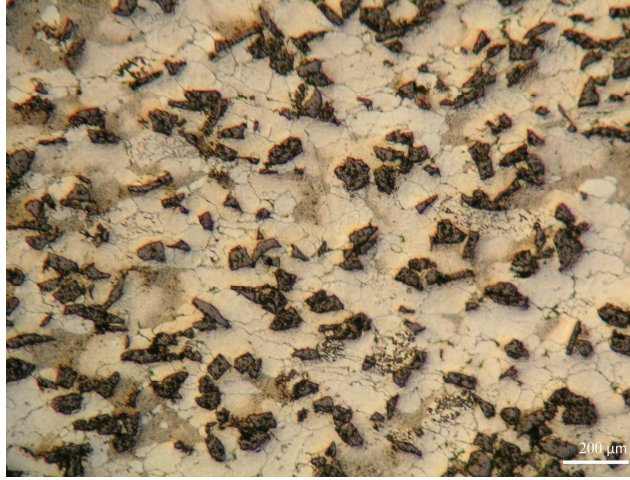
Akımla sinterleme sonucunda, kısa sürede üretilen numunelerde düşük ergime noktasına sahip çinkonun üretim zorlukları görülmemiştir. Ergime sıcaklığı düşük olan çinko uygulanan parametrelerle ergime göstermeden sinterlenmiştir. Elde edilen optik mikroskop sonuçları kompozit üretiminin gerçekleştiğini göstermektedir.

Tablo 7.1. Akım sinterleme üretim parametreleri

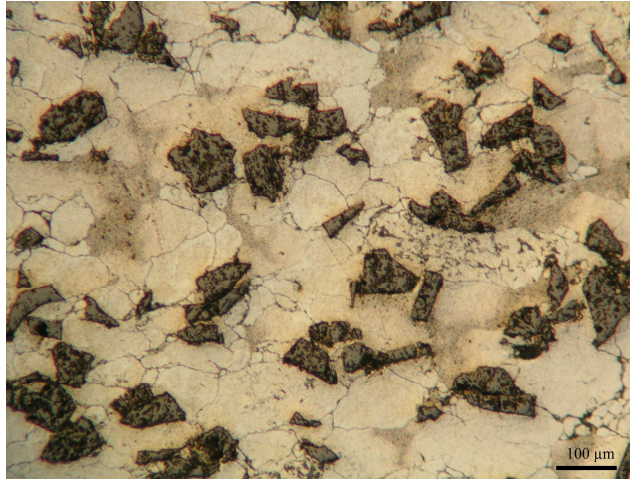
Çevrim sayısı	Süre (sn.)	Voltaj (V)	Akım (A)
15	40	2	1000

#### 7.1.1. Optik mikroskop sonuçları

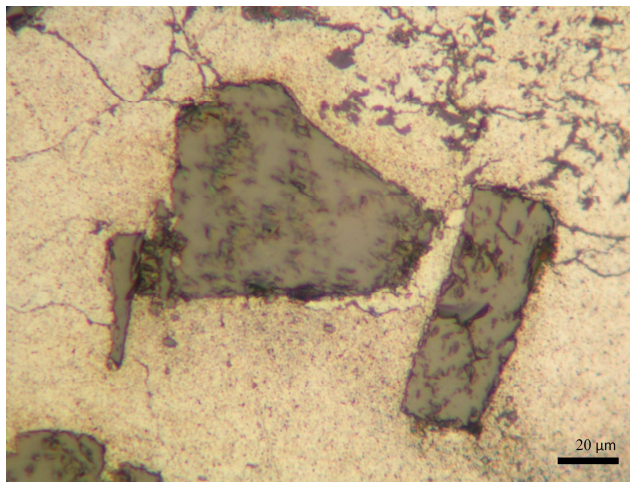
Optik mikroskop incelemelerinde üretilen ZA-27, ZA-27+%20 SiC, ZA-27+%20 SiC+%2,5-5-7,5-10 grafit yapıların tümünde homojen bir dağılım görülmektedir. ZA-27+%20 SiC mikroyapıları incelendiğinde matris ile SiC arasındaki bağlanmanın iyi olduğu yüksek büyütme fotoğraflarda görülmektedir (Şekil 7.1.c). Bu iyi bağlanmanın nedeninin SiC yüzeylerinin ZA-27 alaşımı ile arasındaki ısıtma açısını düşürmek için yapılan SiC yüzeylerinin Akımsız yöntem ile Ni kaplanmasıdır. Şekil 7.1'e bakıldığında SiC ve matrisin dağılımının çok iyi olduğu görülmektedir. Yapıya %2,5-5-7,5 oranlarında Grafit ilave edildiğinde homojen SiC ve grafit dağılımı görülmektedir. Grafit miktarı %10'a çıkartıldığında grafitler SiC'ler ile yan yana gelerek mekanik aşınma, sertlik gibi özelliklerin düşmesine neden olmuştur. Özellikler %10 grafit takviyeli yapılarda grafit miktarının fazla olmasından dolayı bilyeli değirmende yapılan karıştırma işlemi sırasında homojen bir karışım sağlanamayıp, grafitlerin SiC'ler ile bir araya geldiği ve bazı bölgelerde grafitin SiC yüzeylerine sıvandığı Şekil 7.6.'da görülmektedir.



a)

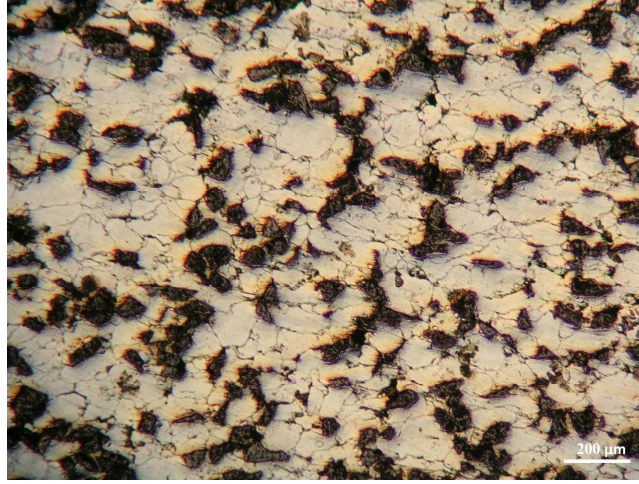


b)

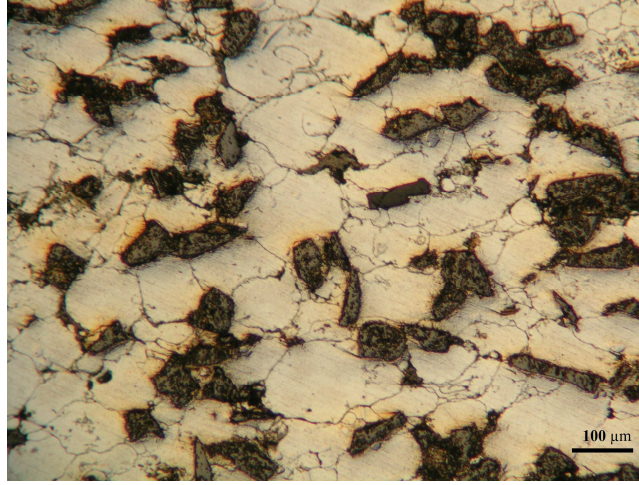


c)

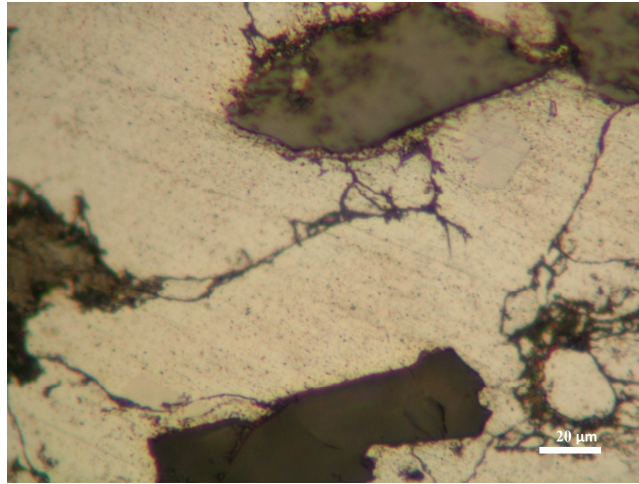
Şekil 7.1. %20 SiC ilave edilmiş numunenin içyapısı



a)



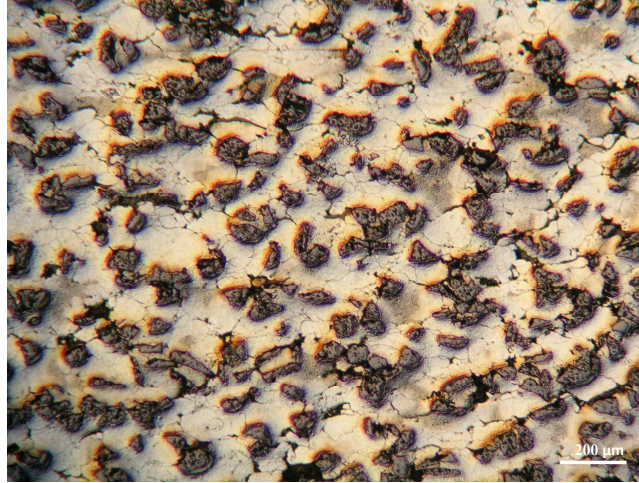
b)



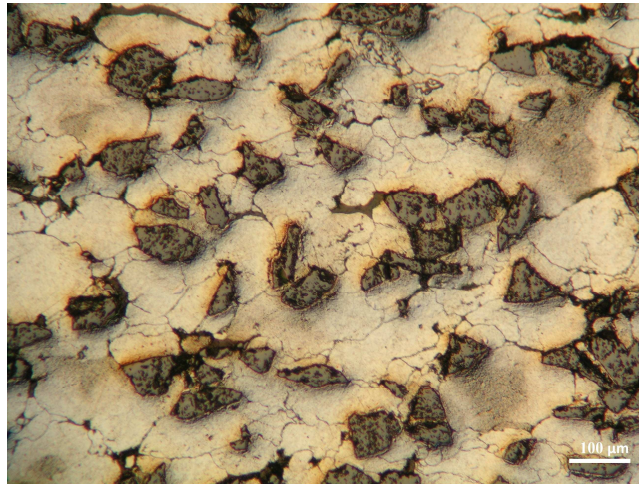
c)

Şekil 7.2. %20 SiC ve % 2.5 grafit ilave edilmiş numunenin içyapısı

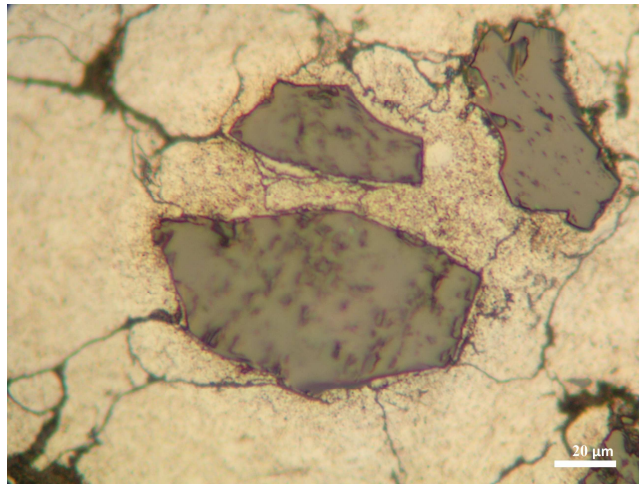




a)

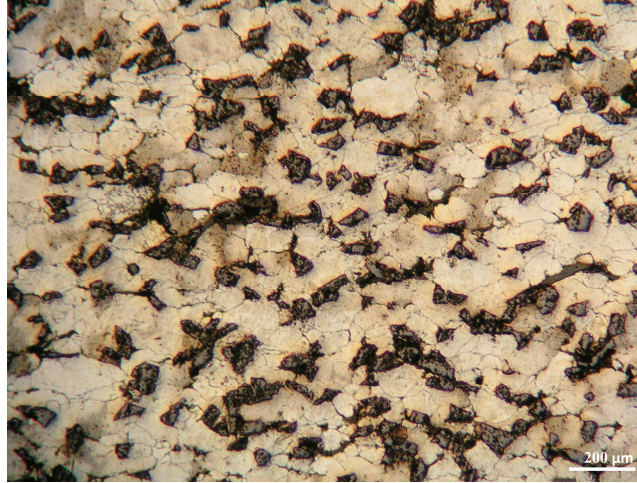


b)

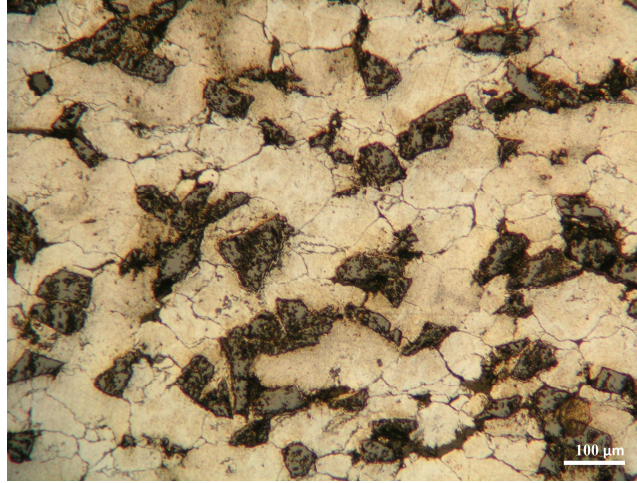


c)

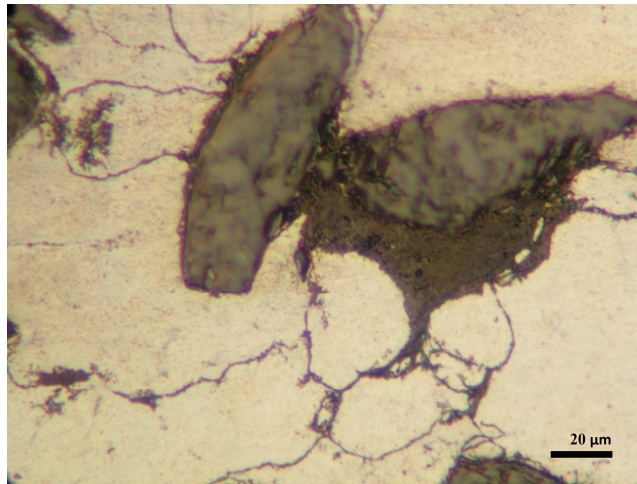
Şekil 7.3. %20 SiC ve % 5 grafit ilave edilmiş numunenin içyapısı



a)



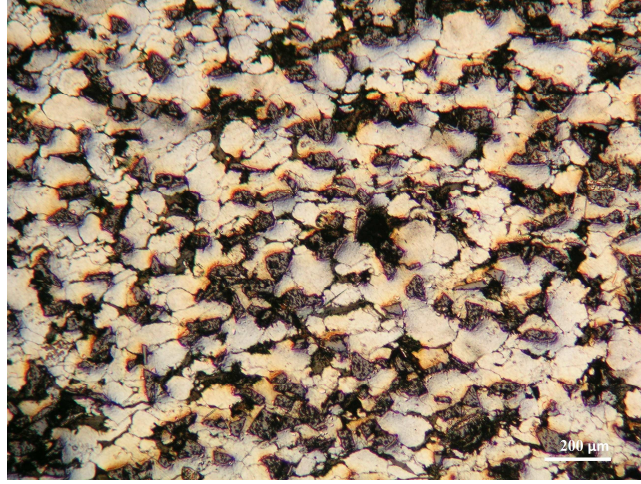
b)



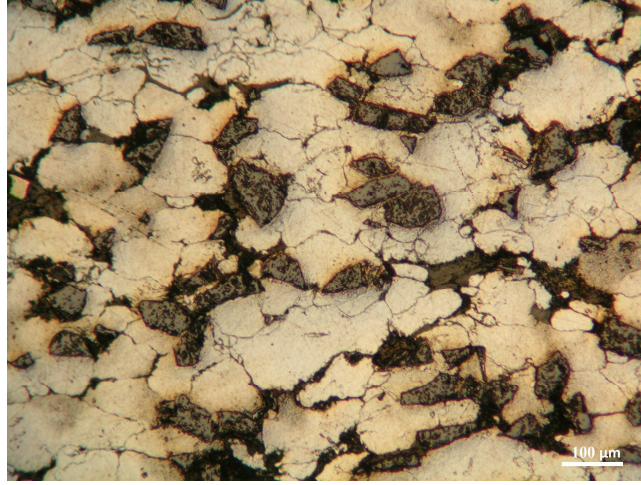
c)

Şekil 7.4. %20 SiC ve % 7,5 grafit ilave edilmiş numunenin içyapısı

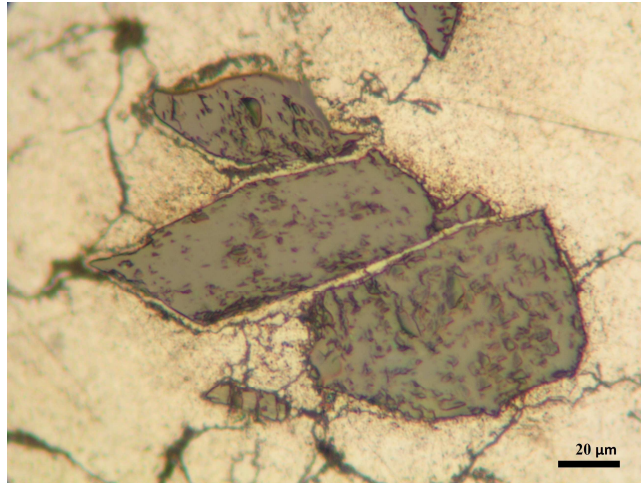




a)



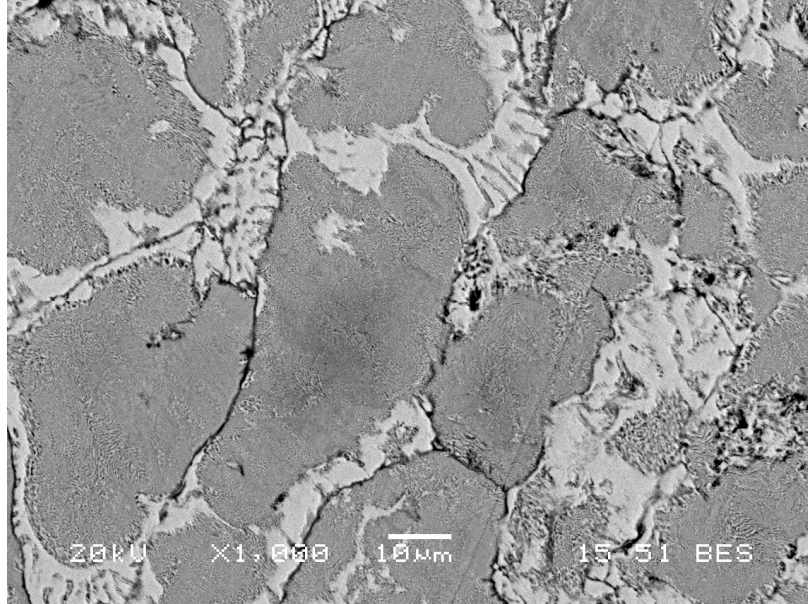
b)



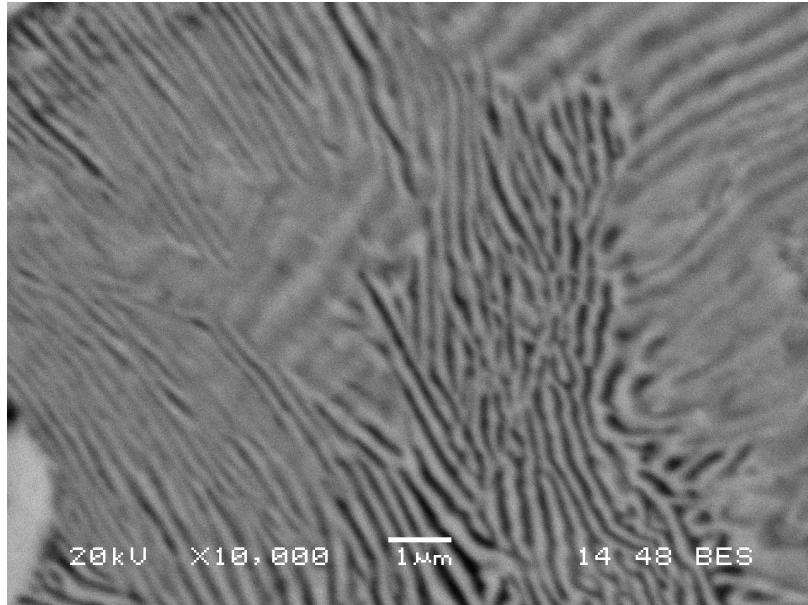
c)

Şekil 7.5. %20 SiC ve % 10 grafit ilave edilmiş numunenin içyapısı

### 7.1.2. SEM analizleri

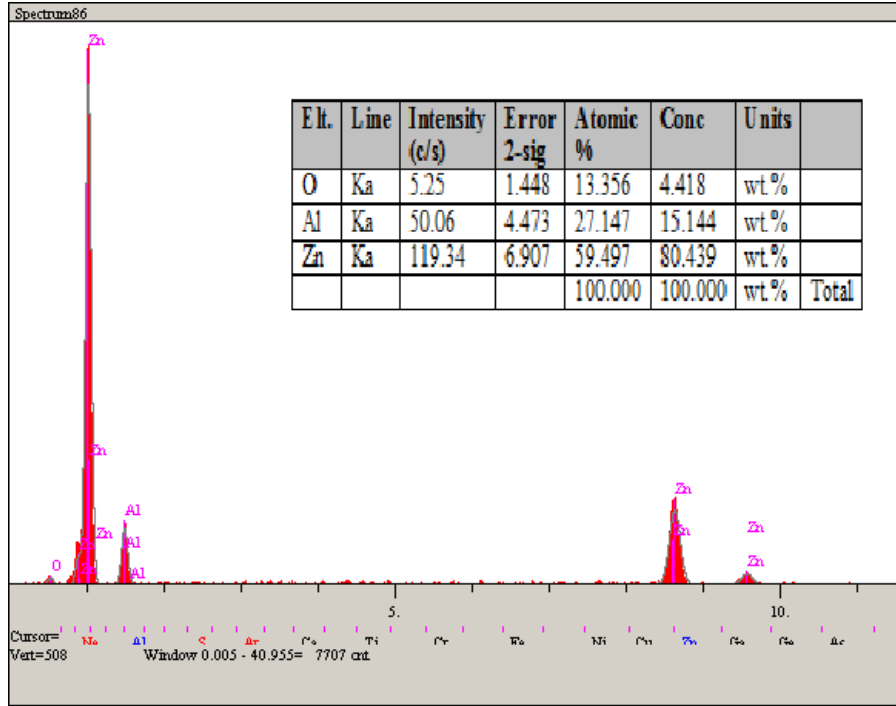


a)



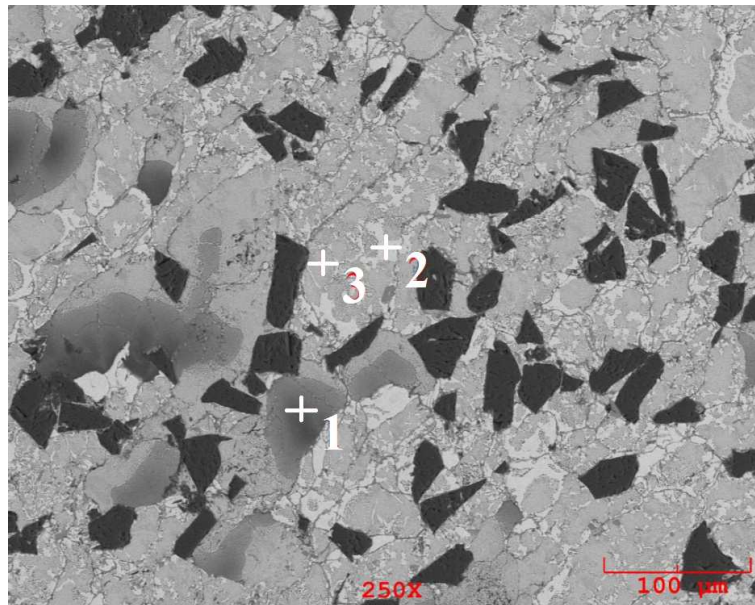
b)

Şekil 7.6. ZA-27 SEM fotoğrafları ve element dağılım sitokimetrisi



c)

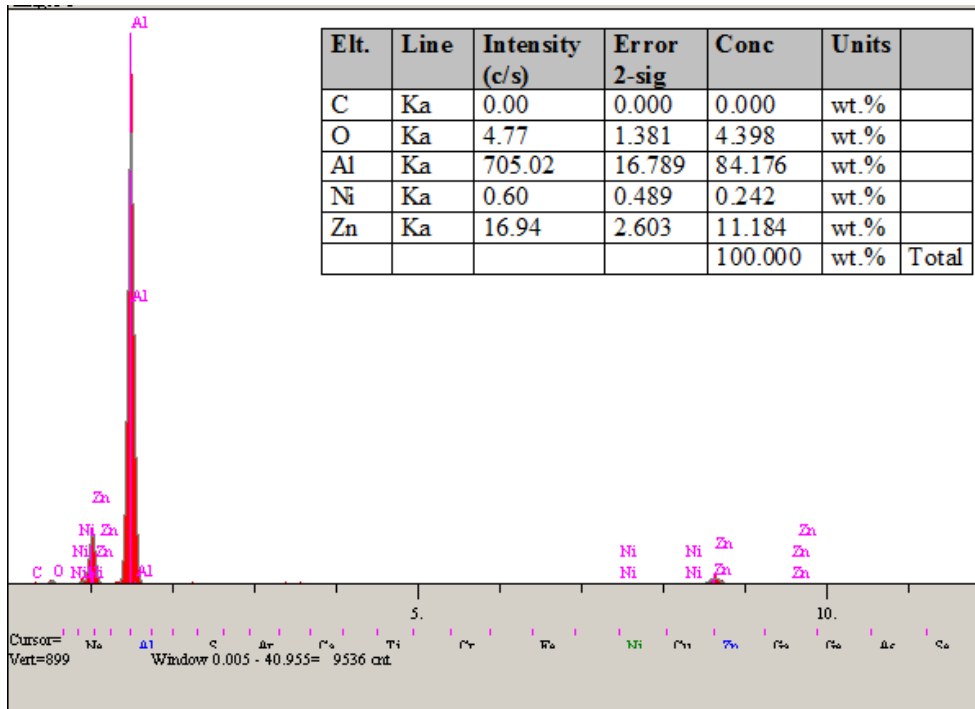
Şekil 7.6. (Devam)



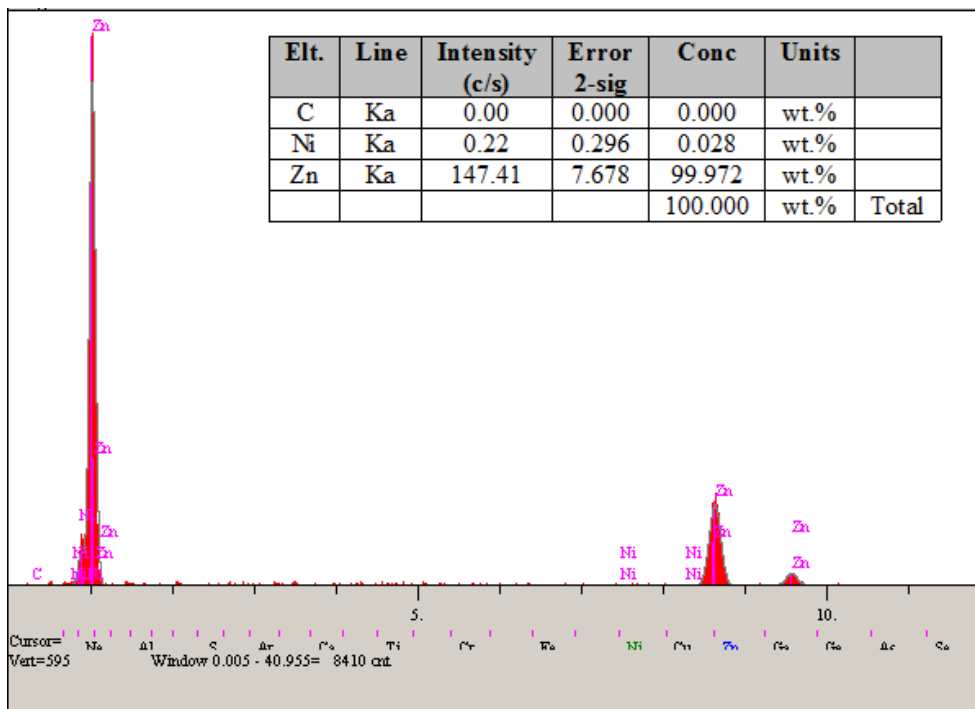
a)

Şekil 7.7. ZA-27 + %20 SiC kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi



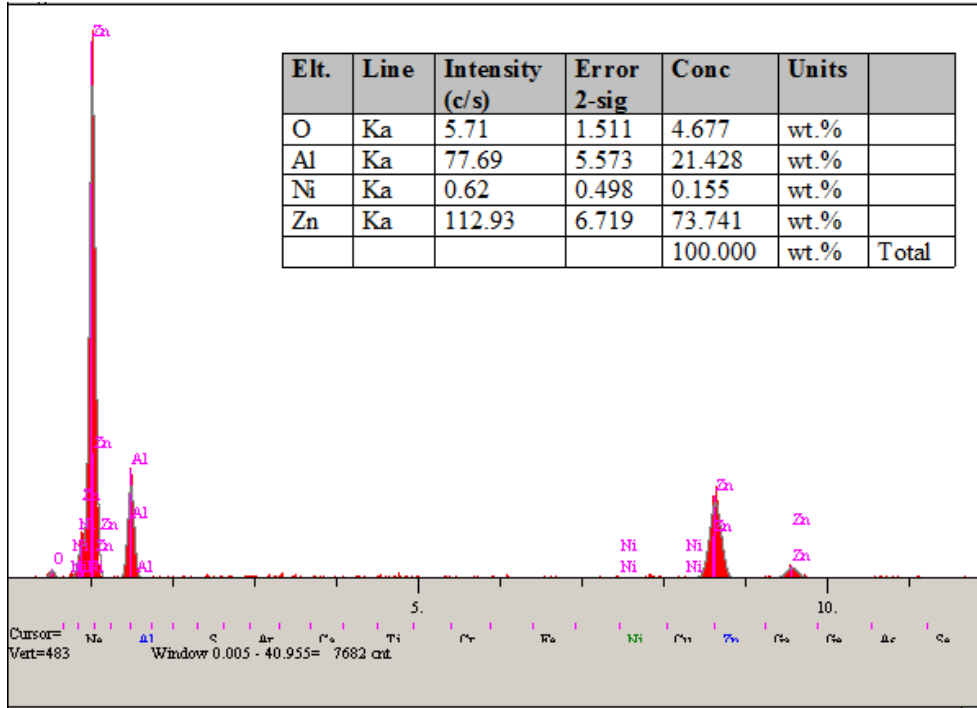


b)



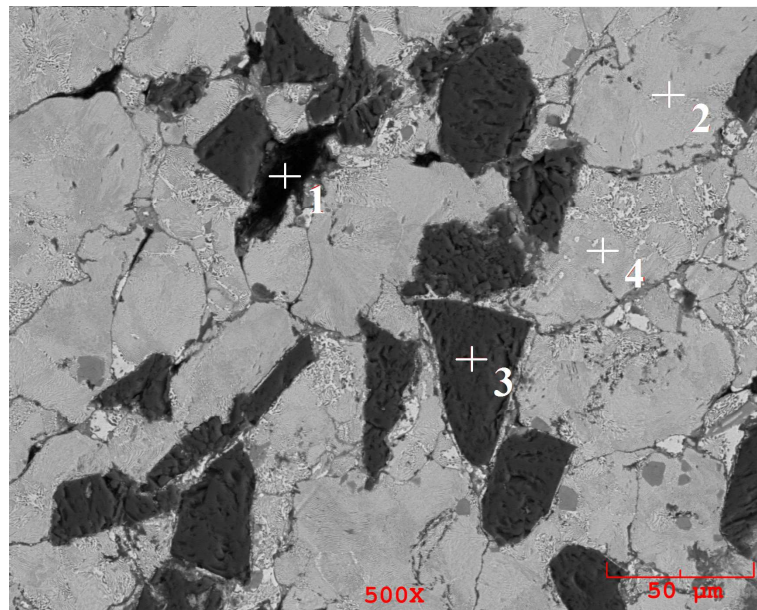
c)

Şekil 7.7. (Devam)



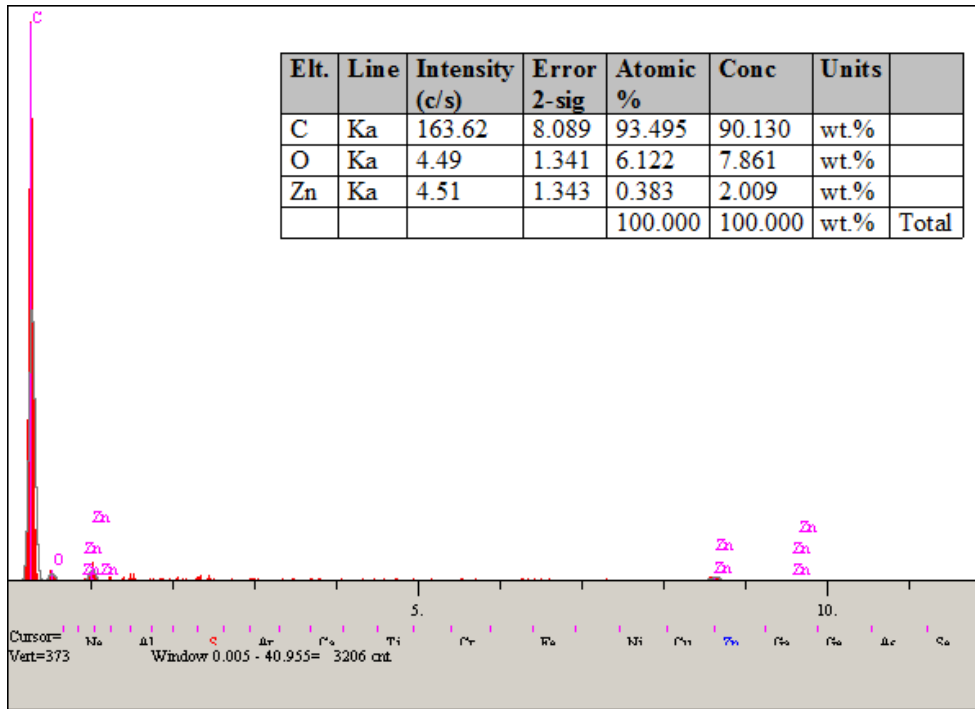
d)

Şekil 7.7. (Devam)

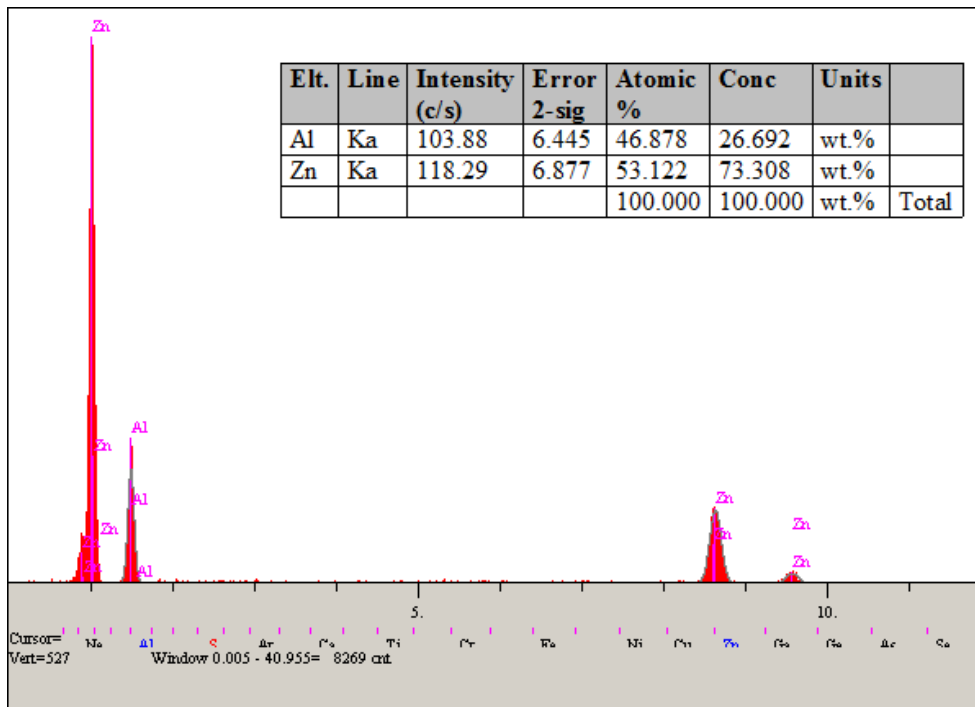


a)

Şekil 7.8. ZA-27+%20 SiC+%2,5 grafit kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi e) 4 noktasındaki EDS analizi

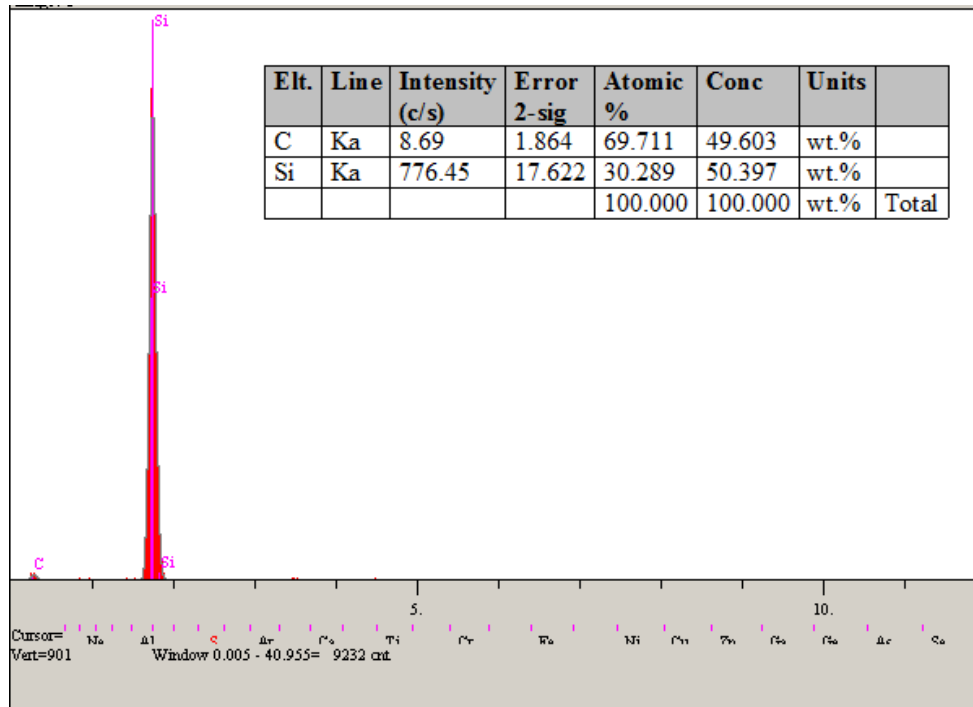


b)

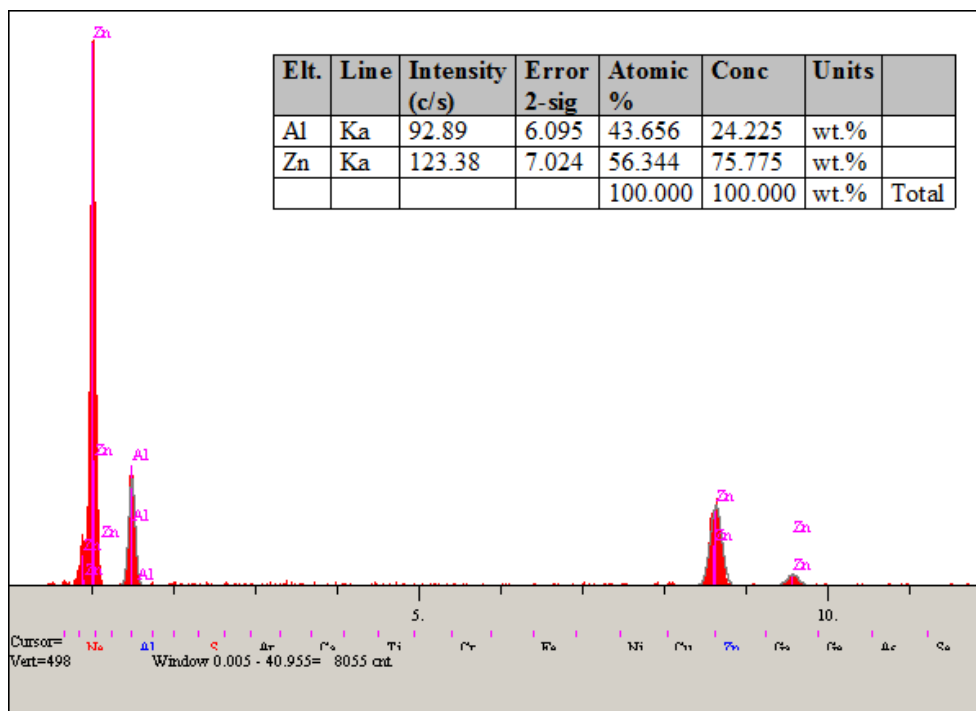


c)

Şekil 7.8. (Devam)

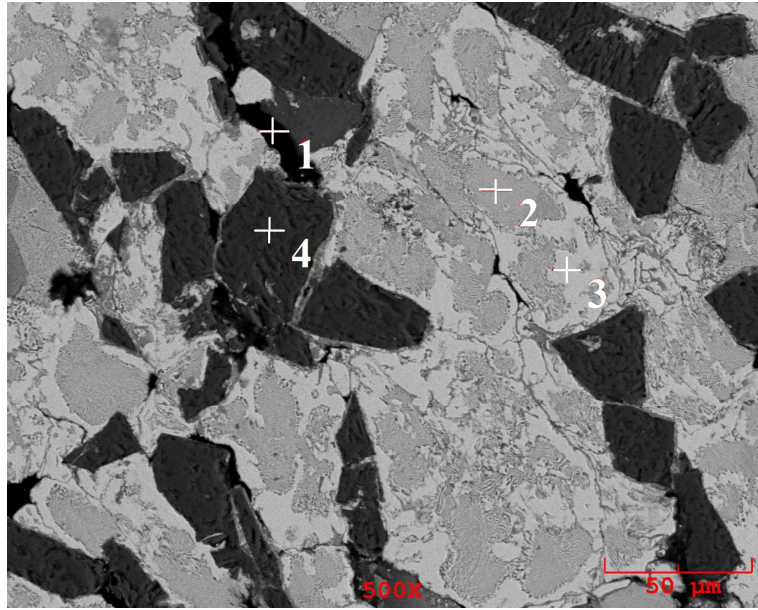


d)

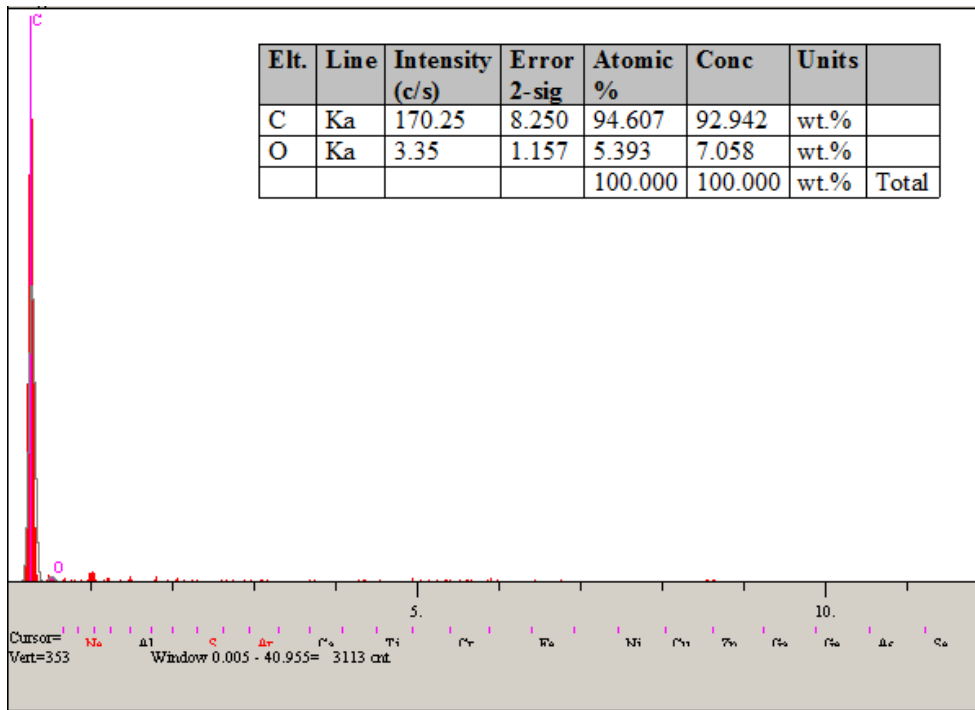


e)

Şekil 7.8. (Devam)

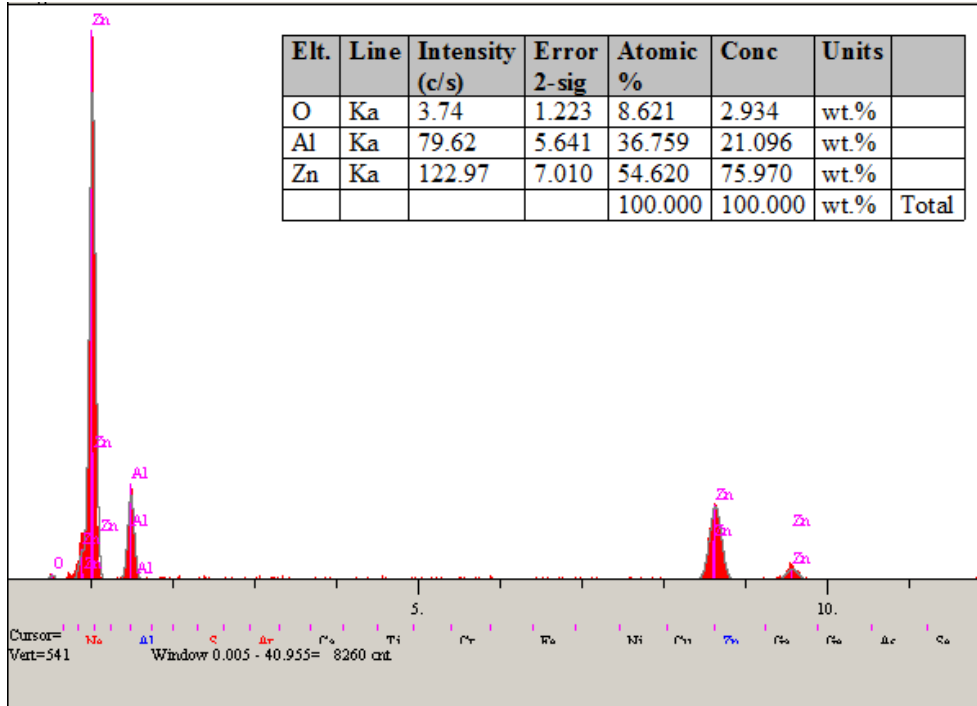


a)

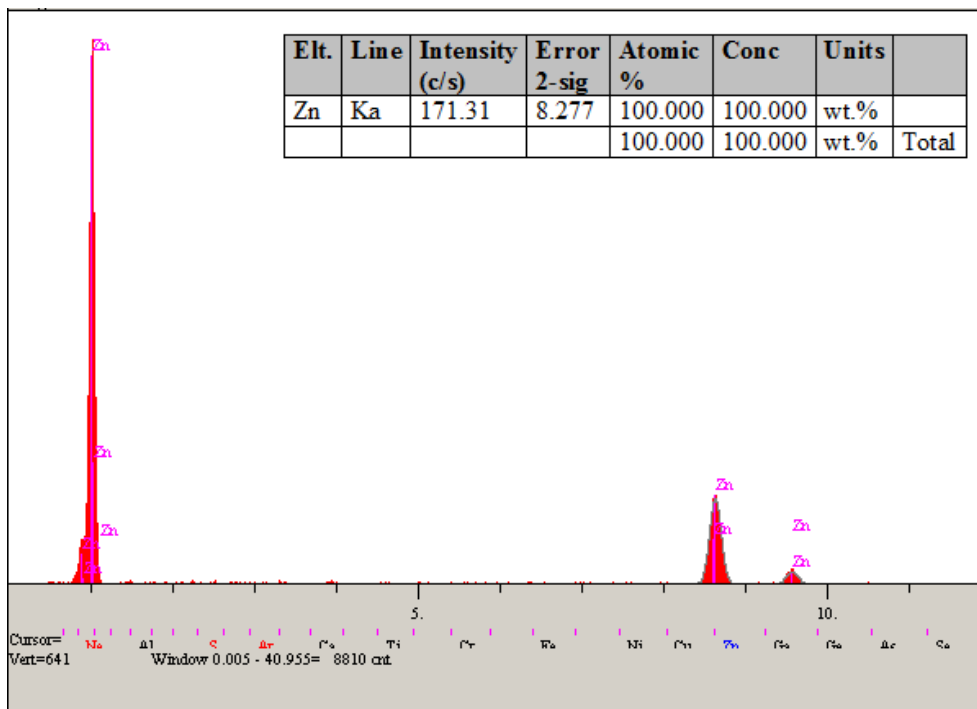


b)

Şekil 7.9. ZA-27+%20 SiC+%5 grafit kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi e) 4 noktasındaki EDS analizi

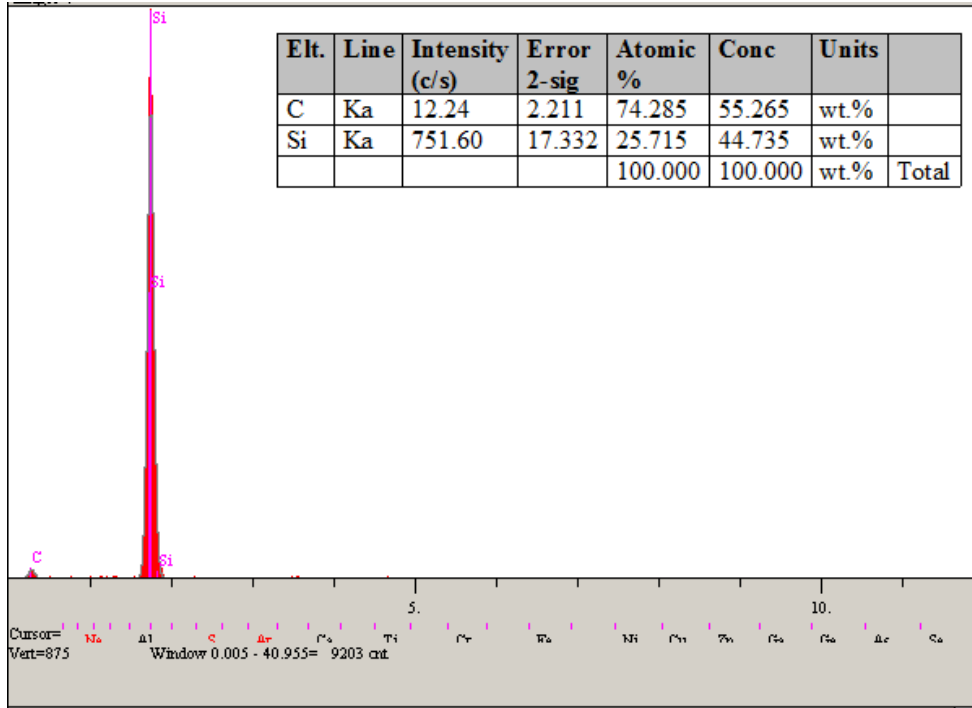


c)



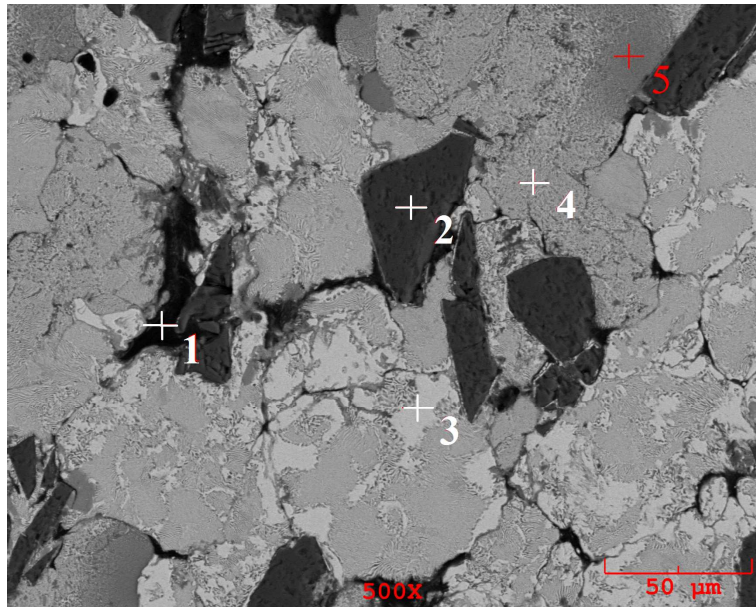
d)

Şekil 7.9. (Devam)



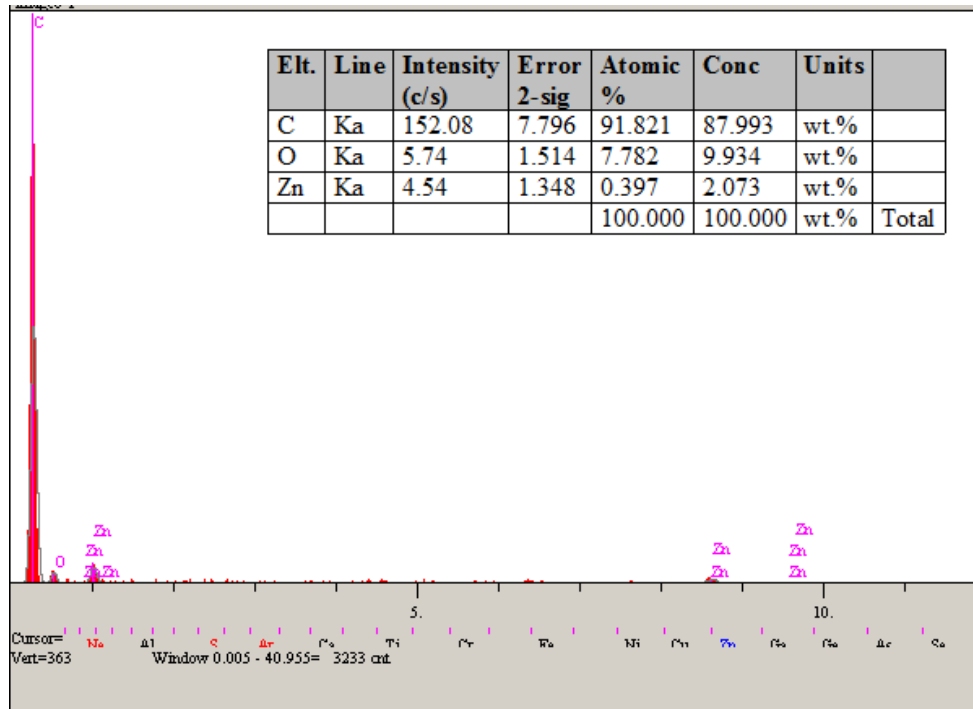
e)

Şekil 7.9. (Devam)

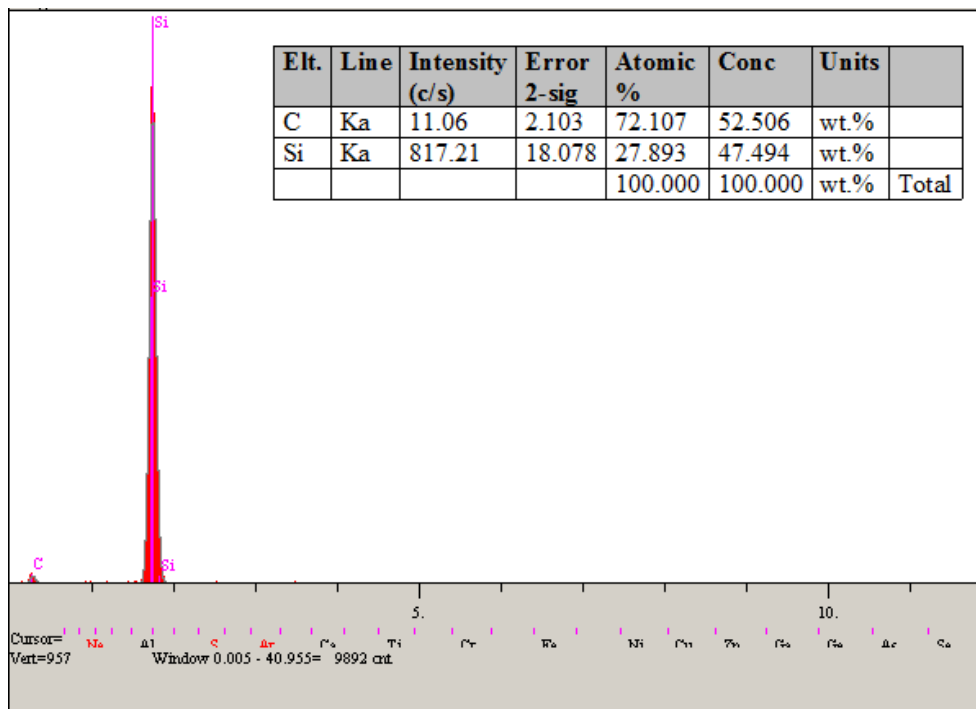


a)

Şekil 7.10. ZA-27+%20 SiC+%7,5 grafit kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi e) 4 noktasındaki EDS analizi, f)5 noktasındaki EDS analizi



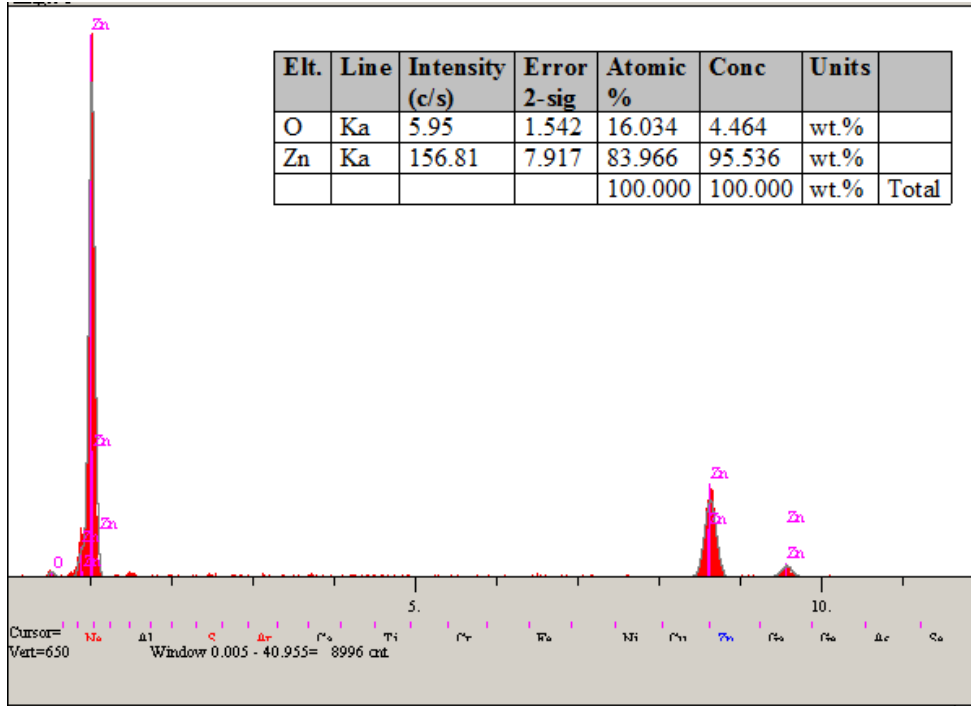
b)



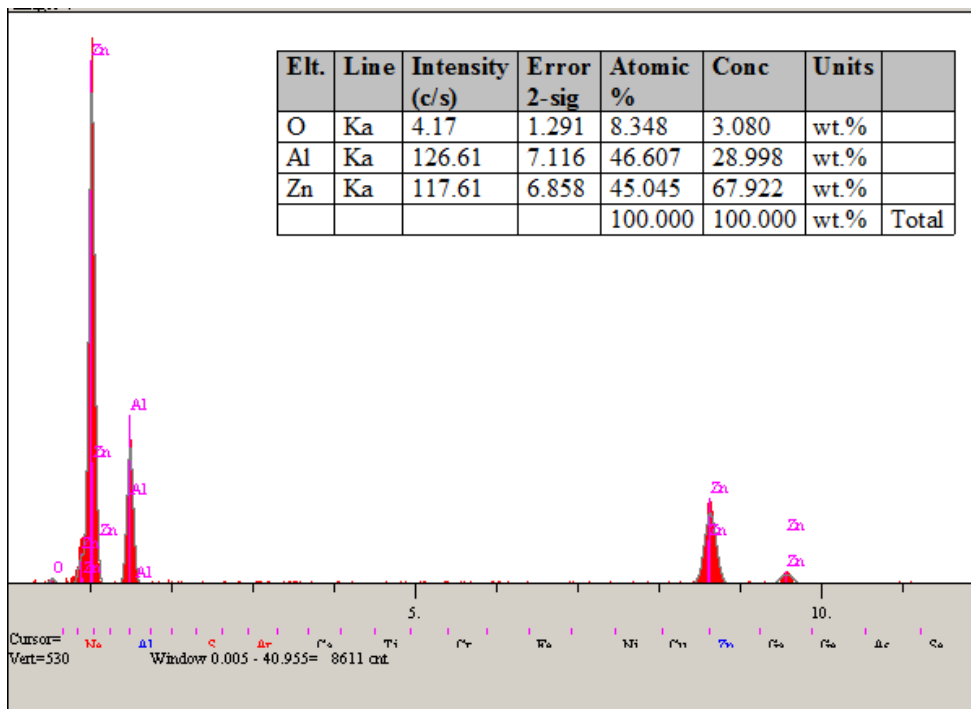
c)

Şekil 7.10. (Devam)



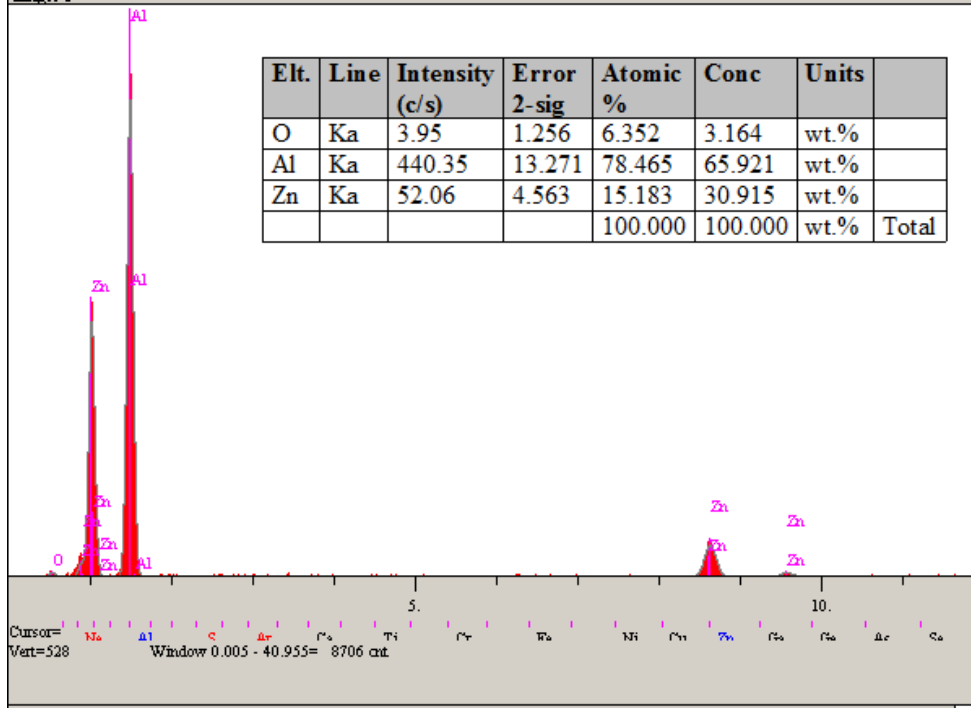


d)



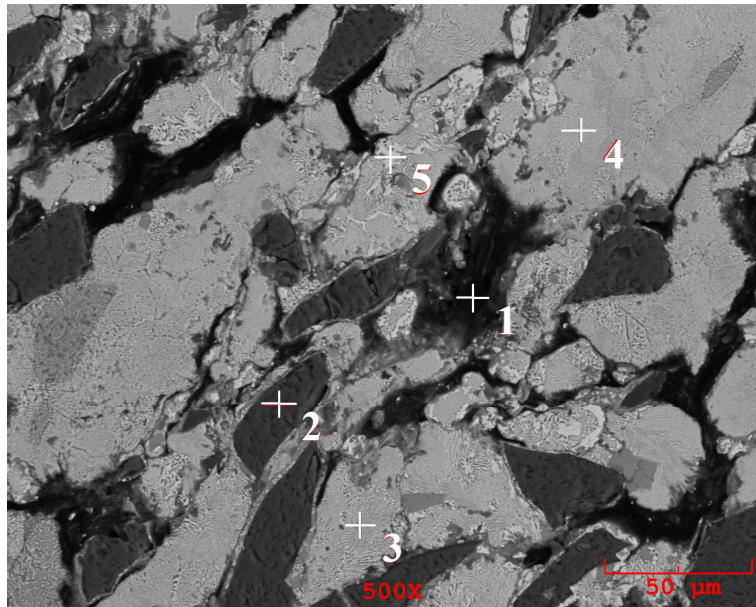
e)

Şekil 7.10. (Devam)



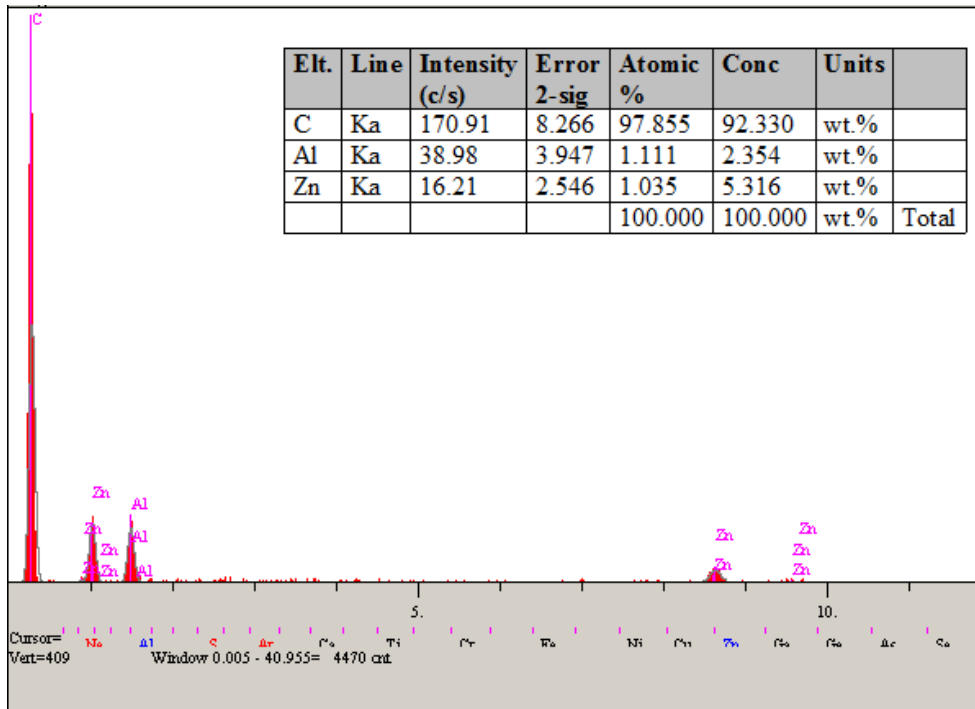
f)

Şekil 7.10. (Devam)

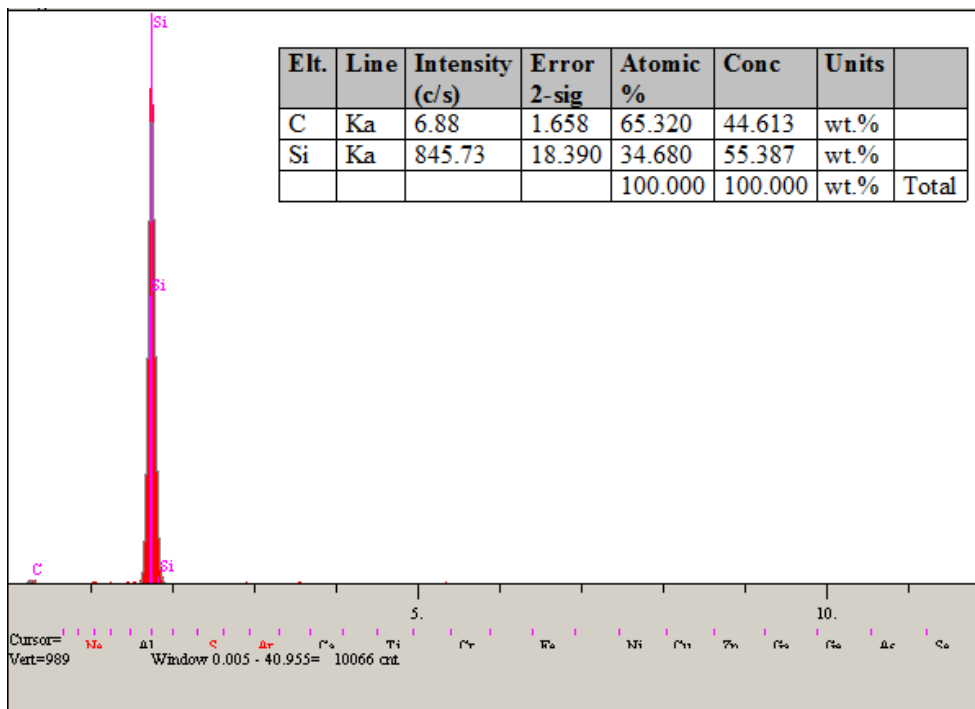


a)

Şekil 7.11. ZA-27+%20 SiC+%10 grafit kompozit malzemenin EDS analizi, a) SEM görüntüsü, b) 1 noktasındaki EDS analizi, c) 2 noktasındaki EDS analizi, d) 3 noktasındaki EDS analizi e) 4 noktasındaki EDS analizi, f) 5 noktasındaki EDS analizi

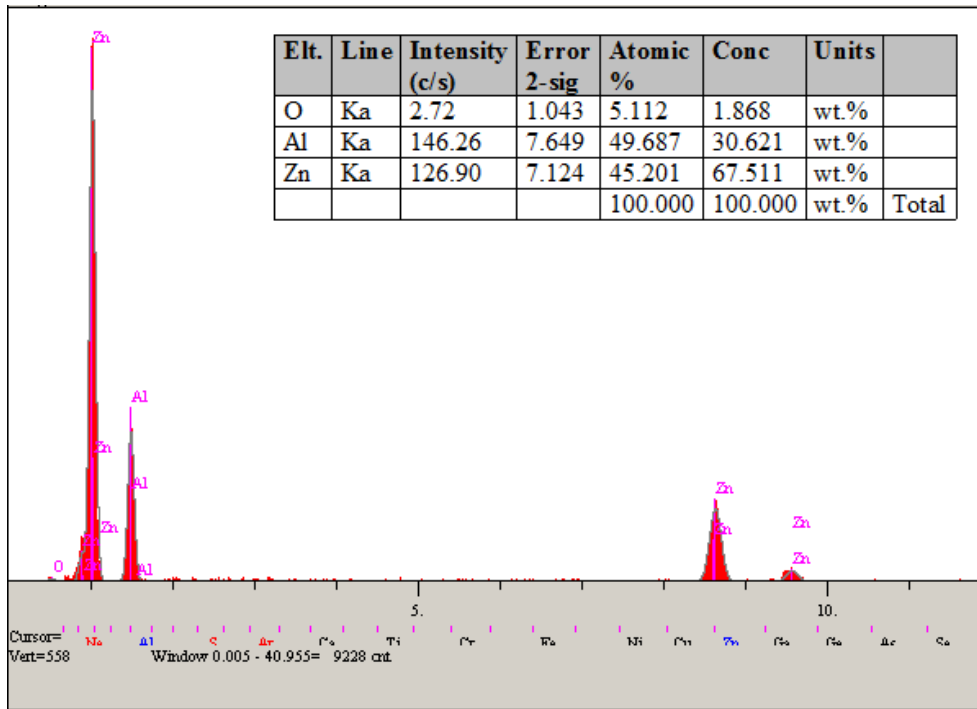


b)

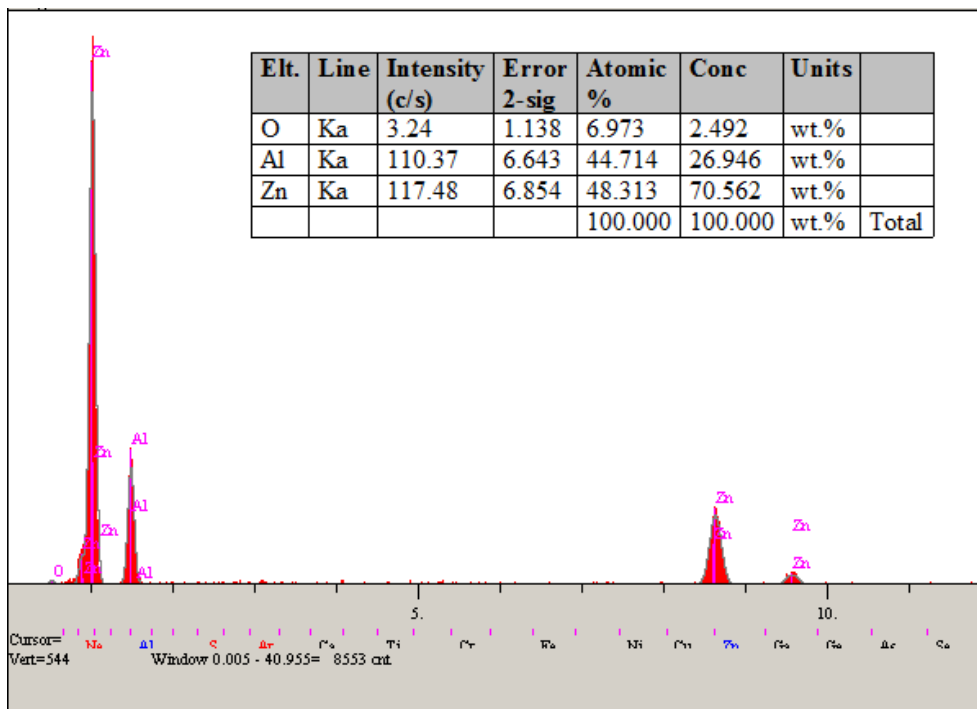


c)

Şekil 7.11. (Devam)

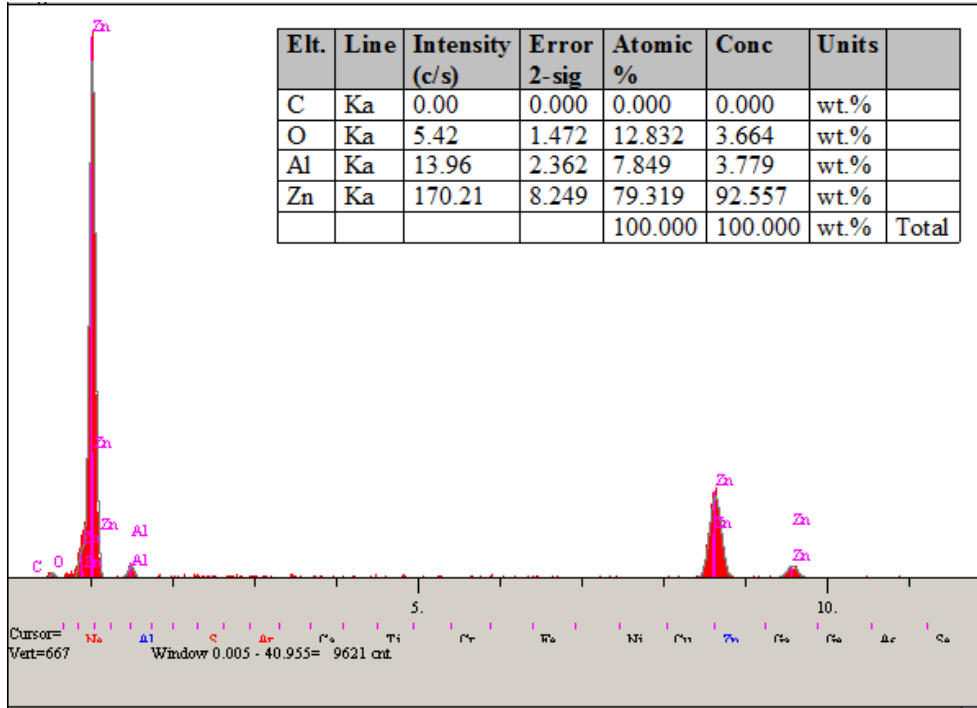


d)



e)

Şekil 7.11. (Devam)



f)

Şekil 7.11. (Devam)

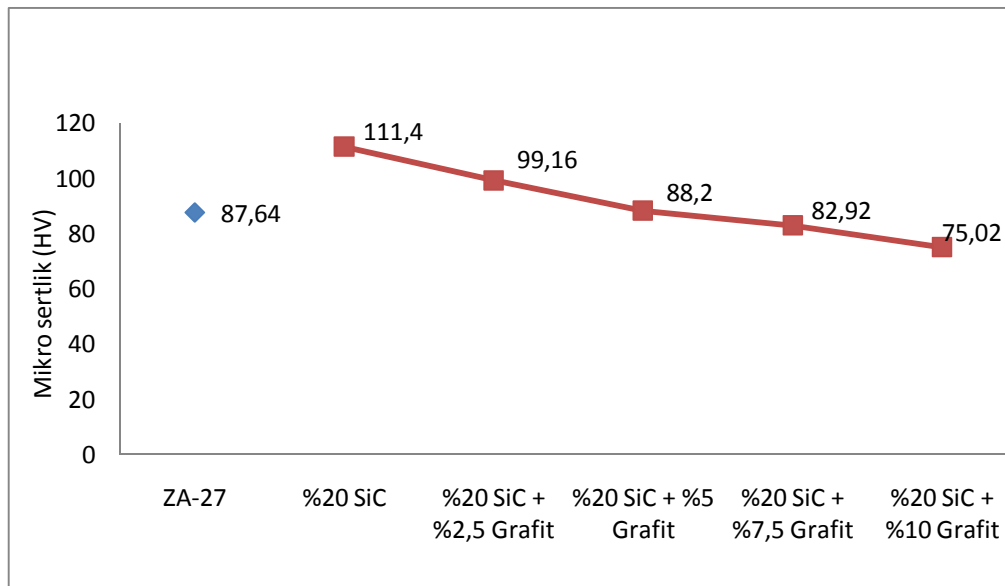
Şekil 7.6. 'da ZA-27 alaşımının mikroyapısı görülmektedir. ZA-27 alaşımının yapısının SEM fotoğraflarında ZA-27 mikroyapısının oluştuğu ve EDS analizi sonucu elde edilen verilerin de genel olarak bu sonucu doğruladığı görülmektedir. Yapı içerisine %20 SiC ilave edilmesi sonucu ortaya çıkan SEM fotoğrafı ve EDS analizi Şekil 7.7. 'de görülmektedir. Şekil 7.7. 'de 1 noktasında yapılmış olan EDS analizinde Alüminyum'un, 2 noktasında yapılmış olan EDS analizinde Çinko'nun yüksek miktarlarda bulunduğu görülmüştür. 3 noktasında yapılan EDS analizinde ise ZA-27 alaşım matris yapısının oluştuğu anlaşılmaktadır. ZA-27+%20 SiC yapısına grafit takviyesi yapılmıştır. %2,5-5-7,5-10 oranlarında yapılan grafit takviyeli kompozit malzemelerin yapıları ve EDS analizleri sırasıyla Şekil 7.8-7.9-7.10-7.11. 'de görülmektedir. Grafit takviyeli yapılarda da sadece %20SiC takviyeli matris yapısında görüldüğü gibi Çinko ve Alüminyumca zengin bölgelerin olduğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak ZA-27 alaşım yapısının matriste genel anlamda oluştuğu ancak bölgesel olarak tam dönüşümün sağlanamadığı noktaların bulunduğu söylenebilir.

## 7.2. Sertlik Sonuçları

Üretilen alaşımın ve kompozitlerin akım altında sinterlenmesi sonrasında ortaya çıkan mikro sertlik sonuçları, Tablo 7.2’de tablo ve Şekil 7.12’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 7.2. Numunelerin mikrosertlik değerleri

Sertlik (HV)	ZA-27	ZA-27+ %20 SiC	ZA-27+ %20SiC+ %2,5 Grafit	ZA-27+ %20 SiC+ %5 Grafit	ZA-27 + %20 SiC+ %7,5 Grafit	ZA-27+ %20 SiC+ %10 Grafit
<b>1. Sertlik Değeri</b>	95,5	107	102	97,7	81,2	80,9
<b>2. Sertlik Değeri</b>	80,9	116	91,1	87,3	85,4	76,3
<b>3. Sertlik Değeri</b>	83,5	115	95,7	87,8	87,2	67
<b>4. Sertlik Değeri</b>	85,9	107	105	83,1	79,9	74,3
<b>5. Sertlik Değeri</b>	92,4	112	102	85,1	80,9	76,6
<b>Ortalama</b>	87,64	111,4	99,16	88,2	82,92	75,02



Şekil 7.12. Elde edilen numunelerin sertlik değerleri

Mikrosertlik grafiğinden de görüldüğü gibi alaşımın sertliğinin beklenenden düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin ZA-27 yapısının tam olarak oluşmadığından kaynaklandığı düşünülmüştür. SiC takviyesinin ZA-27 alaşımının sertliğini oldukça yükselttiği görülmüştür. Bu da göstermektedir ki başarılı bir kompozit malzeme oluşturulmuştur. Grafit takviyesi ile sertliğin düşmesinin nedenleri olarak öncelikle grafitin yağlayıcılık ve sönümleme özelliği söylenebilir. Bunun yanı sıra grafitin yapının bazal düzlemlerinde kolayca hareketinden dolayı düşük sertlik olması söylenebilir. Bu doğrultuda grafit miktarının artmasıyla birlikte sertliğin azalması Tablo 7.2.'de ve Şekil 7.12.'de görülmektedir.

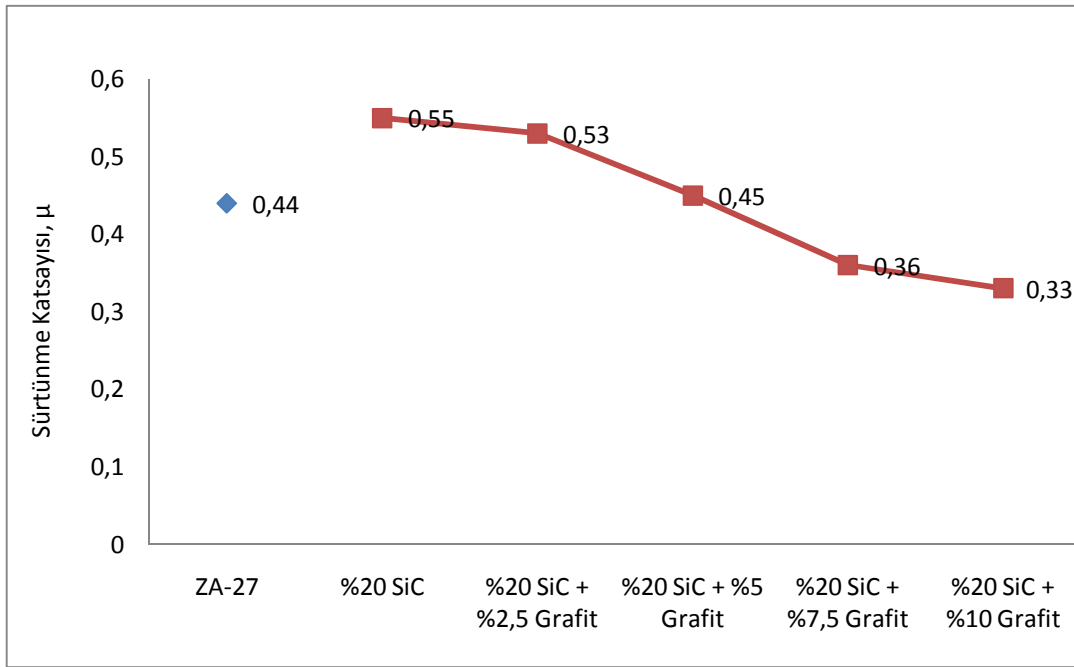
### 7.3. Aşınma Deney Sonuçları

Çinko alüminyum alaşımı ZA 27 ve bu alaşımından üretilen %20SiC takviyeli kompozit ve %20 SiC ile birlikte %2,5, %5, %7,5, %10 grafit takviyeli kompozit malzemeler: 1 N yük de, 0,5 m/s kayma hızında 500 m yol alacak şekilde Ball-on-disk aşınma deneyine tabi tutulmuş ve aşınma sonuçları Tablo 7.3'de ve Şekil 7.13-7.14'de verilmiştir. Şekil 7.15' de 1 N yük altında 0,5 m/s kayma hızında meydana gelen aşınma iz yüzeylerinin elektron mikroskobunda sekonder elektron görüntüleri verilmiştir.

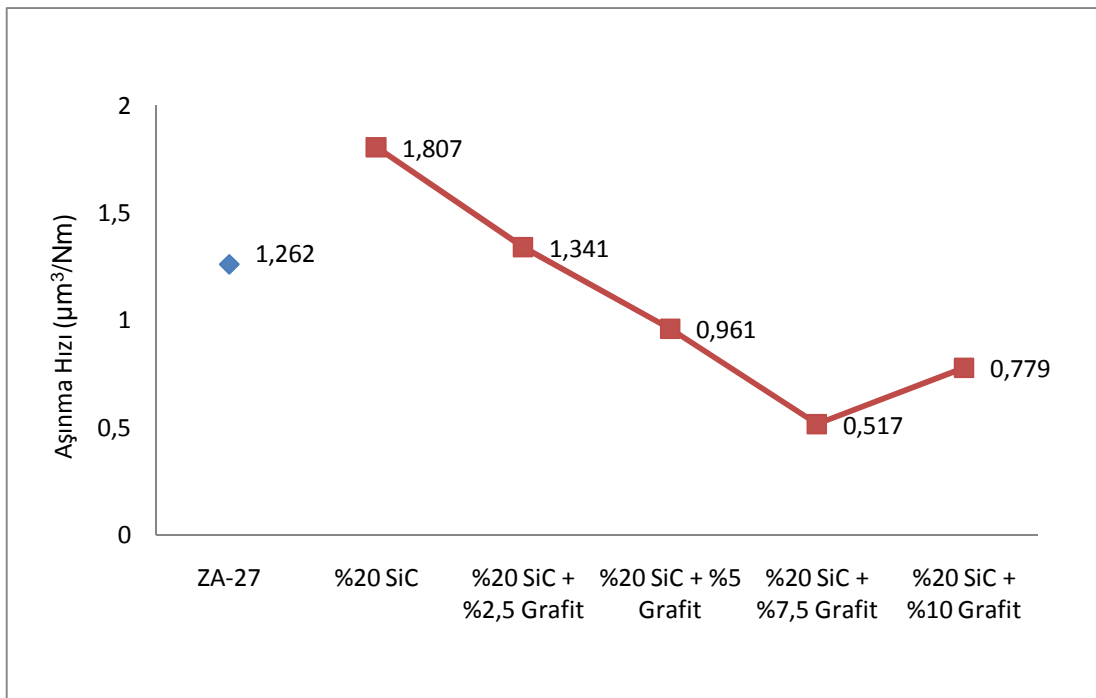
Tablo 7.3 . ZA-27 ve üretilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı ve ağırlık değişimleri

	ZA-27	ZA-27+ %20 SiC	ZA-27+ %20SiC+ %2,5 Grafit	ZA-27+ %20 SiC+ %5 Grafit	ZA-27 + %20 SiC+ %7,5 Grafit	ZA-27+ %20 SiC+ %10 Grafit
Aşınma Hızı ( $\mu\text{m}^3/\text{Nm}$ )	1,262	1,807	1,341	0,961	0,517	0,779
Sürtünme Katsayısı, $\mu$	0,44	0,55	0,53	0,45	0,36	0,33

ZA-27 +%20 SiC metal matrix kompozit içerisine ilave edilen hegzagonal yapıdaki grafitin C eksenindeki bazal düzlemlerinin birbirleri üzerinde hareket ederek sistem içerisinde yağlamayı sağladığı ve bu nedenle sürtünme katsayısını düşürdüğü görülmektedir.



Şekil 7.13. ZA-27 ve üretilen kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değişimleri



Şekil 7.14. ZA-27 ve üretilen kompozit malzemelerin aşınma hızı değişimleri

Şekil 7.13’da ve Tablo 7.3’de Grafit miktarının değişimine bağlı olarak tüm malzemelerin sürtünme katsayısı sonuçları verilmiştir. Ayrıca bu grafiğe takviyesiz ZA 27 alaşımının, SiC takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değerleri ilave edilerek takviyesiz, grafit takviyeli, SiC takviyeli ve grafit+SiC takviyeli



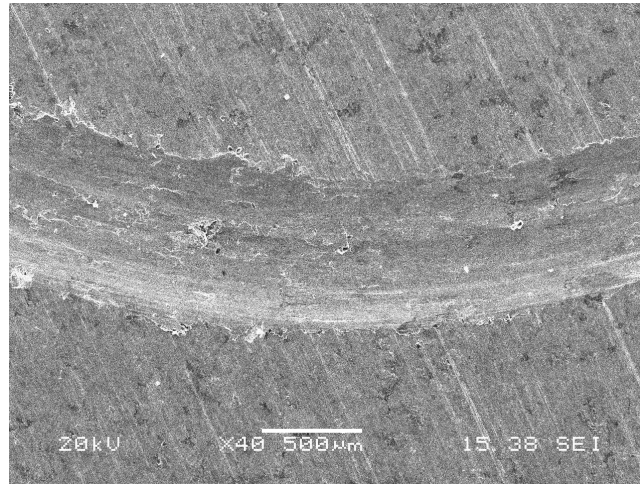
kompozit malzemelerin birbiriyle mukayese edilme imkanı sunulmuştur. % 20 SiC takviyeli kompozit malzemenin sürtünme katsayısı değerleri alaşımın sürtünme katsayısı değerleri ile karşılaştırıldığında; SiC ilavesi sonucu sürtünme katsayısı 0,53 değerine yükselmektedir. Çok sert SiC seramik partiküllerden üretilen kompozitlerin sürtünme katsayısındaki bu olumsuz gelişme, grafit takviyesi ile azalmaktadır. Grafit takviyeli kompozit malzemelerde sürtünme katsayısı değerleri %2,5 grafit içeriğinden itibaren azalmış ve %10 grafit içeriğinde 0,33 değerine kadar düşmüştür.

Aşınma sonuçları ilave edilen grafit miktarına bağlı olarak da Şekil 7.14'de mukayese edilmiştir. Bu grafikte; hem alaşımın ve SiC takviyeli kompozitlerin aşınma hızındaki değişim verilmekte hem de artan grafit oranının SiC+grafit ilaveli kompozit malzemelerin aşınma hızındaki değişimi verilmektedir. Şekil 7.14 incelendiğinde ZA-27 alaşımına SiC ilavesi ile aşınma hızının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni Şekil 7.13.' den görüldüğü gibi sürtünme katsayısı artmıştır. Sürtünme katsayısının artışı ile birlikte yüzeyden bazı partiküller koparak 2 yüzey arasına girmiştir. İki yüzey arasına giren bu partiküller aşınma hızını arttırmıştır. ZA-27+%20 SiC yapısına grafit takviyesi ile aşınma hızı düşmüştür. Bunun nedeni yapı içerisindeki grafitlerin yağlayıcılık özelliğinden dolayı sürtünme katsayısını düşürerek aşınma hızının düşmesini sağlamıştır. Artan grafit miktarı yağlayıcılık oranını arttırmış ve bununla birlikte sürtünme katsayısı ile aşınma hızını düşürmüştür. %2,5-5-7,5 oranlarında grafit ilavesi ile sürtünme katsayısı ile birlikte aşınma hızı da azalmıştır. Ancak %10 oranında grafit ilave edildiğinde aşınma hızında bir miktar artış olduğu görülmektedir. Mikroyapı fotoğraflarında da görüldüğü gibi grafitler SiC'lerle veya kendi aralarında bir araya gelerek yapı içerisinde zayıf bölgeler oluşturmaktadır. Bu zayıf bölgelerdeki SiC ve grafitler ayrı ayrı yüzeyden söküldüğü ve özellikle SiC partiküllerinin iki yüzey arasına girerek aşınma hızını arttırmıştır. ZA27+%20 SiC+%10 Grafit kompozit malzemenin aşınma resimlerinde yapıdan tabakalar halinde kopmalar olduğu görülmektedir.

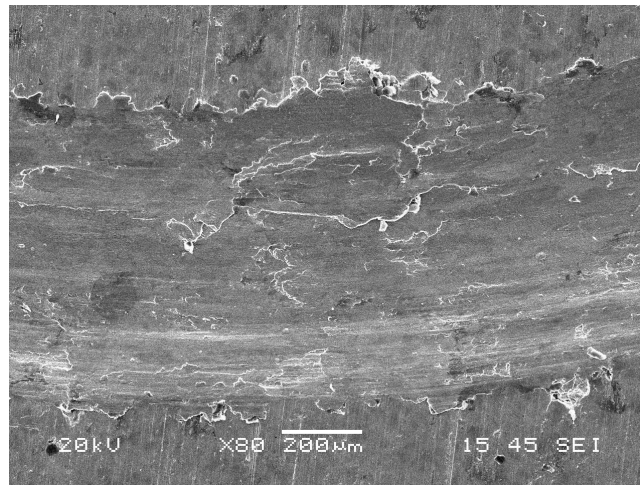
### 7.3.1. Aşınma yüzeylerinin incelenmesi

Şekil 7.15'de 1 N yük altında 0,5 m/s kayma hızlarında ZA 27 alaşımında meydana gelen aşınma iz yüzeylerinin elektron mikroskobunda sekonder elektron dedektörü

kullanılarak elde edilen görüntüleri verilmiştir. Burada oluşan tipik adhesif aşınma izlerinin yapıları verilmektedir. Çinko alüminyum alaşımının yüzeyinde yoğun plastik deformasyon meydana geldiği görülmektedir. Yüksek büyültmeli elektron mikroskobu görüntülerinde ise aşınma ürünlerinin plastik deformasyon sonucunda yüzeye sıvanması daha detaylı olarak görülmektedir. Şekil 7.16'de ZA 27 alaşımının aşınma deneyinde kullanılan çelik bilyede oluşan aşınma izlerinin optik mikroskop görüntüsü görülmektedir. Buradan da ZA 27 alaşımında aşınma sonucu meydana gelen plastik deformasyon neticesinde, deformasyon sertleşmesinin olduğu ve bu nedenle malzeme yüzeyinden kopan parçaların aşındırıcı bilye üzerine yapıştığı söylenebilir. Buradan ZA 27 alaşımında sadece adhesif değil aynı zamanda abrasif aşınmanın da meydana geldiği sonucu çıkarılabilir.

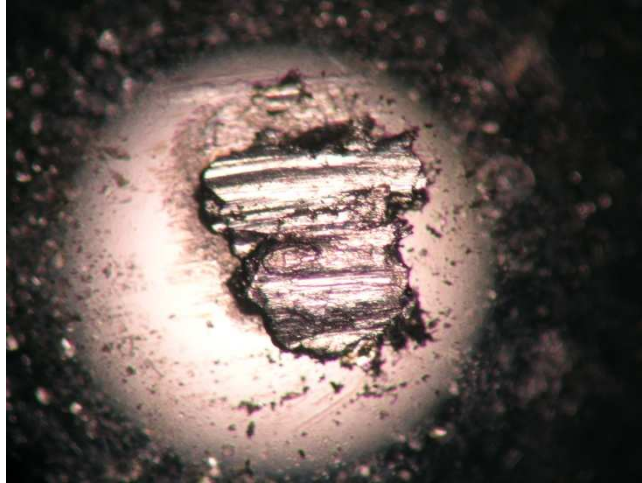


a)



b)

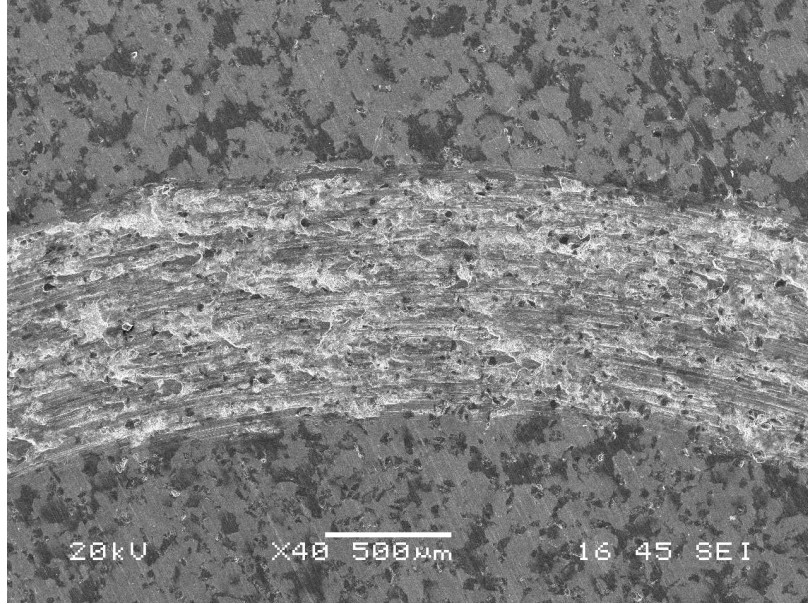
Şekil 7.15. ZA 27 alaşımının 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri



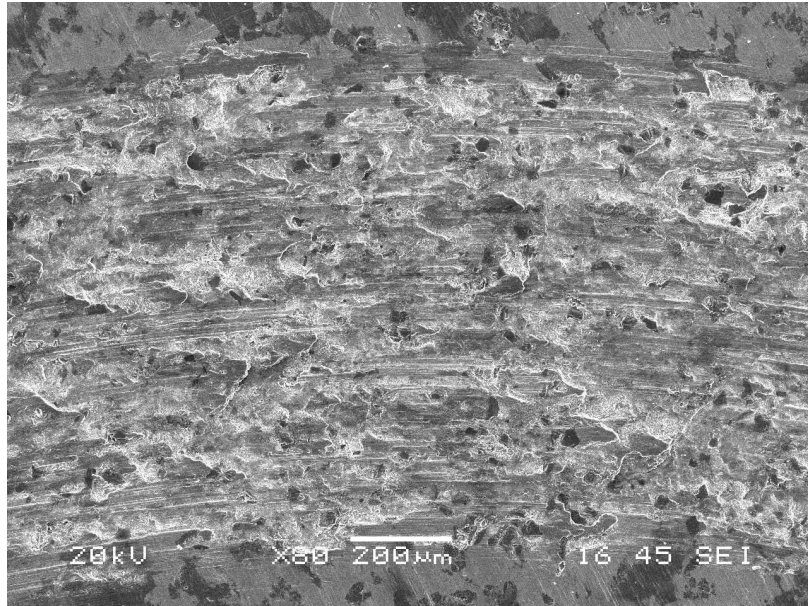
Şekil 7.16. ZA 27 alaşımının aşınma deneyinde kullanılan çelik bilyede görülen aşınma izlerinin optik mikroskop görüntüsü

Şekil 7.17’de %20 SiC takviyeli kompozit malzemenin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Yüzeyde SiC partikülleri ve az da olsa plastik deformasyona uğramış matris görülmektedir. ZA 27 alaşımı ile mukayese edildiğinde matrisin daha az deformasyona uğramasının sebebi SiC takviye fazının yük taşıma kabiliyetinin daha iyi olmasındandır [31]. Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde en önemli özelliklerden birisi; matrisin takviye fazını ıslatabilme kabiliyetinin iyi olmasıdır. Islatabilirliğin az olması ara yüzey bağ yapısının zayıf oluşumu ile sonuçlanır. Üretim sırasında SiC-Matris ara yüzey bağının zayıf olmasının partikül çevresinin boşluk gibi davranmasına ve kayma sırasında partikül parçalanması sonucunda da aşınma miktarının artmasına sebep olduğu belirtilmektedir [32]. Bu etkiler göz önünde bulundurularak SiC’lerin yüzeyi Bölüm 6’da belirtildiği gibi Ni ile kaplanmıştır. ZA 27 alaşımı adhesif karakterli aşınma mekanizmasına sahiptir. Matris fazından ayrılan sert karakterli seramik SiC fazı abrasif aşınma mekanizmasının oluşumuna yol açmaktadır [31]. Bu durumda aşınma, ZA 27 alaşım matrisin karşı yüzeyle iki-yüzeyle aşınması ve ZA 27 matrisli kompozit ile aşındırıcı çelik bilye yüzeylerinin arasına yerleşen aşınma ürünleri sebebiyle üç-yüzeyle aşınma mekanizmasının kombinasyonu şeklinde meydana gelir. Üç-yüzeyle aşınma, SiC partiküllerinin yerlerinden çıkarak kayma ara yüzeyine yerleşmeleri sonucu artar. Sharma ve arkadaşları [31], SiC ilaveli ZA 27 matrisli kompozitlerde düşük yük uygulamasında abrasif karakterli aşınmanın, yüksek yük uygulamasında ise tabakalı aşınmanın oluştuğunu belirtmişlerdir. Düşük yüklerde hasar görmeyen SiC partikülleri taşıyıcı faz olarak davranarak çelik yüzeyinde abrasif aşınmaya neden

olurken, artan yük ile birlikte partiküller parçalanmakta ve yumuşak olan matris alaşımına batarak mekanik karışım tabakası oluşturmaktadır. Oluşan bu tabakanın kalınlığına bağlı olarak koruyucu olarak davrandığı, hasarı önlediği ve böylelikle de aşınmayı azalttığı belirtilmiştir [32].

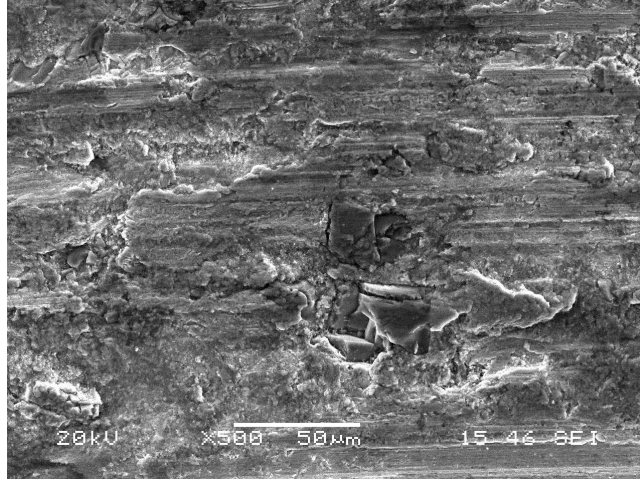


a)



b)

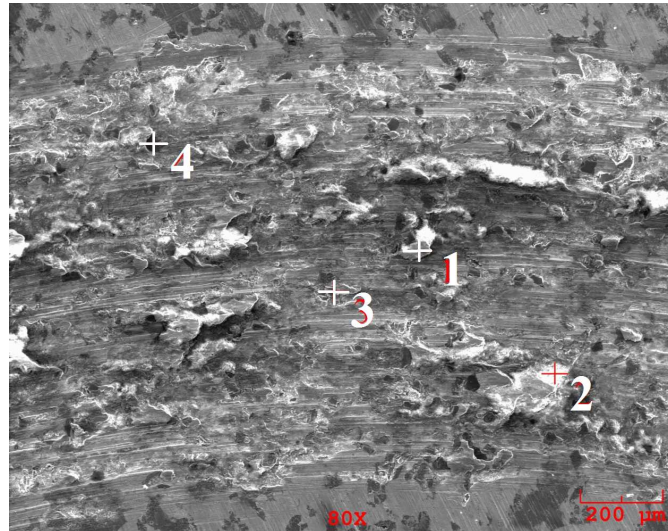
Şekil 7.17. %20 SiC takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri



c)

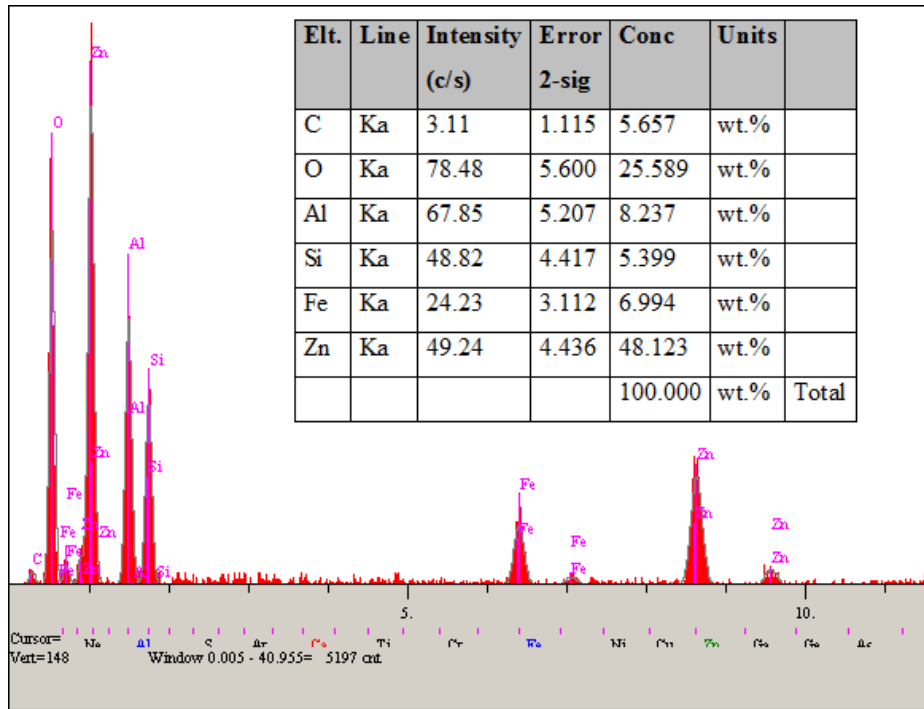
Şekil 7.17. (Devam)

Şekil 7.18'deki EDS sonuçlarına bakıldığında ise 1 ile gösterilen kısımda Zn, Al, Si, Fe, C ve O piklerinin bulunduğu, 2 ile gösterilen kısımda Zn, Al, Si, Fe ve O piklerinin bulunduğu, 3 ve 4 ile gösterilen kısımda ise Si, C bulunduğu görülmektedir. Oksijenin varlığı aşınma esnasında aşınma yüzeylerinin hızlı bir şekilde oksidasyona uğradığını göstermektedir. Fe piki ve C piki ise, aşındırıcı bilye malzemesinin yüzeyinden aşınma partikülü olarak kopup diğer aşınma ürünleri ile birlikte hasar yüzeyinde toplandığını göstermektedir.

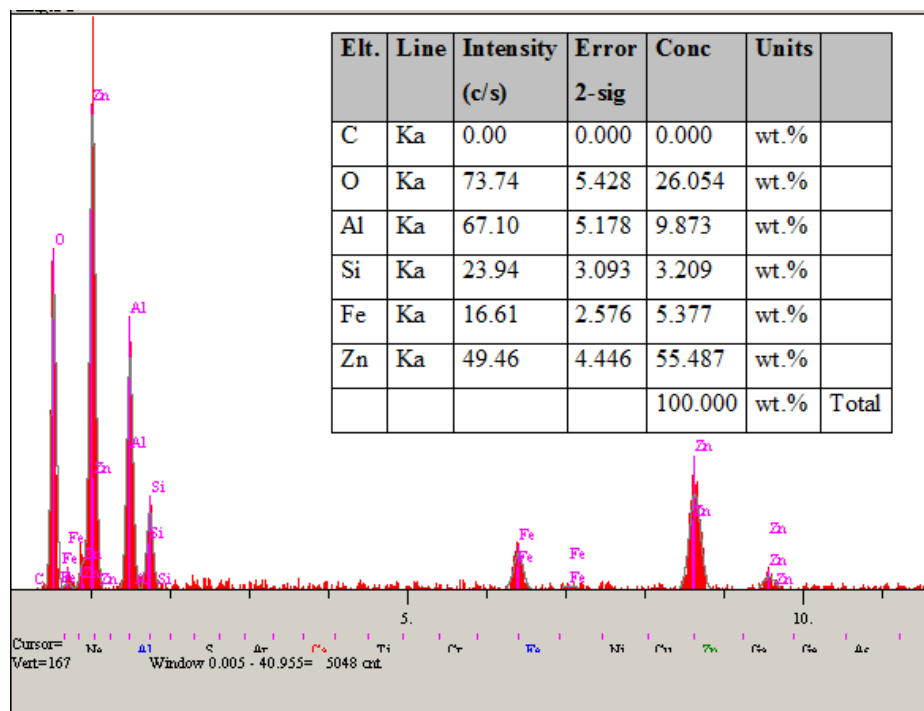


a)

Şekil 7.18. %20 SiC takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi e) 4 ile gösterilen noktanın EDS analizi



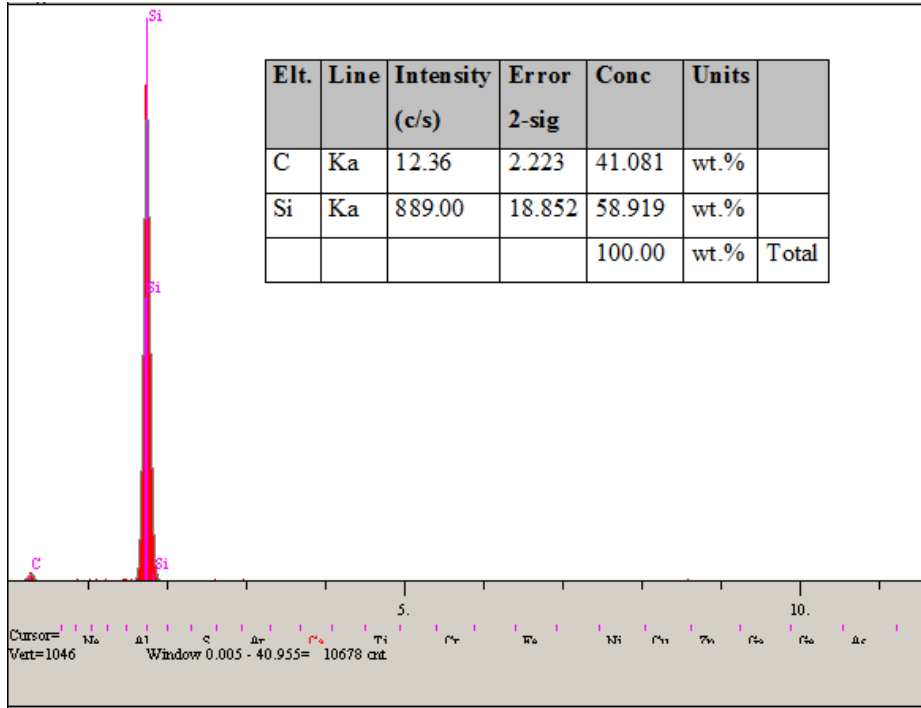
b)



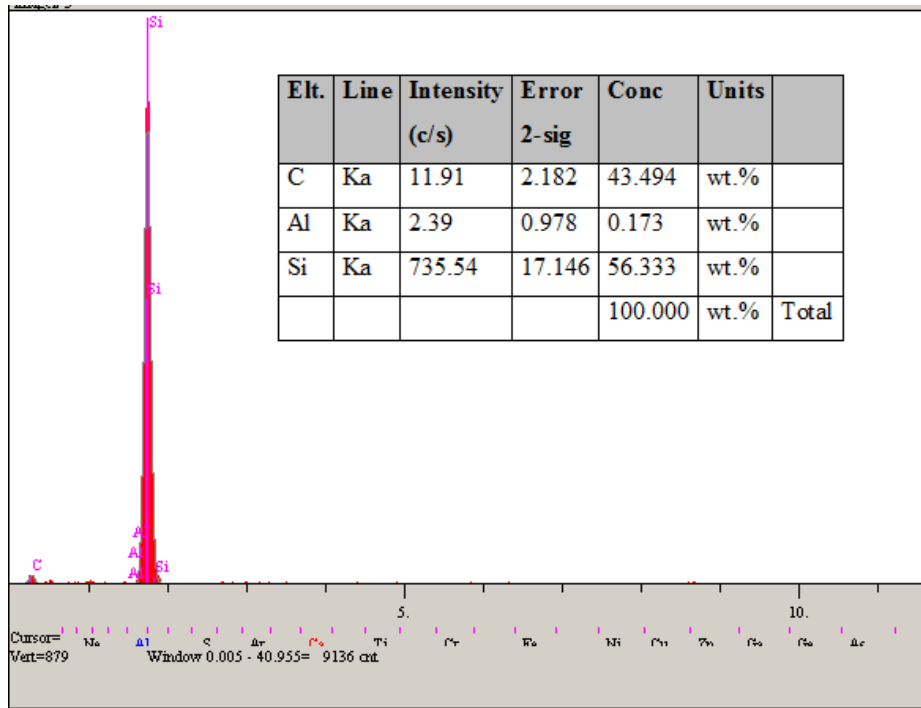
c)

Sekil 7.18. (Devam)





d)

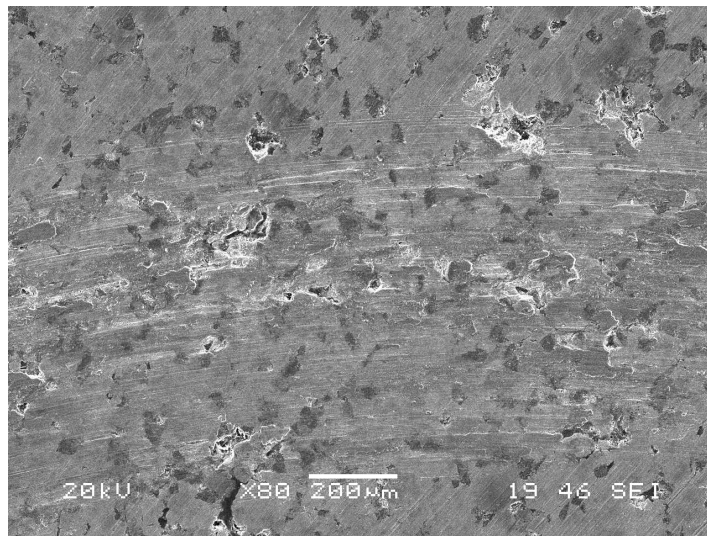


e)

Şekil 7.18. (Devam)

Şekil 7.19'de % 20 SiC+ %2,5 Grafit ilaveli kompozit malzemelere ait aşınma sonrası SEM resimleri verilmiştir. %20 SiC+%2,5 Grafitli kompozit malzemelerin yüzeylerinde çok az plastik deformasyonun olduğu görülmektedir. SiC ve grafit

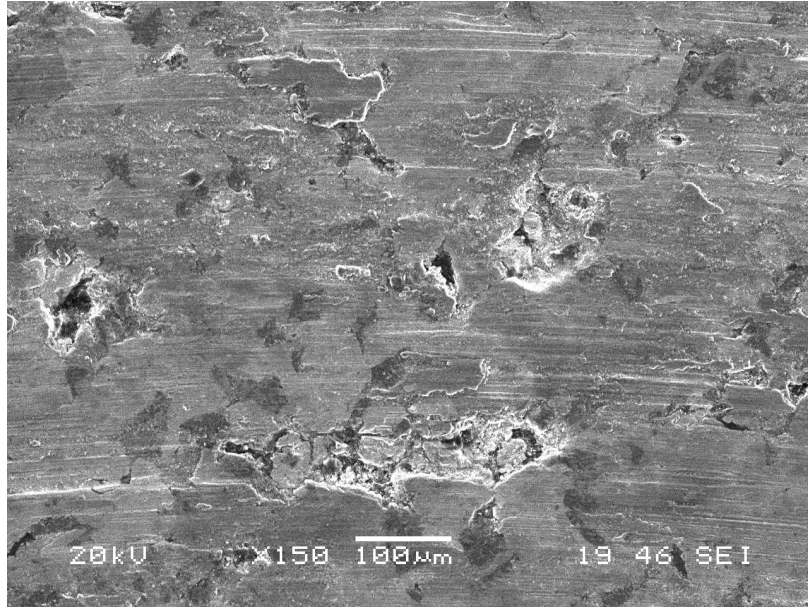
partiküllerinin matristen kopmadan yüzeyde kalmaları, yük taşıma ve yağlama fonksiyonlarının gerçekleştiğine işarettir. Matrisin plastik deformasyonu yine partiküllerin çevresinde meydana gelmiştir. Fakat ZA 27 alaşımı ve %20 SiC takviyeli kompozitler ile mukayese edildiğinde; hem partiküller parçalanmamış hem de matriste yoğun bir plastik akış ve çok şiddetli yiv oluşumu gibi deformasyon belirtisi tespit edilmemiştir. Oluşan yivler süresiz ve bölgesel olarak meydana gelmiştir. Bu oluşumun sebebinin yetersizi yağlamadan kaynaklandığı düşünülmektedir. SEM görüntülerinde tespit edilen numune yüzeylerindeki hasar oluşumu, yüzeyden kopan zayıf bağlanmış bazı SiC partikülleri ara yüzeyde aşınma miktarının artışına yol açmaktadır. Şekil 7.19b ve 7.19c'deki yüksek büyütme görüntüleri de partiküllerin çevresinde plastik deformasyondaki artış verilmiştir. SiC partikülleri parçacıklara ayrılırken grafitte tabakalar halinde parçalanmıştır. Fakat %20 SiC+ %2,5 grafit takviyeli kompozit malzemelerindeki partiküllerin çoğunluğunda bu davranış görülmeyip bölgesel yada kısmi olarak bazı partiküllerde görülmüştür. Daha küçük büyütme görüntüleri sunulduğu Şekil 7.19a da matris ve partikül çevresinde plastik deformasyonun kısmi olarak olduğu görülmektedir. Grafitin ilavesi sonucu yağlayıcılık etkisi sonucu sürtünme katsayısında %20 SiC takviyeli kompozit malzemelere göre azalma görülmesine karşın zayıf bağlı SiC partikülleri ve grafit tabakalarının yüzeyden kopmaları sonucu aşınma miktarında artış gözlenmiştir.



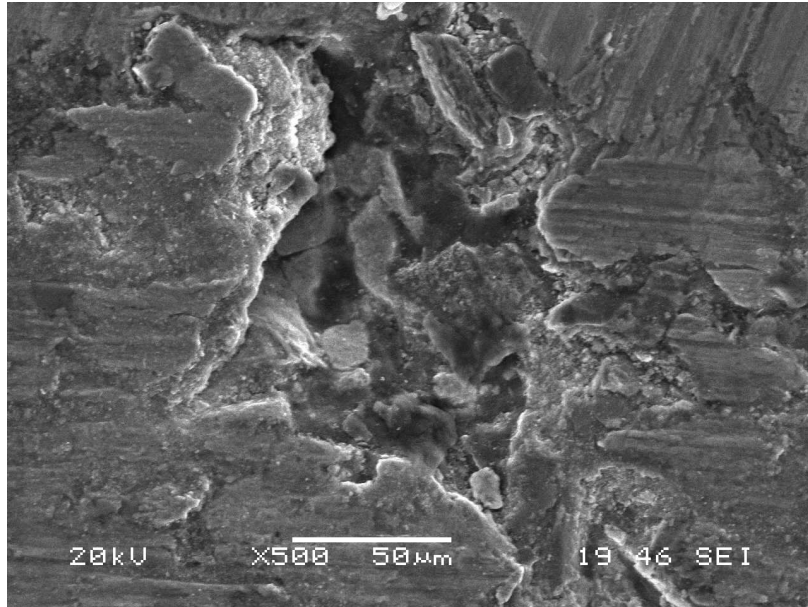
a)

Şekil 7.19. %20 SiC+ %2,5 grafit takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri





b)

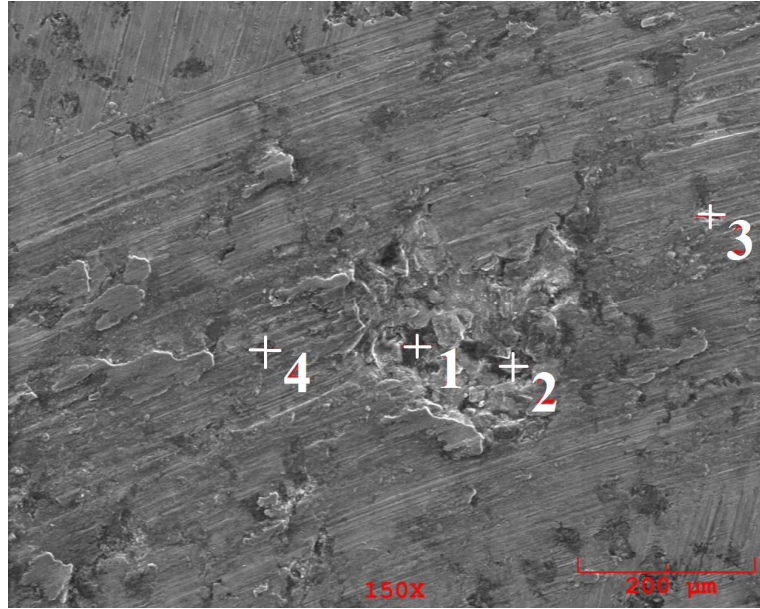


c)

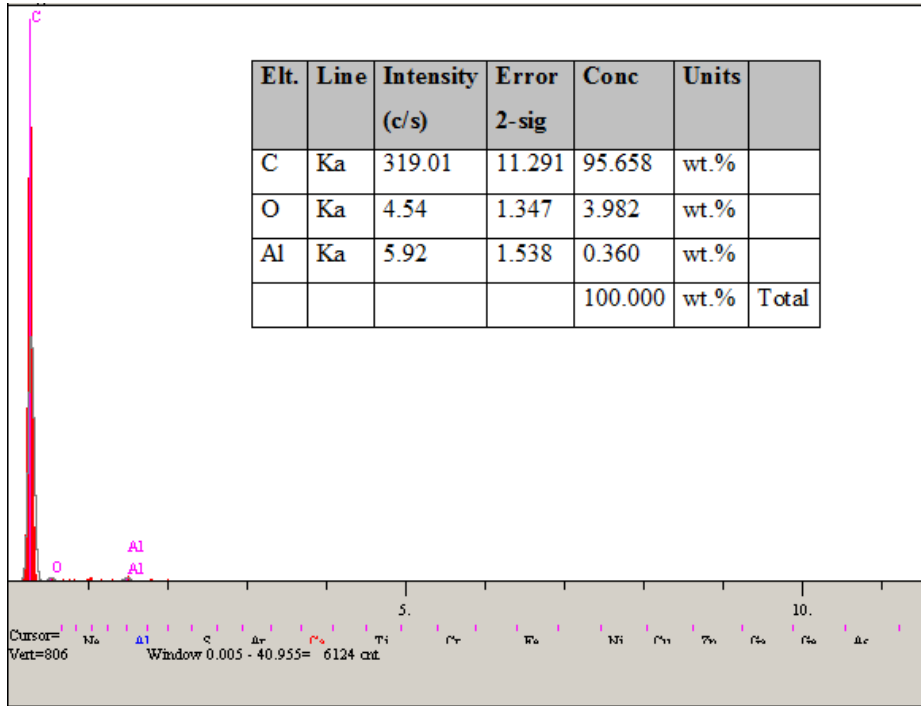
Şekil 7.19. (Devam)

Şekil 7.20'deki EDS sonuçlarına bakıldığında ise 1 ile gösterilen kısımda C pikinin yüksek bir oranda bulunması kopan tabakanın grafit tabakasının zayıf bağı neticesinde olduğu söylenebilir. 2 ve 3 ile gösterilen kısımda Zn, Al, Si, Fe, C ve O piklerinin bulunduğu, 4 ile gösterilen kısımda ise Si, C bulunduğu görülmektedir. Oksijenin varlığı hasar bölgesinde yüzey oksitlerinin bulunduğu işaretlerdir. Fe piki ise, aşındırıcı bilye malzemesinin yüzeyinden aşınma partikülü olarak kopup diğer

aşınma ürünleri ile birlikte hasar yüzeyinde toplandığını göstermektedir. Gösterilen dört noktada da C pikinin bulunması grafit tabakasının yüzeyden kopup yağlayıcı olarak tekrar yüzeye sıvanmasından kaynaklandığının göstergesidir.

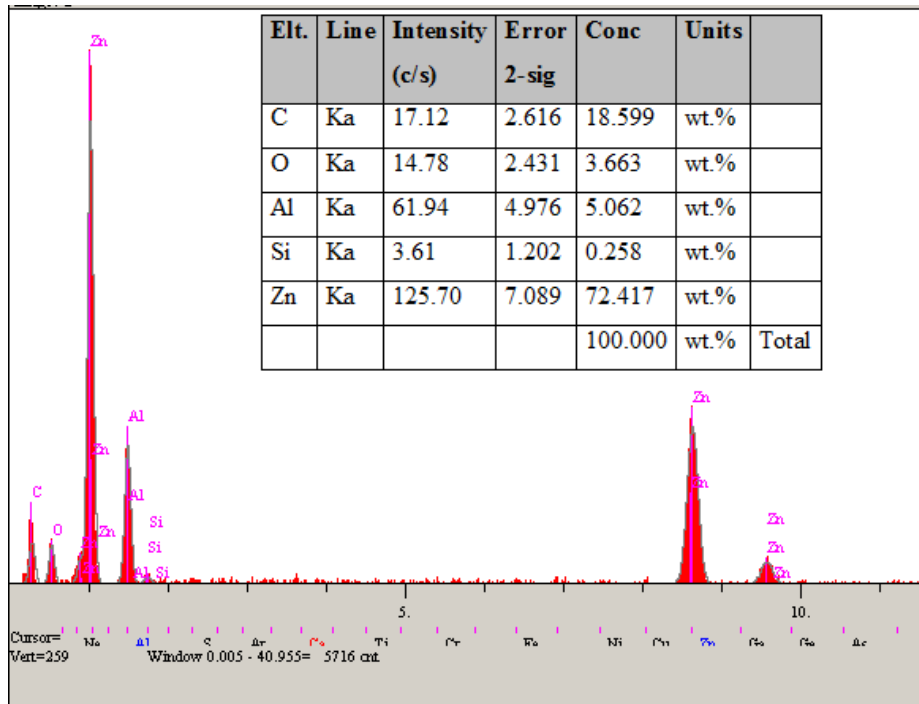


a)

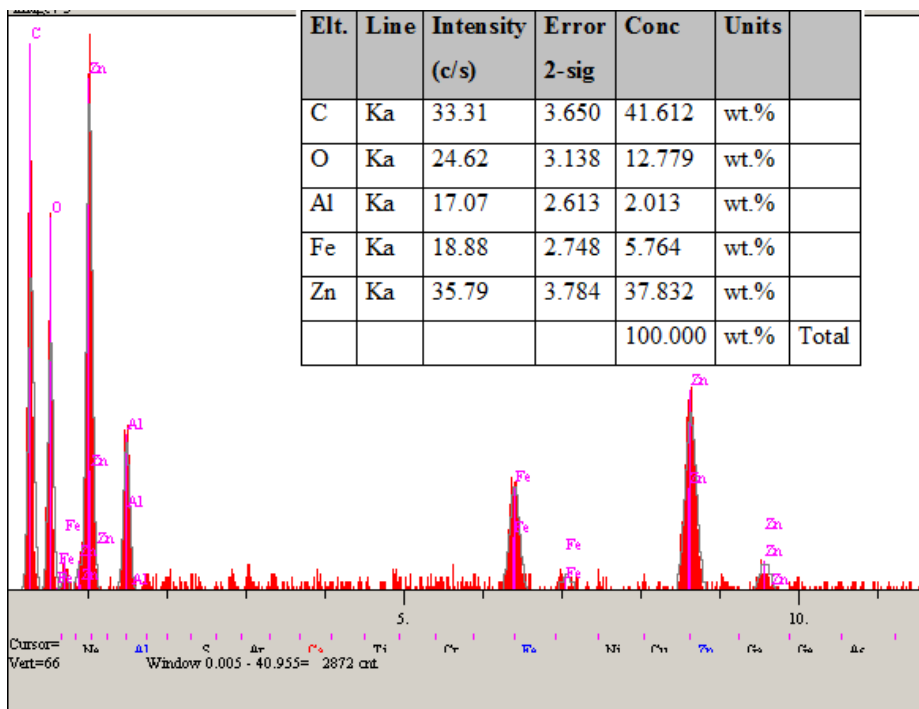


b)

Sekil 7.20. %20 SiC+%2,5 Grafit takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi e) 4 ile gösterilen noktanın EDS analizi

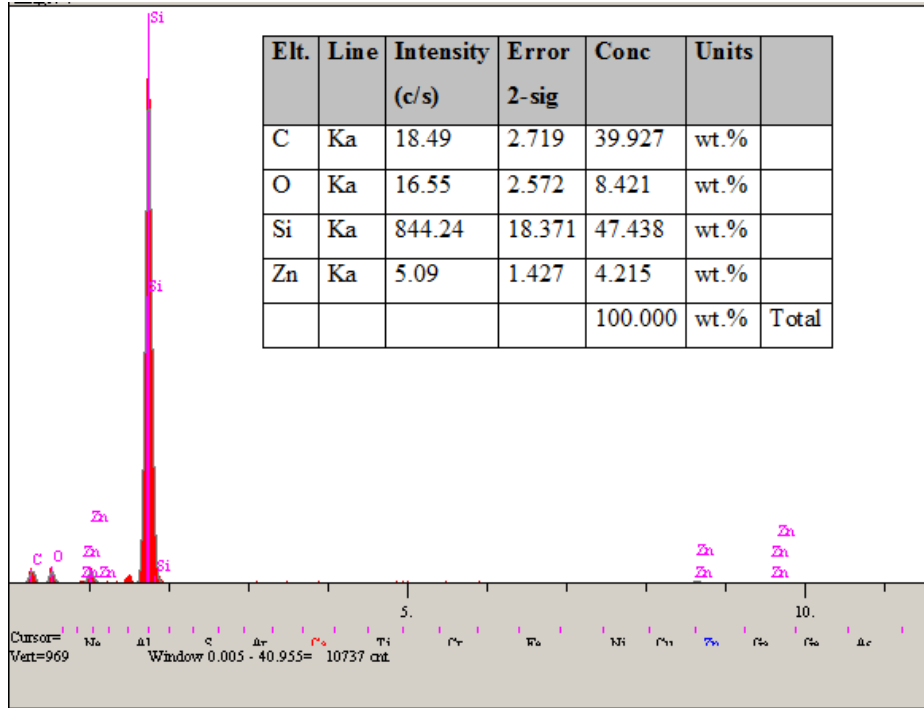


c)



d)

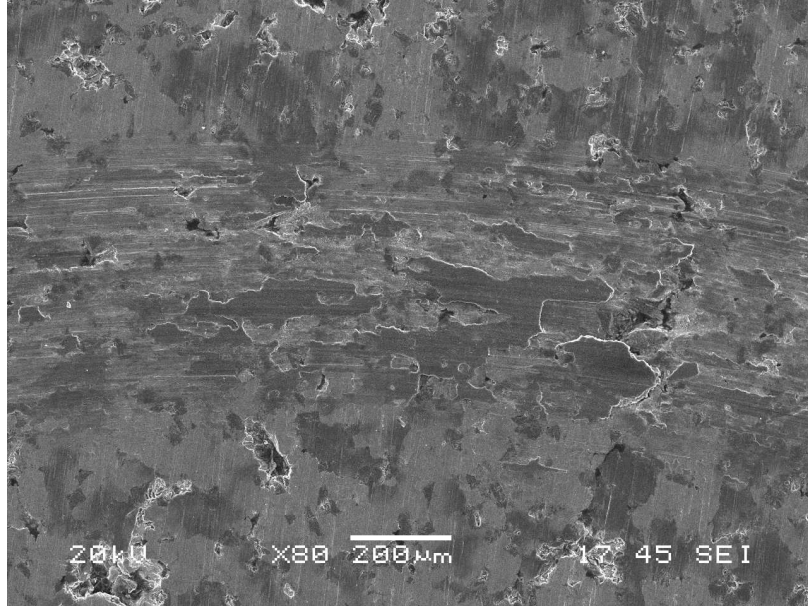
Sekil 7.20. (Devam)



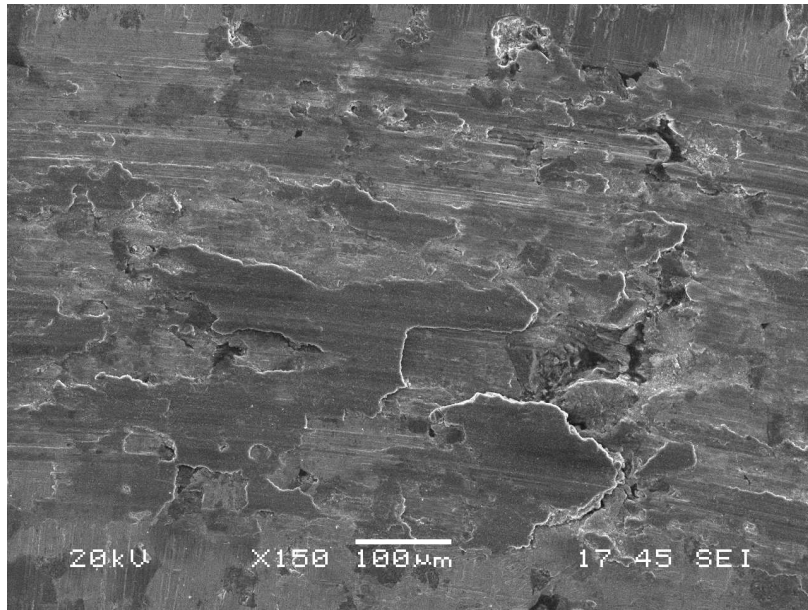
e)

Sekil 7.20. (Devam)

Şekil 7.21’de %20 SiC +%5 Grafit takviyeli kompozitlerin SEM görüntüleri verilmiştir. Grafitin bir miktar artışı ile yüzeyde yağlayıcılık artmış ve plastik deformasyon ve yiv oluşumu gibi yüzey hasarlarında azalma tespit edilmiştir. SiC ilavesi ile artan sürtünme katsayısı ZA 27 alaşımı değerine çok yaklaşmıştır. Ancak %2,5 grafit takviyeli kompozit malzemede gözlenmiş olan aşınma miktarının artışı burada gözlenmiştir. Şekil 7.21a ve Şekil 7.21b’de malzeme yüzeyinde grafitin yağlayıcı etkisi görülmektedir. Ancak Şekil 7.21c’de %2,5 grafit takviyeli kompozit malzemede görülen zayıf bağlı SiC partikülleri ve grafit tabakalarının yüzeyden kopmaları gözlenmiştir. Grafit miktarının artışı ile aşınma miktarının azalmasının beklenmesine karşın aşınma miktarındaki artışın yüzeyden kopan tabakaların %2,5 grafit takviyeli malzemelere göre daha büyük olduğunu düşündürmektedir.

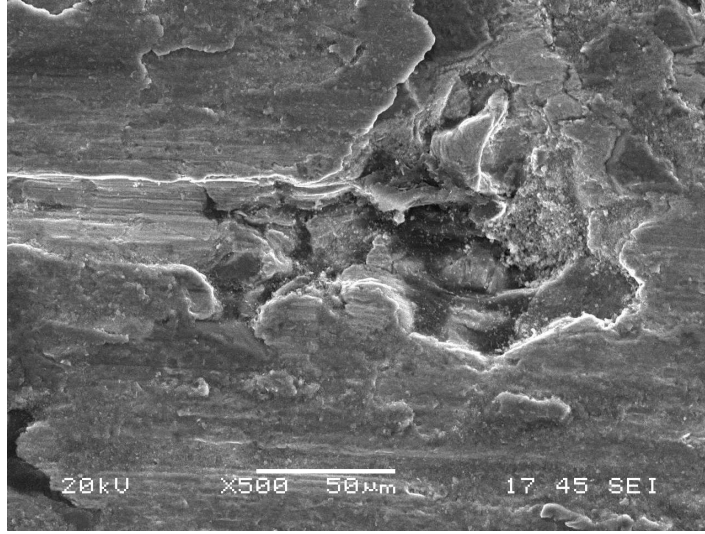


a)



b)

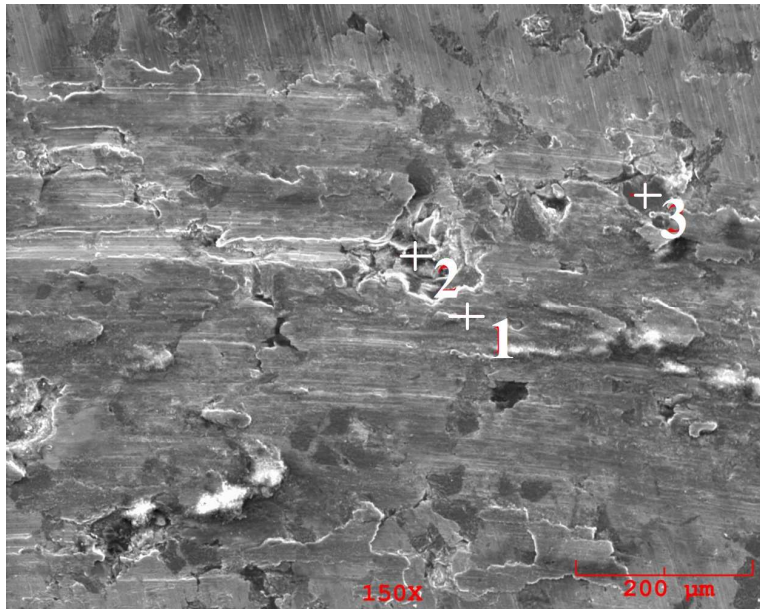
Şekil 7.21. %20 SiC+ %5 grafit takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri a) 80 büyütme, b) 150 büyütme c) 500 büyütme



c)

Şekil 7.21. (Devam)

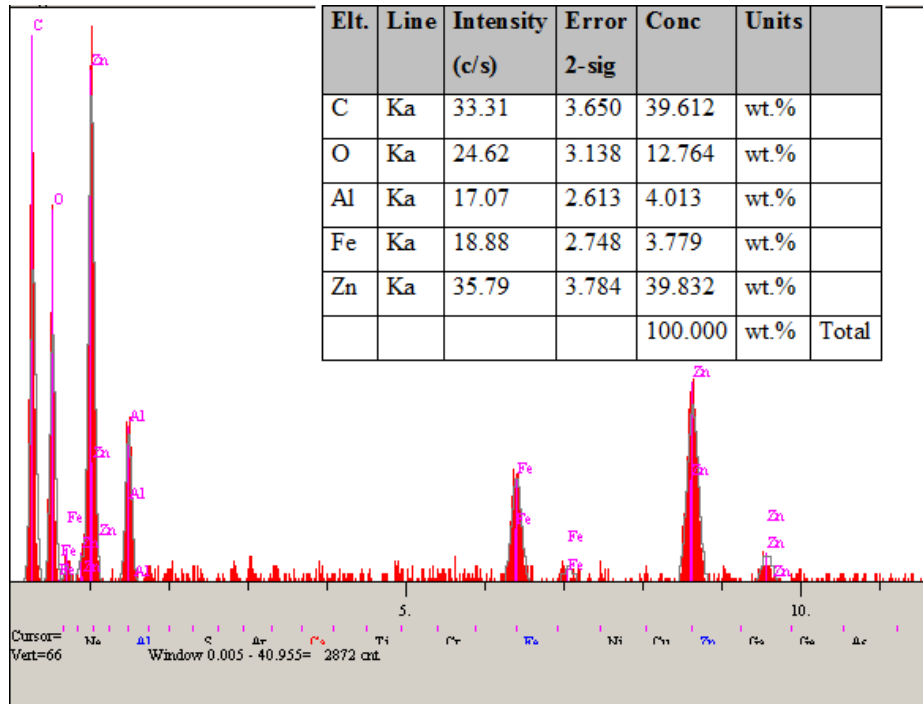
Şekil 7.22'deki EDS sonuçlarına bakıldığında ise 1 ile gösterilen kısımda Zn, Al, Fe, C ve O piklerinin bulunduğu, 2 ile gösterilen kısımda C pikinin yüksek bir oranda bulunması kopan tabakanın grafit tabakasının zayıf bağı neticesinde olduğu söylenebilir.



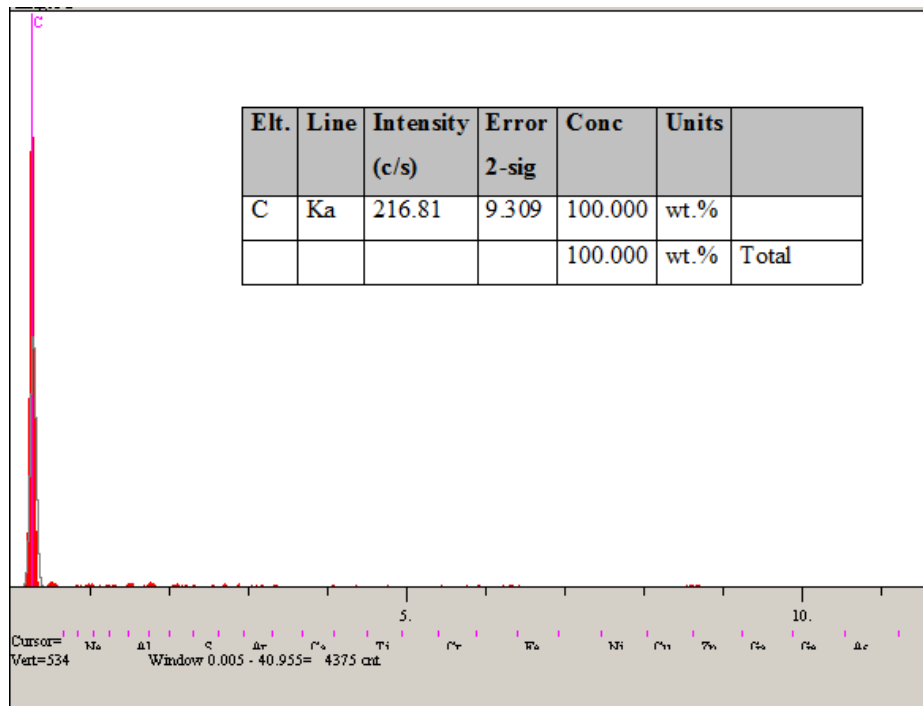
a)

Şekil 7.22. %20 SiC+%5 Grafit takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi



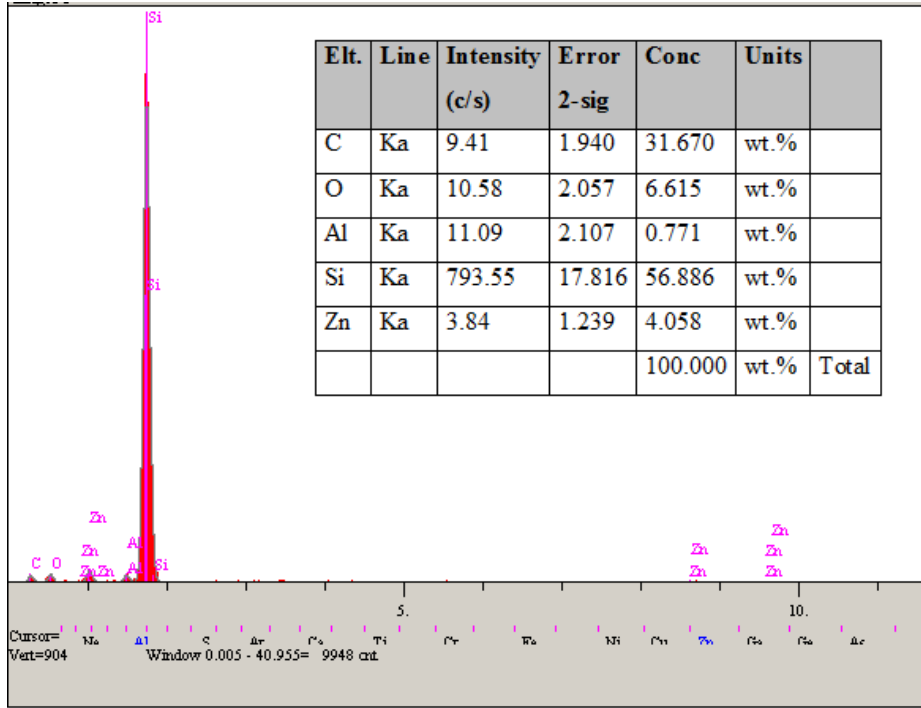


b)



c)

Sekil 7.22. (Devam)

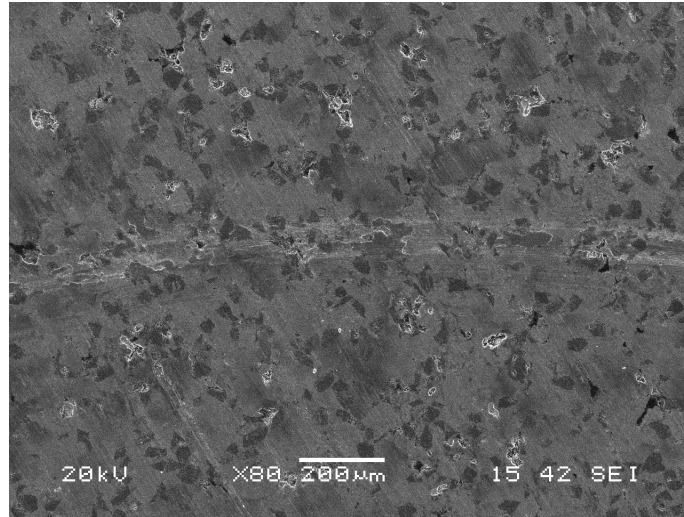


d)

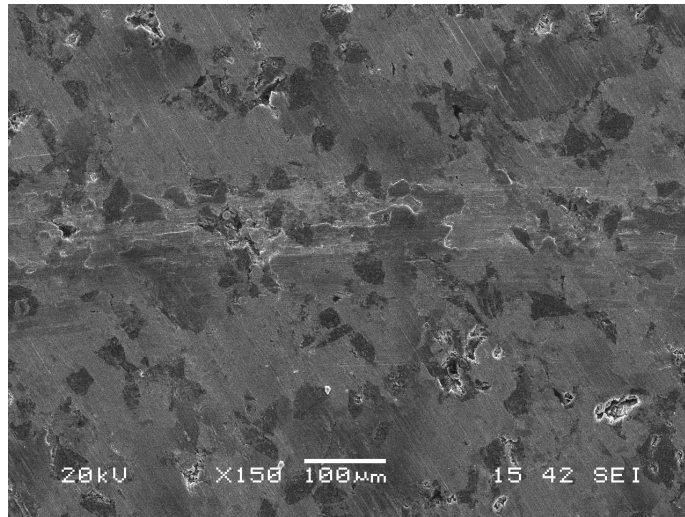
Sekil 7.22. (Devam)

Grafitin %7,5 olduğu %20 SiC +%7,5 Grafit takviyeli kompozitler aşınma miktarı bakımından en iyi sonuçları sunmuşlardır. Şekil 7.23'deki SEM görüntüleri dikkatli bir şekilde incelendiğinde aşınma süresince meydana gelen plastik deformasyonun çok şiddetli olmadığı görülmektedir.. Yüzeydeki yivler diğer kompozitlerde daha belirgin iken grafit takviyesinin %7,5 olduğu bu kompozit malzemede belirginlik oldukça azalmıştır. Sürtünme katsayısı ZA 27 alaşımından ve yukarıda incelenmiş olan diğer kompozitlerden daha düşük olmakla birlikte aşınma miktarı da en düşük seviyeye gelmiştir. Şekil 7.23a ve Şekil 7.23b incelendiğinde grafit ve SiC partiküllerinin ZA 27 alaşımı ile birlikte aşındıkları ve oldukça düzgün yüzeyler ortaya çıkardıkları anlaşılmaktadır. Şekil 7.24c incelendiğinde %2,5-5 grafit takviyeli kompozit malzemelerde oluşan yüzeyden partikül ve tabaka kopması %7,5 grafit takviyeli kompozit malzemede oldukça azaldığı görülmektedir. Aşınma miktarındaki şiddetli düşüşün ortaya çıkması burada çıkan sonuçla birebir örtüştüğü söylenebilir. Bu malzemelerin düşük aşınma ve sürtünme katsayısı sunmalarının bir diğer nedeni de % 7,5 oranında ilave edilen grafitin sağladığı ısı iletken denilebilir.

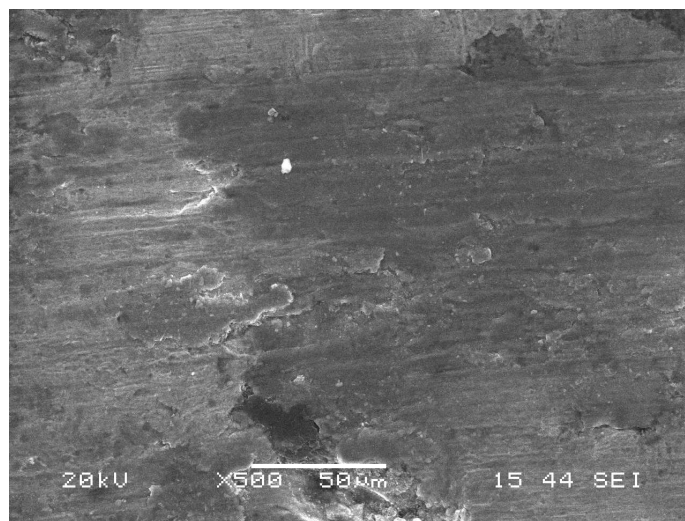




a)



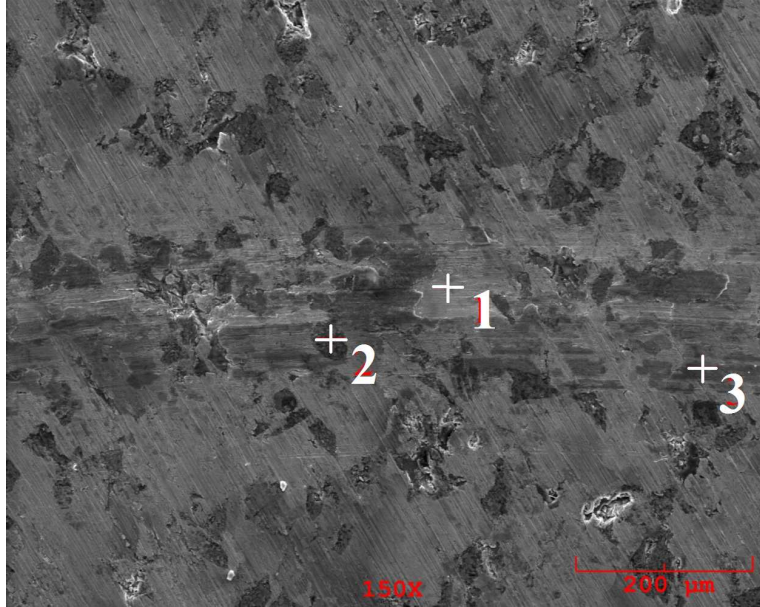
b)



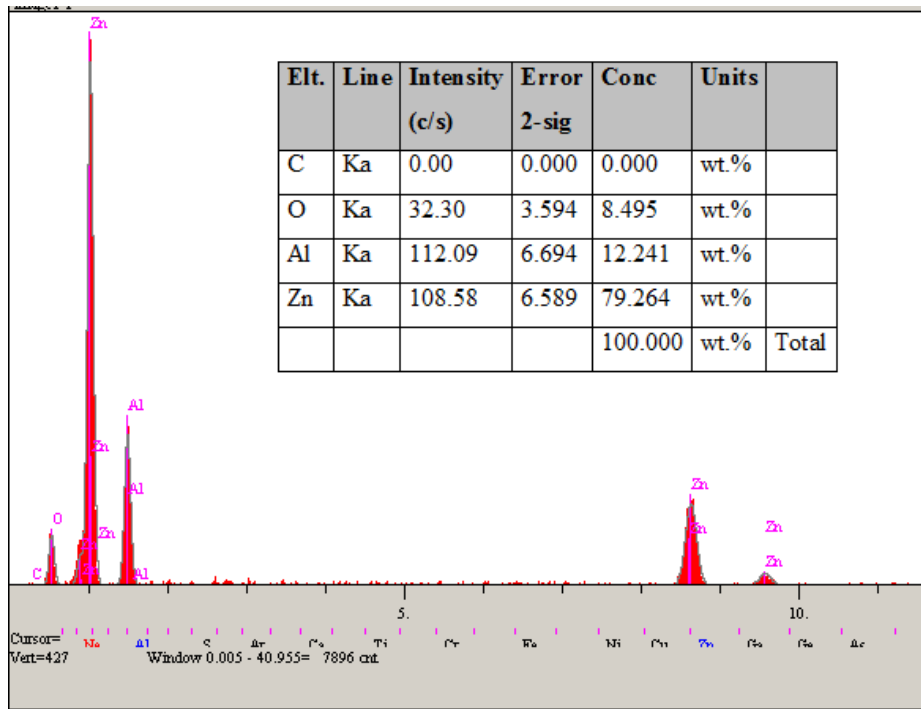
c)

Şekil 7.23. %20 SiC+ %7,5 grafit takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri

Şekil 7.24'deki EDS sonuçlarına bakıldığında ise 1,2 ve 3 noktasında oluşan pikler doğrultusunda yukarıda bahsetmiş olduğumuz grafit ve SiC partiküllerinin ZA 27 alaşımı ile birlikte aşındıkları ve oldukça düzgün yüzeyler ortaya çıkardıkları, bir anlamda doğrulandığı anlaşılmaktadır.

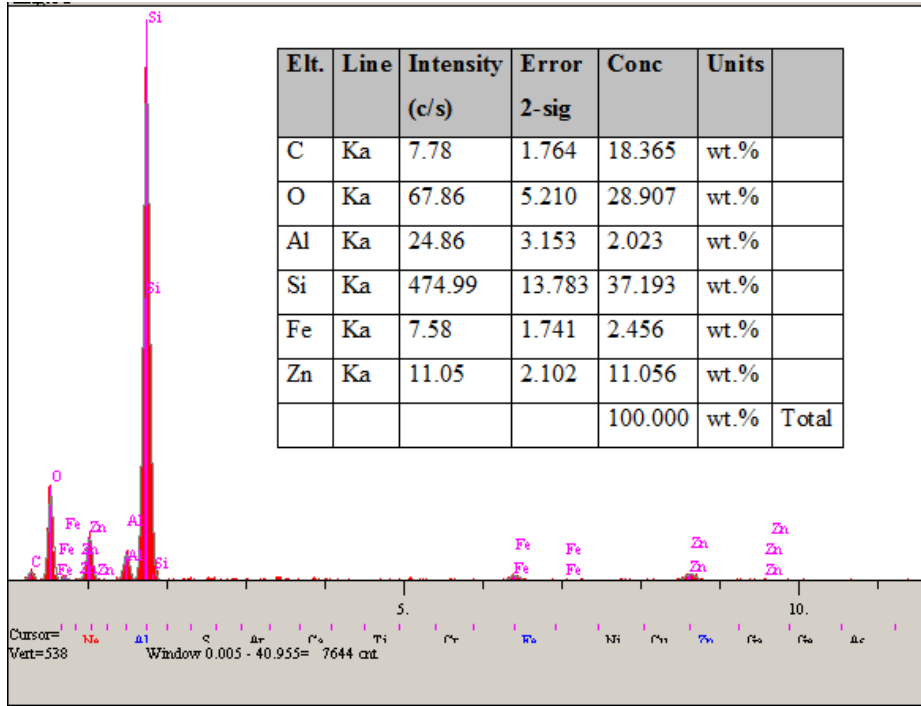


a)

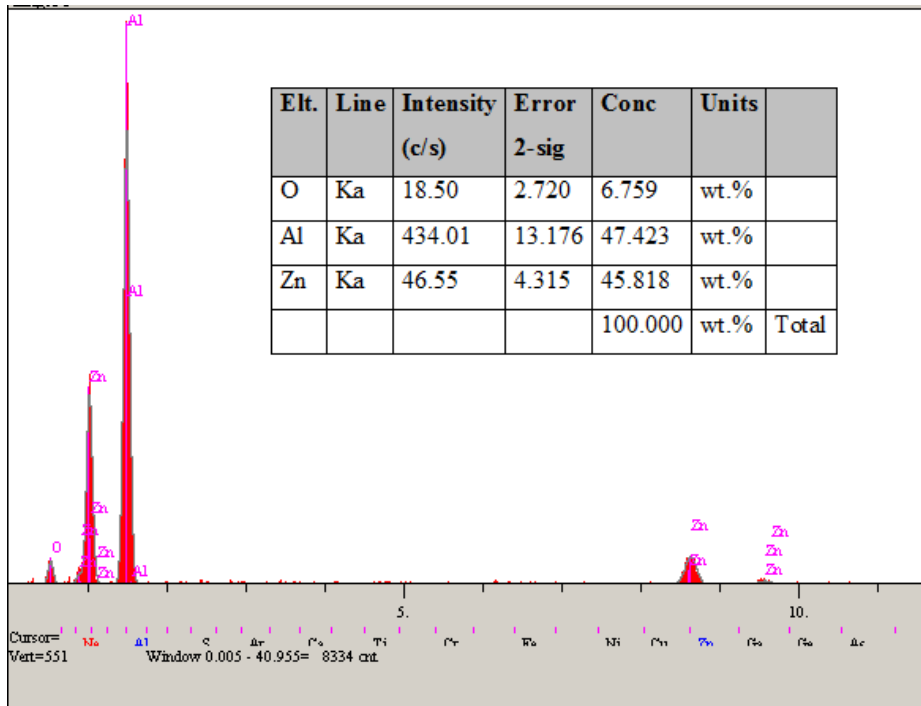


b)

Şekil 7.24. %20 SiC+%7,5 Grafit takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi



c)

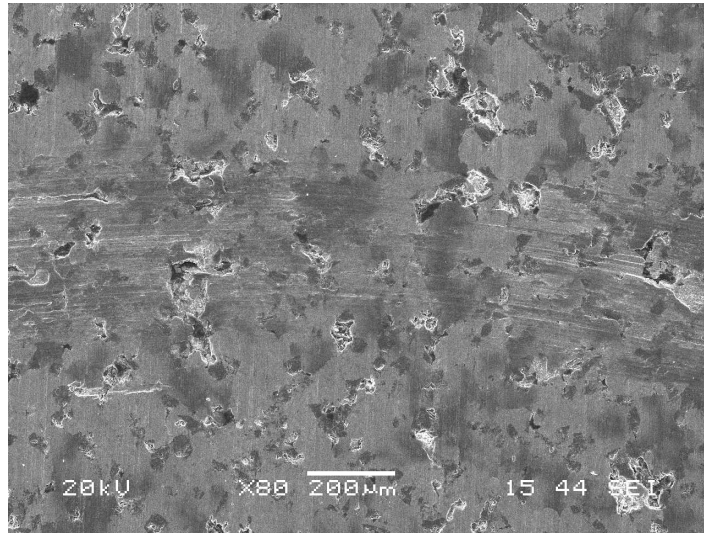


d)

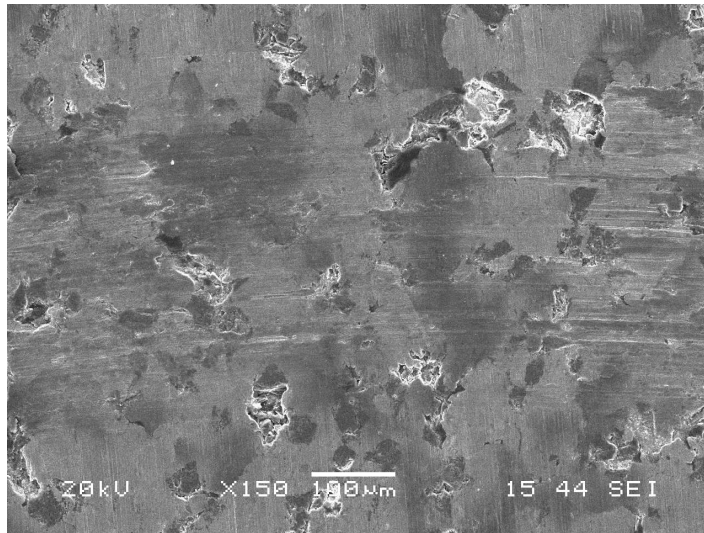
Sekil 7.24. (Devam)

Grafitin %10 olduğu %20 SiC +%10 Grafit takviyeli kompozitler sürtünme katsayısı düşük olması bakımından en iyi sonuçları sunmuşlardır. Şekil 7.25'deki SEM görüntüleri dikkatli bir şekilde incelendiğinde, aşınma süresince meydana gelen

plastik deformasyonun çok şiddetli olmadığı görülmektedir. Ancak %7,5 grafit takviyeli kompozitlerde daha az miktarda deformasyon oluşurken grafit miktarının artışı ile deformasyonda artış gözlenmiştir. %7,5 grafit takviyeli kompozit malzemelere göre yüzeydeki yivler daha belirgin hale gelmiştir. En düşük sürtünme katsayısı değeri alınmasına karşın aşınma miktarı bu sonuçla paralel olmamış ve %7,5 grafit takviyeli kompozitlere göre artış gözlenmiştir. Grafit miktarının artışı ile birlikte zayıf bağların artması ile beraber yüzeysel kopmaların artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

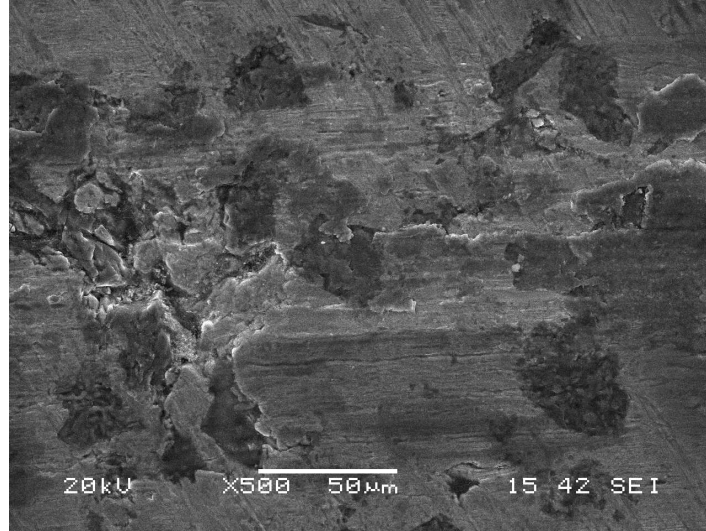


a)



b)

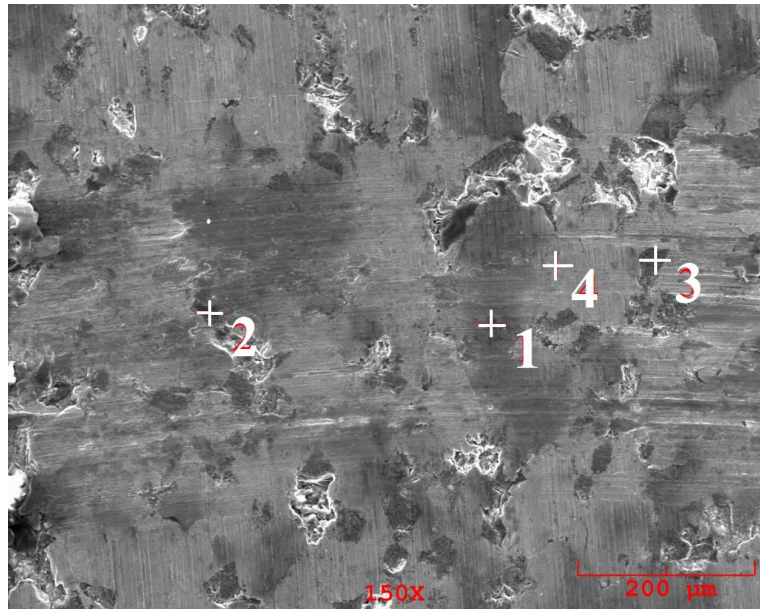
Şekil 7.25. %20 SiC+ %10 grafit takviyeli kompozit malzemenin 1 N yükte 0.5 m/s kayma hızında oluşan aşınma izlerinin elektron mikroskobu (SEM) ile çekilmiş görüntüleri



c)

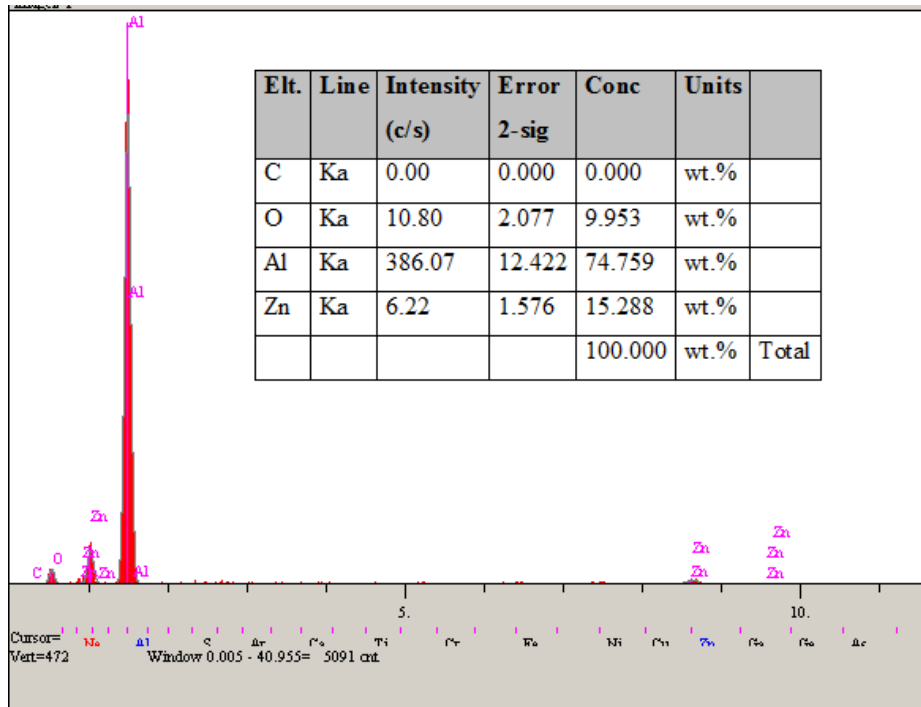
Şekil 7.25. (Devam)

Şekil 7.26'daki EDS sonuçlarına bakıldığında ise 1,2,3 ve 4 noktalarında oluşan pikler doğrultusunda kompozit malzeme yapısında olmasını beklediğimiz piklerin oluştuğu görülmektedir.

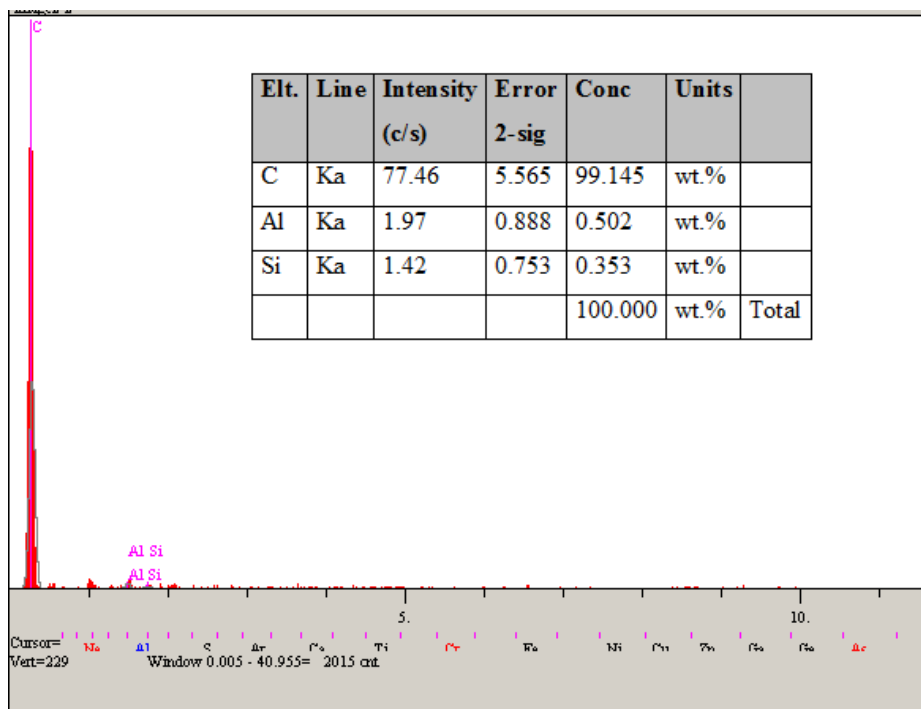


a)

Şekil 7.26. %20 SiC+%10 Grafit takviyeli kompozit malzemenin 1N yük ve 0,5 m/sn hızda yapılan deney sonrası a) Aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü b) 1 ile gösterilen noktanın EDS analizi c) 2 ile gösterilen EDS analizi d) 3 ile gösterilen noktanın EDS analizi e) 4 ile gösterilen noktanın EDS analizi



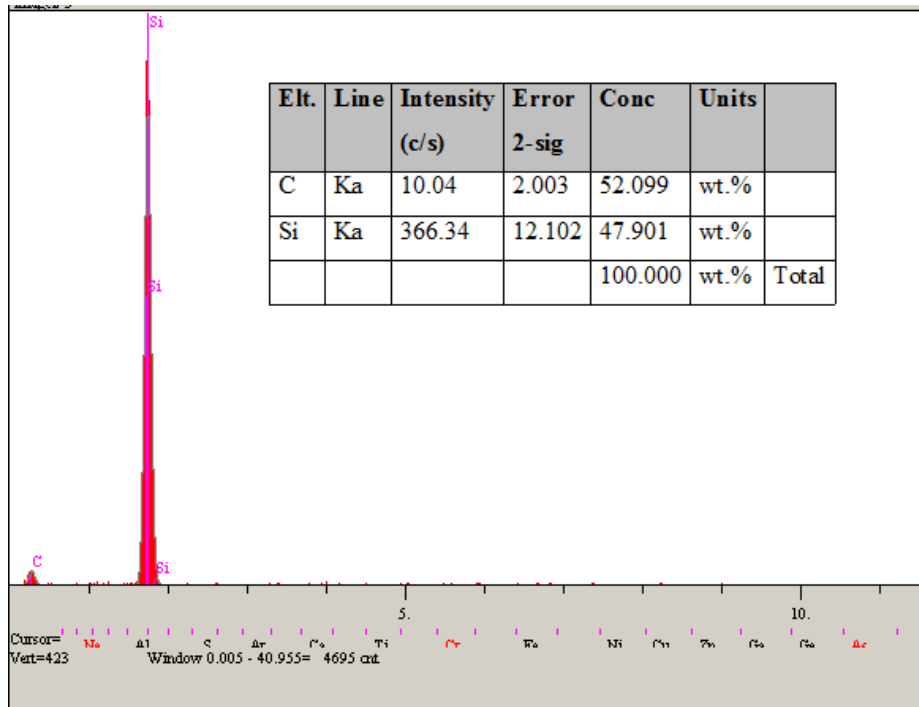
b)



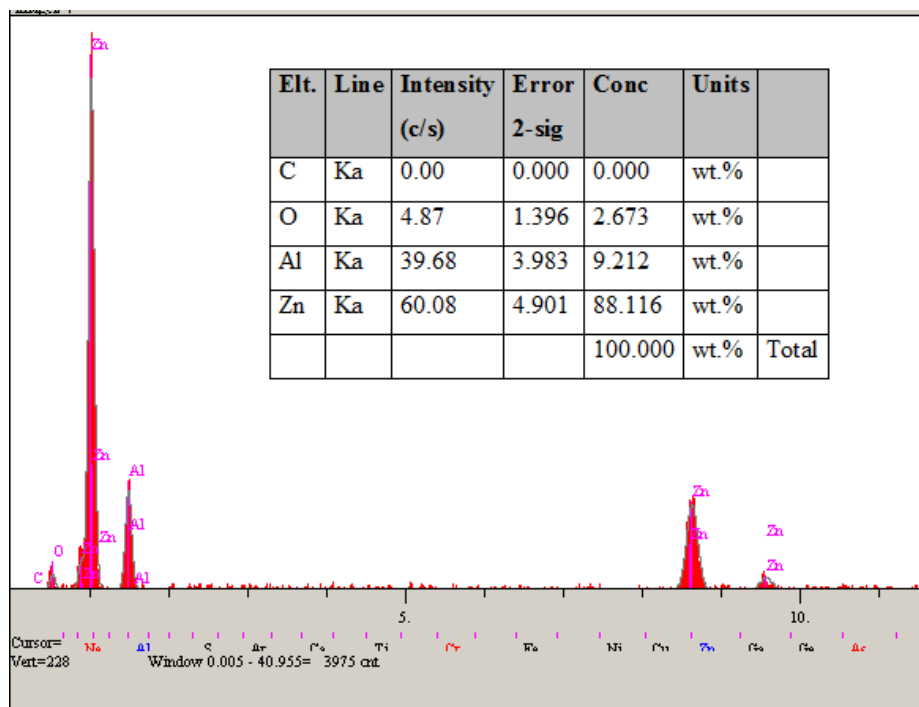
c)

Sekil 7.26.(Devam)





d)



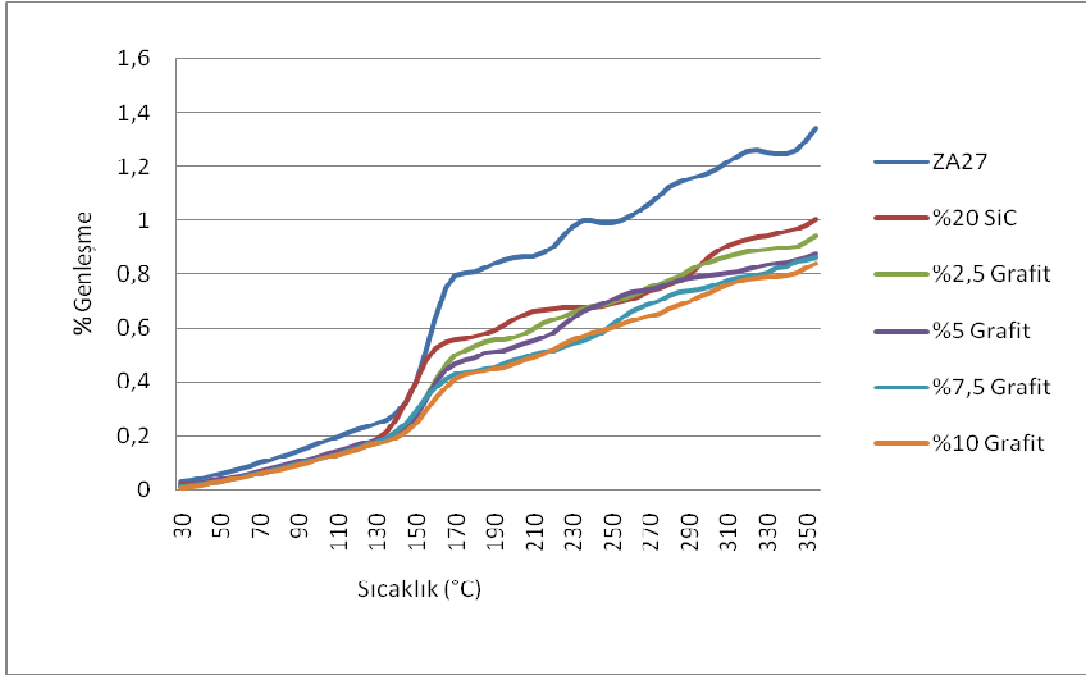
e)

Sekil 7.26.(Devam)

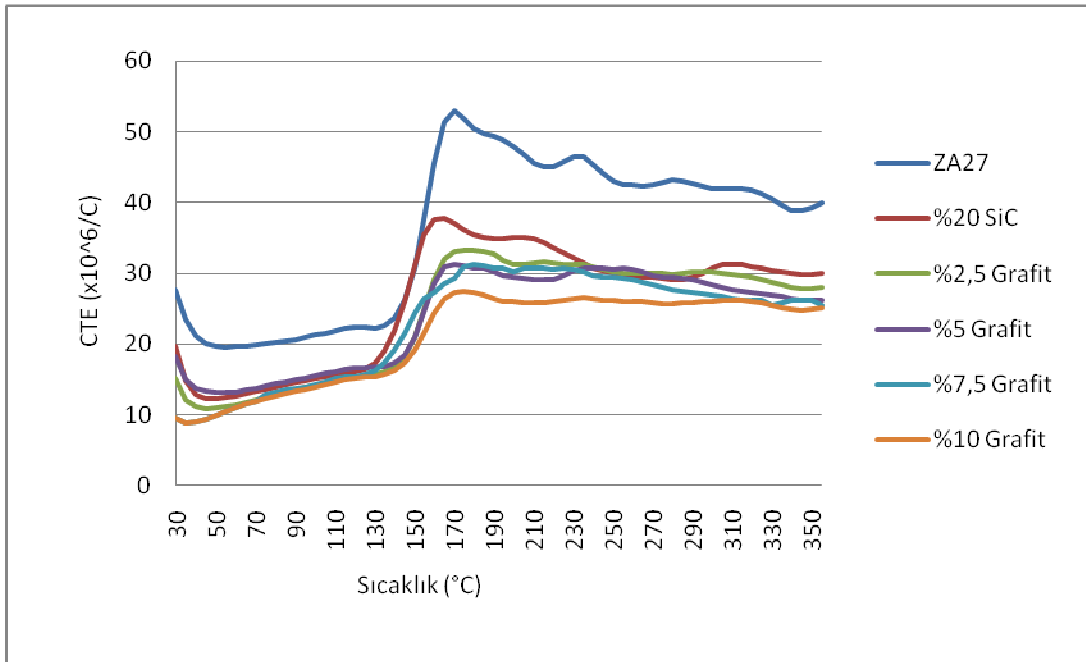
#### 7.4. Termal Genleşme Deneyi Sonuçları

ZA 27 alaşımı ve %20SiC ve %2,5-5-7,5-10 grafit takviyeli kompozit malzemelerin oda sıcaklığından 350 °C'ye kadar 5 °C/dk hızla ve argon atmosferinde yapılan termal genleşme deneylerinden elde edilen sıcaklık-genleşme grafikleri Şekil 7.27'de verilmiştir. Genel olarak bir değerlendirme yapıldığında, SiC takviyesi ile % genleşme değerlerinde oldukça fazla azalma gözlenmektedir. Bununla birlikte %20 SiC takviyeli kompozit malzemelere ilave edilen grafit oranı ile %genleşme değerlerinde düşük de olsa bir azalma gözlenmektedir. Bu azalmanın nedeni Termal genleşme testi uygulanan bu sıcaklıklarda ZA-27'nin yüksek uzama katsayısına sahip olması, ilave edilen SiC ve grafitlerin bu sıcaklıklarda ZA-27'ye göre çok düşük uzama katsayılarına sahip olmalarıdır. Ayrıca grafit partikülleri tabakalı yapılarından dolayı porozite gibi davranarak genleşmeyi azaltmaktadır. Mühendislik malzemelerinde porozitenin termal genleşmeyi düşürdüğü bilinmektedir. Şekil 7.28 incelendiğinde, CTE değerlerinin, artan grafit oranı ile düştüğü gözlenmektedir. Grafit miktarı – Sıcaklık – CTE değerleri ilişkisi Şekil 7.27. ve Şekil7.28'e bakılarak incelendiğinde özellikle 130-150 °C aralığında artan sıcaklık ile tüm malzemelerin %genleşme ve CTE değerlerinin hızla arttığı, 150 °C'den sonra sıcaklıkla % genleşme ve CTE artış hızında düşüşler meydana geldiği anlaşılmaktadır.



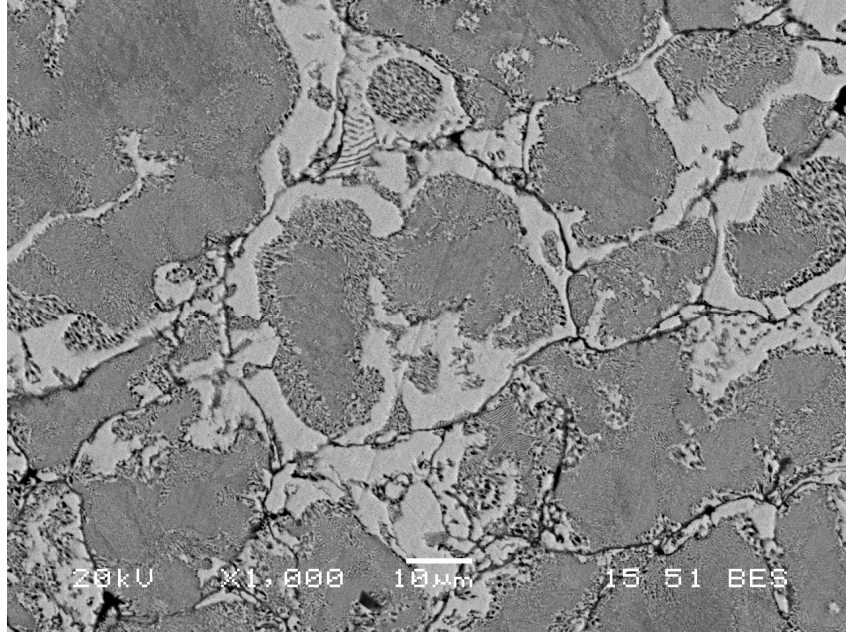


Şekil 7.27. ZA 27 alaşımı ve takviyeli kompozit malzemelerin sıcaklık-%genleşme grafikleri

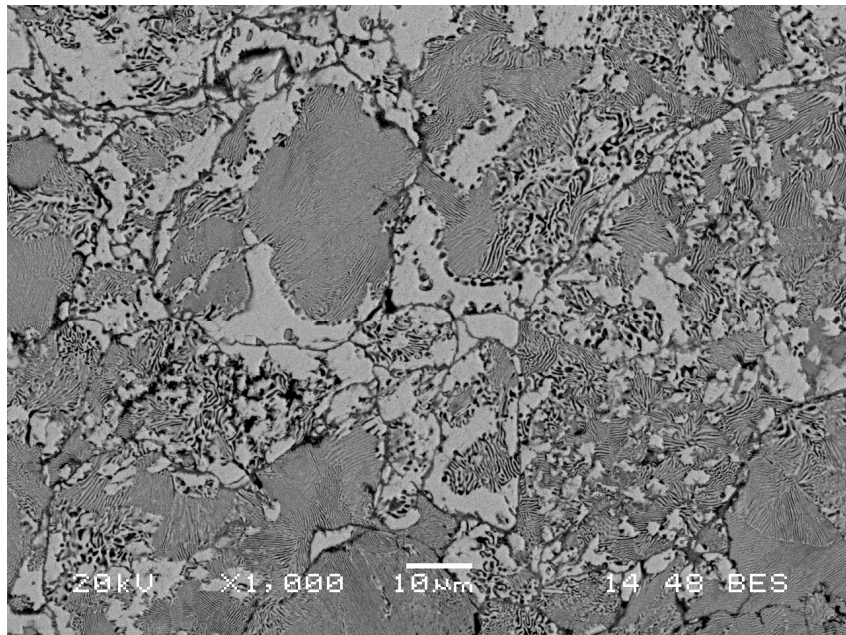


Şekil 7.28. ZA 27 alaşımı ve takviyeli kompozit malzemelerin sıcaklık- termal genişleme katsayısı grafikleri

#### 7.4.1. Termal genişleme deneyi sonrası SEM çalışmaları

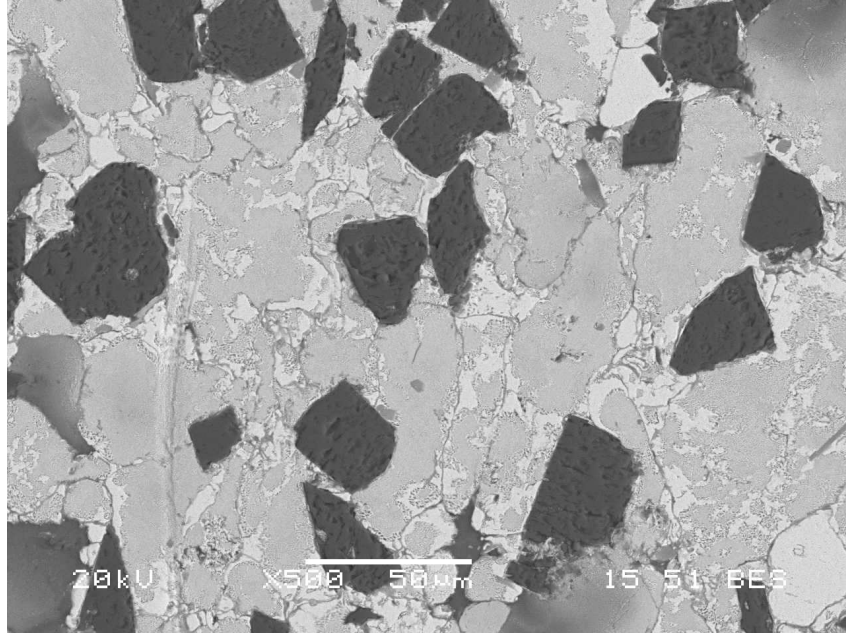


a)

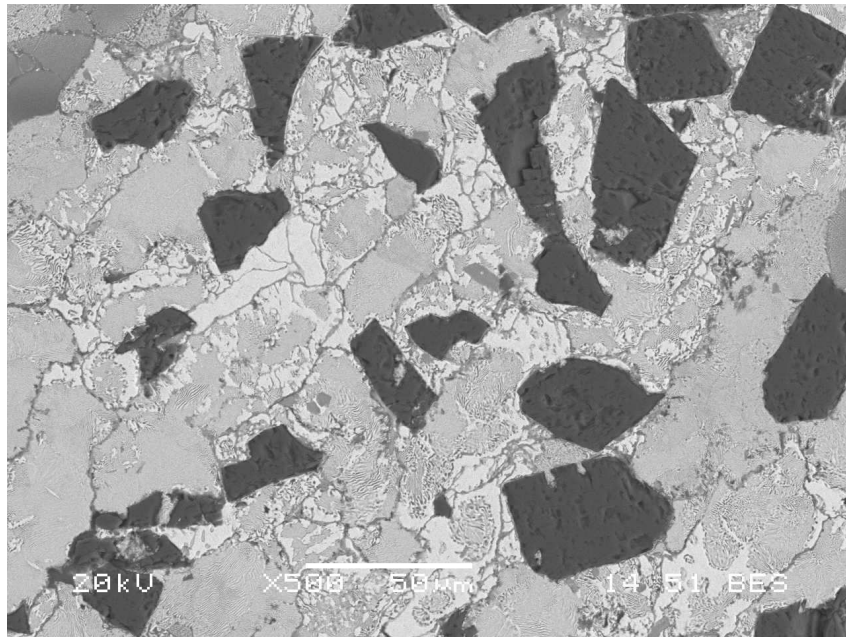


b)

Şekil 7.29. ZA-27 alaşımı SEM fotoğrafları a) Termal genişleme öncesi, b) Termal genişleme sonrası

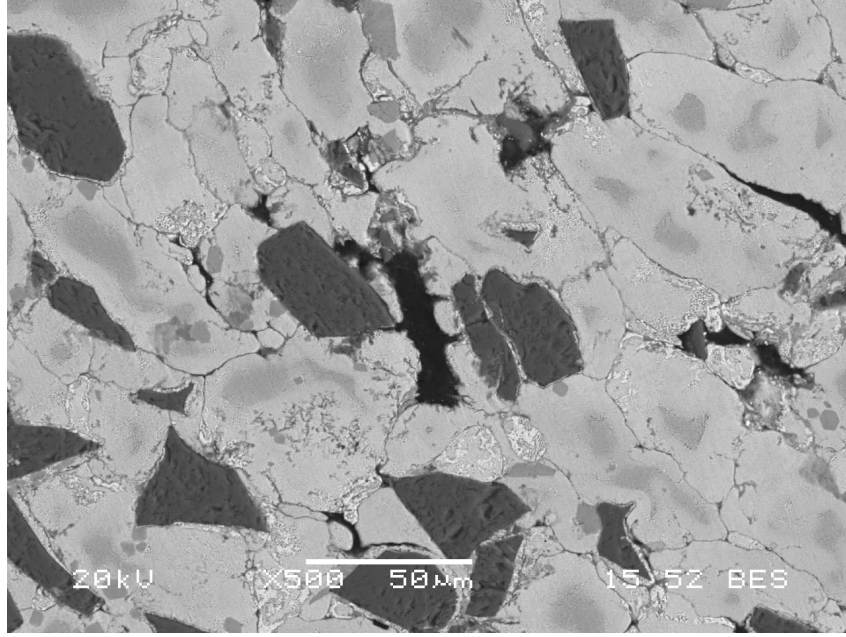


a)

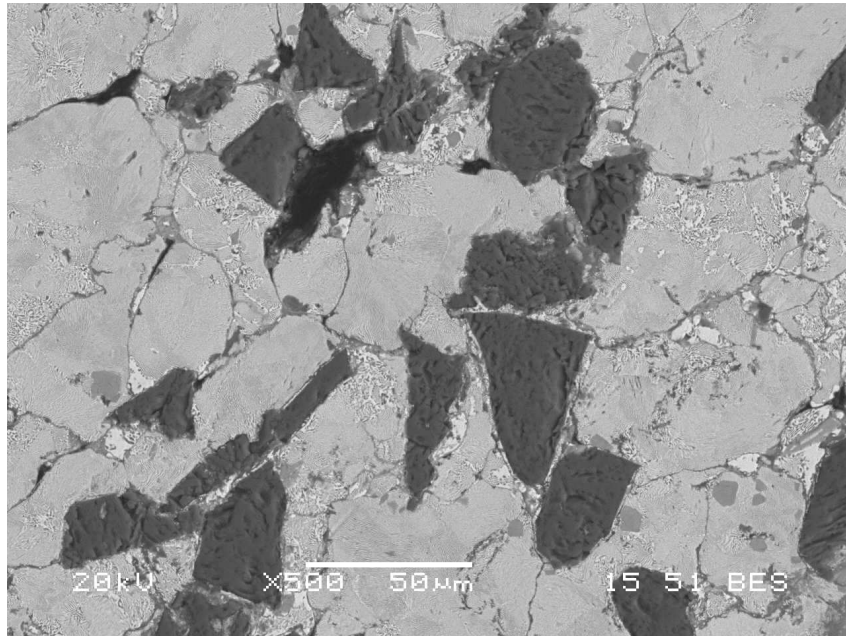


b)

Şekil 7.30. ZA-27+%20 SiC kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genişleme öncesi, b) Termal genişleme sonrası

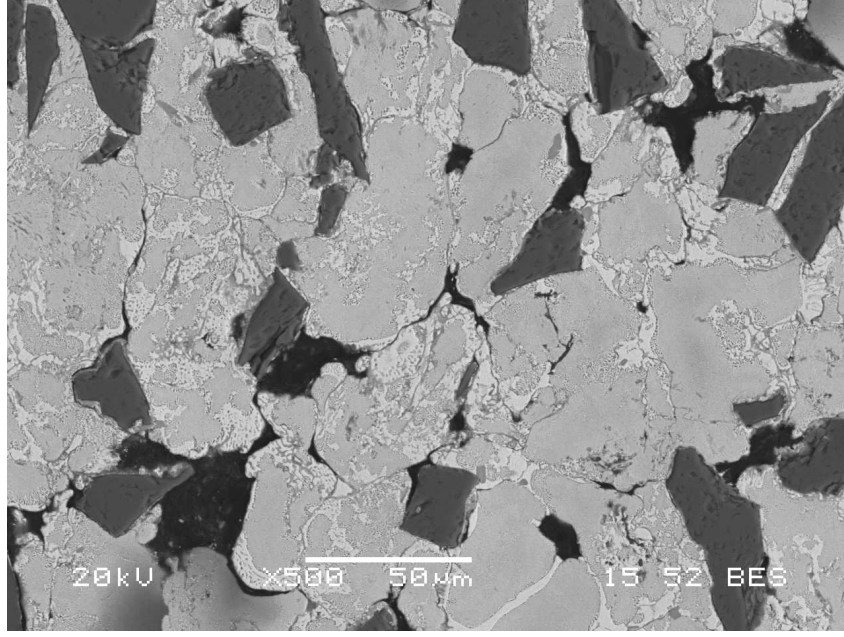


a)

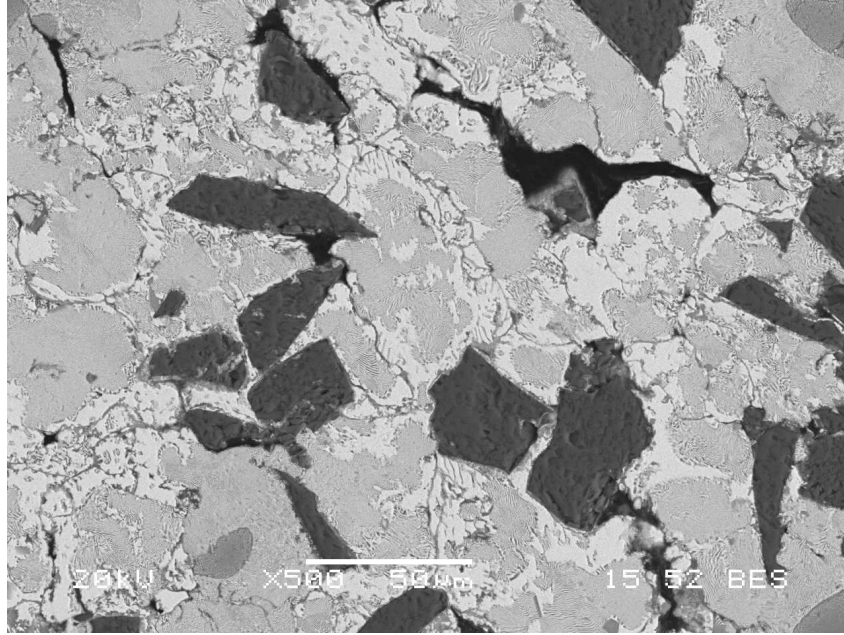


b)

Şekil 7.31. ZA-27+%20 SiC+%2,5 Grafit kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genişleme öncesi, b) Termal genişleme sonrası

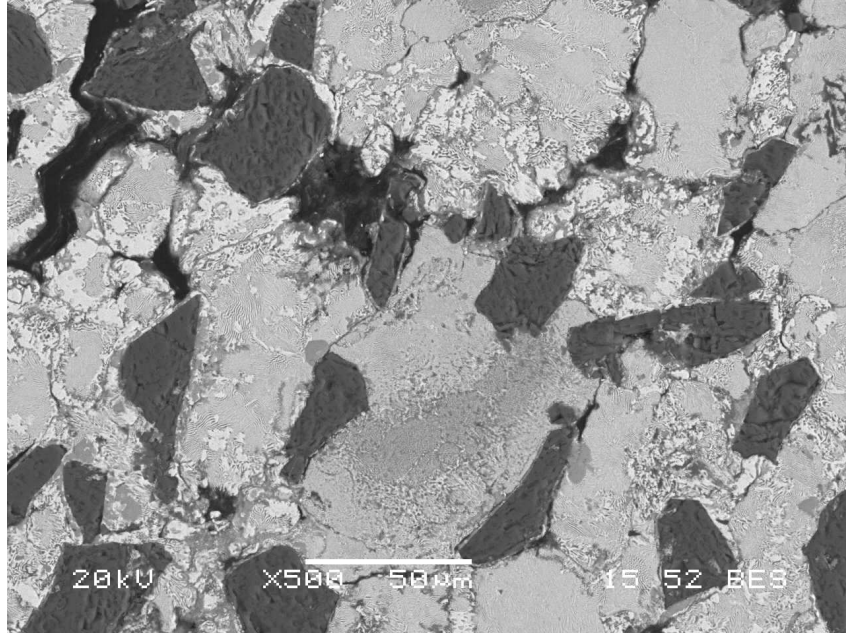


a)

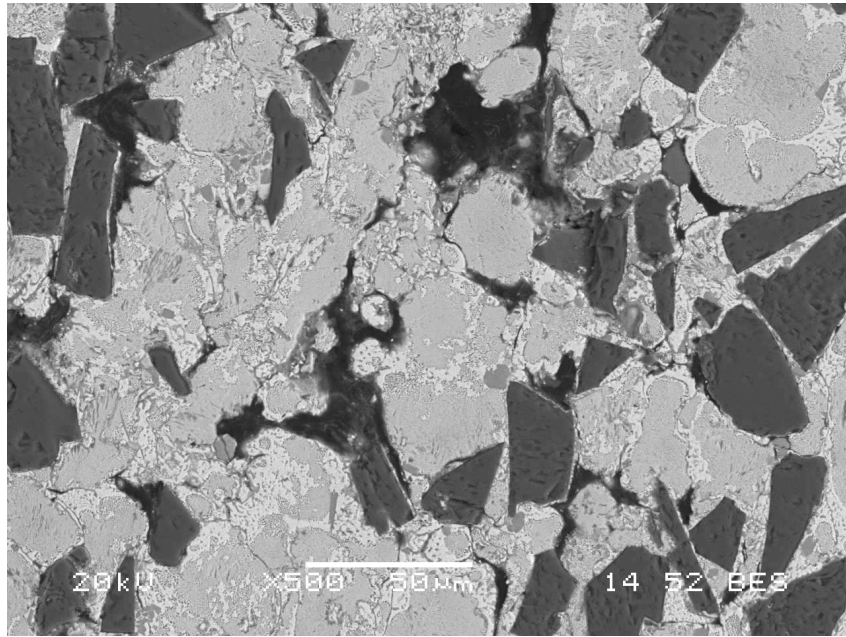


b)

Şekil 7.32. ZA-27+%20 SiC+%5 Grafit kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genişleme öncesi, b) Termal genişleme sonrası



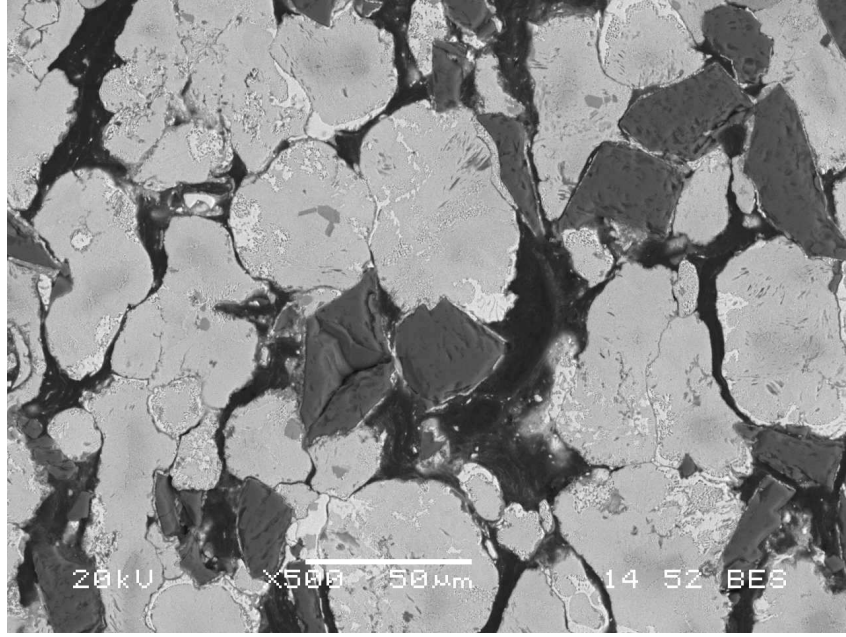
a)



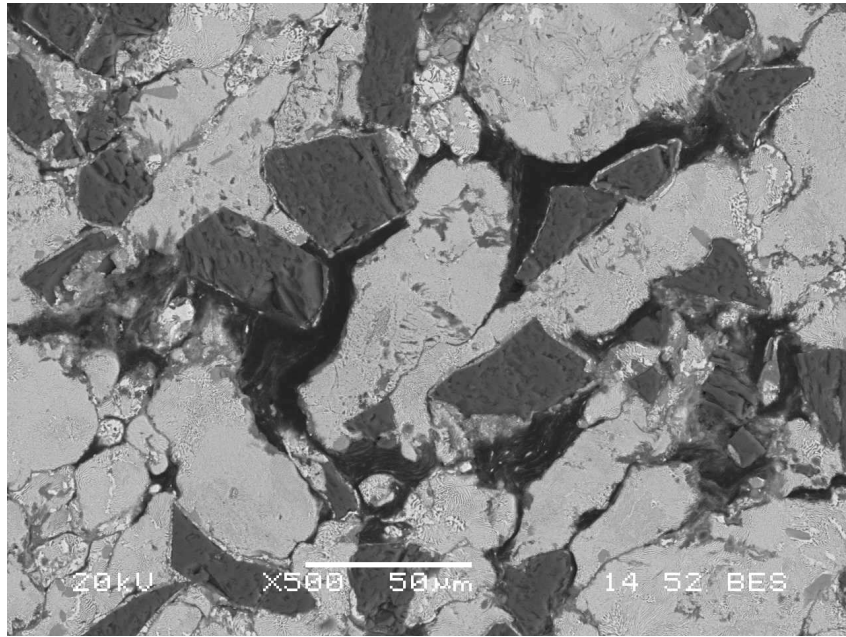
a)

Şekil 7.33. ZA-27+%20 SiC+%7,5 Grafite kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genişleme öncesi, b) Termal genişleme sonrası





a)



b)

Şekil 7.34. ZA-27+%20 SiC+%10 Grafit kompozit malzeme SEM fotoğrafları a) Termal genişleme öncesi, b) Termal genişleme sonrası

Termal genleşme sonrasında yapılan SEM çalışmalarında Akım destekli sinterleme yöntemi ile üretilen ZA-27 matrisli kompozit malzemelerin matris yapısındaki ZA27'nin oluşmasında bölgesel kusurlar görülmüştür. Bu kusurlar; Şekil 7.29-7.30-7.31-7.32-7.33-7.34.'deki SEM fotoğraflarında görüldüğü gibi bazı bölgelerde Zn ve Al birbirleri içerisinde yeterince difüze olamadıkları görülmektedir. Bu da yapının kusurlu olmasına neden olmaktadır. Elde edilen termal genleşme sonrası SEM görüntüleri ve termal genleşme grafikleri incelendiğinde bu yetersiz difüze olmuş bölgelerdeki homojensizliklerin giderildiği ve Zn ve Al' nin birbiri içerisine difüze olarak homojen bir yapının oluştuğu gözlenmiştir. Termal genleşme grafikleri incelendiğinde yapıdaki ani şekil değişikliği (130-150°C' ler arasında) ZA-27 içerisine %20 SiC ilave edilmesiyle yapıdaki ani şekil değişiminin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni yapının %80 ZA-27 ve %20SiC içermesidir. Yetersiz difüze olan bölgelerin homojen yapıya dönüşümünün sadece ZA-27'de olması, %20 SiC takviyeli yapıda ZA-27 miktarının daha az olması ve SiC de herhangi bir değişikliğin olmamasından dolayı şekil değişimi daha azdır. ZA27+%20 SiC içeren yapıya %2,5-5-7,5-10 oranlarında grafit ilave edildiğinde termal genleşme grafiklerinden görülen şekil değişiminin azaldığı, aynı zamanda ani değişim sıcaklığının arttığı görülmektedir. Ani şekil değişikliğinin azalması ZA27 miktarının hacimce azalmasından kaynaklanmaktadır. Bir diğer neden ise yapıya ilave edilen takviye malzemelerin difüzyonu zorlaştırdığı bunun sonucunda da difüzyonun gerçekleşebilmesi için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulması söylenebilir. Yukarıda da belirtildiği gibi yapıdaki kusurlu bölgelerin (tam difüze olamamış) ZA-27 matrisinde olduğu için takviye malzemeleri ile ani şekil değişiminin azalması beklenen bir sonuçtur.

#### **7.4.2. Termal genleşme deneyi sonrası sertlik çalışmaları**

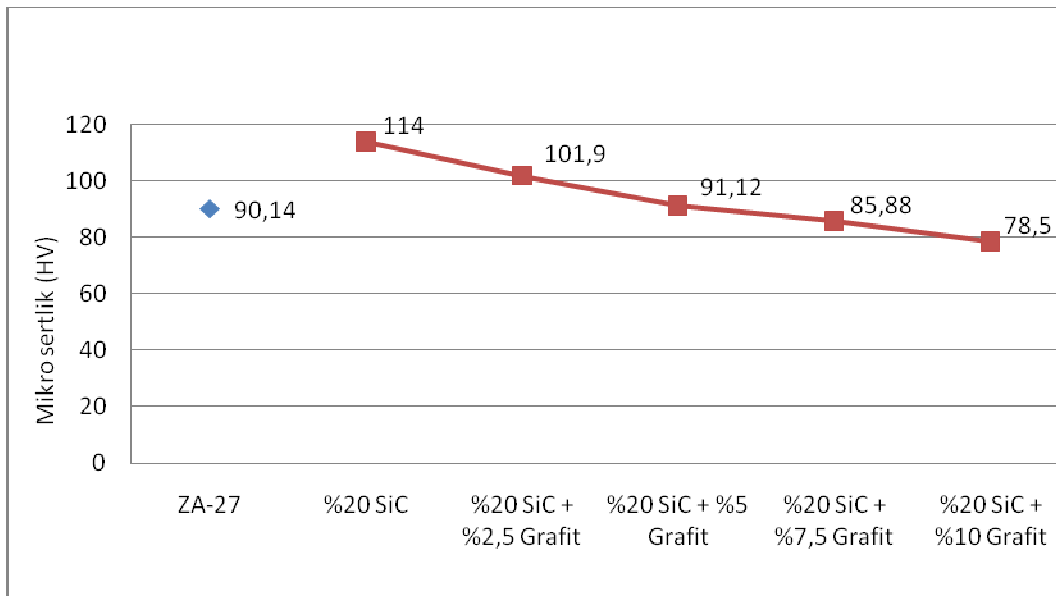
Tablo 7.4. ve Şekil 7.35.'de görüldüğü gibi termal genleşme testi sonrasında malzemelerin sertlik değerlerinde bir miktar artış olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ZA-27 matris yapısının oluşması yani Zn ve Al birbiri içerisinde difüze olmaları ve bu difüzyon esnasında Zn ve Al atomlarının birbirlerinin kafesleri içerisine yerleşmesi sonucu sertliğin artmış olduğu düşünülmektedir. ZA-27 matris



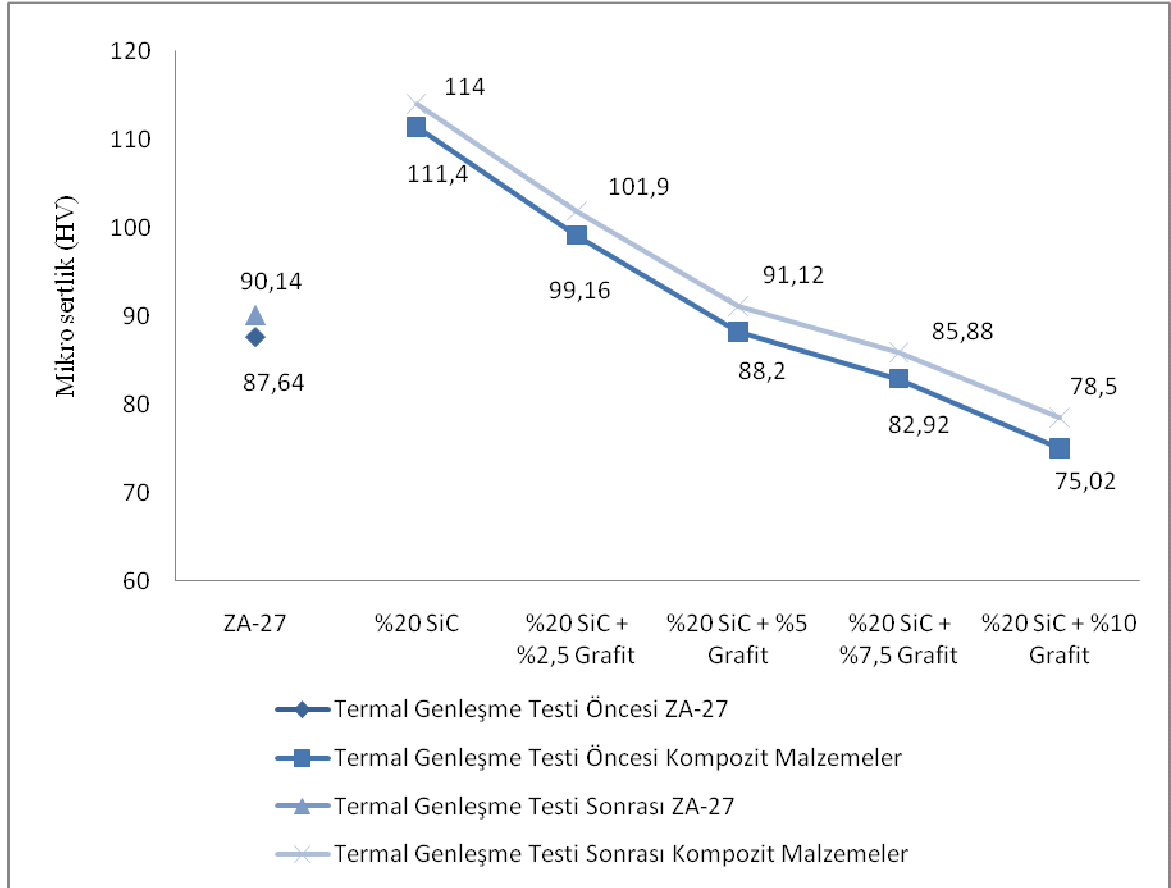
yapısındaki bu dönüşüm termal genişleme öncesi ve sonrasında elde edilen SEM fotoğrafları incelendiğinde görülmektedir.

Tablo 7.4. Termal genişleme deneyi sonrasında elde edilen mikrosertlik değerleri

Sertlik (HV)	ZA-27	ZA-27+ %20 SiC	ZA-27+ %20SiC+ %2,5 Grafit	ZA-27+ %20 SiC+ %5 Grafit	ZA-27 + %20 SiC+ %7,5 Grafit	ZA-27+ %20 SiC+ %10 Grafit
1. Sertlik Değeri	88,6	113,0	107,0	86,0	81,7	78,7
2. Sertlik Değeri	91,1	118,0	96,3	95,6	85,0	80,5
3. Sertlik Değeri	89,2	110,0	103,0	95,2	85,2	76,8
4. Sertlik Değeri	92,0	114,0	102,0	87,5	91,2	77,9
5. Sertlik Değeri	89,8	115,0	101,2	91,3	86,3	78,6
<b>Ortalama</b>	90,14	114,0	101,9	91,12	85,88	78,5



Şekil 7.35. Termal genişleme deneyi sonrasında elde edilen mikrosertlik değerleri



Şekil 7.36. Termal genleşme deneyi öncesinde ve sonrasında elde edilen mikrosertlik değerleri

## BÖLÜM 8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 8.1. Sonuçlar

Bu çalışmada; yüksek mukavemet ve aşınma dayanımına sahip ZA 27 alaşımına, SiC ve grafit partikülleri ilave edilerek aşınma özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sırasıyla hacimce % 20 oranında SiC ve %2,5 -5 -7,5 -10 oranında grafit ihtiva edecek şekilde akım sinterleme metodu kullanılarak hazırlanmış ve piston basıncı 0,5 MPa olarak ayarlanmıştır.

Üretilen bu malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için metalografi, sertlik, aşınma, termal genleşme deneyleri ve elektron mikroskobu incelemesi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar da aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Akım sinterleme yöntemi ile çok kısa bir sürede kompozit malzeme üretimi yapılabileceği görülmüştür.
- 2) Bu yöntemde uygulanan 0,5 Mpa'lık basıncın yapıda gözle görülür bir porozite oluşturmadığı bir yapı oluşturabilmek için yeterli olduğu görülmüştür.
- 3) Akımla sinterleme sonucunda, kısa sürede üretilen numunelerde düşük ergime noktasına sahip çinkonun üretim zorlukları görülmemiştir.
- 4) Alaşım mikroyapısı incelendiğinde yapının oluştuğu ama bazı kısımlarda dendritik dönüşümün üretimden dolayı oluşmadığı görülmüştür.
- 5) Kompozit numunelerin hepsinde SiC dağılımının homojen olduğu görülmüştür. SiC tozlarının matrisle uyum sağlandığı, iyi bir bağlanma olduğu görülmüştür.
- 6) Porozitenin SiC tozları etrafında daha yoğun olarak görülmesinin nedeni, grafit tozlarının SiC tozlarını sıvama problemi olduğu öngörülmektedir.
- 7) Grafit ilaveli kompozit malzemelerde grafit partikülleri her hacim oranında homojen bir dağılım sergilemiştir.
- 8) SiC ilavesi ile ZA-27 alaşımının sertlik değerlerini arttırdığı grafit ilavesinin artışı ile sertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir.
- 9) SiC ilavesi ile aşınma miktarı artmıştır.

- 10) Sürtünme katsayısı değerleri SiC ilavesi ile kötü şekilde etkilenmiş ve aşınma miktarının artışına paralel olarak sürtünme katsayısı artış göstermiştir.
- 11) Grafit miktarının artışı kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değerlerini düşürmüştür.
- 12) ZA 27 alaşımı adhesiv aşınma mekanizması, SiC takviyeli kompozit malzemeler Abrasiv aşınma mekanizması gösterirken grafit takviyeli kompozit malzemelerde tabakalı aşınma hakim olmuştur.
- 13) Termal genleşme deneylerinde SiC ve grafit miktarının artışı sonucu %genleşme miktarı ve termal genleşme katsayısında azalma görülmüştür.
- 14) Yapılan bu çalışma sonucunda yatak alaşımları vb. uygulamalar için en iyi sonucu ZA-27+%20SiC+%7,5 grafit yapıli kompozit malzemeler vermiştir.

## 8.2. Öneriler

- 1) Üretilen kompozit malzemelerin çekme, basma, elastik modül ve darbe dayanımı gibi mekanik özellikleri incelenebilir.
- 2) Akım sinterleme prosesinde farklı akım değerleri ve süre denenebilir.
- 3) Akım sinterleme prosesi öncesinde preslenen tozlar daha yüksek basınçlarda preslenebilir.
- 4) Akım sinterleme prosesi sonrasında ısı işleme tabi tutulmuş alaşım ve kompozit malzemelerin aşınma özellikleri ve sertlik değişimleri araştırılabilir.
- 5) Aşınma deneyleri daha yüksek kayma hızlarında yapılarak kompozit malzemelerin kaymalı sistemlerdeki çalışma şartları optimize edilebilir.
- 6) Kullanılan grafitlerin yüzeyleri kaplanarak etkileri karşılaştırılabilir.
- 7) ZA 27 matrisli kompozit malzemelerin kaplama olarak kullanılabilirliği araştırılabilir

## KAYNAKLAR

- [1] ASLAN, S., “SiC ve grafit takviyeli çinko alüminyum hybrid kompozit malzemelerin aşınma davranışının incelenmesi”, Doktora Tezi, SAÜ, 2005.
- [2] KAYALI, E. S., DURMAN, M., TÜRK, A., “Alaşım Elementlerinin Çinko-Alüminyum Esaslı ZA-8 Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bilim Günleri Bildiriler Kitabı, Yayın No: 221, s. 339-346, 1999.
- [3] ARIKAN, R., “Saffil Fiber Takviyeli ZA-12 Alaşımın Sürtünme Aşınma Davranışları”, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 22, No 3, s. 359-368, 2007.
- [4] SAVAŞKAN, T., PÜRÇEK, G., “ Çinko-Alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların aşınma özellikleri”, Tr J Engin Environ Sci, Tübitak, s. 25-34, 2000.
- [5] GÜLTEKİN, D., “ Metal Matriksli Kompozit Fren diski, Balatası üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2007.
- [6] DEMİRKESEN, E., “Kompozit Malzemeler”, İTÜ Kimya Fakültesi, 1. Baskı s.1-5, 1991.
- [7] KAYALI, E.S., ENSARI, C., DIKEÇ, F., “Metalik malzemelerin Mekanik Deneyleri”, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İSTANBUL 1996.
- [8] BAYKAL, D., “Pim Bağlantılı Kompozit Malzemelerde Gerilme Analizi”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Bitirme Tezi, İZMİR 2004.
- [9] ARAN, A., “Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler”, İTÜ Makine Fakültesi, sayı:1420, 1990.
- [10] AKIN, E., “Bakır Hibrid Mak Fren Balatası Üretimi ve Sürtünme Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2006.
- [11] ILGAZ U., "Seramik Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri" İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans

- Tezi, 1997.
- [92] EKERER F.A., "Alumina-SiC partikül destekli T/M Al-Matriksli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2007.
- [13] AYDIN, F., "Çinko-Alüminyum Esaslı Za-12 Alaşımına Cr İlavesinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2008.
- [14] [http://teknoloji.karabuk.edu.tr/1302-0056/2007/Cilt\(10\)/Sayi\(2\)/91-98.pdf](http://teknoloji.karabuk.edu.tr/1302-0056/2007/Cilt(10)/Sayi(2)/91-98.pdf)
- [15] <http://www.eazall.com/designersoverview.aspx>
- [16] <http://www.eazall.com/diecastalloys.aspx>
- [17] SANDOVAL-JIMENEZ, A., NEGRETE, J., TORRES-VILLASENOR, G, "The Triclinic High Temperature Modification Of The a Phase Of The Zn-Al System", Materials Research Bulletin, Vol. 34, Nos. 14/15, s. 2291-2296, 1999.
- [18] POPOVIC, S., GRETA, B., "Precipitation and Dissolution Phenomena in Al-Zn Alloys", Croatica Chemica Acta, CCACAA 72 (2-3), s. 621-643, 1999.
- [19] SHARMA, S.C., SASTRY, S., KRISHNA, M., "Effect of Aging Parameters On The Micro Structure And Properties Of ZA-27/ Aluminite Metal Matrix Composites", Journal of Alloys and Compounds, s. 292-301, 2002.
- [20] ÇAY F., "Kokil ve Basınçlı Döküm Yöntemi İle Üretilen Zn-Al Alaşımlarının Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2003.
- [21] SASTRY, S., KRISHNA, M., UCHIL, J., "A Study On Damping Behaviour Of Aluminite Particulate Reinforced ZA-27 Alloy Metal Matrix Composites", Journal of Alloys and Compounds, Volume 314, Issues 1-2, s. 268-274, 16 January 2001.
- [22] LI Zi-quan, ZHOU Heng-zhi, LUO Xin-yi, WANG Tao, SHEN Kai, "Aging Microstructural Characteristics of ZA-27 Alloy and SiCp/ZA-27 Composite", Trans. Nonferrous Met. SOC China 16(2006), s. 98-104.
- [23] BOBIC, I., JOVANOVIĆ, M. T., ILIĆ, N., "Microstructure And Strength Of ZA-27 Based Composites Reinforced With Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particles", Materials Letters Volume 57, Issue 11, s. 1683-1688, March 2003.

- [24] MIROSLAV, B., BOBAN, M., BRANISLAV, J., "The influence Of Heat Treatment On The Sliding Wear Behavior Of A ZA-27 Alloy", Tribology International, 2009.
- [25] AASHURI, H, "Globular Structure of ZA27 Alloy By Thermomechanical and Semi-Solid Treatment", Materials Science and Engineering A Volume 391, Issues 1-2, s. 77-85, 25 January 2005.
- [26] ÇAY, F., KURNAZ, S. C, "Hot Tensile and Fatigue Behaviour of Zinc-Aluminum Alloys Produced By Gravity and Squeeze Casting", Materials & Design Volume 26, Issue 6, s. 479-485, 2005.
- [27] ÇUVALCI, H., "Çinko-Alüminyum Esaslı Ticari ZA-27 Kaymalı Yatağının Sürtünme Davranışının İncelenmesi", Turk J Engin Environ Sci, TÜBİTAK, s. 199 — 204, 2001.
- [28] BALALAN, Z., KAPLAN, M., "Investigation of the Microstructure and Wear Properties of a Cast ZA Alloy", International Journal of Science & Technology Volume 2, No 1,75-81, 2007.
- [29] SEVİK, H.,: "Alumina Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Kompozitlerin Basınçlı Döküm Yöntemi İle Üretilmesi Ve Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos, 2004.
- [30] ASM HANDBOOK, Volume 21. Composites.
- [31] SHARMA, S. C, GIRISH, B. SATISH, B.M., "Effect of SiC Particle Reinforcement on the Unlubricated Sliding Wear Behaviour of ZA 27 Alloy Composites", Wear, Vol.213, pp.33-40, 1997.
- [32] VENKATARAMAN, B., SUNDARARAJAN, G., "Correlation between the characteristics of the mechanically mixed layer and wear behaviour of aluminium, Al-7075 alloy and Al-MMCs" , Wear, Vol.245, pp.22-38, 2000.



## ÖZGEÇMİŞ

Güray BAĞDATLI, 06.08.1983'de Berlin'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2001 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Aynı yıl dil eğitimi almak için Malta'ya gitti. 2006 yılında askerlik görevini Ankara'da tamamladı. 2007-2009 yılları arasında Ularte Sınai Yapı ve Tic. A.Ş.' de mühendis olarak çalıştı. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'nde lisansüstü eğitime başladı. Aynı yıl Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme bölümünde işletme eğitime başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'nde lisansüstü eğitimi ve Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme bölümündeki eğitimi devam etmektedir.