



T.C.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**B₄C-SiC TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİSLİ
HİBRİT NANOKOMPOZİT ÜRETİMİ VE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

ZİHNİ ALP ÇEVİK

DOKTORA TEZİ

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2021

**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**B₄C-SİC TAKVİYELİ AL MATRİSLİ HİBRİT
NANOKOMPOZİT ÜRETİMİ VE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

ZİHNİ ALP ÇEVİK

DOKTORA TEZİ

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2021

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

(Zihni Alp ÇEVİK)

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

B₄C-SiC TAKVİYELİ AL MATRİSLİ HİBRİT NANOKOMPOZİT ÜRETİMİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

(DOKTORA TEZİ)

ZİHNİ ALP ÇEVİK

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Al₂O₃/B₄C-SiC hibrit nanokompozitleri, Al₂O₃/B₄C ve Al₂O₃/SiC nanokompozitleri toz metalürjisi metodu ile üretilmiştir. Üretilen bu kompozitlere ait yüzey morfolojisi, fiziksel özellikleri ve işlenebilirlik durumları, son dönemin alışılmamış işleme yöntemlerinden olan üç farklı tezgahta farklı işleme yöntemleri ile incelenmiştir. Bu işleme yöntemleri, Aşındırıcı Su Jeti (AWJ) ile işleme, Tel erozyon Tezgahı (WED) ile işleme ve Bilgisayar Sayısal Kontrollü (CNC) Dik işleme merkezi ile işlemedir. Bu üç farklı tezgahta her bir kompozit numune için işlenebilirlik olarak, Talaş Kaldırma Oranı (MRR) ve Yüzey Pürüzlülüğü (SR), ve yine mekanik özelliklerden olan sertliklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı zamanda her bir kompozit numune için her bir tezgahta işleme öncesi ve sonrası için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yüzey morfolojisi alınmış ve Enerji Dağılımlı Spektroskopi (EDS) haritalama analizi ile de içerisindeki alaşım miktarları belirlenme işlemi, farklı işlenmiş yüzeylerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneyler sonucundaki Brinell sertlik değerleri, İşleme sonrası yüzeylerdeki sertlik değerlerinin karşılaştırılmasında Al₂O₃ numunesinde CNC dik işlemde 110.2 BSD değeri ile tespit edilmiş, en yüksek sertlik değeri ise AWJ ile işlenmiş yüzeydeki BorSi 4 numunesinde 192.8 BSD değeri ile ortaya çıkmıştır. MRR değerlerinde ise, CNC dik işlem yöntemiyle işlenen AA2024 alaşımının ise 0,0362 mm³ / dak değerinde maksimum MRR değerine sahip olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerleri için AWJ tezgahı ile işleme prosesinde, WED tezgahı ve CNC dik işleme tezgahına kıyasla daha güzel yüzey pürüzlülüğü ve daha iyi yüzey kalitesi sağladığı görülmüştür. Yüzey morfolojisinde ise matris yapıya eklenen takviye miktarı arttırıldığı zaman işlenen yüzeylerdeki çukur, boşluk ve oluk miktarı daha da arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibritkompozit, İşleme, AWJ, WED, CNC

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Mart / 2021

Danışman: Prof. Dr. Metin KÖK

Sayfa sayısı: 82

**INVESTIGATION OF PRODUCTION AND MACHINABILITY OF B₄C-SiC
PARTICLE REINFORCED ALUMINIUM MATRIX HYBRID NANOCOMPOSITE**
(Ph.D. THESIS)

ABSTRACT

In this thesis, Al₂₀₂₄/B₄C-SiC hybrid nanocomposites, Al₂₀₂₄/B₄C and Al₂₀₂₄/SiC nanocomposites are produced by powder metallurgy method.

Surface morphology, phySiCal and machinability properties of these produced composites. The surface morphology, phySiCal and machinability properties of these produced composites have been investigationed by using different processing methods on three different machining, which are one of the unusual production methods of today.

These are machining with Abrasive Water Jet (AWJ), Machining with Wire Electrical Discharge (WED) and machining with Computer Numerical Controlled (CNC) vertical machining center. Material Removal Rate (MRR) and Surface Roughness (SR) were compared as machinability for each composite on these three different machining and a comparison of hardness, which is also a mechanical property, was made. At the same time, surface morphology was taken with Scanning Electron Microscope (SEM) for each composite before and after processing on each machine and Energy Dispersive X-ray Analysis) (EDX) mapping analysis was performed on different processed surfaces. In MRR values, it was seen that AA2024 alloy processed with CNC vertical machining had a maximum MRR value of 0.0362 mm³ / min. For surface roughness values, it has been observed that the AWJ machine provides better surface roughness and surface quality compared to the WED machine and CNC vertical machining. In surface morphology, it has been observed that when the amount of reinforcement added to the matrix structure is increased, the amount of pits, voids and grooves on the processed surfaces has increased.

Keywords: Hybrid composite, Machining, AWJ, WED, CNC

Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering, March/ 2021

Supervisor: Prof. Dr. Metin KÖK

Page number: 82

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bana destek veren ve yön gösteren danışman hocam; Prof. Dr. Metin KÖK'e, malzeme üretimi esnasında benden yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI ve Arş. Gör. Hasan Hüseyin KARABACAK ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her aşamasında bana destek olan değerli eşim ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Zihni Alp ÇEVİK



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve METOT	10
3.1. Malzeme ve Bileşimleri	10
3.2. Malzeme Üretim Aşamaları (Mekanik Alaşımlama, Parçacık boyutları, Presleme)	11
3.3. Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi	12
3.3.1. Taramalı elektron Mikroskobu (SEM) Analizi ve EDS Analizi	12
3.4. Su Jeti İle Kesme İşlemi	13
3.4.1. Su Jeti (Water Jet) Aşındırıcılı Su Jeti (Abrasive Water Jet) İşleminin Çalışma Prensibi.....	13
3.4.2. Aşındırıcılı Su Jetinde Kullanılan Aşındırıcı Maddeler	14
3.4.3. Aşındırıcılı Su Jetinin Kullanıldığı Yerler	14
3.4.4. Aşındırıcılı Su Jeti İle Kesmenin Üstünlükleri Ve Kusurları	14
3.5. Tel Erozyon Tezgahı Çalışma prensibi.....	15
3.5.1. Tel Erozyon Tezgahının Kullanıldığı Yerler	16
3.5.2. Tel Erozyon Tezgahında Kullanılan Tel Elektrot	17
3.5.3. Tel Erozyon İle İşlemenin Üstünlükleri ve kusurları	17
3.6. CNC Dik İşleme Tezgahı Çalışma Prensibi	18
3.6.1. CNC Dik İşleme Tezgahında Kullanılan KeSiCi Takımlar	19
3.6.2. CNC Dik İşleme Tezgahında İşlemenin Üstünlükleri ve Kusurları	20

3.7.	Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi	21
3.8.	Mekanik Özelliklerin İncelenmesi	22
3.8.1.	Mikro Sertlik Testi	22
3.9.	Talaş Kaldırma Oranı.....	22
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1.	İşleme Yüzeyi Karakterizasyonu	23
4.1.1.	Al2024 Alaşımının İç Yapı Görüntüleri.....	23
4.1.2.	Hibrit NanoKompozitler İçin (Al2024/B ₄ C-SiC) İç Yapı (SEM) Görüntüleri	24
4.1.3.	Hibrit Nanokompozitler İçin (Al2024/B ₄ C-SiC) Noktasal EDS Analiz Sonuçları.....	25
4.1.4.	Hibrit NanoKompozitler için (Al2024/B ₄ C-SiC) AWJ ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) görüntüleri	27
4.1.5.	Hibrit Nanokompozitler İçin (Al2024/B ₄ C-SiC) AWJ İle İşleme Yüzeyinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri.....	29
4.1.6.	Hibrit NanoKompozitler için (Al2024/B ₄ C-SiC) WED ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) görüntüleri	30
4.1.7.	Hibrit Nanokompozitler İçin (Al2024/B ₄ C-SiC) WED İle İşleme Yüzeyinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri.....	32
4.1.8.	Hibrit NanoKompozitler için (Al2024/B ₄ C-SiC) CNC Dik İşleme Merkezi ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) görüntüleri	33
4.1.9.	Hibrit Nanokompozitler İçin (Al2024/B ₄ C-SiC) CNC Dik İşleme Merkezi İle İşleme Yüzeyinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri	35
4.1.10.	Al2024/B ₄ C NanoKompozitlerinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri.....	35
4.1.11.	Al2024/B ₄ C NanoKompozitlerinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri.....	37
4.1.12.	Al2024/B ₄ C NanoKompozitlerinin WED İle İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri	38
4.1.13.	Al2024/B ₄ C NanoKompozitlerinin WED İle İşleme Yüzeyinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri.....	40
4.1.14.	Al2024/B ₄ C NanoKompozitlerinin CNC Dik İşleme Merkezi İle İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri.....	41
4.1.15.	Al2024/B ₄ C NanoKompozitlerinin CNC Dik İşleme Merkezi İle İşleme Yüzeyinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri	43

4.1.16.	Al2024/SiC NanoKompozitlerinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri	44
4.1.17.	Al2024/SiC NanoKompozitlerinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri	46
4.1.18.	Al2024/SiC NanoKompozitlerinin WED İle İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri	46
4.1.19.	Al2024/SiC NanoKompozitlerinin WED İle İşleme Yüzeyinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri.....	49
4.1.20.	Al2024/SiC NanoKompozitlerinin CNC Dik işleme Merkezi İle İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri.....	49
4.1.21.	Al2024/SiC NanoKompozitlerinin CNC Dik işleme Merkezi İle İşleme Yüzeyinin Noktasal EDS Analiz Görüntüleri	52
4.2.	Üretilen Kompozitlerin Özellikleri	52
4.2.1.	Sertlik Değerleri	52
4.2.2.	İşleme Tipine Göre Hibrit NanoKompozitlerin Talaş Kaldırma Oranları (MRR)	55
4.2.3.	İşleme Tipine Göre Yüzey Pürüzlülük Değerleri	56
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR.....		62
ÖZ GEÇMİŞ.....		Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Mekanik alaşımlama cihazı	11
Şekil 3.2. Sıcak Pres	12
Şekil 3.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	12
Şekil 3.4. Su jeti ile kesme sistemleri 1. Yüksek basınçlı su girişi 2. Aşındırıcı giriş3. Kesme başlığı 4. Orifis 5. Karıştırma odası 6. odaklanma tüpü 7. Yüksek hızlı aşındırıcı su jeti 8. örnek iş parçası (Liu, 2019).....	13
Şekil 3.5. Su jeti.....	14
Şekil 3.6. Tel erozyon çalışma prensibi.....	16
Şekil 3.7. Tel erozyon tezgahı	16
Şekil 3.8. Tel Elektrot Makaraları	17
Şekil 3.9. CNC dikey işleme merkezi tezgahı	19
Şekil 3.10. PCD kesici takım.....	20
Şekil 3.11. Marsurf M300 iğne taramalı portatif yüzey ölçüm cihazı ve numune	21
Şekil 3.12. Tepe ve çukurlar	21
Şekil 3.13. Innovatest Nemesis 9000 modeline ait sertlik ölçüm cihazı	22
Şekil 4.2. Sinterlenmiş saf Al2024 alaşımlı numunenin ağırlıkça alüminyumlu bölgesinden nokta analizi.....	24
Şekil 4.3. Al2024/B ₄ C-SiC nanokompozitlerin mikroyapı görüntüleri (a)BorSi 1 (b) BorSi 2, (c) BorSi 3, (d) BorSi 4	25
Şekil 4.4. Sinterlenmiş Al2024/B ₄ C-SiC hibrit nanokompozitinin B ₄ C ağırlıklı bölgesinden nokta analizi	25
Şekil 4.5. Sinterlenmiş Al2024/B ₄ C-SiC nanokompozitinin SiC ağırlıklı bölgesinden nokta analizi	26
Şekil 4.7. Hibrit Nano kompozitler için (Al2024/B ₄ C-SiC), AWJ ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri (a)AWJ Al2024 (b) AWJ BorSi 1 (c) AWJ BorSi2, (d) BorSi 3, (e) BorSi 4	28
Şekil 4.8. Al2024/B ₄ C-SiC nanokompozitinin AWJ ile İşleme Yüzeyinin EDS nokta analizi	29

Şekil 4.9. Hibrit Nano kompozitler için (Al ₂ O ₃ /B ₄ C-SiC) WED ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri (a)WED Al ₂ O ₃ (b) WED BorSi 1, (c) WED BorSi2, (d) WED BorSi 3, (e) WED BorSi 4.....	31
Şekil 4.10. Al ₂ O ₃ /B ₄ C-SiC nanokompozitinin WED ile İşleme Yüzeyinin noktasal EDS analizi	32
Şekil 4.11. Hibrit Nano kompozitler için (Al ₂ O ₃ /B ₄ C-SiC) CNC ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri (a)CNC Al ₂ O ₃ (b) CNC BorSi 1, (c) CNC BorSi2,(d) CNC BorSi 3, (e) CNC BorSi 4.....	34
Şekil 4.12. Al ₂ O ₃ /B ₄ C-SiC nanokompozitinin CNC ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi	35
Şekil 4.13. Al ₂ O ₃ /B ₄ C nanokompozitlerin mikroyapı görüntüleri (a)Bor 1 (b) Bor 2 (c) Bor 3 (d) Bor 4	37
Şekil 4.14. Al ₂ O ₃ /B ₄ C nanokompozitinin Yüzeyinin nokta analizi.....	37
Şekil 4.15. Al ₂ O ₃ /B ₄ C nanokompozitlerin WED mikroyapı görüntüleri (a) Al ₂ O ₃ (b)Bor 1 (c) Bor 2 (d) Bor 3 e) Bor 4	40
Şekil 4.16. Al ₂ O ₃ /B ₄ C nanokompozitinin WED ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi.....	40
Şekil 4.17. Al ₂ O ₃ /B ₄ C nanokompozitlerin CNC mikroyapı görüntüleri (a) Al ₂ O ₃ (b)Bor 1 (c) Bor 2 (d) Bor 3 e) Bor 4	43
Şekil 4.18. Al ₂ O ₃ /B ₄ C nanokompozitinin CNC Dik İşleme Merkezi ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi.....	43
Şekil 4.19. Al ₂ O ₃ /SiC nanokompozitlerin mikroyapı görüntüleri (a) Si 1(b) Si 2 (c) Si 3 (d) Si 4	45
Şekil 4.20. Al ₂ O ₃ /SiC nanokompozitinin Yüzeyinin nokta analizi	46
Şekil 4.21. Al ₂ O ₃ / SiC nanokompozitlerin WED mikroyapı görüntüleri (a) Al ₂ O ₃ (b)Si 1 (c) Si 2 (d) Si 3 (e) Si 4.....	48
Şekil 4.22. Al ₂ O ₃ / SiC nanokompozitinin WED ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi.....	49
Şekil 4.23. Al ₂ O ₃ / SiC nanokompozitlerin CNC mikroyapı görüntüleri (a) Al ₂ O ₃ (b)Si 1 (c) Si 2 (d) Si 3 (e) Si 4	51
Şekil 4.24. Al ₂ O ₃ / SiC nanokompozitinin CNC Dik İşleme Merkezi ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi.....	52

Şekil 4.25. Kompozitler (Al_{2024}/B_4C , Al_{2024}/SiC) ve hibrit nanokompozitler için (Al_{2024}/B_4C-SiC) sertlik değerleri grafiği	53
Şekil 4.26. Hibrit nano kompozitler (Al_{2024}/B_4C-SiC) işleme tipine göre sertlik değerleri grafiği	54
Şekil 4.27. Nano kompozitler için ($Al_{2024}/B_4C - Al_{2024}/SiC$) işleme tipine göre sertlik değerleri grafiği	55
Şekil 4.28. Hibrit nano kompozitler (Al_{2024}/B_4C-SiC) işleme tipine talaş kaldırma oranları (MRR) değerleri grafiği	56
Şekil 4.29. Hibrit nano kompozitler (Al_{2024}/B_4C-SiC) işleme tipine göre yüzey pürüzlülük değerleri grafiği	58
Şekil 4.30. Nano kompozitler için (Al_{2024}/B_4C) işleme tipine yüzey pürüzlülük değerleri grafiği	58
Şekil 4.31. Nano kompozitler için (Al_{2024}/SiC) işleme tipine yüzey pürüzlülük değerleri grafiği.....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Al ₂ O ₃ tozları kimyasal bileşimi (%).....	10
Çizelge 3.2. kompozit ve hibritlerin bileşim ve yüzde ağırlık oranları	10
Çizelge 4.1. Kompozitler (Al ₂ O ₃ /B ₄ C, Al ₂ O ₃ /SiC) ve Hibrit NanoKompozitler için (Al ₂ O ₃ /B ₄ C-SiC) Sertlik Değerleri	53
Çizelge 4.2. Hibrit Nano kompozitler (Al ₂ O ₃ /B ₄ C-SiC) İşleme Tipine Göre Sertlik Değerleri	54
Çizelge 4.3. Nano kompozitler için (Al ₂ O ₃ /B ₄ C- Al ₂ O ₃ /SiC) İşleme Tipine Göre Sertlik Değerleri	54
Çizelge 4.4. Hibrit Nano kompozitler (Al ₂ O ₃ /B ₄ C-SiC) İşleme Tipine Talaş Kaldırma Oranları (MRR) Değerleri	56
Çizelge 4.5. Hibrit Nano kompozitler (Al ₂ O ₃ /B ₄ C-SiC) İşleme Tipine Göre Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	57
Çizelge 4.6. Nano kompozitler için (Al ₂ O ₃ /B ₄ C) İşleme Tipine Yüzey Pürüzlülük Değerleri	58
Çizelge 4.7. Nano kompozitler için (Al ₂ O ₃ /SiC) İşleme Tipine Yüzey Pürüzlülük Değerleri	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al : Alüminyum

B : Bor

B₄C: Bor karbür

SiC : Silisyum karbür

AWJ : Aşındırıcılı su jeti (Abrasive water jet)

WED: Tel erozyon (Wire electrical discharge)

CNC : Bilgisayar destekli kontrol (Computer numeric control)

PCD: Kescici uç (Poly cristaline diamond)

dak : Dakika

gr : Gram

kg : Kilogram

m : Metre

mm : Milimetre

µm : Mikrometre

nm : Nanometre

S: Saniye

BSS : Brinell sertlik

MPa : Mega paskal

MA : Mekaniksel alaşımlama

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

EDS : Enerji dağılım spektroskopisi (Energy Dispersive X-ray Analysis)

Puls off time: Vurum ara süresi

1. GİRİŞ

Yeryüzünde metallerin demir ve türevleri olarak birçok kullanım alanları vardır. Bunlar arasında savunma sanayisi, sağlık ve medikal endüstrileri, otomotiv, uzay endüstrisi gibi alanlar sayılabilir. Bunların dışında günümüzde çokça kullanılan alaşımlar da hayatımızda yerini almaktadır. Bu alaşımların arasında ana malzeme olarak alüminyum ve yardımcı olarak da alaşım malzemeleri, günümüz teknolojisinde (korozyona direnç, hafiflik, mukavemet gibi özelliklerinden dolayı) sıkça adından bahsettirmektedir.

Yüzyıllar boyunca insanlığın yaşamında, sanayinin çeşitli dallarında metallerin geleneksel olarak çok fazla kullanım yeri bulunmaktadır. Dolayısıyla bilim adamları ve birçok araştırmacılar metallerin hususiyetlerinin araştırılıp geliştirilmesi, pratikte kullanım alanları gibi konularda çalışmışlar ve farklı hususiyetlerde yeni metotlar ile alaşımlanmış yeni malzemeler üretmişlerdir (Suryanarayana ve ark., 2017).

Savunma ve otomotiv endüstrilerinde, partikül takviyeli Metal Matris Kompozitlerin (MMC'ler) kullanımı, belirli sertlik ve belirli mukavemet gibi gelişmiş mekanik davranışlara sahip olması nedeniyle giderek artmaktadır. Bununla birlikte, takviye malzemelerinin davranış biçimleri ve işleme teknikleri, kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik davranışlarını anlamada ve malzeme için karar vermede hayati bir önem taşımaktadır (Çanakcı ve ark., 2015).

Matris malzemesine ilave edilen takviye malzemeleri, matrisin özelliklerini artırır, bununla birlikte ilave edilecek partikül oranı da kompozitlerin mekanik özelliklerine karar vermede çok daha önem kazanmıştır. Partiküllerin gereğinden fazla kullanılması ise poroziteye ve ayrıca partiküllerin yığılma ve toplanmasına yol açar (Kai ve ark.ı 2013).

Kompozitlere, nano ölçekli partikül takviyeleri ilave edilmesiyle, MMC'lerin dezavantajlarından çoğunluğu ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca matrise nano partikül ilavesi, kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesine de katkıda bulunmuştur. (Rajmohan ve ark., 2014).

SiC, Al₂O₃, B₄C, gibi takviye elemanları iyi aşınma direnci nedeniyle kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Sharifi ve ark. 2011).

Kompozit malzemelerin imal edilmesi için birkaç yöntem ileri çıkmıştır. Bunların arasında toz metalurjisi, partikül takviyeli MMC için önerilenlerden bir tanesidir. Toz metalürjisi yönteminde, ana metal morfolojisini korurken, matris ve takviye fazları

arasındaki kimyasal reaksiyonda en aza iner. Buna ilave olarak, aynı kompozit sisteme birçok tipte takviye fazı dahil etme olanağı vardır (Umasankar ve ark., 2014).

Toz metalürjisi; tozların ya da toz kütlelerinin bir araya getirilerek istenilen şekillerde yeni bir malzeme üretmektir diye isimlendirebiliriz. Toz metalürjisinin amacı ise tozları imal etmek, imalden sonra onları kalıplar içerisinde istediğimiz şekle sokarak yeni bir malzeme üretmek, sonrasında bu imal edilen malzemelerin kullanılacağı yere göre testlerini gerçekleştirmek, gibi iş ve işlemleri yapmaktır (German, 2007).

Toz Metalürjisi yöntemi (TM) kompozit üretimi için oldukça gelişmiş bir tekniktir; bu yöntem üç adımdan oluşur; toz elementlerin karıştırılması, bu toz elementlerin oda sıcaklığında bir kalıpta sıkıştırılması ve ardından toz elementleri arasında bir bağ oluşturmak için fırında kontrollü bir şekilde ısıtılması (Canakcı ve ark., 2020).

MMC'ler mükemmel mekanik, fiziksel ve termal davranışlar gösterebilirler de, işleme maliyetlerinin pahalı olması, zayıf ve zor işlenebilirliği gibi nedenlerden ötürü pratikte önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, sert seramik takviye partikülleri (B_4C ve SiC gibi) ile elde edilen MMC'lerin, geleneksel işleme yöntemleri ile işlenmesinde; takım ömrünün kısa olması, yüzey altı hasarı ve düşük yüzey kalitesi gibi bazı dezavantajlara sahiptir (Mohri ve ark., 2002).

Bu ve buna benzer nedenlerden dolayı, araştırmacılar ve üreticiler, MMC'leri işlemek için AWJ, WED ve CNC gibi tamda geleneksel olmayan işleme yöntemleri ile işlemenin önemine dikkat çekmişlerdir (Dumbhare ve ark., 2018).

AWJ işleme yöntemi, yüksek basınçlı su ve suya karıştırılan kum aşındırıcılar iş parçası üzerine gönderilen ve yüksek basınçlı aşındırma etkisi gibi özellikleri sayesinde kaliteli bir yüzey verimi sağlar. Ayrıca, bu yöntem ısı bozulma, ısıdan etkilenen bölge ve yeniden katman oluşumu gibi sorunlara neden olmadığından, MMC'lerin işlenmesi için en uygun yöntemlerden biridir (Nag ve ark., 2018).

WED ile işlemede ise, çok sert malzemeler üzerinde karmaşık şekillerin hassas bir şekilde oluşturulması işlemi rahatlıkla yapılabilirdiğinden, araştırmalarda ve endüstrilerde sıkça kullanılabilir hale gelmiştir. WED ile işleme; takım elektrotu (tel) ve iş parçası arasında oluşan kıvılcımlar (ark) sayesinde, üretilecek iş parçasından istenilen şekil meydana getirilir. Tel hareketinin nümerik kontrolü ile iş malzemesinin istenen şekli ve doğruluğu elde edilebilir (Suresh Kumar ve ark., 2019).

Öte yandan, CNC dikey işleme merkezi ile işlemede; çok eksenli olması, mikron derecesinde bir hassasiyetle işlem yapabiliyor olması, otomatik olarak kontrol panelinden işleme yapılması, kalifiye işgücü gerektirmemesi ve seri üretimlerde geleneksel frezelemeye göre çok daha uygun maliyetle üretim yapabiliyor olması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir. Seramiklerden ve yüksek hız çeliğinden yapılan kesiciler takım malzemeleri, MMC'lerin işlenmesi sırasında sert takviye partikülleri nedeniyle hızla aşınır ve bu nedenle sert MMC'ler etkin bir şekilde işlenemez. Bununla birlikte, çoğu araştırmacılar, polikristalin elmas (PCD) takımlarının, uzun takım ömürleri nedeniyle sert MMC'leri işlemek için kullanılabileceğini belirlemiştir. Literatürde PCD kesici aletinin B_4C , SiC ve Al_2O_3 gibi seramik partiküllerden daha sert olduğu ve iş parçasıyla kimyasal reaksiyona girme eğiliminde olmadığı belirtilmektedir (Kumar ve ark., 2020).

Bu tez çalışmasının amacı, Al_2O_3/B_4C -SiC hibrit nanokompozitleri, Al_2O_3/B_4C ve Al_2O_3/SiC nanokompozitlerini toz metalürjisi metodu ile ürettikten sonra bu kompozitlere ait yüzey morfolojilerini, fiziksel özelliklerini ve işlenebilirlik durumlarını, üç farklı tezgâhta farklı işleme yöntemleri ile incelemektir. Bu işleme yöntemleri, Aşındırıcılı Su Jeti (AWJ) ile işleme, Tel erozyon Tezgahı (WED) ile işleme ve Bilgisayar Sayısal Kontrollü (CNC) Dik işleme merkezi ile işlemedir. Bu üç farklı tezgâhta her bir kompozit numune için işlenebilirlik olarak, Talaş Kaldırma Oranı (MRR) ve Yüzey Pürüzlülüğü, ve yine mekanik özelliklerden olan sertliklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı zamanda her bir kompozit numune için her bir tezgâhta işleme öncesi ve sonrası için Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yüzey morfolojisi alınmış ve Enerji Dağılımlı Spektroskopisi (EDS) haritalama analizi ile de içerisindeki alaşım miktarları belirlenme işlemi, farklı işlenmiş yüzeylerde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneyler sonucundaki Brinell sertlik değerleri ile İşleme sonrası yüzeylerdeki sertlik değerlerinin karşılaştırılmıştır. MRR değerleri ve Yüzey pürüzlülük değerleri içinde kıyaslama yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Metallerin pahalı olması, insanları metal olmayan kompozitlere ve alaşımlara yönlendirmiştir. Metal olmayan bu malzemelerin mekaniksel, termal ve yapısındaki hafiflik, sertlik, yoğunluk gibi özellikleri sayesinde istenilen özellikte bir malzeme üretimine imkân tanımıştır.

Tamda burada kompozit malzemeler devreye girmektedir. Kompozitler; iki veya daha fazla malzemenin biri ana matris ve diğeri takviye elemanı olmak üzere, farklı özelliklerin, bazı üretim yöntemleriyle birleştirilerek istenilen özellikli bir yapıda farklı bir malzeme üretilmesidir diye tarif edebiliriz.

Diğer malzemelere göre üstünlük olarak, yoğunlukları düşük olduğu halde mukavemetlerinin kuvvetli olması, içeriğinde tüm elementlerin yükü paylaşmaları, mekanik özellikleri, normal üretilen malzemelere göre (termal geçirgenlik, elektrik iletkenliğinde iyileşme, tokluk, sıcaklıklara karşı kararlı bir tutum göstermesi) çok daha kaliteli bir özellikte olmaları sayılabilir.

Çok çeşitli kompozitler vardır. Bunların arasında yaygın olarak kullanılanlardan biriside Metal Matrisli Kompozitlerdir. Bu kompozit sisteminde matris malzemesi (ana malzeme) olarak metal ve takviye olarak ta genellikle seramik malzeme kullanılmaktadır.

Ayrıca kompozitlere ilave dilen takviye elemanları da büyük önem taşımaktadır. Takviye elemanlarından yaygın olarak kullanılanlar arasında B_4C , SiC , Al_2O_3 , TiB_2 , WC , TiC , W , MgO ve C sayılabilir (Karabacak, 2018)

Garg ve ark. (2010), MMC'ler mükemmel mekanik, fiziksel ve termal davranışlar gösterebilirler de, işleme maliyetlerinin pahalı olması, zayıf ve zor işlenebilirliği gibi nedenlerden ötürü, pratikte önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, sert seramik takviye partikülleri (B_4C ve SiC gibi) ile elde edilen MMC'lerin, geleneksel işleme yöntemleri ile işlenmesinde; takım ömrünün kısa olması, yüzey altı hasarı ve düşük yüzey kalitesi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu ve buna benzer nedenlerden dolayı, araştırmacılar ve üreticiler, MMC'leri işlemek için AWJ, WED ve CNC gibi geleneksel olmayan işleme yöntemleri ile işlemenin önemine dikkat çekmişlerdir (Dumbhare ve ark., 2018, Laghari ve ark., 2020, Singh ve ark., 2020).

Araştırmacılar genellikle takviye içeriğinin, takviye boyutunun ve takviye türünün üzerinde çalıştığı gibi, ayrıca matris türünün, yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve takım

aşınması gibi özelliklerinin, işleme kalitesi üzerindeki özelliklerine etkisi üzerinde de çalışmışlardır (Kumar ve ark., 2020)

Bütün bu bilgiler ışığında Tez konusu ile ilgili olan Literatür taramaları aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

Alizadeha ve ark. (2013), ortalama toz boyutu 151 nm olan Al matrise B₄C takviyesi yaparak oluşturduğu nanoyapıdaki kompozit malzemeyi, Accumulative Roll Bonding (ARB) işlemini kullanılarak levha şeklinde üretmiştir. Ürettikleri bu kompozit malzemenin mekanik özellikleri olan sertlik ve çekme değerlerine baktıktan sonra SEM görüntülerinde B₄C takviye elemanlarının Al içerisinde düzgün bir şekilde dağıldığını görüntülemiştir. Sonuç olarak çekme ve sertlik değerlerinde artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zhang ve ark. (2018), yaptığı bir çalışmada, Al matrise B₄C takviyesi yaparak oluşturduğu kompozit malzemede, çeşitli hacim oranlarının (%5, %10, %15, %20, %25) etkisini incelemiştir. Sonuç olarak B₄C takviyesi ile hacminin bağıl yoğunluğunun azaldığını ve porozitenin minimum olduğunu bulmuşlardır. Bunun yansısı B₄C takviye oranının artmasıyla sertlikte de ciddi bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Yine Zhang ve ark. (2016) yaptığı bir diğer çalışmada, Hacimce % 20 SiC takviyesi ve hacimce % 80 Al matris kullanarak vakumlu sıcak presleme yöntemi ile oluşturduğu Al / SiC kompozitlerinin mekanik özellikleri ve korozyon davranışını incelemiştir. Ürettikleri bu kompozit malzemenin Al malzemeden sert olduğunu verilerle ortaya koymuşlardır.

Xiao-min ve ark. (2012), Al-Si oluşan kompozitte %0, %4, %8, %12 oranlarında SiC takviyesi ile oluşturduğu kompozitte mekanik özelliklerden eğme mukavemetine bakmışlar ve Sonuç olarak Al malzemeye göre eğme mukavemetinin arttığını tespit etmişlerdir.

Karabacak ve ark. (2018), yapmış olduğu çalışmasında Al₂₀₂₄ matrise nano boyutta %2 ağırlıkça B₄C ve SiC takviye malzemesi katarak hibrit nano kompozit üretmiştir. Ürettiği bu kompozit malzemenin mekanik özellik olarak sertlik çekme ve 3 noktadan eğme testleri uygulamış, porozite ve yoğunluğuna bakmıştır. Ayrıca sem görüntülerini de incelemişlerdir.

Kumar ve ark. (2014), karıştırma (stir casting) metoduyla Al (6351) matrise B₄C ve SiC takviye malzemesi (1 kg alüminyuma 50 gr B₄C ve 50 gram SiC) katarak kompozit

üretmişlerdir. Ürettikleri bu kompozitler için işleme sürecindeki parametrelerin optimizasyonuna bakmıştır. CNC makinesinde yaptıkları bu işlemede Kesme Hızı, İlerleme Hızı ve Kesme Derinliği, Yüzey Pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranı gibi değerlere bakmıştır.

Xavior ark. (2017), beraber yapmış oldukları hibrit kompozit malzemelere matris olarak alüminyum ve takviye elemanı olarak ta grafen ve karbon nanotüp ilave etmiştir. Yapmış oldukları bu kompozit malzeme için işlenebilirlik çalışmışlardır. İşlenebilirlik olarak ta takviye elemanlarının tipi, boyutu, şekli gibi özelliklerin CNC de işleme esnasında kesme şartları, takım geometrisi, takım malzemesi gibi parametrelerini incelemiştir.

Kök 2009), yapmış olduğu çalışmada Al2024 matrise Al2O3 takviye katarak oluşturduğu kompozit malzemenin cnc torna tezgahında farklı kesme şartlarında farklı keSiCi takımlarla farklı kesme hızlarında takım ömrünü incelemiştir.

Shaoo ve ark. (2013), MMC' lerde AL/SiC için CNC'de işleme optimizasyon ve modellemesini taguchi yaklaşımı kullanarak yaptıkları çalışmada yüzey pürüzlülüğünde optimum parametre olarak kesme hızı 180 m/min, ilerleme 0.05 mm, kesme derinliği 0.4 mm olarak almış ve takım tipine göre aşınma mekanizması prensibini incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve yanak aşınması için matematiksel modellemenin istatistiksel olarak önemli olduğunu bulmuştur.

Camposeco-Negrete (2015), CNC'de Enerji tüketiminde en iyi sonuçları bulmak için yaptığı çalışmada, yüzey pürüzlülüğünde ve talaş kaldırma oranında optimum parametreler olarak kesme hızı 434 m/min, ilerleme 0.14 mm, kesme derinliği 2.3 mm olarak almıştır.

Tomac (1992), kaplamalı karbür ve PCD takımı karşılaştırmak için takım aşınması ve kesme kuvvetlerini incelemiş, aynı şartlar altında PCD takımın karbür takıma göre 30 kat daha fazla takım ömrü olduğunu söylemiştir.

Karabulut ve ark. (2016), Al6061/B₄C ilave ederek yüzey pürüzlülük üzerine yaptığı çalışmada CNC de işlenebilirlik incelemiş olup burada bulduğu optimum değerler, %15 B₄C takviyesinde makine hızı 480 m/dk, ilerleme oranı 0.08 mm, kuru şartlarda ve kesme derinliği 0.8 mm dir. Ayrıca keSiCi takım olarak ta yüksek sertlik, aşınma, iletkenlik ve kırılma direncinden dolayı PCD (poly crystalline Diamond) takım kullanmıştır.

Rao ve ark. (2018), Ağırlıkça %6 yumurta kabuğu ve % 6 B₄C içeren, stir casting metoduyla üretilen, alüminyum metal matris kompozit ve hibrit kompozitlerin işlenmesinde, 0,1 mm / dev ilerleme hızı, 500 rpm kesme hızı ve 0,5 mm kesme derinliği sabit parametreleriyle üretilmiş ve CNC’de işlenmiştir. Elde ettikleri sonuçlar kapsamında, alüminyum metal matrisli kompozitlerin MRR değerlerinin temel alaşımdan en az % 43 daha yüksek olduğunu ortaya çıkardılar. Ayrıca hibrit kompozitin yüzey pürüzlülüğünü (Ra) minimum 2.2252 µm olduğunu bulmuşlardır.

CNC için, sonuç olarak işleme İlgili literatürler incelendiğinde ve deneyimli operatörlerin tecrübesi ışığında makine hızı 400 m/dk, ilerleme oranı 0.1mm, kuru şartlarda ve kesme derinliği 0.1mm alınmış ve keSiCi takım olarakta PCD takım kullanılmıştır.

Akkurt (2004) yaptığı çalışmada, günümüzde ileri teknolojilerde adından sıkça bahsedilen ve en iyi kesme yöntemlerinden biri olan su jeti teknolojisi ile malzemeyi aşındırmayan, kenarlarda çapak bırakmayan, malzemenin kesilmesi esnasında deformasyon kuvvetleri oluşturmada kesme yapan, sıcaklıktan dolayı yapıdaki bozulmaların (yanma, kirlenme, erime vb) minimum düzeyde olması, keSiCi takımın olmaması, en karışık, hassas parçaların bile istenilen tamlikta kesilebilmesi gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir.

Thamizhvalavan ve ark. (2009), matris olarak Al6063 kullandığı, takviye olarak ta %5 B₄C ve %5 zirkonyum silikat (ZrSiO₄) kullanılarak üretilen hibrit kompozit malzemeyi aşındırıcılı aqua jet ile işlemiş olup, Jet basıncı, aşındırıcı akış oranı, ilerleme hızı ile talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir.

Hashish (1989), yaptığı araştırmada su jeti basıncını 690 ile 3500 bar arasında, nozul çapını 0,127-0,635 arasında, aşındırıcı malzemesi olarak garnet kumu, silisyum karbür, silika kum kullanmış, ilerleme hızını da 0,2-25 mm/s arasında almıştır.

Kök ve ark. (2011), Al 7075 malzemeye Al₂O₃ takviyesi ile yaptıkları çalışmada aşındırıcılı su jeti ile yüzey pürüzlülük değerlerine bakmış, burada kullandığı kesme değerlerini şu şekilde almıştır. İlerleme hızı 100 mm/dk., nozul çapı 1 mm, su basıncı 400 MPa, aşındırıcı akış oranı 400 gr/dk., aşındırıcı tane boyutu 80 mesh olarak almıştır.

Kulisz ve ark. (2020), al-si alaşımlarına farklı alaşımlar ilave ederek yaptıkları çalışmada aşındırıcılı su jeti ile kullandığı kesme değerleri şunlardır. Nozul çapı 0,7 mm,

Nozul kalınlığı 60 mm, su basıncı 350MPa, aşındırıcı tane boyutu 80mesh, emniyet mesafesi 3 mm olarak alınmıştır.

Aşındırıcılı su jeti için ilgili literatürler incelendiğinde ve deneyimli operatörlerin tecrübesi ışığında aşındırıcılı su jeti (AWJ) için kullandığımız kesme parametreleri şunlardır. İlerleme hızı mm/min – 100, Nozul çapı mm – 0.9, Su basıncı MPa – 400, Aşındırıcı akış oranı gr/min – 400, Aşındırıcı tane büyüklüğü mesh – 80, Aşındırıcı olarak Garnet kumu kullanılmıştır.

Kolli ve ark. (2017), Al 7075/B₄C/Gr oluşan hibrit kompozitte, elektro erozyon makinesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki optimum işleme şartları üzerine yaptığı çalışmada akım, vurum süresi, vurum ara süresi ve gerilimi incelemiştir. Yüzey pürüzlülüğü için minimum değerlerin, akım 7 amp, vurum süresi 25 µs, vurum ara süresi 35 µs, gerilim ise 40 V olarak alınması gerektiğini vurgulamıştır.

Gökler ve ark. (2002), 3 çeşit iş parçasında tel çapı 0,25 mm, akım 7-10 amper arasında değişken akım değerleri, gerilim değerlerini ise 25-50 v arasında alarak yüzey pürüzlülük değerlerini incelemiştir.

Kesarwani ve ark. (2020), Metal matris kompozit numunelerde, alüminyum matris ve takviye elemanı olarak SiCp kullanmış olup WED işleme yöntemi parametrelerini (puls on time ve puls off time, voltaj ve tel besleme hızı) değiştirerek talaş kaldırma oranını (MRR) incelemiş, Gerilim, tel besleme hızı ve puls on time ve puls off time parametreleri arttıkça Ra ve MRR verilerinin doğru orantılı olarak arttığını belirtmişlerdir.

Rozenek ve ark. (2001), metal matrisli kompozitlerin (AlSi7Mg/SiC and AlSi7Mg/Al₂O₃) tel erozyon cihazında optimum kesme parametrelerini (yüzey pürüzlülüğü ve ilerleme oranındaki pulse-on time, pulse-off time, voltaj) incelemiştir.

Tel erozyon tezgahı için ilgili literatürler incelendiğinde ve deneyimli operatörlerin tecrübesi ışığında tel erozyon tezgahında, yüzey pürüzlülük değerleri için aldığımız cihaz değerleri şunlardır. Akım 9 amper, gerilim 22 V, tel çapı 0,25 mm, vurum süresi 20 µs, vurum ara süresi 37 µs'dir.

Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde MMC'lerin farklı işleme teknikleri kullanılarak talaşlı imalatına ve karşılaştırılmasına yönelik herhangi bir çalışma olmadığı görülmüştür. Ayrıca nano boyutlu takviyelerin hibrit MMC'lerde kullanılması ve ayrıca bunların işlenmesi konusunda çok az çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş nano boyutlu B₄C ve SiC seramik takviyeli Al2024 metal

matrisli kompozitler ve hibrit nanokompozitler, AWJ, WED ve CNC dikey işleme merkezi ile işlenmiştir. Kompozitlerin işleme öncesi ve sonrası için talaş kaldırma oranı (MRR), Sertlik ve yüzey morfolojisi farklılıkları karşılaştırılmıştır.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Malzeme ve Bileşimleri

Bu yapılan tez çalışmasında matris olarak kullanılan malzeme Al2024 (2.72 g/cm³) olup toz büyüklüğü 50 µm'dir. Al2024 malzemesinin bileşik analizleri Çizelge 3.1'de veri olarak sunulmuştur. Takviye malzemesi olarak ta B₄C (2.52 g/cm³) tozları ortalama 45 nm boyutlarında ve SiC (3.1 g/cm³) tozları ortalama 40 nm boyutlarında kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Al2024 tozları kimyasal bileşiği (%)

Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Cr	Ti	Al
4.85	1.78	0.312	0.374	0.385	0.138	0.042	0.005	92.114

Al2024 matrise takviye malzemesi olarak B₄C, SiC ve hibrit partiküller % 0-1-2-3-4 ağırlık oranlarında katılarak malzemeler üretilmiştir Çizelge 3.2 yüzde ağırlık oranları verilmiştir.

Çizelge 3.2. kompozit ve hibritlerin bileşim ve yüzde ağırlık oranları

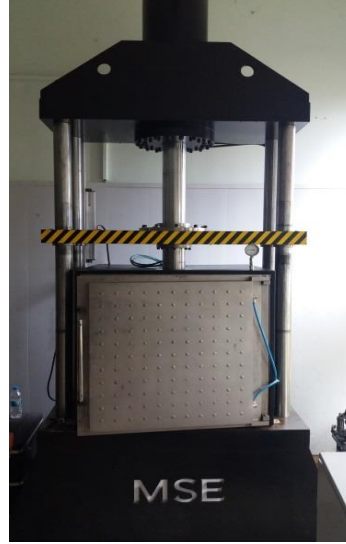
	Al2024-B ₄ C (%) Kompozitleri		
Numune İsimleri	Al2024 (%)	B ₄ C (%)	
AL2024	100	0	
Bor 1	99	1	
Bor 2	98	2	
Bor 3	97	3	
Bor 4	96	4	
	Al2024-SiC (%) Kompozitleri		
	Al2024 (%)	SiC (%)	
Si 1	99	1	
Si 2	98	2	
Si 3	97	3	
Si 4	96	4	
	Al2024-B ₄ C-SiC (%) Hibrit Nanokompozit		
	Al2024 (%)	B ₄ C (%)	SiC (%)
BorSi 1	99	0,5	0,5
BorSi 2	98	1	1
BorSi3	97	1,5	1,5
BorSi4	96	2	2

3.2. Malzeme Üretim Aşamaları (Mekanik Alaşımlama, Parçacık boyutları, Presleme)

Yapılan çalışmada matris ve takviye tozlarını karıştırmak için gezegen şeklinde bilyeli ezici ile 400 dv/dk da 8 saat süren bir karıştırma ve ezme işlemi ile mekanik alaşımlama işlemi (Şekil 3.1) yapılmıştır. Buradaki ezme işleminde 125 ml hacimli hazneye 10 mm çapında bilyeler ile 1:6 (toz:bilya) oranında 60 gr Al₂O₃ matris ve B₄C ve SiC takviye tozları ilave edilerek homojen bir karışım elde edilmiştir. Elde edilen bu homojen karışım kalıp içerisine döküldükten sonra 250 MPa'lık bir basınç uygulanarak ilk şekli verilmiştir. İlk şekli verilen numunenin yoğunluğunu artırmak için sıcak presleme (Şekil 3.2) işlemi ile 560 °C lik ısı ve 500 MPa basınç uygulanarak 80*10*6 mmlik kütük halinde numunemiz hazır hale getirilmiştir. Hazır hale gelen bu numuneler kesme makinesinde hassas bir şekilde kesilmiş, ardından bakalit cihazında kalıplama yapılmış, parlatma ve zımparalama makinesinde parlatma ve zımparalama işlemi uygulanmış, son olarak asit çözeltisi ile dağlama işlemi yapılmıştır. Tüm bu iş ve işlemler Karadeniz Teknik Üniversitesi Malzeme ve Metalurji Bölümü Laboratuvarlarındaki makinelerde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Mekanik alaşımlama cihazı



Şekil 3.2. Sıcak Pres

3.3. Mikroyapı Özelliklerinin incelenmesi

3.3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi ve EDS analizi

Kompozitlerin ($\text{Al}_{2024}/\text{B}_4\text{C}$ -SiC hibrit nanokompozitler, $\text{Al}_{2024}/\text{B}_4\text{C}$ ve $\text{Al}_{2024}/\text{SiC}$ nano takviyeli Kompozitler) tezgahlarda işleme yapılmadan öncesi ve işleme yapıldıktan sonrası için mikro yapılarının değerlendirilmesi süreci ZEISS LS 10 marka modellenli taramalı elektron mikroskobu (Şekil 3.3) ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Malzeme Metalurji Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aynı yerde EDS analizleri yapılmış, haritalama yöntemiyle de matris ve takviye hallerine bakılmıştır.



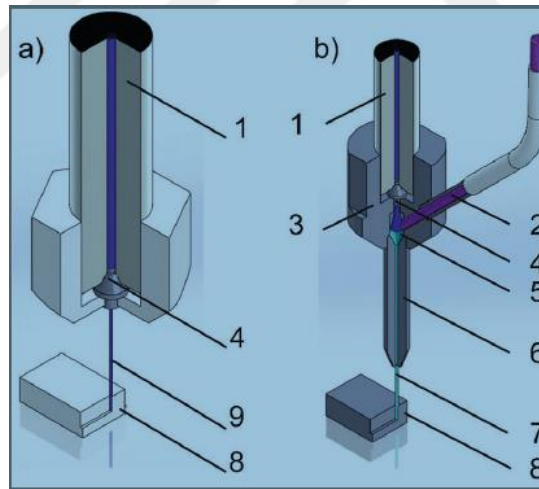
Şekil 3.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.4. Su Jeti İle Kesme İşlemi

3.4.1. Su jeti (water jet) aşındırıcılı su jeti (abrasive water jet) işleminin çalışma prensibi

Akkurt'a (2004) göre, Saf su jetinde kesme olayı çoğunlukla su kullanılan sıvı bir malzemenin, minimum 4000 bar ve üzerinde bir basınçla sıkıştırılarak, 0.1-0.6 mm çapta ve uçlarındaki malzeme seramik, safir yada elmas olan nozuldan basınçlı bir şekilde püskürtülmesiyle meydana gelmektedir.

Aşındırıcılı su jetindeki kesme olayı ise: özellikle sert malzeme kesimlerinde kullanılır. Pompa sistemiyle 4000 bar'a çıkartılan su, yüksek basınç ile kesme yapan kesme başlığına taşınır. Kesme başlığına taşınan basınçlı su orifis sisteminden geçerek karışma odasına toplanır. Karışma odasına daha önceden yerleştirilmiş olan aşındırıcı malzememiz basınçlı suya karışarak, karışma odasından çıktıktan sonra safir bir uçtan (08-1.2 mm) geçerek iş parçasına püskürtülür. Bu püskürtme neticesinde, kesilecek malzemede aşınma, kırılma gibi olaylar meydana gelerek kesme işlemi gerçekleşmiş olur. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te su jeti ve aşındırıcılı su jeti ile kesme sistemleri hem şematik hem fotoğraf olarak gösterilmiştir.



a. Su jeti ile kesme

b. Aşındırıcılı su jeti ile kesme

Şekil 3.4. Su jeti ile kesme sistemleri 1. Yüksek basınçlı su girişi 2. Aşındırıcı giriş
3. Kesme başlığı 4. Orifis 5. Karıştırma odası 6. odaklanma tüpü
7. Yüksek hızlı aşındırıcı su jeti 8. örnek iş parçası (Liu, 2019).



Şekil 3.5. Su jeti

3.4.2. Aşındırıcılı su jetinde kullanılan aşındırıcı maddeler

Aşındırıcı su jeti ile işleme makinesinde aşındırmayı ve kesmeyi kuvvetlendirmek için suya ilave edilerek kullanılan birçok malzeme var. Endüstride kullanılan bu aşındırıcılardan bazıları garnet kumu, olivin, alüminyum oksit (Al_2O_3), silis kumu, cam küreleri, silikon karbür, zirkonyum gibi farklı aşındırıcı maddelerdir. Bu aşındırıcı malzemelerden en çok kullanılanı ve en rahat bulunanı garnet kumu olarak ön plana çıkmaktadır (Khan, 2007).

3.4.3. Aşındırıcılı su jetinin kullanıldığı yerler

Havacılık ve uzay endüstrisi, otomotiv endüstrisi, kâğıt fabrikaları, elektrik elektronik endüstrisi, tekstil endüstrisi, gıda endüstrisi, paketleme endüstrisi, plastik endüstrisi, maden sanayisi, metal sanayisi, tıp, yol ve köprü inşaatları, endüstriyel atıklar vb gibi daha birçok alanda kullanılmaktadır.

3.4.4. Aşındırıcılı su jeti ile kesmenin üstünlükleri ve kusurları

3.4.4.1. Aşındırıcılı su jeti ile kesmenin üstünlükleri

Aşındırıcılı Su Jeti ile Kesme işleminde, farklı kesme metotlarına göre birçok üstünlükleri vardır.

1. Kesme işlemi esnasında ısıнын etkisi ile kesme bölgesinde meydana gelen yüzeydeki bozukluklar ve çarpılmaların olmaması
2. Kesme işleminden sonra oluşan çapak vb. artıklardan dolayı ekstra bir temizleme ihtiyacının olmaması

3. Bütün malzemelere göre bir kesme yapılabilir olması
4. Pahalı ve işlenmesi zor olan malzemelerde de çapak bırakmadan kesilebiliyor olması
5. 25 mikron hassasiyetinde bir yüzey kalitesi elde edilebilir olması
6. 300 mm – 0.05 mm aralığındaki kalınlıklarda kesme yapılabilir olması
7. Küçük malzemelerde bile optimum malzeme kesim alanını sağlamaktadır

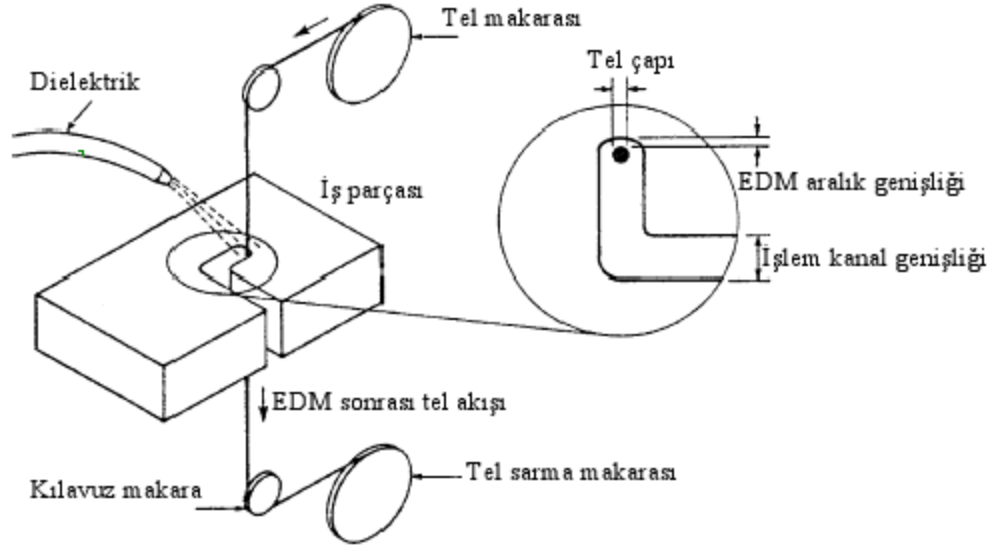
3.4.4.2. Aşındırıcılı su jeti ile kesmenin kusurları

1. AWJ'nin cnc yapı ile kontrol ediliyor olması, basınç artırıcı ve nozul gibi bazı parçalarının büyük teknoloji gerektiren malzeme ile yapılmış olması gibi sebeplerden dolayı, farklı keSiCi tezgahlara göre ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması.
2. Farklı tezgahlarla kıyaslandığında daha gürültülü çalışıyor olması
3. Bu tezgahdaki bakım işlemlerinin yüksek maliyetli olması
4. Su arıtma işleminin hassasiyetli bir işlem gerektirmesi
5. Kaliteli bir yüzey için ilerlemenin çok düşük olması ihtiyacı (Saraçyakupoğlu, 2012)

3.5. Tel Erozyon Tezgahı Çalışma prensibi

Tel erozyon tezgahlarının çalışma prensibinde pirinç, bakır, wolfram gibi malzemelerden oluşan bir tel elektrot tezgaha bağlanan iş parçasının içerisinden delik delinerek boşaltılan yerden ya da herhangi bir kenarından boydan boya tel elektrot geçirilerek artı (+) ve eksi (-) kutuplara bağlanan tel elektrota büyük bir akım vasıtasıyla ark yapması sağlanır. Parçaya yaklaştırılan bu elektrot üzerinde oluşan ark vasıtasıyla, belirli bir ilerleme ile iş parçasını kesmeye başlar. Bu kesme esnasında iş parçası ile tel elektrot arasında büyük yaklaşık 20,000°C sıcaklığa erişecek bir ısı meydana gelir. Bu ısı neticesinde erimeye başlayan iş parçasından talaşlar kalkmaya başlamasıyla kesme işlemi oluşur. Bu şekilde istenilen ebatta kesme işlemi yapılarak işlem bitirilmiş olur (Mussada, 2018).

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de tel erozyon çalışma prensibi ve tel erozyon tezgahının resmi gösterilmektedir (Doğan, 2010).



Şekil 3.6. Tel erozyon çalışma prensibi



Şekil 3.7. Tel erozyon tezgahı

3.5.1. Tel erozyon tezgahının kullanıldığı yerler

Yüksek hassasiyetli kalıp ve kalıp parçaları, prototip imalatı, torna takımları, broşlar, şablonlar, özel malzemeler (sentetik elmaslar ve elmas bileşimleri, karbür ve diğer standart olmayan malzemeler) gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

3.5.2. Tel erozyon tezgahında kullanılan tel elektrot

Kesilecek malzemeye göre daha iyi iletken olan ve çoğunlukla da tungsten ve pirinçten yapılmış tel elektrotlar, kesme esnasında kesimin devamlılığını ve körelen teli çekip yerine yeni telin gelmesini sağlamak için makaralarda sarılı olarak tezgahta yerini alır (Şekil 3.8). Genel olarak tel çapları 0,254-0,05 mm aralığında olup, 80 mm'ye kadar kalınlıktaki parçaların kesilme işlemi bu tel elektrot ile yapılır.



Şekil 3.8. Tel Elektrot Makaraları

3.5.3. Tel erozyon ile işlemenin üstünlükleri ve kusurları

3.5.3.1. Tel erozyon ile işlemenin üstünlükleri

- Tel elektrot ile yapılan bu kesme işleminde çok girift parçalar çok hassas bir şekilde kesilebilmesi.
 - Kesme işleminde aynı iş parçası üzerinde farklı açılarda işlem yapılabililiyor olması.
 - Farklı sertlikte ve farklı şekillerdeki malzemelerde hassas bir işleme mümkündür.
 - Geleneksel olarak yapılan kesmeden sonra son işlem olarak yapılan taşlama ve parlatma gibi işlemlere ihtiyaç duyulmaması
 - Üniversal tezgahlarda dönerek çalışan makinelerde çakıların değiştirilmesi, talaş oluşumlarındaki tehlike gibi durumların olmaması.
- Sürekli hareket eden ve talaş kaldırmada kullanılan, 0.05-0.3 mm arasındaki değişen çaplarda, wolfram, pirinç ve bakır malzemeden yapılan elektrotlar sayesinde köşelerde çok az bir radyüs kenarı yapma imkanına sahiptir.
 - Malzemeden talaş alma işlemi elektriği iletme durumuna ve malzemenin ergime sıcaklığı ile orantılı olduğu için, elektriği iletme durumuna ve ergime sıcaklığı düşük malzemelerde bile daha üstün bir işlenebilme yapılabilir. Dolayısıyla sertlik ve mukavemet gibi malzeme özellikleri, elektrot kopması ve iş akışının bozulmasına çok az bir etkisi olduğu görülmektedir.

3.5.3.2. Tel erozyon ile işlemenin kusurları

- a. Ünliversal tezgâhlara göre kesme hızı daha yavaştır.
- b. Bu tezgâhların fiyatının yüksek olması ve programlama tekniğı ile kullanıldığı için kaliteli eleman bulmak sıkıntısı vardır.
- c. Isı yalıtım gibi malzemeler işlenememektedir.
- d. Tel elektrot, malzemeye üst ve alt tarafından boydan boya takılarak işleme yapılabileceğı için boydan boya olmayan delikler ve çok kalın malzemelerin işlenmesi mümkün değildir.
- e. Tel elektrotla işlenen iş parçasının köşelerinde elektrot çapı ve tezgâh servo motorunun hareketine göre pah olma durumu vardır.
- f. Bu tezgahda bir çok faktör ile kesme yapıldığı için bu faktörlerden birisinin bile hatalı girilmesi yüzeysel hatalara sebep olabilir. (Doğın, 2010)

3.6. CNC Dik İşleme Tezgahı Çalışma Prensibi

CNC (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) dikey işlem (CNC Freze) tezgahlarının çalışma prensibi temelde üniversal tezgahların sayısallaşmış ve harfleşmiş sembol topluluğundan oluşmuş ve program mantığıyla tasarlanmış G-M kodları ile hareketlerin verildiğı mikron mertebesinde ilerleme ve işleme hassasiyetinin gerçekleştirilebildiğı bir tezgahdır. Yapılan kodlama ile ürünün imal edilmesi işlemi ise kontrol ünitesinde yapılan/yazılan programın tezgaha aktarılması ile gerçekleştirilmektedir. Burada keSiCilerin değışimi, tablanın ve başlığın hareketi, soğutma suyu açılıp kapanması vb. işlemler tamamen otomatik olarak yapılmaktadır. Şekil 3.9 da işlemenin yapıldığı CNC dikey işleme tezgahı görölmektedir.



Şekil 3.9. CNC dikey işleme merkezi tezgahı

3.6.1. CNC dik işleme tezgahında kullanılan kesici takımlar

Tomac (1992), AL-SiC lü metal matrisli kompozitlerin işlenebilme cihetini deneysel olarak çalışmış olup burada takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesini PCD (poly crystalline diamond) keSiCi takım ile araştırmıştır. Aynı kesme şartlarında karbür takımlara göre 30 kat daha fazla takım ömrü olduğunu bulmuştur.

Andrews (2000), metal matrisli kompozitlerin işlenebilirliğinde PCD ve CVD (Chemical Vapor Deposition) elmas kaplı karbür keSiCi uçların performansını karşılaştırdı. Bulduğu sonuçta ise PCD keSiCi uçların CVD keSiCi uçlara göre çok çok iyi bir performansının olduğunu vurgulamıştır.

Ding (2005), metal matrisli kompozitlerde PCD takımın PCBN takıma göre takım ömrü açısından daha üstün olduğunu ortaya koymuştur.

Bu araştırmaların neticesinde PCD takımın üstün özelliklerinden dolayı işlenebilirlik için PCD takım kullanılmıştır. Şekil 3.10'da örnek bir PCD takım gösterilmiştir.



Şekil 3.10. PCD kesici takım

3.6.2. CNC dik işleme tezgahında işlemenin üstünlükleri ve kusurları

3.6.2.1.CNC dik işleme tezgahında işlemenin üstünlükleri

- a. Seri üretim yapan bu tezgahlarda kontrol ünitesine yüklenen programlar istendiği zaman çağırılıp kullanılabilir, aynı zamanda yapılan bu programlar üzerinde istenilen değişiklikler rahatça yapılabililiyor olması.
- b. Bu tezgahlarda İmalat için yapılan programlar, kılavuz açma, yüzey tıraşlama vb. gibi döngülerle zenginleştirilmesi.
- c. Burada kullanılan çakılar için ofset ve telafi değerlerinin imalat hızına katkıda bulunması.
- d. Bu tezgahlardaki kontrol paneli sayesinde diğer tezgahlarla aralarında ağ kurulabilmesi.
- e. Üniversal tezgahlara göre daha hızlı ve daha kaliteli imalat yapılabilir olması.
- f. Magazindeki takım sayısı kadar takım istendiği zaman çağırılabilmesi.
- g. İşleme süresi çok az olması.
- h. Hata-insan faktörü az olduğu için seri üretimde hızlı olması.
- i. Üniversal tezgahlara göre verim oranı daha yüksek olması.
- j. Dairesel işlemlerin hatasız olarak yapılabilmesi.

3.6.2.2.CNC dik işleme tezgahında işlemenin kusurları

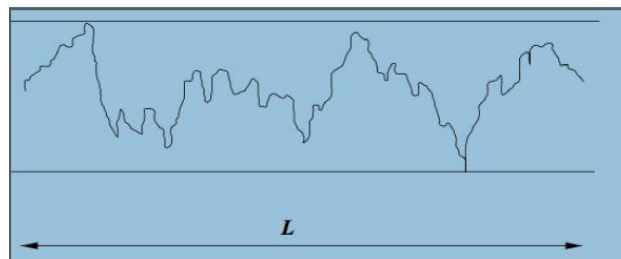
- a. Detaylı üretim programı gerektirmesi.
- b. Üniversal tezgahlara göre ilk yatırım maliyeti çok yüksek olması.
- c. Seri üretim olmadığında üretim maliyeti yüksek olması.
- d. Kullanılan keSiCi ve tutucuların maliyetleri yüksekliği.
- e. Bakım süreci ve maliyeti pahalılığı.
- f. Yetişmiş eleman ihtiyacı. (Ünlü, 2015)

3.7. Yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek olan numune ölçme işlemi, yüzey pürüzlülük cihazının tarama iğne ucunun $5\ \mu\text{m}$ çapındaki elmas ucu ile numune yüzeyinde ileri geri hareket ettirilerek, yüzey üzerinde olan mikro boyuttaki tepe-çukur profilinin ortaya konulması suretiyle yapılmaktadır. Numunelerin pürüzlülük değerleri ISO 4287 standardına göre ölçülmüştür. Şekil 3.12'deki tepe ve çukur arasında merkezdeki çizgiye göre yüzeyin ortalama pürüzlülüğünün değeri olan R_a , yüzey pürüzlülüğünde on nokta yüksekliği R_z , en yüksek tepe ile en düşük çukur arasındaki mesafe R_{max} verileri ölçüm işlemi yapılmıştır. Yapılan test işlemleri Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi laboratuvarında Marsurf M300 iğne taramalı portatif yüzey ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12 oda sıcaklığında gerçekleştirilen ölçümlerde hız $0.5\ \text{mm/sn}$ tarama uzaklığı ise $10\ \text{mm}$ alınmıştır.



Şekil 3.11. Marsurf M300 iğne taramalı portatif yüzey ölçüm cihazı ve numune



Şekil 3.12. Tepe ve çukurlar

3.8. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

3.8.1. Mikro sertlik testi

İmal edilen malzemelerin sertliklerinin ölçülmesi işlemi Brinell sertliği olarak Innovast Nemesis 9000 sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır (Şekil 3.13). Brinell sertliğini ölçmek için 2.5mm çaplı batırıcı uç tarafından 31.25kgf bir yük ile 10 sn boyunca yapılmıştır. Uygulanan bu ölçümlerde numunelerin her birine beş defa bu işlemler yapılmış olup, en büyük ve en küçük veriler arasındaki fark alındıktan sonra diğer 3 verinin ortalaması ile sonuç ortaya konmuştur.



Şekil 3.13. Innovast Nemesis 9000 modeline ait sertlik ölçüm cihazı

3.9. Talaş Kaldırma Oranı

İmal edilen her bir malzeme için Talaş Kaldırma Oranı (MRR) aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir.

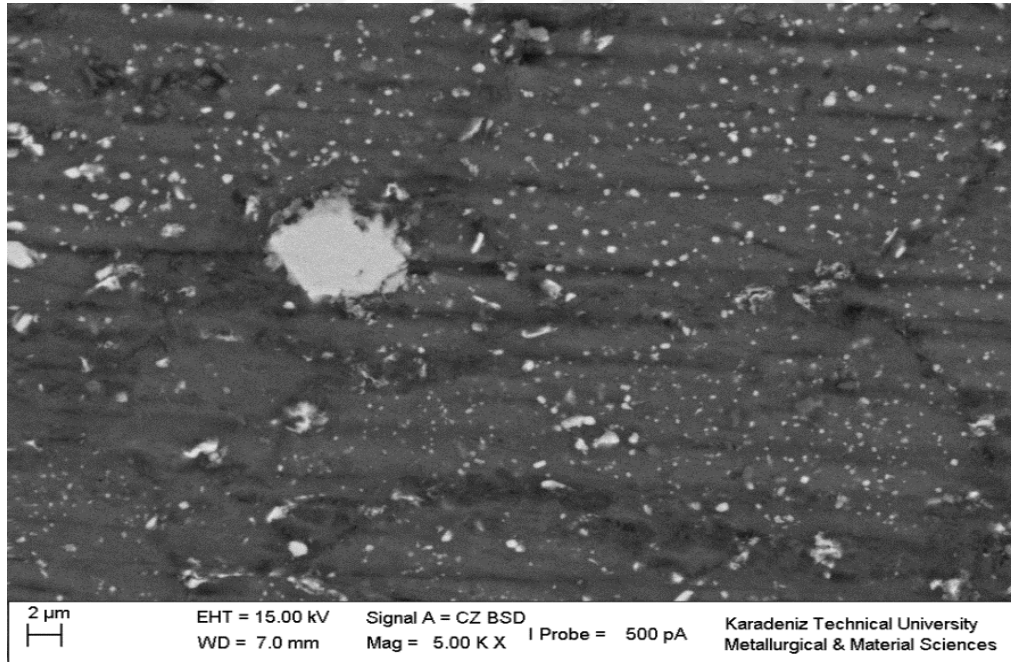
$$MRR = \frac{\text{Kaldırılan talaş hacmi (mm}^3\text{)}}{\text{İşleme zamanı (min)}}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

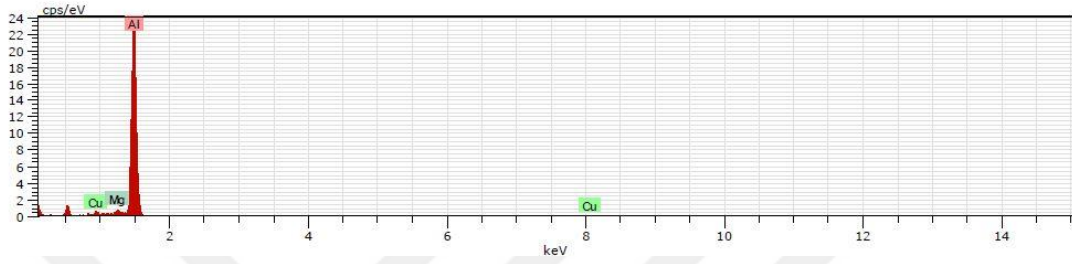
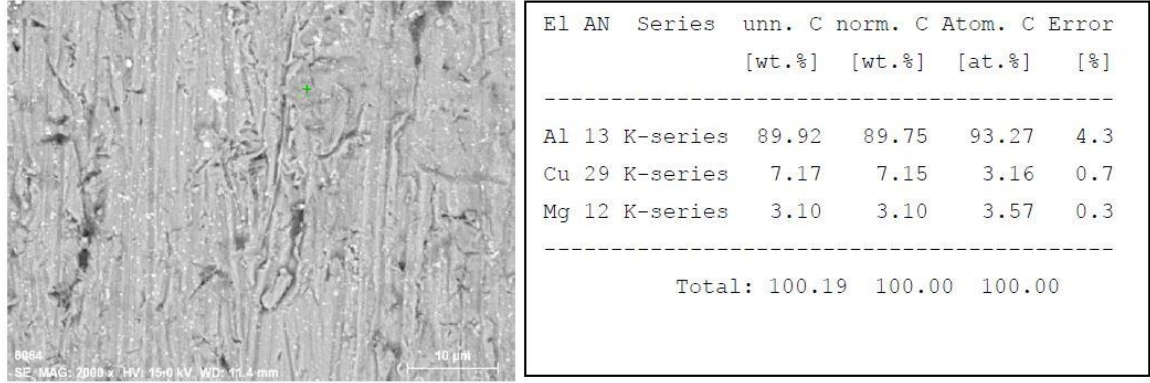
4.1. İşleme yüzeyi karakterizasyonu

Metal matrisli kompozitlerin işlenmesinde çatlama, kırılma, termal distorsiyon, daha fazla yüzey pürüzlülüğü, yüksek artık gerilimler ve kesici takım aşınması gibi önemli sorunlar vardır. Öte yandan geleneksel işleme yöntemlerinin dışında bir işleme yöntemi olan AWJ ve WED gibi gelişmiş üretim yöntemlerinde bu sorunlar en aza indirilebilir. Ancak, bu yöntemleri kullanırken işleme parametrelerini optimize etmek ve talaş kaldırma mekanizmalarını tanımlamak, çözülmesi gereken önemli konular arasındadır. Aşındırıcı Su Jeti (AWJ), metaller, alaşımlar ve kompozitler gibi çok çeşitli malzemeleri herhangi bir termal hasar ve artık gerilim olmadan işlenmesine imkân veren bir yöntemdir. Bu yöntemle yapılan işlemede her numuneye, çeşitli işlemlerle işlenmiş yüzey (SEM) analizleri yapılmıştır.

4.1.1. Al2024 alaşımının iç yapı görüntüleri

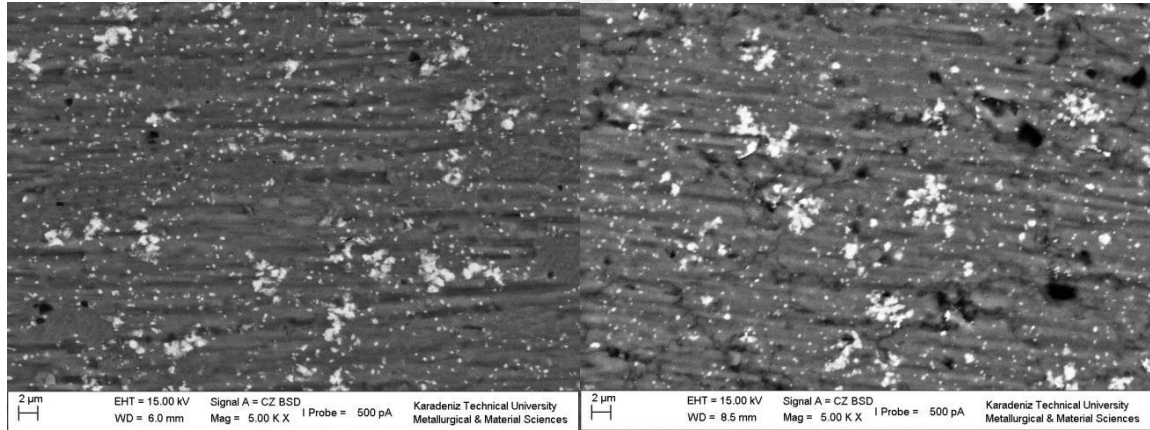


Şekil 4.1. Al2024 alaşımına ait numunenin mikroyapısı



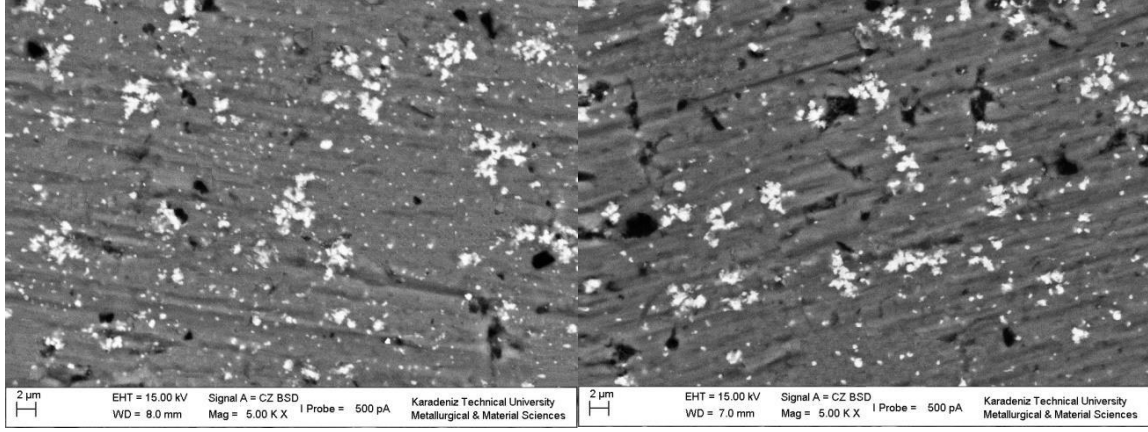
Şekil 4.2. Sinterlenmiş saf Al2024 alaşımlı numunenin ağırlıkça alüminyumlu bölgesinden nokta analizi

4.1.2. Hibrit nanokompozitler için (Al2024/B₄C-SiC) iç yapı (SEM) görüntüleri



(a)

(b)

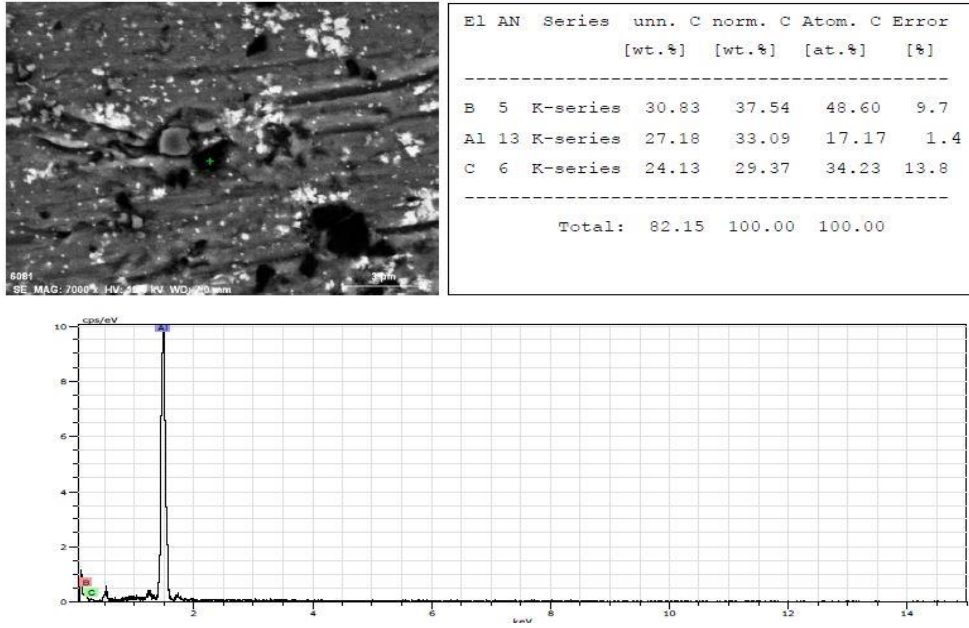


(c)

(d)

Şekil 4.3. Al2024/B₄C-SiC nanokompozitlerin mikroyapı görüntüleri (a) BorSi 1
(b) BorSi 2, (c) BorSi 3, (d) BorSi 4

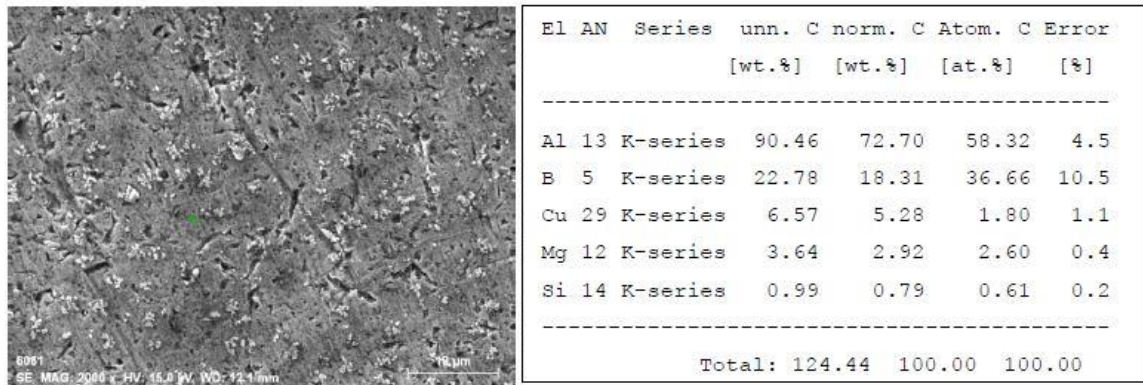
4.1.3. Hibrit nanokompozitler için (Al2024/B₄C-SiC) noktasal EDS analiz sonuçları



Şekil 4.4. Sinterlenmiş Al2024/B₄C-SiC hibrit nanokompozitinin B₄C ağırlıklı bölgesinden nokta analizi



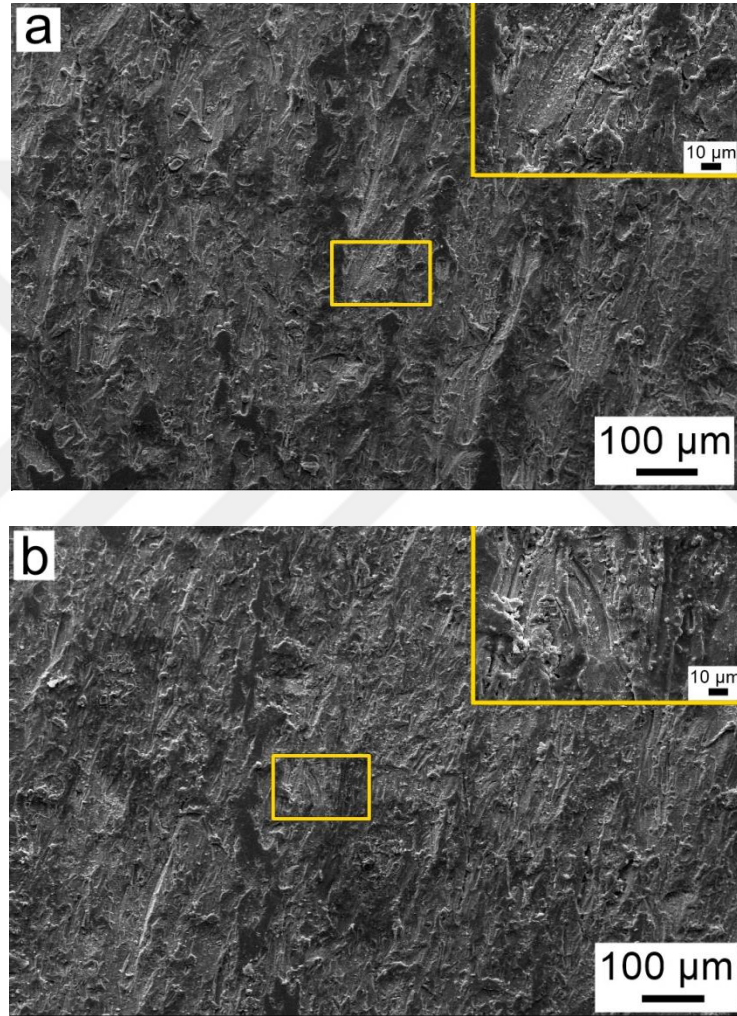
Şekil 4.5. Sinterlenmiş Al2024/B₄C-SiC nanokompozitinin SiC ağırlıklı bölgesinden nokta analizi

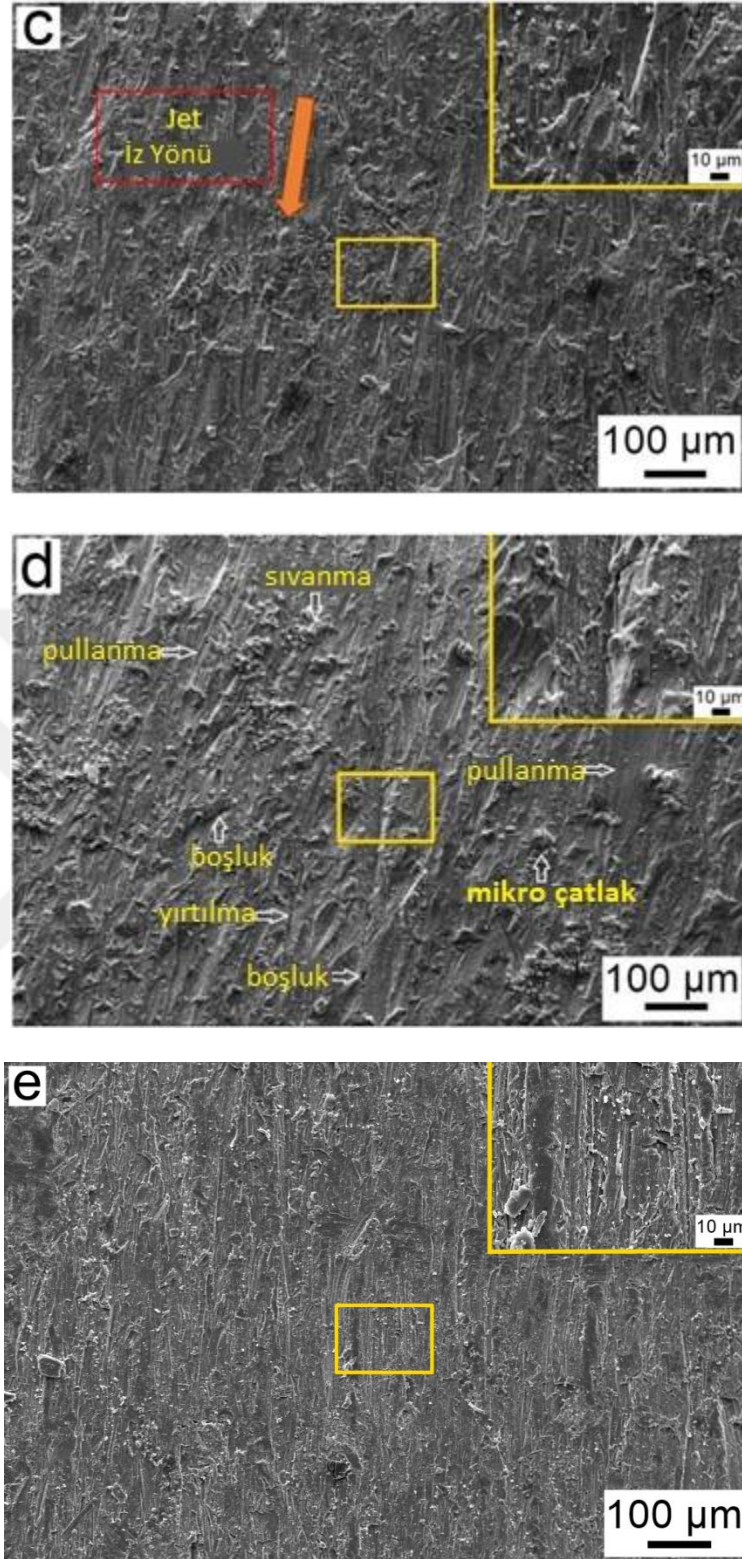


Şekil 4.6. Sinterlenmiş Al2024/B₄C-SiC nanokompozitinin alüminyum ağırlıklı bölgesinden nokta analizi

Şekil 4.7 incelendiğinde mikro boyuttaki aşınmanın plastik deformasyondan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, işlenmiş kompozit yüzeylerde oyuklaşma, çukurlaşma ve pullanma vardır (Pahuja ve ark., 2019, Liao ve ark., 2019). En yüksek takviye içeriğine sahip kompozitler için daha yüksek yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği anlaşılmaktadır. Jetin izi ve jetin işleme yönleri, aşınmış yüzeyler, SEM görüntülerinde Şekil 4.7 de belirgin bir şekilde gösterilmiştir.

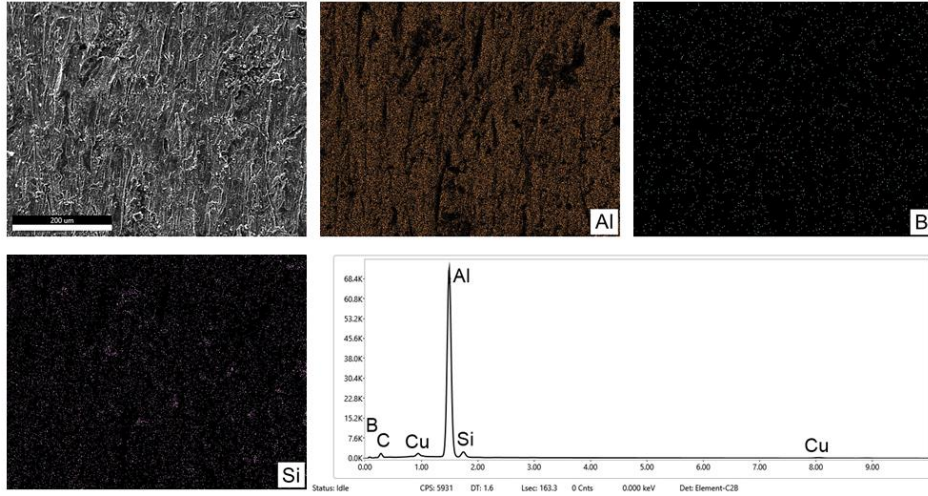
4.1.4. Hibrit nanokompozitler için (Al2024/B₄C-SiC) AWJ ile işleme yüzeyinin iç yapı (SEM) görüntüleri





Şekil 4.7. Hibrit Nano kompozitler için (Al2024/B₄C-SiC), AWJ ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri (a)AWJ Al2024 (b) AWJ BorSi 1 (c) AWJ BorSi2, (d) BorSi 3, (e) BorSi 4

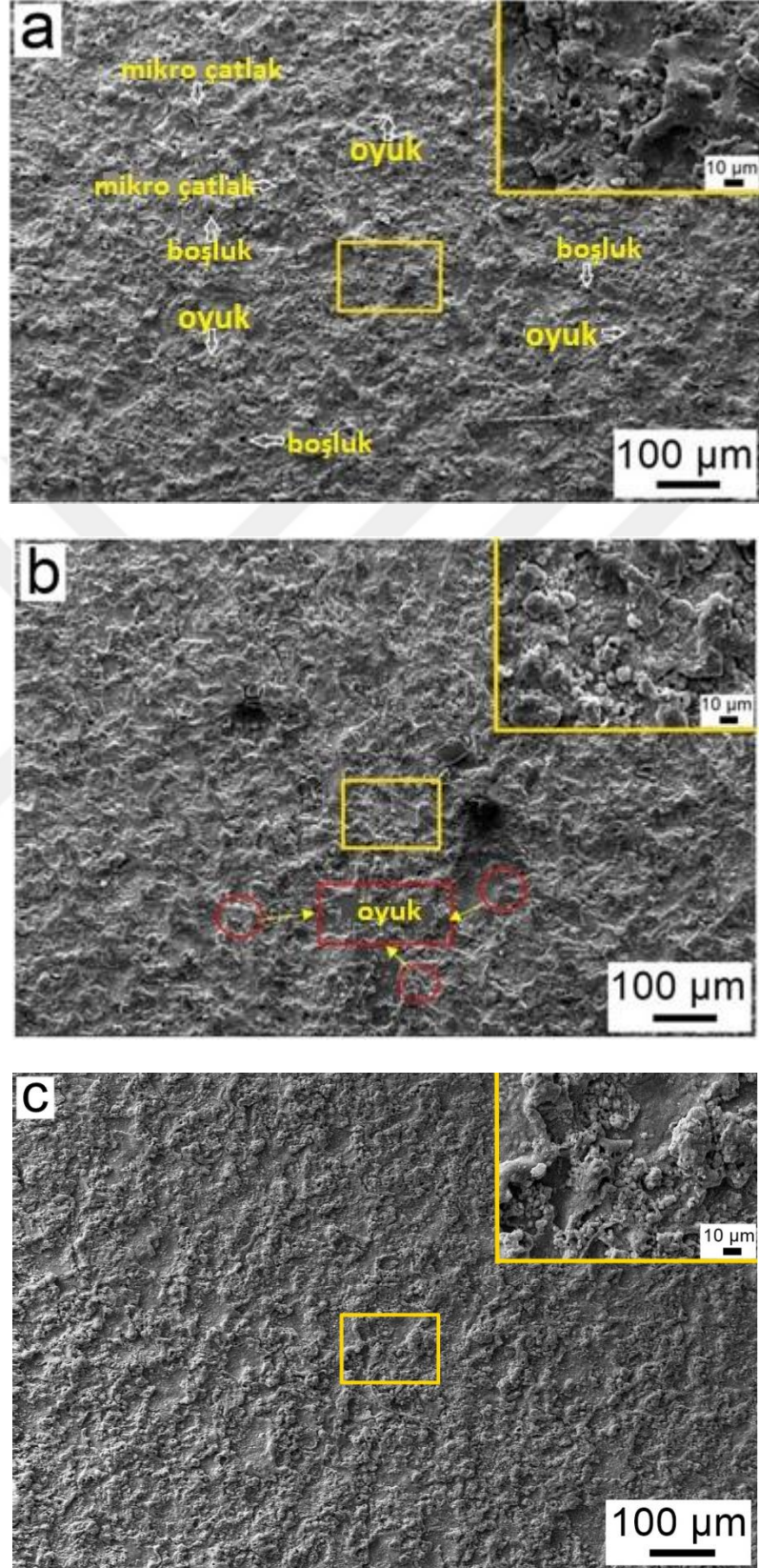
4.1.5. Hibrit nanokompozitler için (Al₂O₃/B₄C-SiC) AWJ ile işleme yüzeyinin noktasal EDS analiz görüntüleri

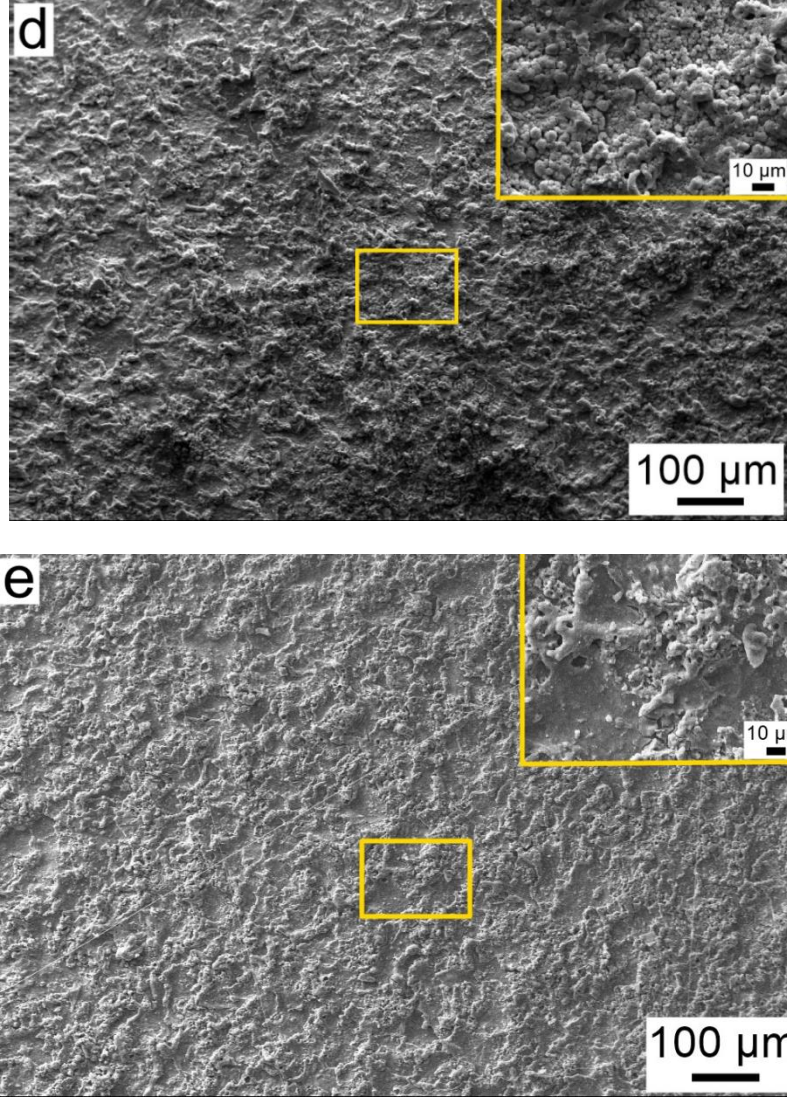


Şekil 4.8. Al₂O₃/B₄C-SiC nanokompozitinin AWJ ile İşleme Yüzeyinin EDS nokta analizi

Çeşitli kompozitler için WED ile işlenmiş yüzeyler Şekil 4.9, Şekil 4.15, Şekil 4.21'de gösterilmektedir. Daha fazla takviyelerin içeriğine sahip kompozitler için daha yüksek yüzey pürüzlülükleri elde edildiği görülmüştür. İşleme süreci sırasında malzemeler erir ve kısmen buharlaşır. Malzemelerin erimiş hali, puls off time (her kıvılcım arasındaki zaman) sırasında, yalıtkan ortam tarafından su ile uzaklaştırılır. Bununla birlikte, eriyen malzemenin üzerindeki miktar, erime havuzunun içinde kalır. Buna, işlenmiş bölgedeki pürüzlü yüzeyi oluşturan beyaz katmanlar veya yeniden biçimlendirme katmanı denir. Öte yandan, çevrim süresi boyunca işlenen bölgede oluşan kraterlerin oluşması, erimiş havuz üzerindeki dalga veya pürüzlü dokuyu oluşturur. Daha fazla takviye içeriğinin ilavesi ile, partiküllerin erime noktası matrise göre farklılık gösterdiğinden, işleme sürecinde takviye içeriğinin tamamen erimesi engellenir. İşleme esnasında partiküller ile matris bağı arasındaki bölge, Puls off time sırasında eritilir ve eriyen kısım akıp gider. Bu işlem esnasında partiküller, tamamen erimemiş bile olsa, matrisle bağlanır. Bu durum, erime havuzunda dalgalı yüzeyi oluşturur ve düşük yüzey kalitesi ile sonuçlanır.

4.1.6. Hibrit nanokompozitler için (Al2024/B₄C-SiC) WED ile işleme yüzeyinin iç yapı (SEM) görüntüleri

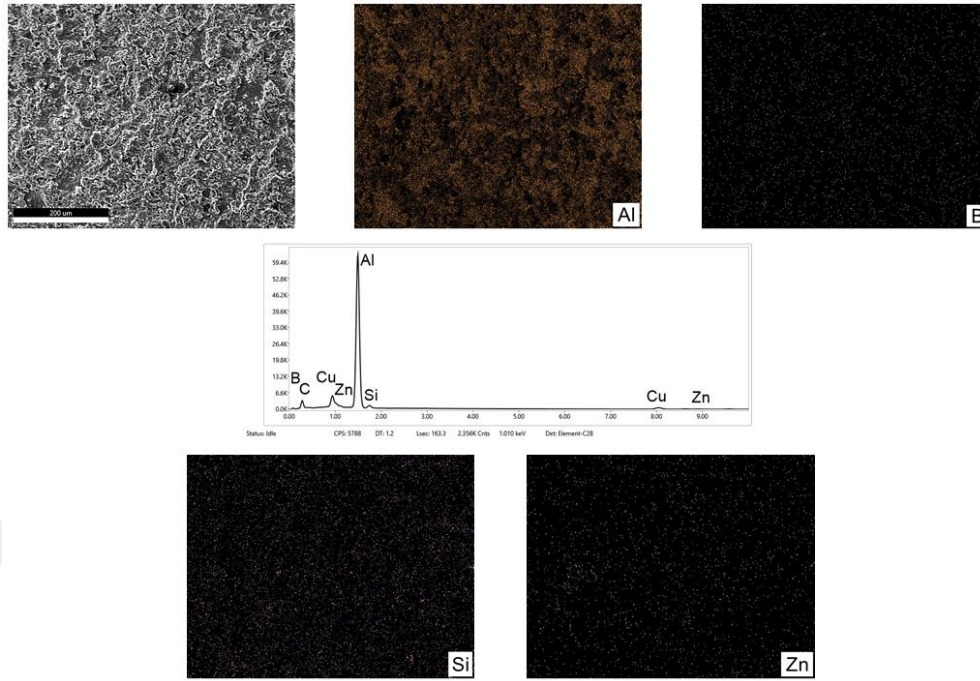




Şekil 4.9. Hibrit Nano kompozitler için (Al_{2024}/B_4C-SiC) WED ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri (a)WED Al_{2024} (b) WED BorSi 1, (c) WED BorSi2, (d) WED BorSi 3, (e) WED BorSi 4

WED ile işlenmiş yüzey üzerindeki numunelerin EDS haritalaması sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.16, Şekil 4.22’de ve CNC ile işlenmiş yüzey üzerindeki numunelerin EDS haritalaması sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.18, Şekil 4.24’te AWJ ile işlenmiş yüzey üzerindeki numunelerin EDS haritalaması ise Şekil 4.8’te sunulmuştur. Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Al_{2024} alaşımının başlıca alaşım elementlerini gösterir ve takviye partikülleri analizden anlaşılır. WED işleme süreci sırasında, aşınmış elektrot bazen iş parçası malzemeleri üzerinde birikir. Bu, Puls Off Time sırasında lokal bölgelerde etkili bir talaş uzaklaştırma olmaması nedeniyle meydana gelir. Bu nedenle elektrot, işleme bölgesinin üzerinde birikir ve yeniden katılaşır. İşlenmiş yüzeydeki tel elektrotun varlığı, EDS haritalamasından da anlaşılır (Şekil 4.10, Şekil 4.16, Şekil 4.22).

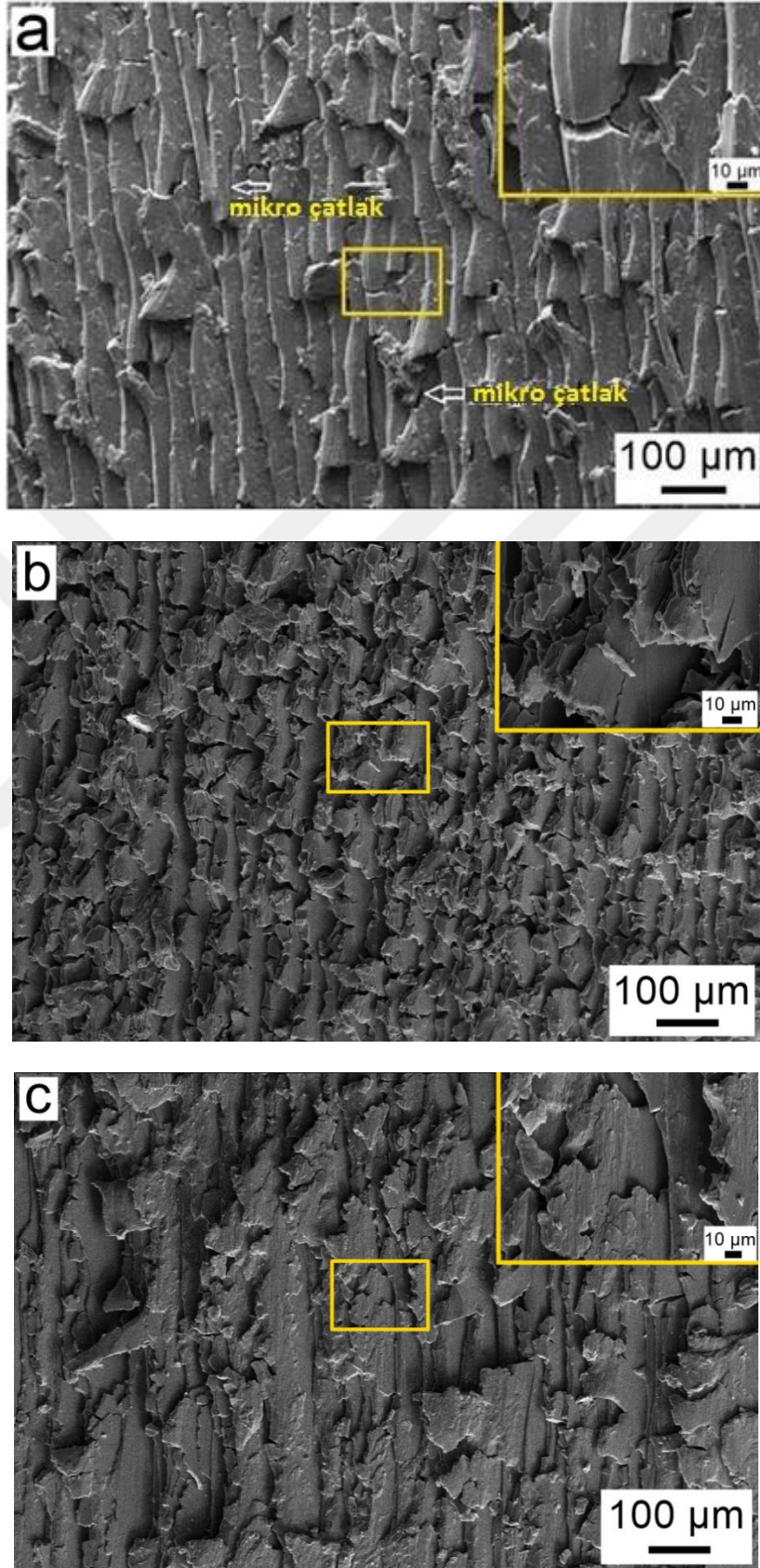
4.1.7. Hibrit nanokompozitler için (Al₂O₃/B₄C-SiC) WED ile işleme yüzeyinin noktasal EDS analiz görüntüleri

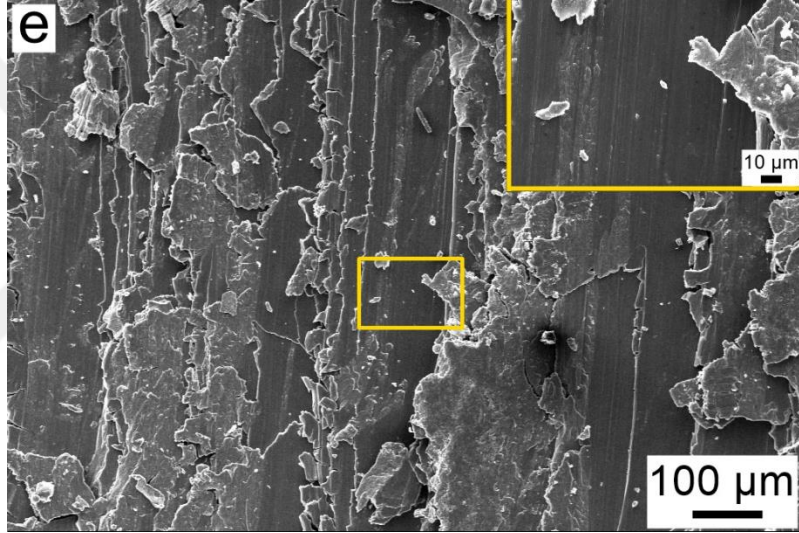
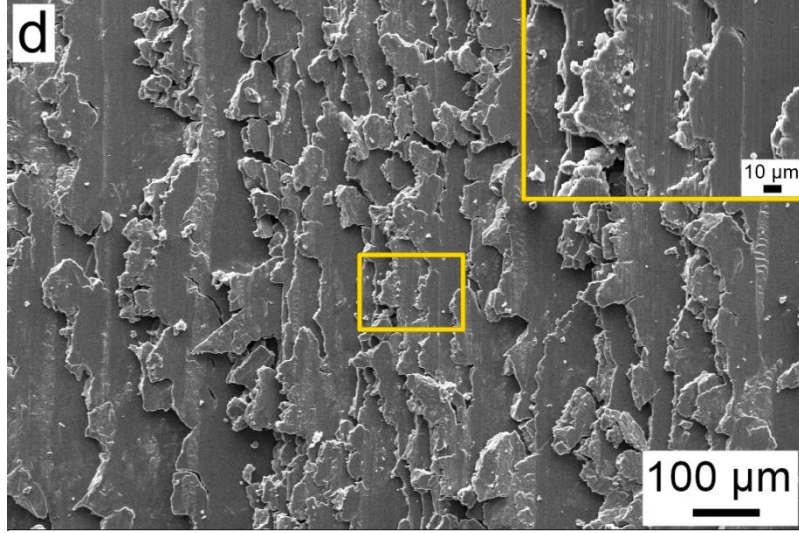


Şekil 4.10. Al₂O₃/B₄C-SiC nanokompozitinin WED ile İşleme Yüzeyinin noktasal EDS analizi

CNC dikey işleme merkezi ile işlenmiş yüzeylerde, çok pürüzlü bir yapı ve sert katmanlar oluşur ve diğer iki işleme sürecine kıyasla daha yüksek pürüzlülük ile sonuçlanır (Şekil 4.11, Şekil 4.17, Şekil 4.23). Maksimum takviye içeriğine sahip olan işleme sürecine sahip kompozitler, diğer kompozitlere oranla daha yüksek pürüzlülüğe sahiptir. Matris yapısına B₄C ve SiC gibi yüksek sertlikte seramikler ilave edildiğinde, işleme yüzeylerindeki çukurlar, boşluklar ve oluklar nedeniyle işleme sonucunda elde edilen nihai yüzeyde doğal olarak değişir. Matris yapıya eklenen takviye miktarı arttırıldığı zaman işlenen yüzeylerdeki çukur, boşluk ve oluk miktarı daha da artar. Bu artışın nedeni, artan gerilme konsantrasyonu ve artan takviye hacmi ile, homojen olmayan plastik deformasyondan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, takviye oranındaki artışla, kesici takım veya kesme malzemesi daha hızlı aşınır ve bu nedenle daha kötü bir nihai yüzey elde edilir (Li ve ark., 2001, Ge ve ark., 2008).

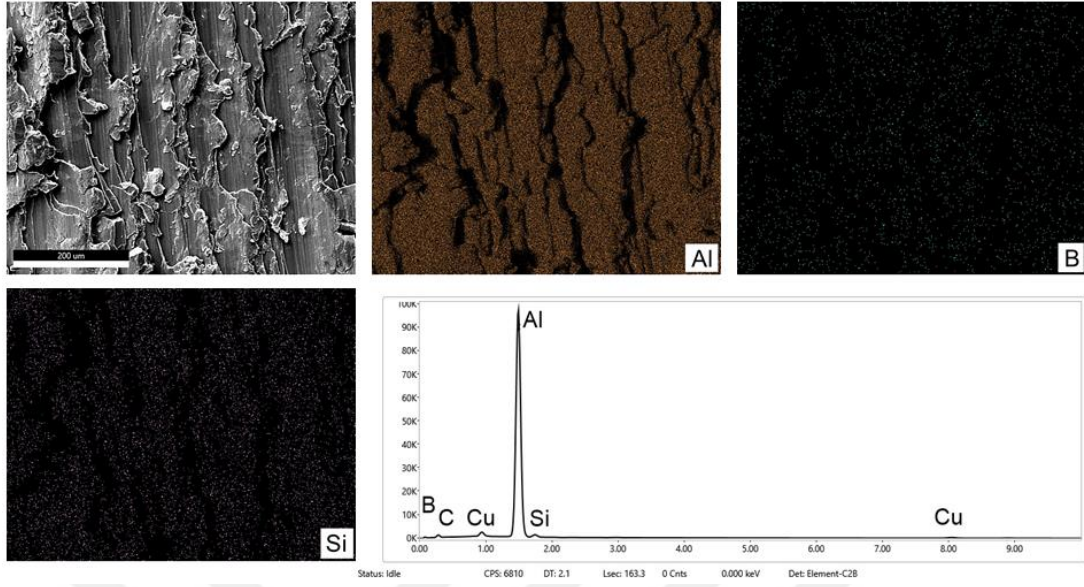
4.1.8. Hibrit nanokompozitler için (Al2024/B₄C-SiC) CNC dik işleme merkezi ile işleme yüzeyinin iç yapı (SEM) görüntüleri





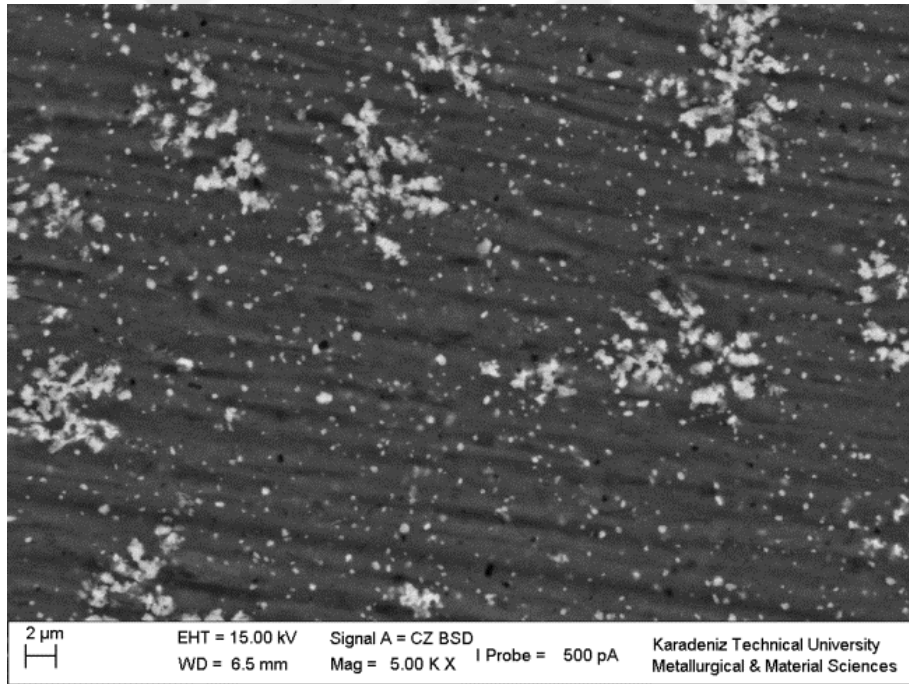
Şekil 4.11. Hibrit Nano kompozitler için (Al₂O₃/B₄C-SiC) CNC ile İşleme Yüzeyinin İç Yapı (SEM) Görüntüleri (a)CNC Al₂O₃ (b) CNC BorSi 1, (c) CNC BorSi₂, (d) CNC BorSi 3, (e) CNC BorSi 4

4.1.9. Hibrit nanokompozitler için (Al₂O₃/B₄C-SiC) CNC dik işleme merkezi ile işleme yüzeyinin noktasal EDS analiz görüntüleri

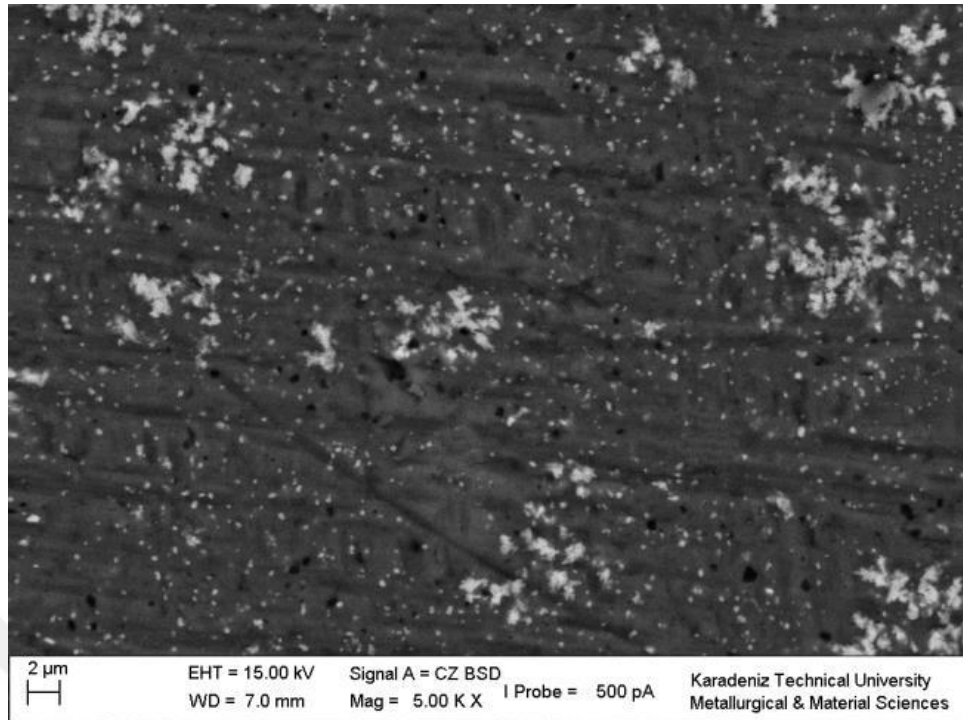


Şekil 4.12. Al₂O₃/B₄C-SiC nanokompozitinin CNC ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi

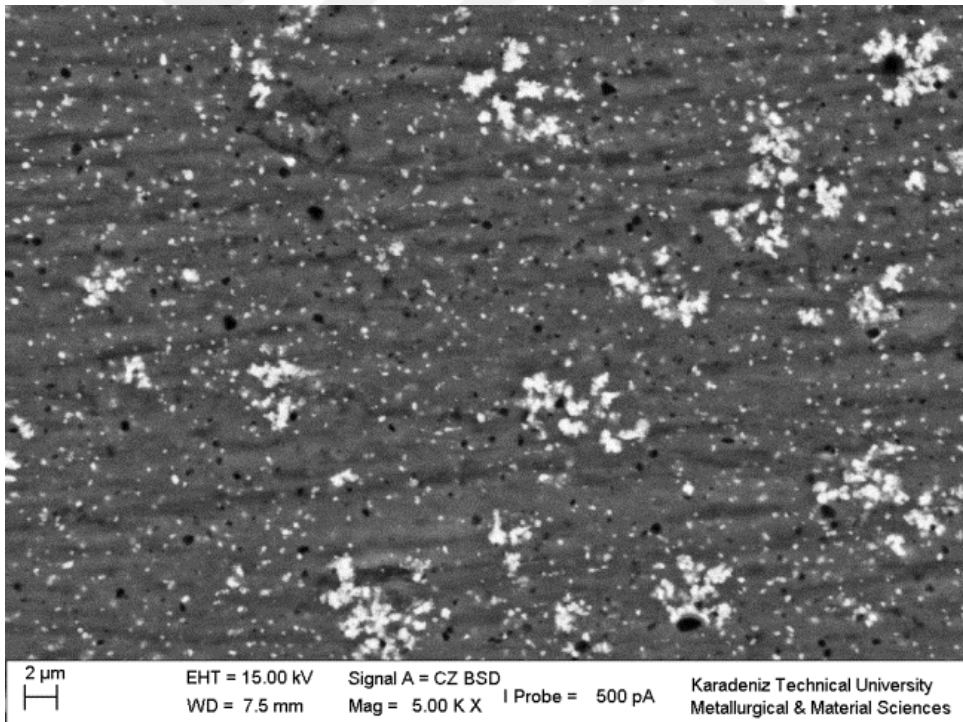
4.1.10. Al₂O₃/B₄C nanokompozitlerinin iç yapı (SEM) görüntüleri



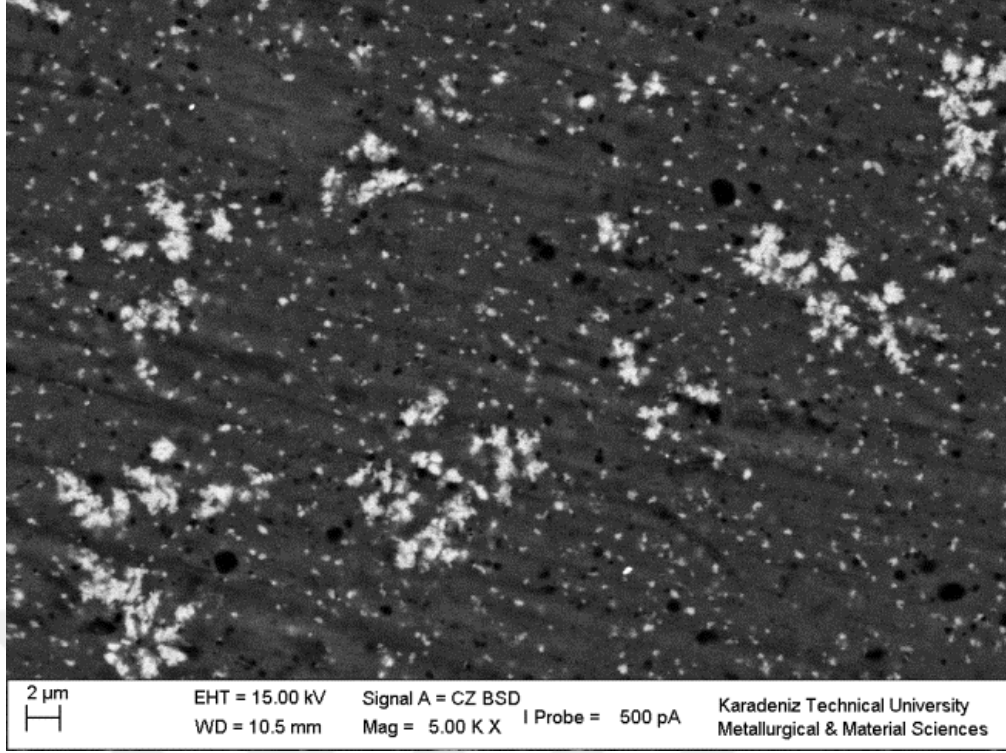
(a)



(b)



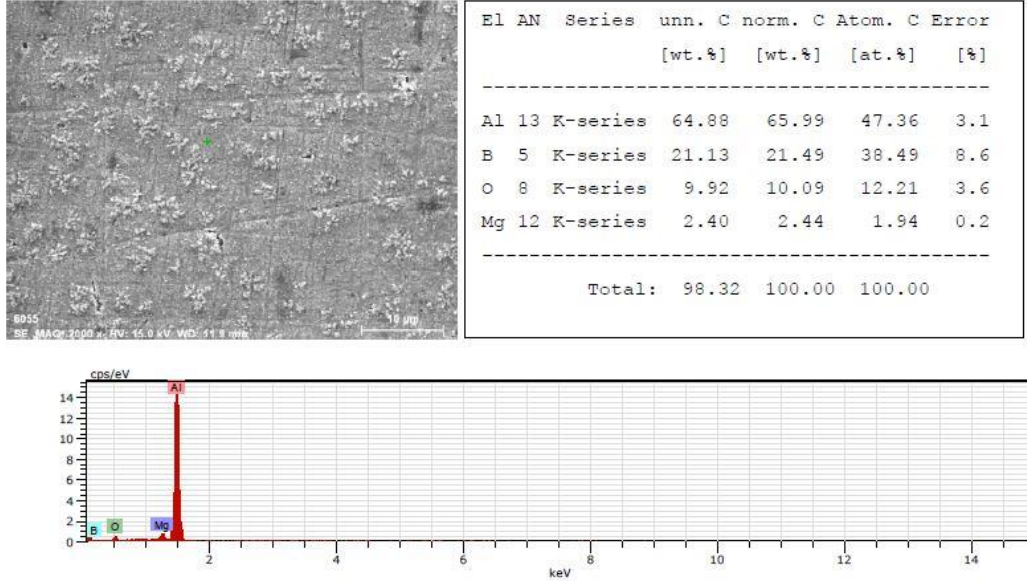
(c)



(d)

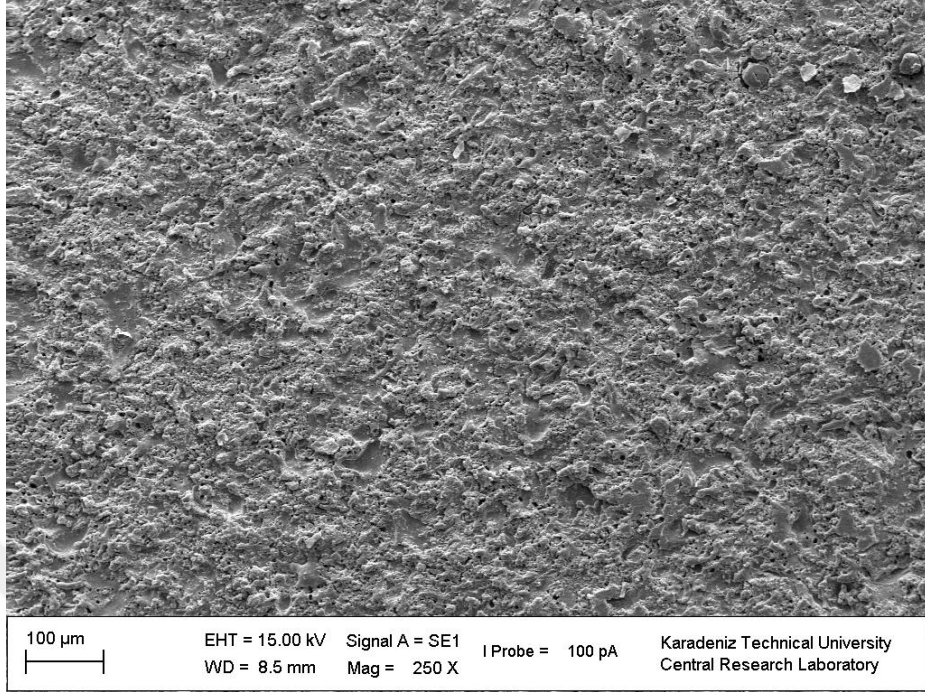
Şekil 4.13. Al2024/B₄C nanokompozitlerin mikroyapı görüntüleri (a) Bor 1
(b) Bor 2 (c) Bor 3 (d) Bor 4

4.1.11. Al2024/B₄C nanokompozitlerinin noktasal EDS analiz görüntüleri

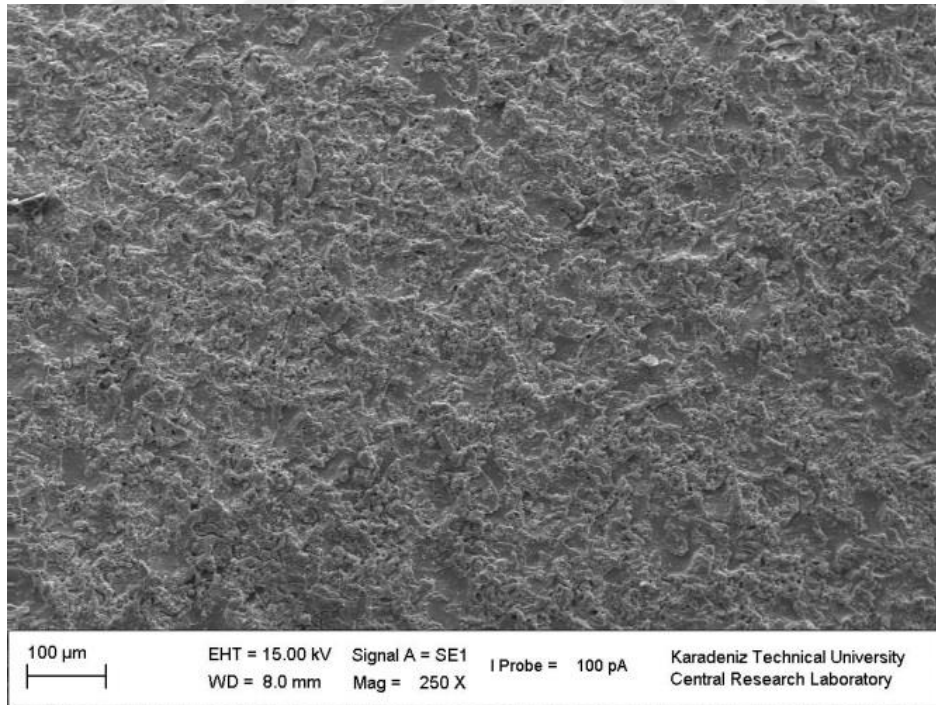


Şekil 4.14. Al2024/B₄C nanokompozitinin Yüzeyinin nokta analizi

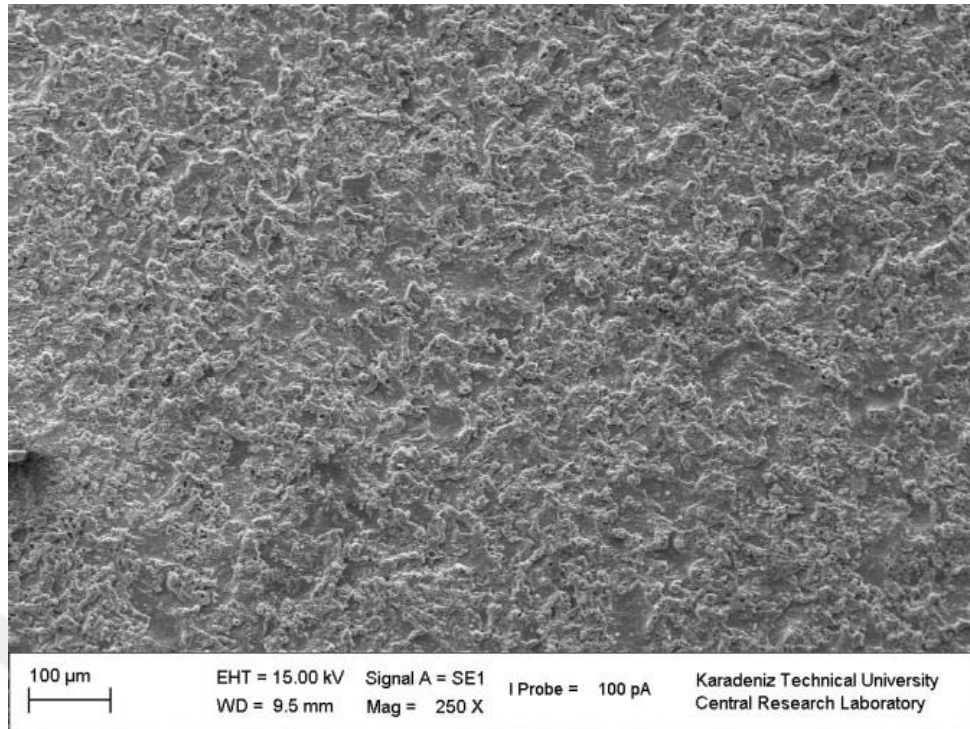
4.1.12. Al₂O₃/B₄C nanokompozitlerinin WED ile işleme yüzeyinin iç yapı (SEM) görüntüleri



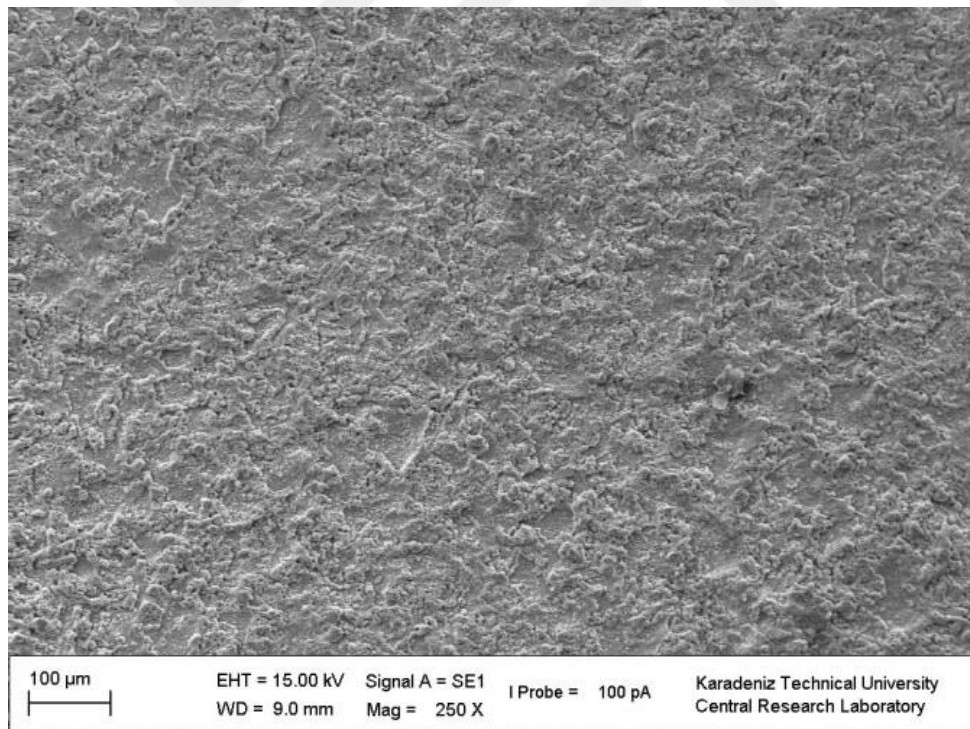
(a)



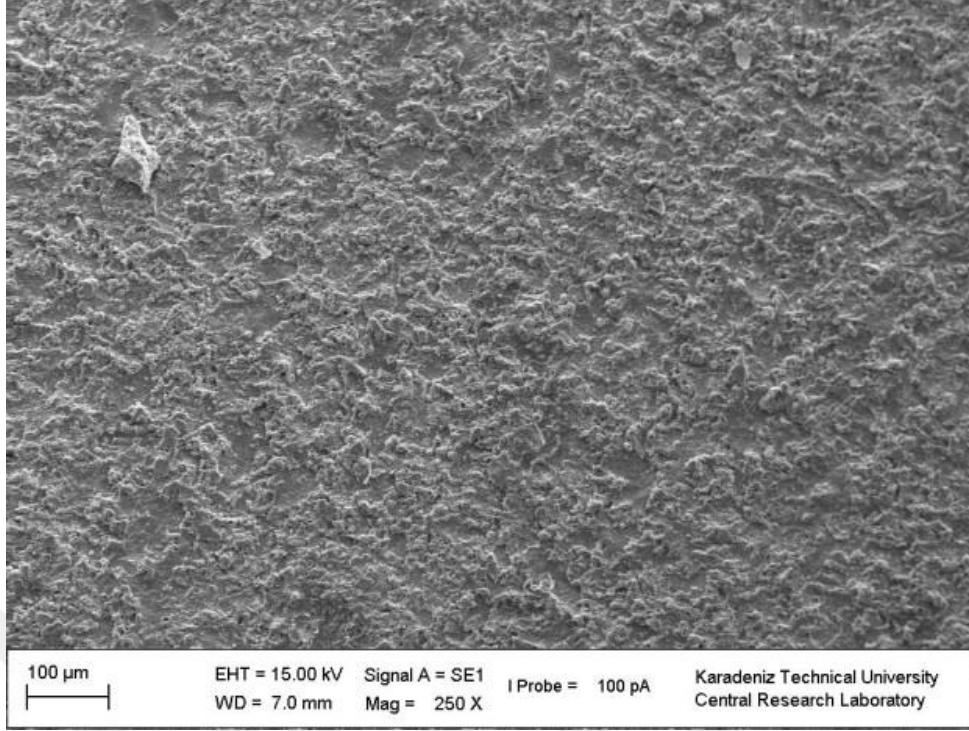
(b)



(c)

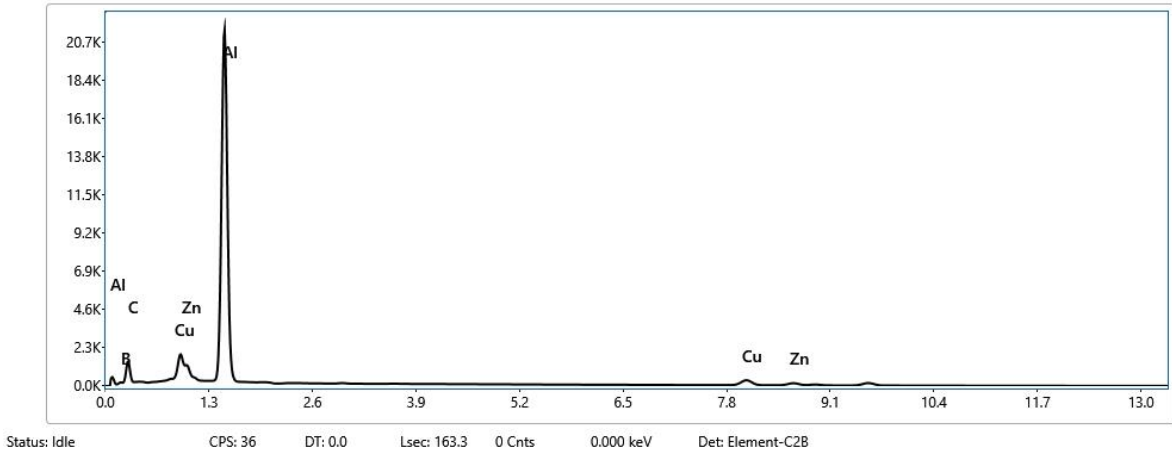


(d)



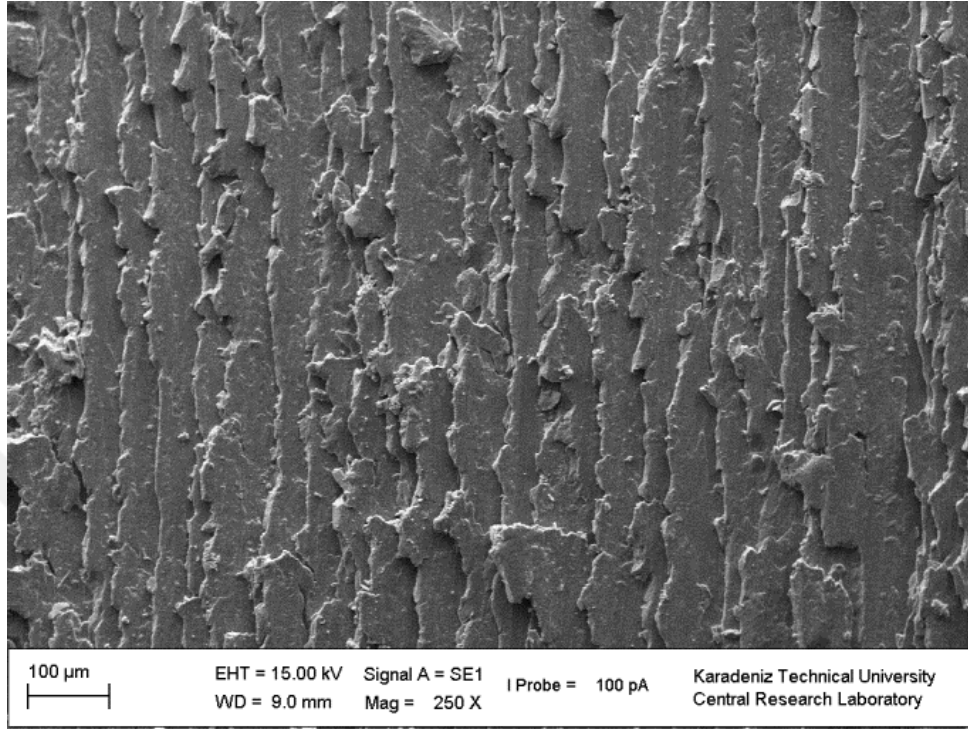
Şekil 4.15. Al2024/B₄C nanokompozitlerin WED mikroyapı görüntüleri (a) Al2024
(b) Bor 1 (c) Bor 2 (d) Bor 3 e) Bor 4

4.1.13. Al2024/B₄C nanokompozitlerinin WED ile işleme yüzeyinin noktasal EDS analiz görüntüleri

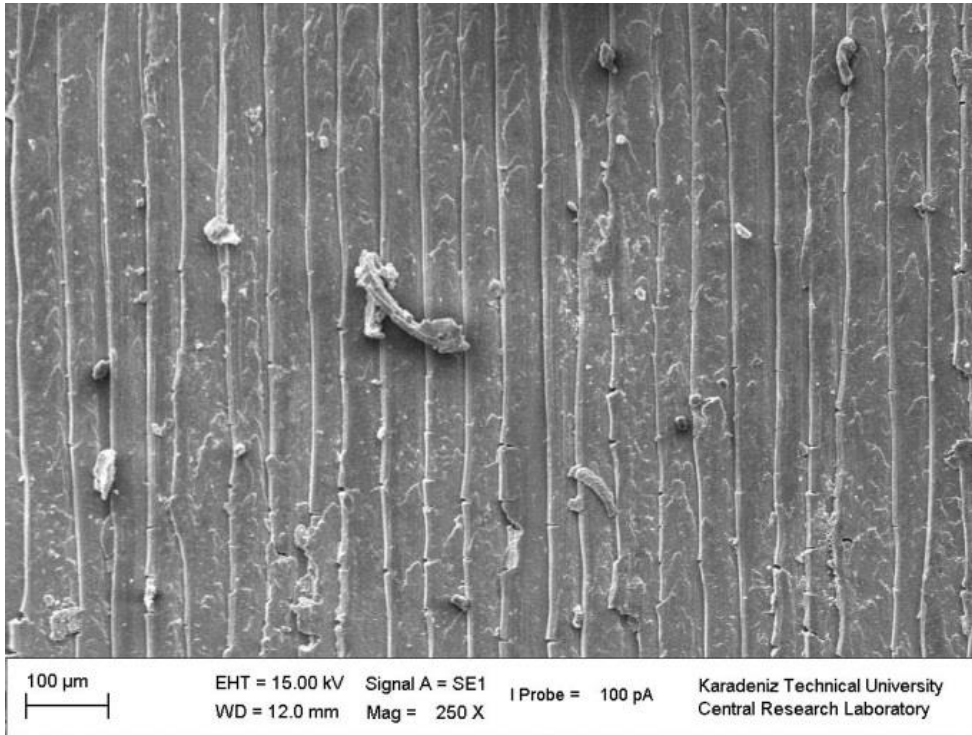


Şekil 4.16. Al2024/B₄C nanokompozitinin WED ile İşleme Yüzeyinin
nokta analizi

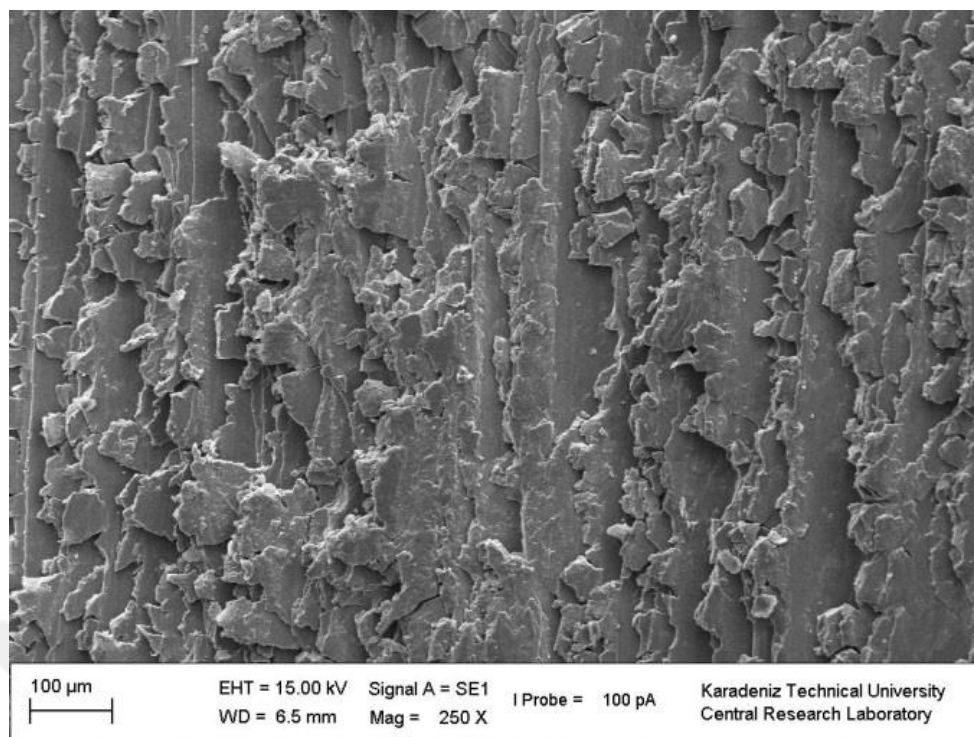
4.1.14. Al₂O₃/B₄C nanokompozitlerinin CNC dik işleme merkezi ile işleme yüzeyinin iç yapı (SEM) görüntüleri



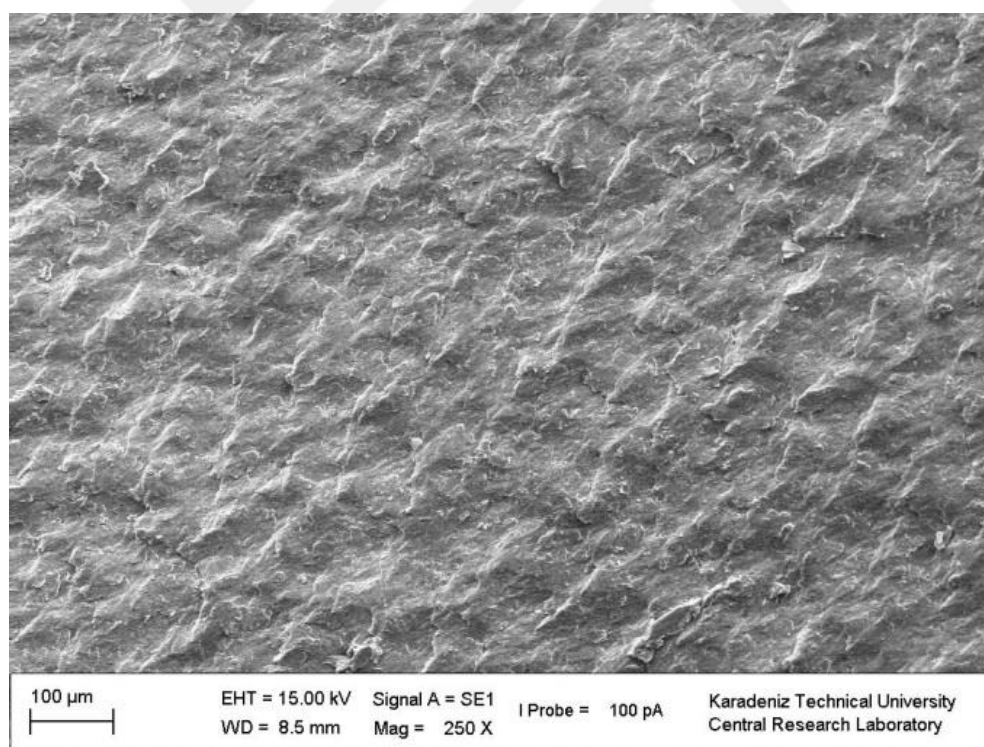
(a)



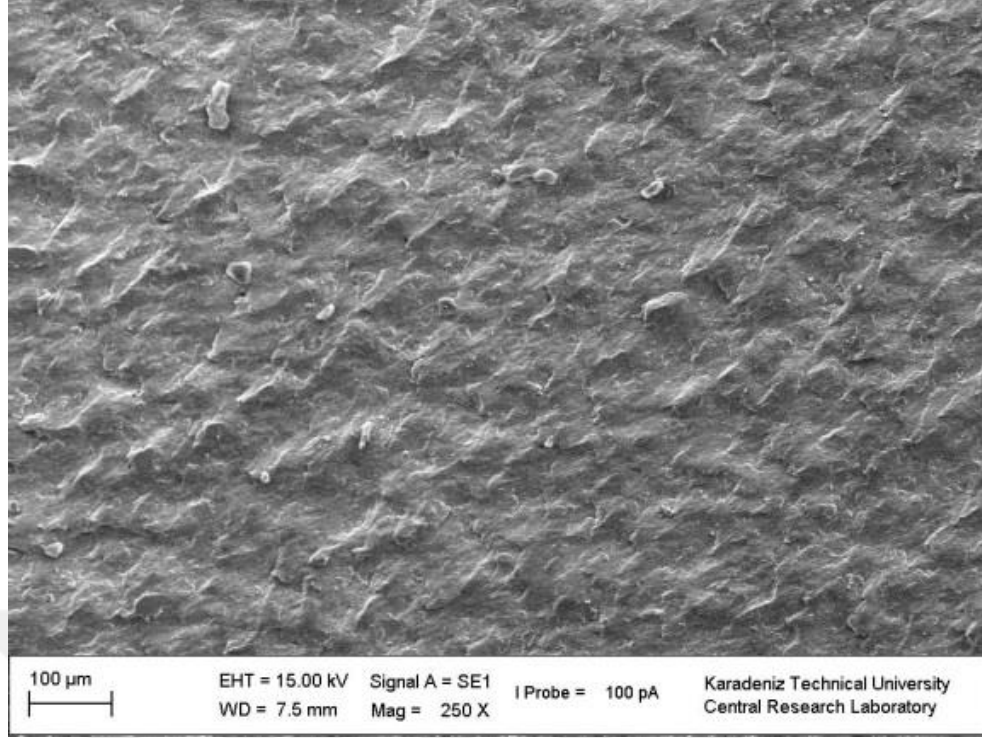
(b)



(c)



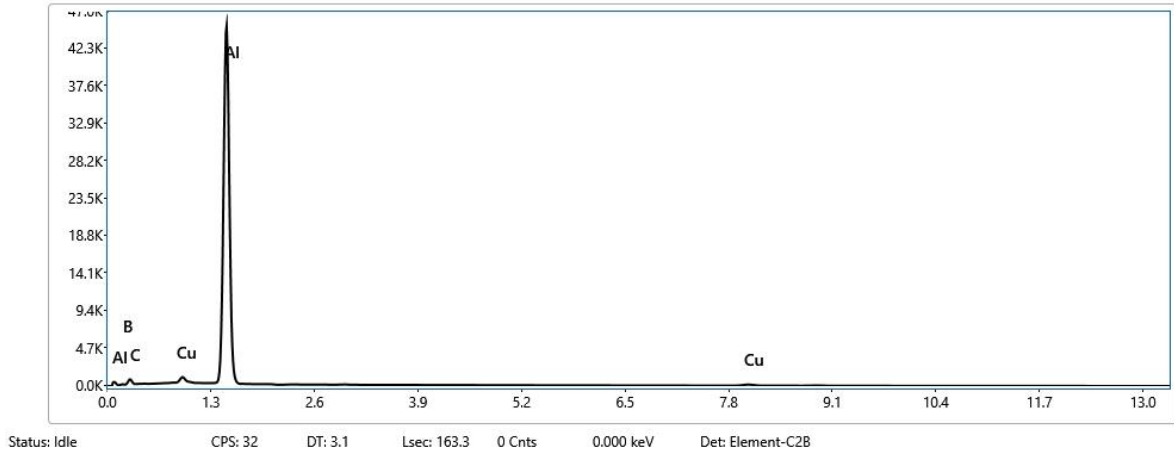
(d)



(e)

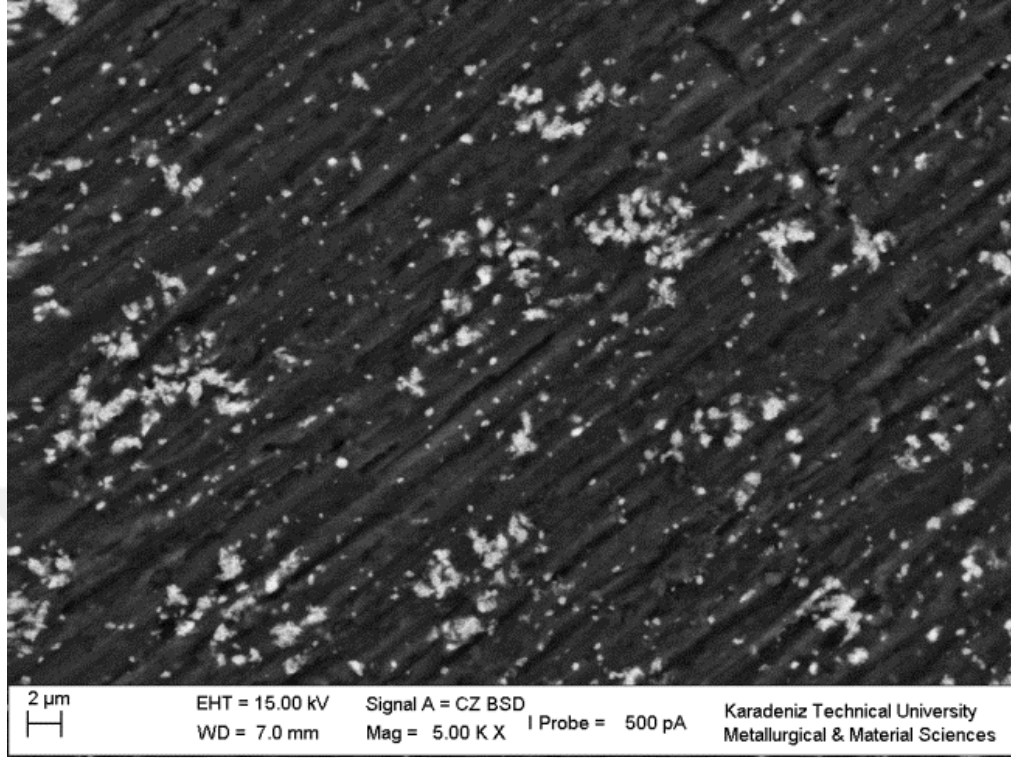
Şekil 4.17. Al2024/B₄C nanokompozitlerin CNC mikroyapı görüntüleri (a) Al2024 (b) Bor 1 (c) Bor 2 (d) Bor 3 e) Bor 4

4.1.15. Al2024/B₄C nanokompozitlerinin CNC dik işleme merkezi ile işleme yüzeyinin noktasal EDS analiz görüntüleri

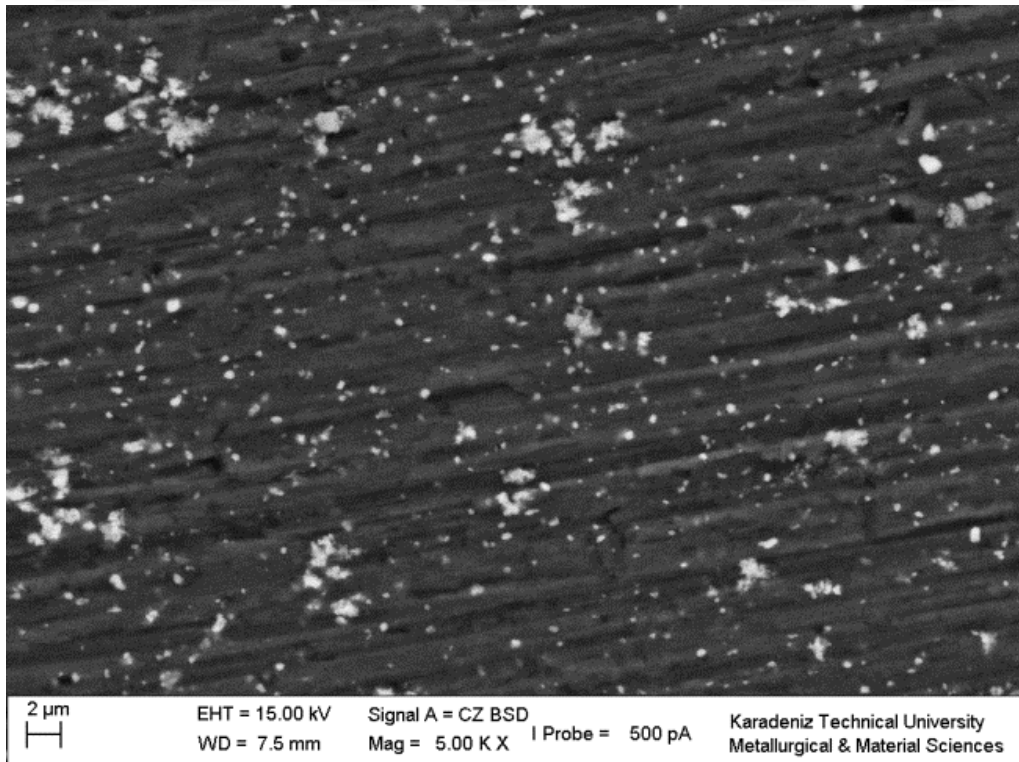


Şekil 4.18. Al2024/B₄C nanokompozitinin CNC Dik İşleme Merkezi ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi

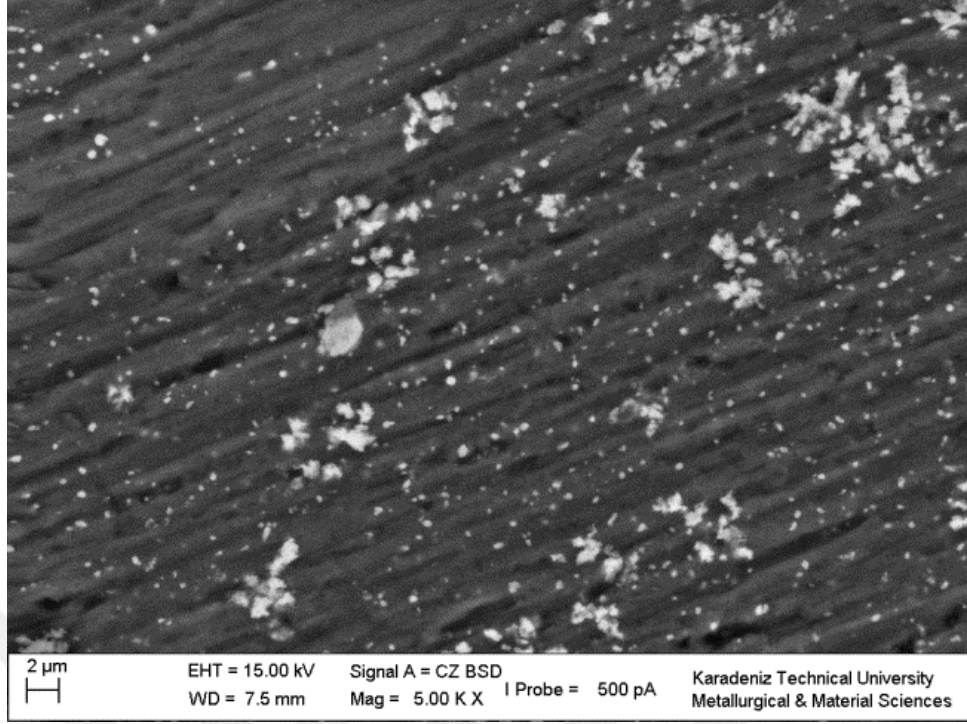
4.1.16. Al₂O₃/SiC nanokompozitlerinin iç yapı (SEM) görüntüleri



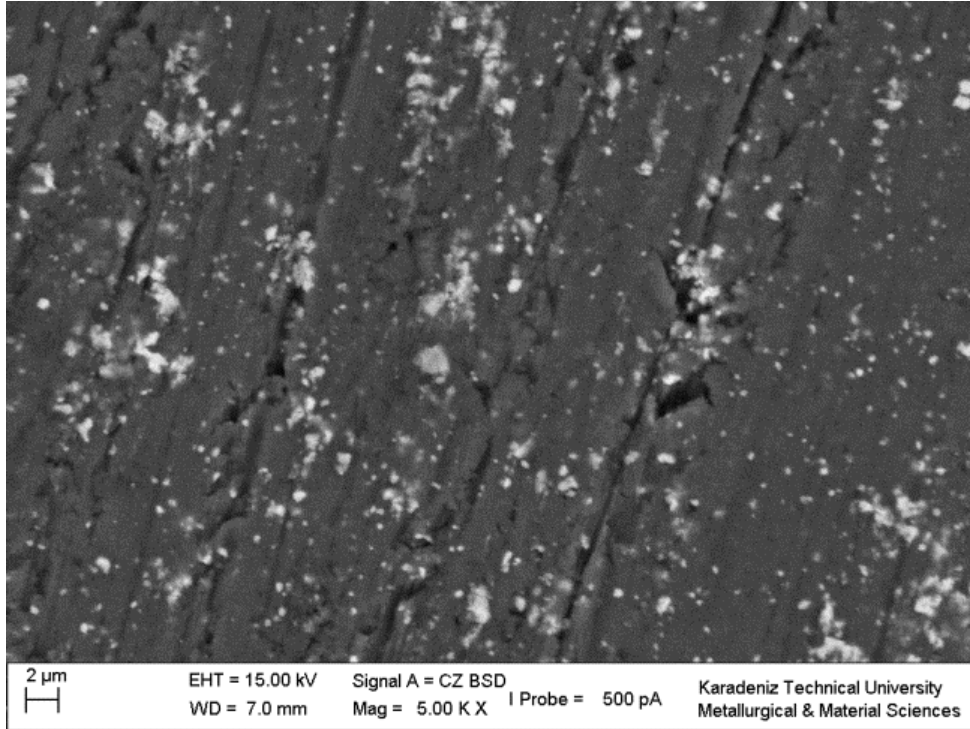
(a)



(b)



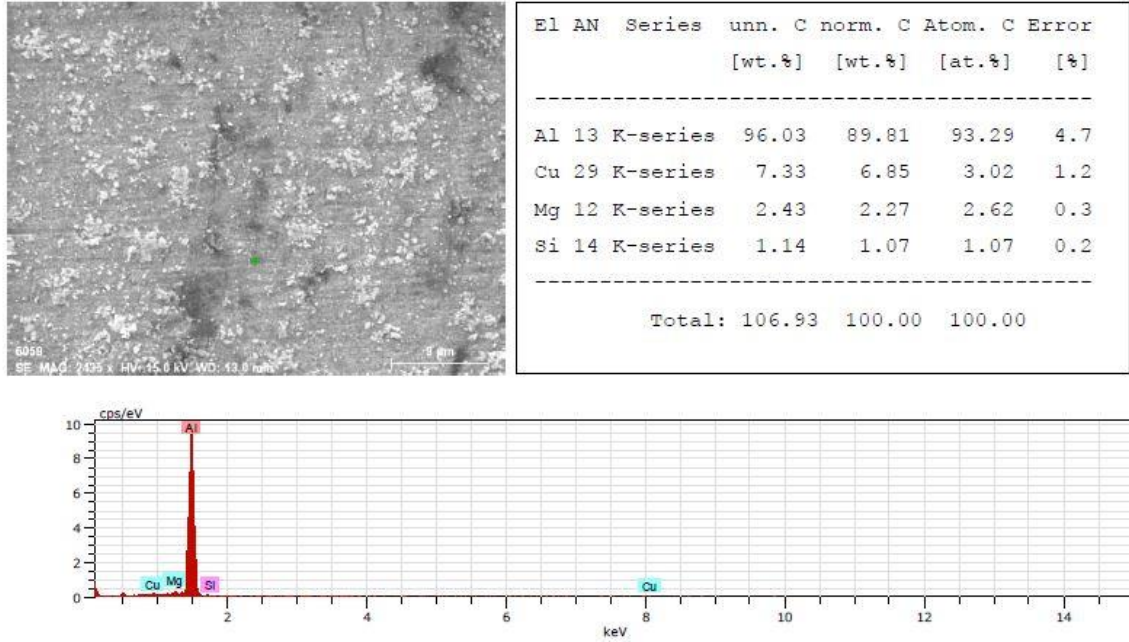
(c)



(d)

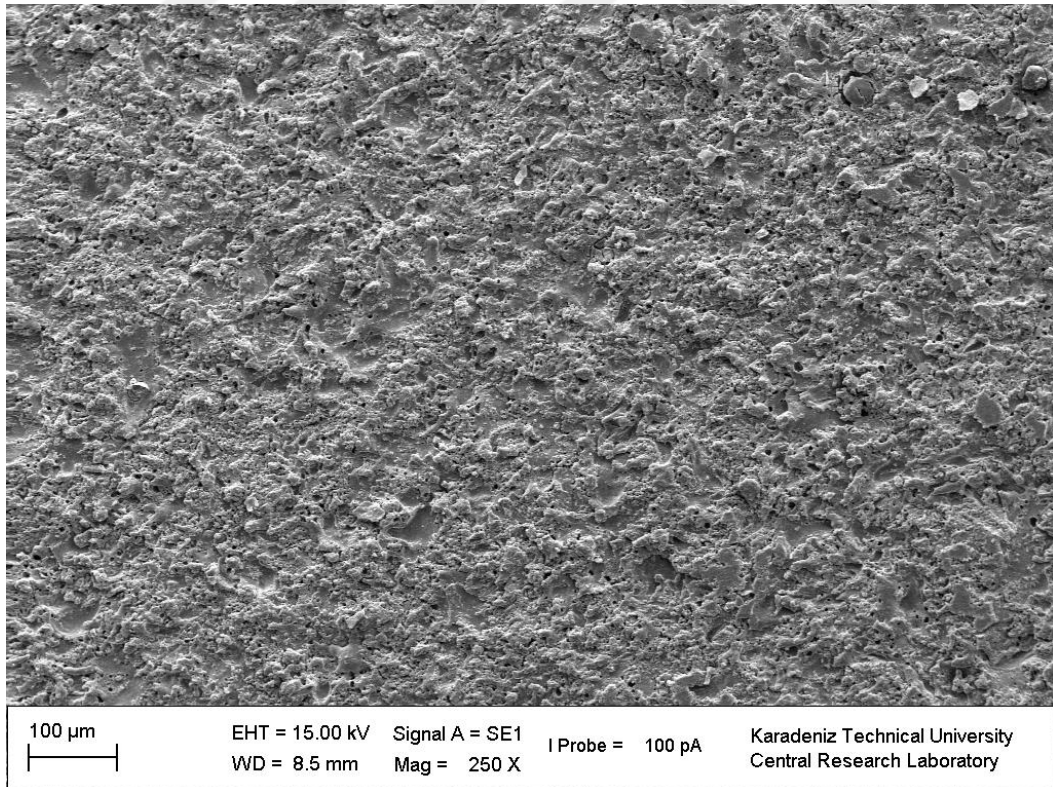
Şekil 4.19. Al2024/SiC nanokompozitlerin mikroyapı görüntüleri (a) Si 1(b) Si 2
(c) Si 3 (d) Si 4

4.1.17. Al₂O₃/SiC nanokompozitlerinin noktasal EDS analiz görüntüleri

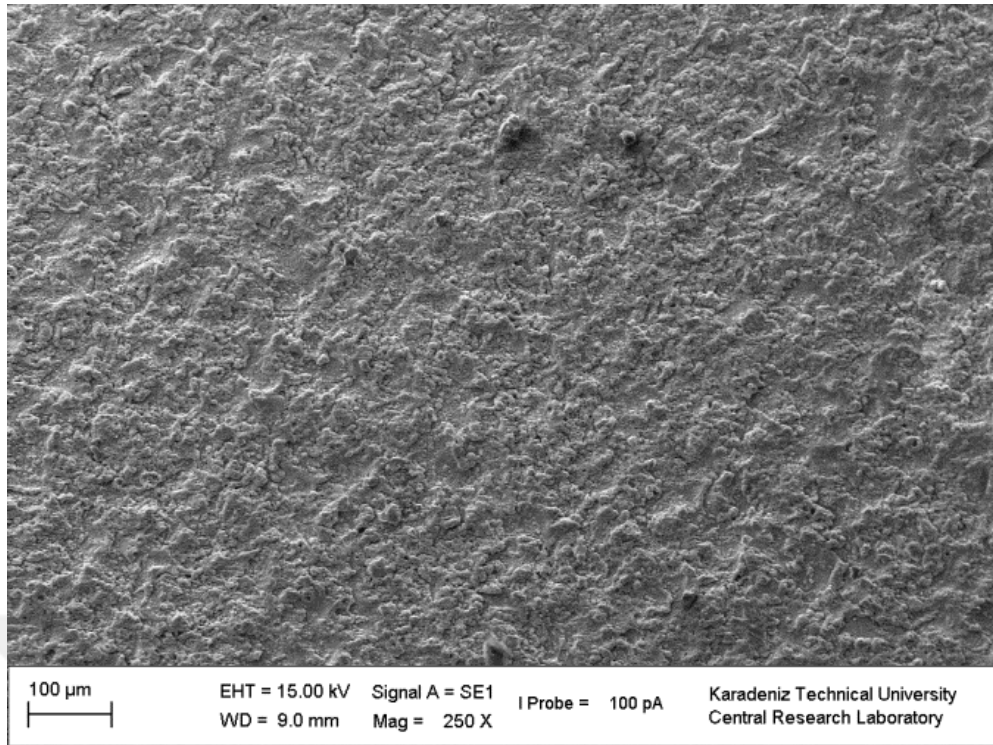


Şekil 4.20. Al₂O₃/SiC nanokompozitinin Yüzeyinin nokta analizi

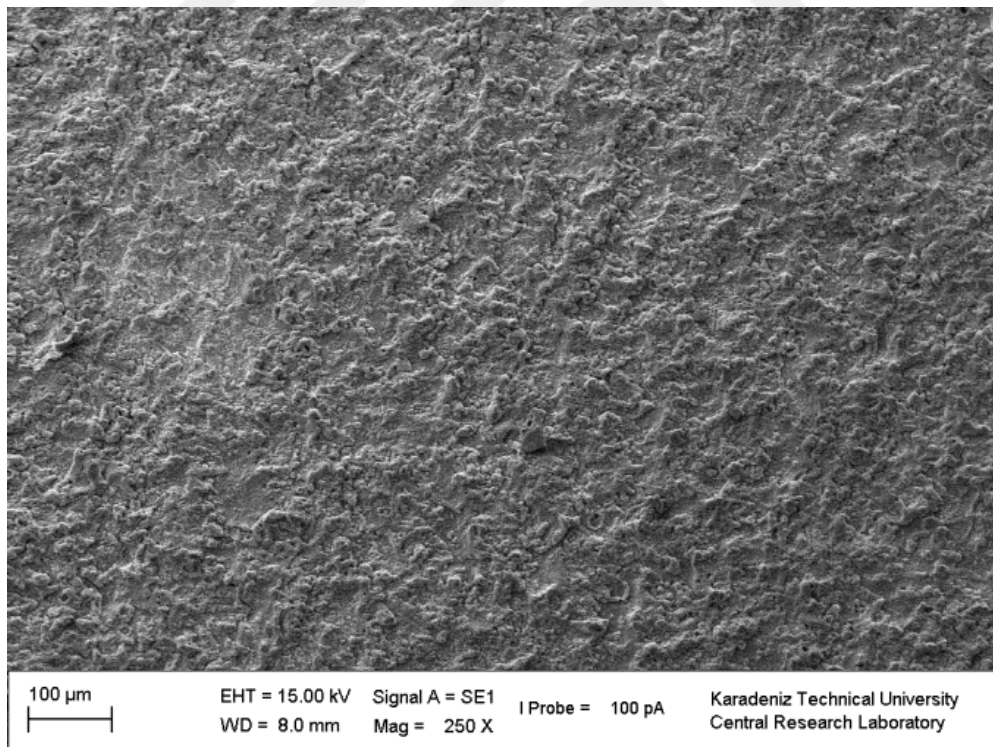
4.1.18. Al₂O₃/SiC nanokompozitlerinin WED ile işleme yüzeyinin iç yapı (SEM) görüntüleri



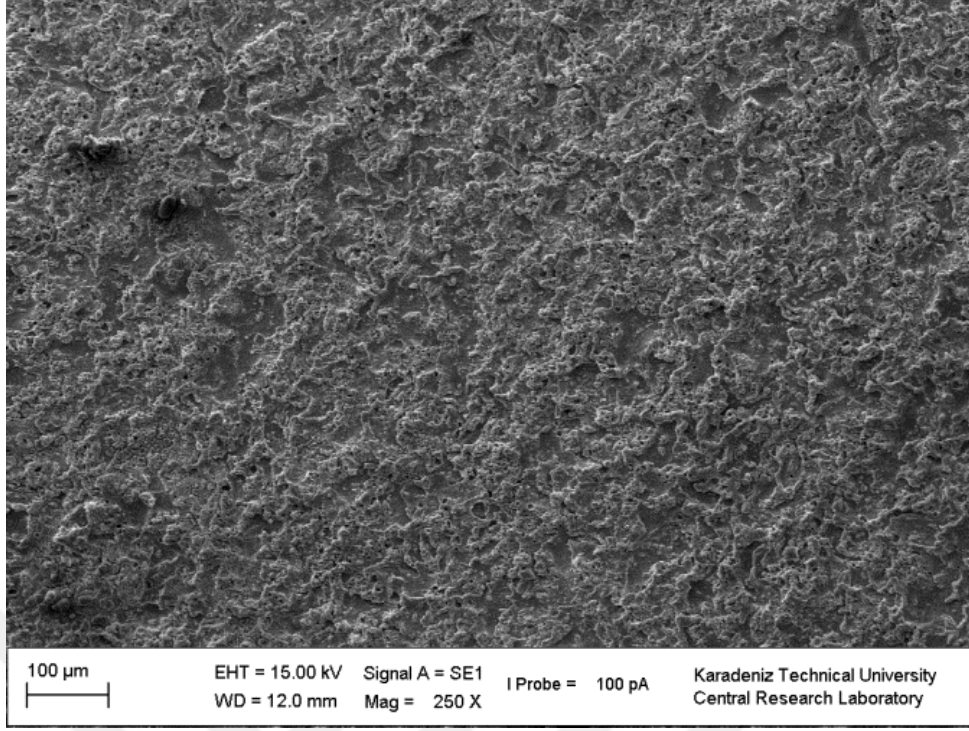
(a)



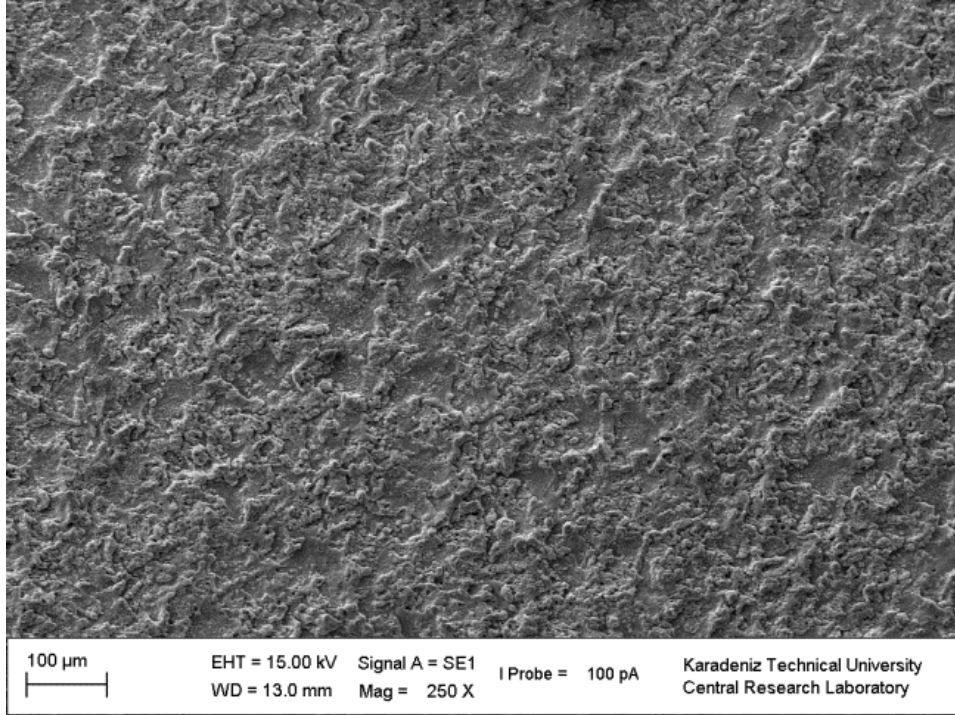
(b)



(c)



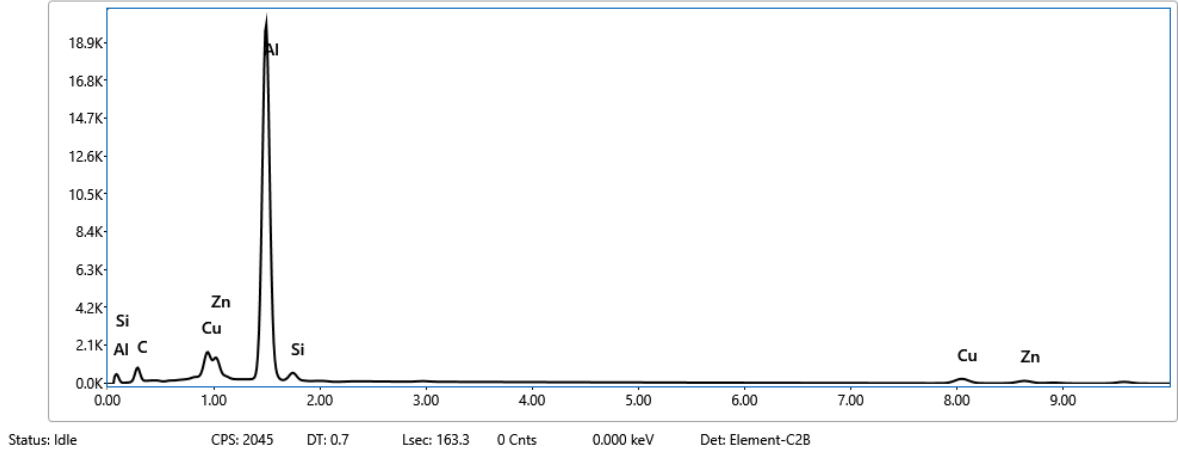
(d)



(e)

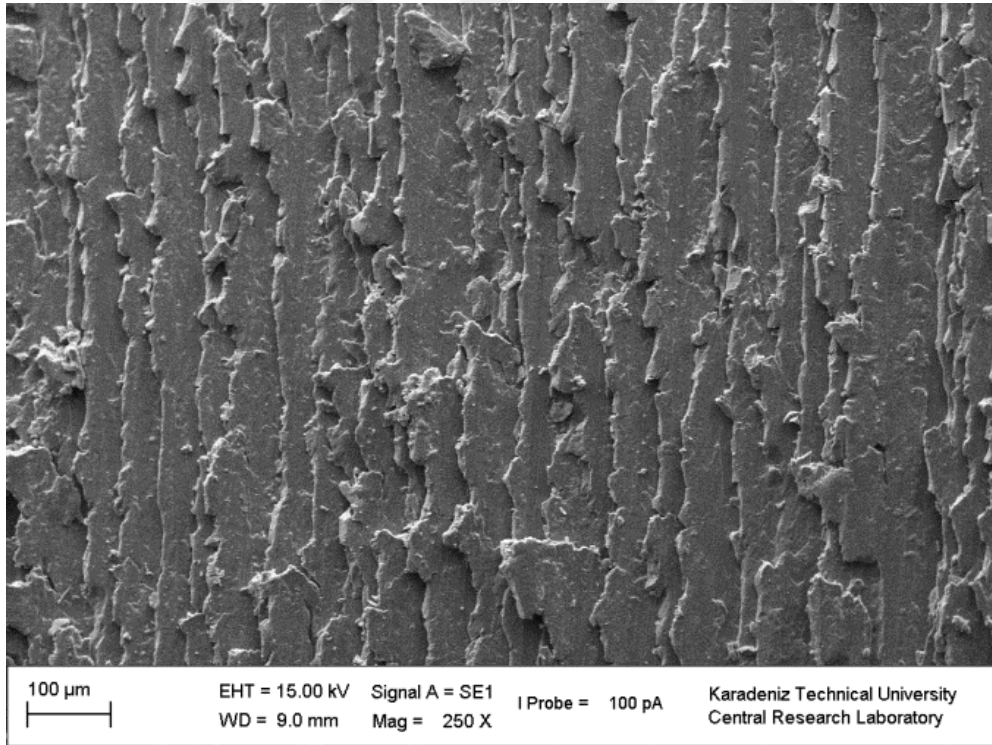
Şekil 4.21. Al2024/ SiC nanokompozitlerin WED mikroyapı görüntüleri (a) Al2024 (b)Si 1 (c) Si 2 (d) Si 3 (e) Si 4

4.1.19. Al₂O₃/SiC nanokompozitlerinin WED ile işleme yüzeyinin noktasal EDS analiz görüntüleri

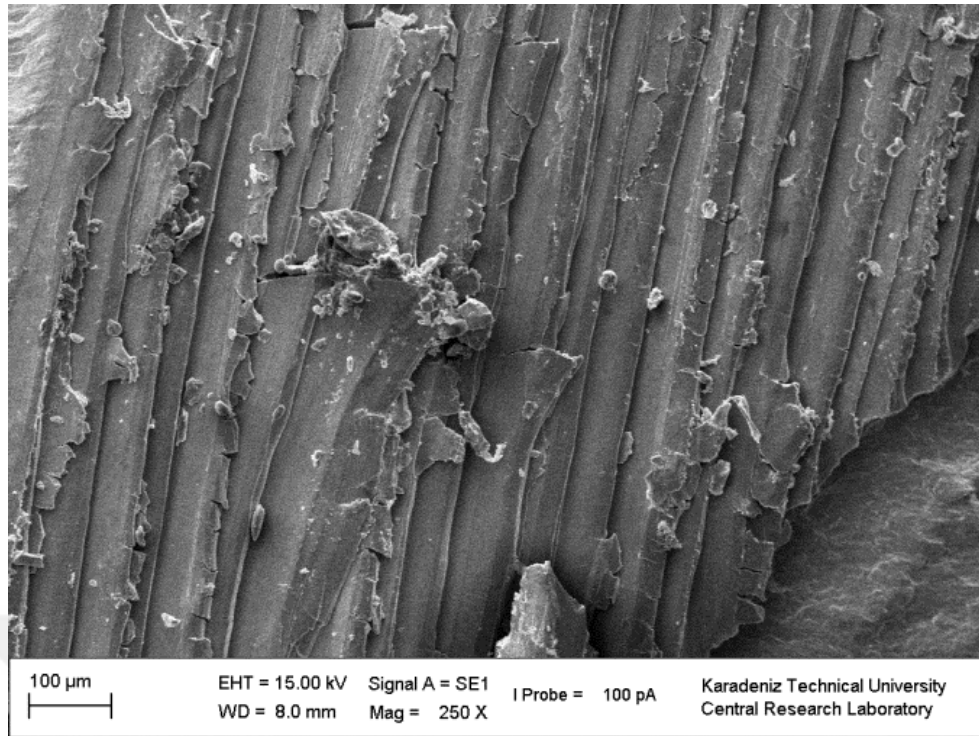


Şekil 4.22. Al₂O₃/ SiC nanokompozitinin WED ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi

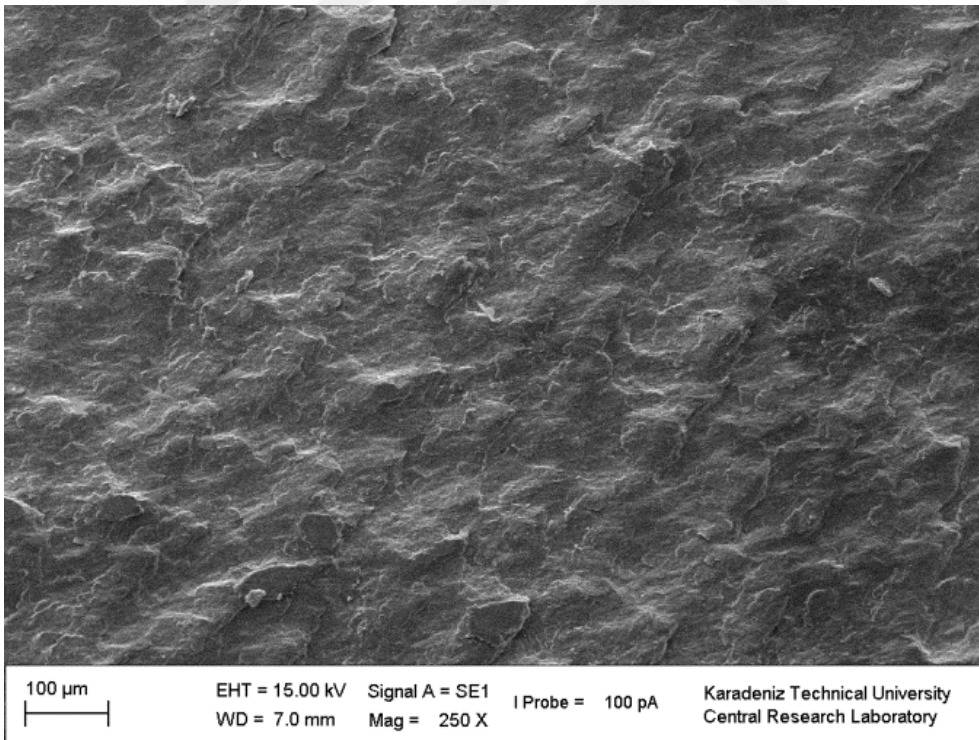
4.1.20. Al₂O₃/SiC nanokompozitlerinin CNC dik işleme merkezi ile işleme yüzeyinin iç yapı (SEM) görüntüleri



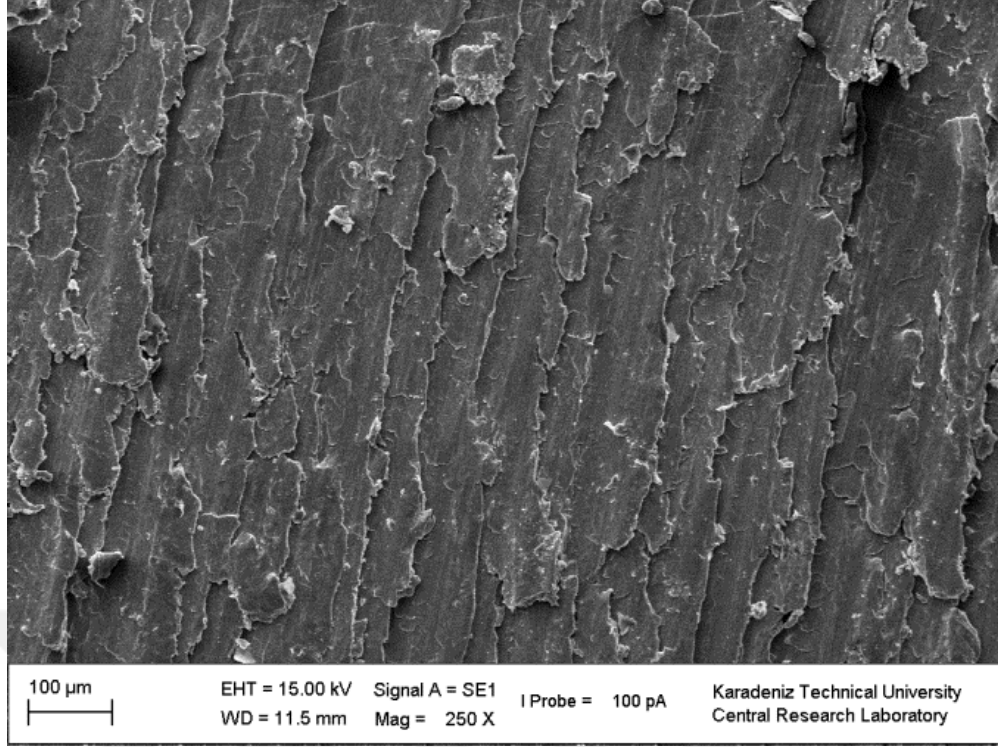
(a)



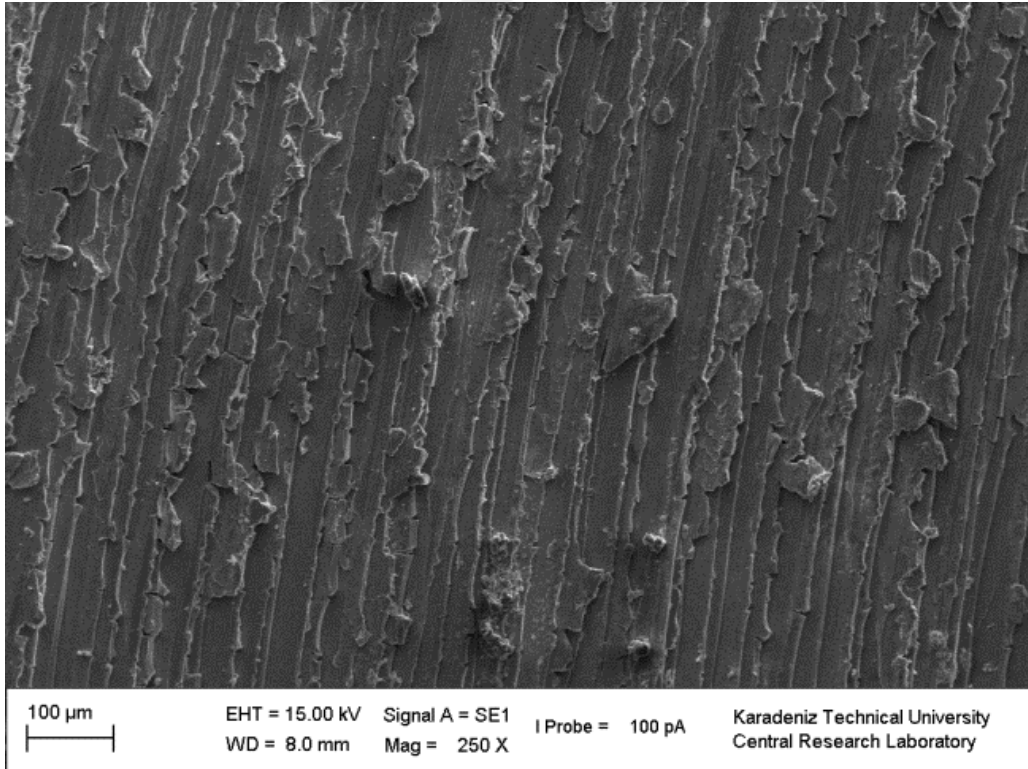
(b)



(c)



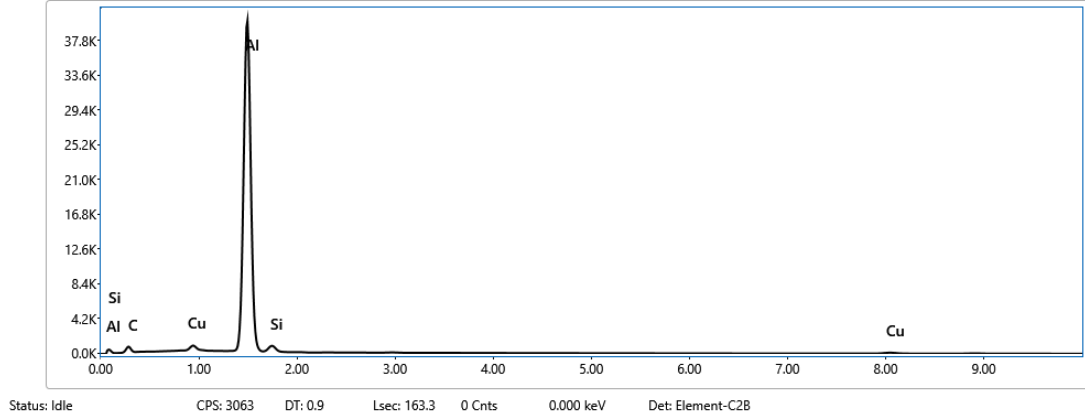
(d)



(e)

Şekil 4.23. Al₂₀₂₄/ SiC nanokompozitlerin CNC mikroyapı görüntüleri (a) Al₂₀₂₄(b)Si 1 (c) Si 2 (d) Si 3 (e) Si 4

4.1.21. Al₂O₃/SiC nanokompozitlerinin CNC dik işleme merkezi ile işleme yüzeyinin noktasal EDS analiz görüntüleri



Şekil 4.24. Al₂O₃/ SiC nanokompozitinin CNC Dik İşleme Merkezi ile İşleme Yüzeyinin nokta analizi

4.2. Üretilen Kompozitlerin Özellikleri

4.2.1. Sertlik değerleri

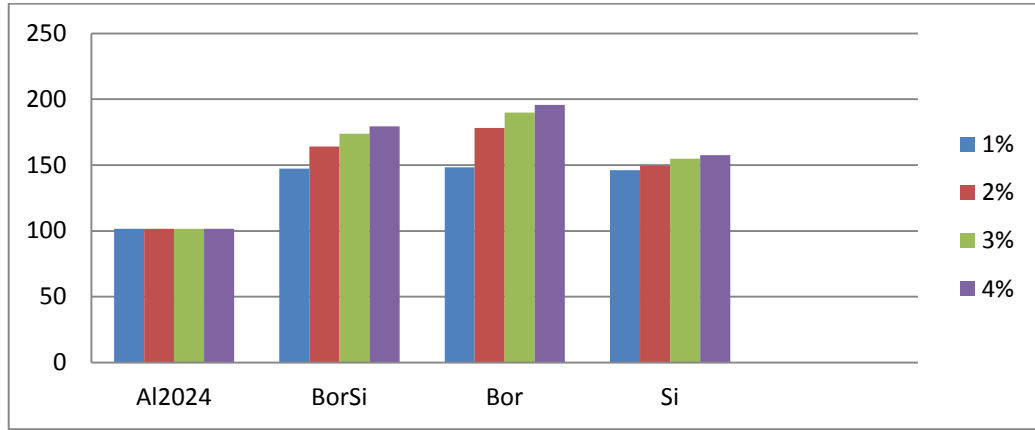
Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3 kıyaslandığında, tüm işleme prosesleri için sertlik değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Malzeme üzerindeki kayma deformasyonu, kesme derinliği küçük olsa bile işleme süresi boyunca yükselir. Bu, numune malzemelerde sertlikte kayda değer bir artışa neden olur ve işlenmiş yüzey üzerinde büyük ölçüde sertleştirilmiş bir tabaka oluşumunu destekler. Bu nedenle CNC ile işlenmiş yüzeyde sertlik artar. WED ile işleme durumunda ise, malzemeyi eritmek ve buharlaştırmak için elektrik arkı ile işlem başlatılır. Puls off time sırasında, oluşan malzemelerin erimiş hali kısmen su ile uzaklaşır, erimiş havuzun içerisinde yeniden katılaşır ve dengeye gelir. Bu durum, işlenen bölgedeki sert yüzeyi oluşmasına ve malzemelerin sertliğini artmasına sebep olur. Öte yandan, tel elektrot talaşlı kaldırma işlemi sırasında erir ve işlenmiş bölgede kısmen birikir. Bu aynı zamanda malzeme özelliklerini de değiştirir. AWJ ile işlenmiş yüzeydeki ölçülen sertlik değerleri, CNC ve WED ile işlenmiş yüzeyler ile kıyasladığımızda en yüksek sertliği sergilediği görülmüştür Çizelge 4.2. Buradaki AWJ ile işlemede, Yüksek basınçlı su ve aşındırıcı olarak kullanılan garnet kumu karışımlarının malzeme üzerindeki etkisi, aşındırma ve yeni yüzey oluşturma gibi etkilere sahiptir. Malzemelerde oluşan bu etki ile kayma deformasyonu oluşur dolayısıyla da sertliğini etkiler. İşleme yüzeylerindeki sertlik değeri artmıştır ve ayrıca İşlenen yüzeyin sertliği de takviye içeriği ile arttığı anlaşılmaktadır. Her bir kompozit malzeme için çeşitli

işleme prosesleri ile oluşturulan yüzeyde ölçülen sertlik değerlerindeki değişimleri Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de detaylıca gösterilmektedir.

4.2.1.1. Kompozitler (Al₂O₃/B₄C, Al₂O₃/SiC) ve hibrit nanokompozitlerin sertlik değerleri

Çizelge 4.1. Kompozitler (Al₂O₃/B₄C, Al₂O₃/SiC) ve Hibrit NanoKompozitler için (Al₂O₃/B₄C-SiC) Sertlik Değerleri

Numune	Sertlik (HB)
Al ₂ O ₃	101.6
BorSi1	147.3
BorSi 2	164.1
BorSi 3	173.9
BorSi 4	179.4
Bor 1	148.3
Bor 2	178.1
Bor 3	189.8
Bor 4	195.6
Si1	146.1
Si 2	149.5
Si 3	154.9
Si 4	157.5

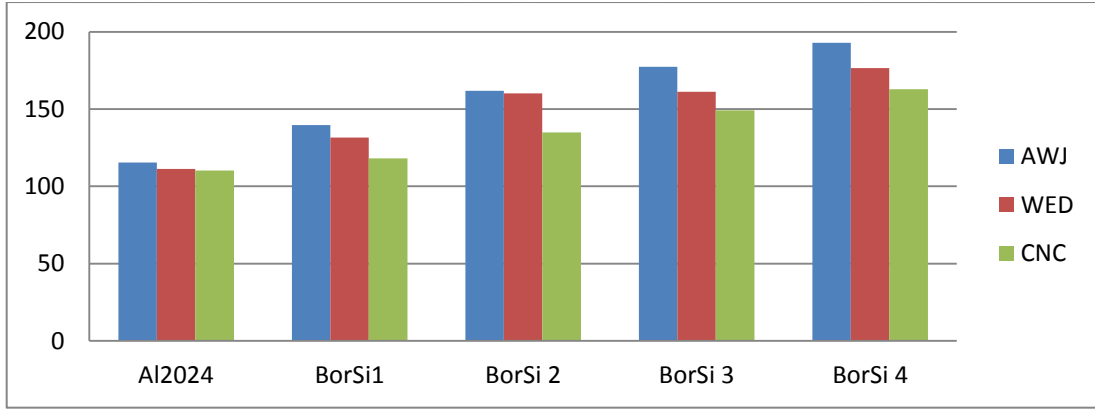


Şekil 4.25. Kompozitler (Al₂O₃/B₄C, Al₂O₃/SiC) ve hibrit nanokompozitler için (Al₂O₃/B₄C-SiC) sertlik değerleri grafiği

4.2.1.2. İşleme tipine göre hibrit nanokompozitlerin (Al2024/B₄C-SiC) sertlik değerleri

Çizelge 4.2. Hibrit Nano kompozitler (Al2024/B₄C-SiC) İşleme Tipine Göre Sertlik Değerleri

Sertlik (HB)			
Numune kodları	AWJ	WED	CNC
Al2024	115,4	111.3	110.2
BorSi1	139,7	131.5	118.2
BorSi 2	161,7	160.1	134.9
BorSi 3	177,4	161.2	149.1
BorSi 4	192,8	176.6	162.8

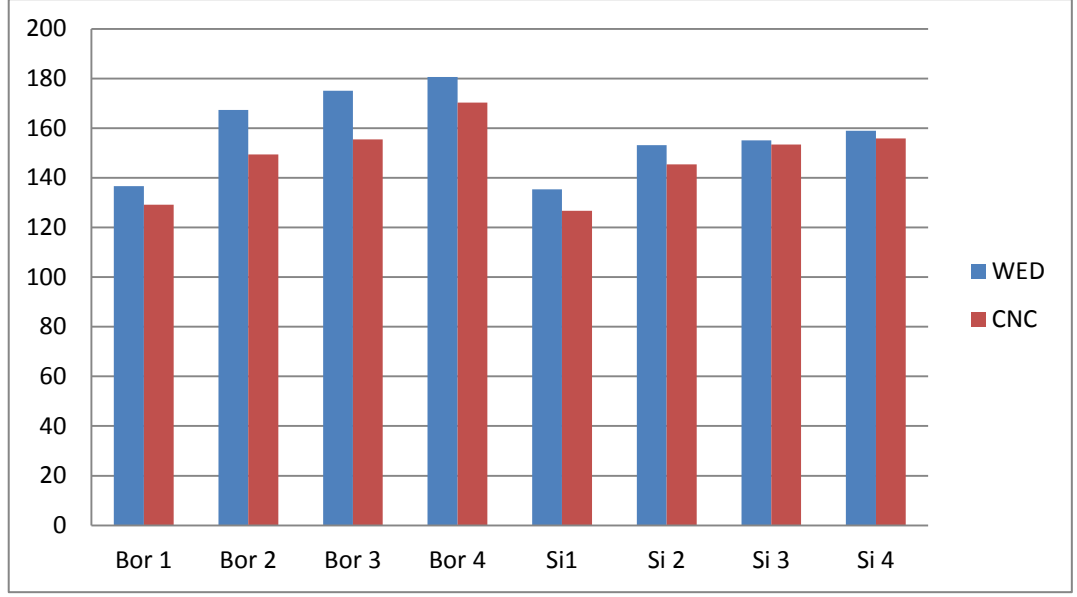


Şekil 4.26. Hibrit nano kompozitler (Al2024/B₄C-SiC) işleme tipine göre sertlik değerleri grafiği

4.2.1.3. İşleme tipine göre kompozitlerin (Al2024/B₄C, Al2024/SiC) sertlik değerleri

Çizelge 4.3. Nano kompozitler için (Al2024/ B₄C - Al2024/SiC) işleme tipine göre sertlik değerleri

Sertlik (HB)		
Numune Kodları	WED	CNC
Bor 1	136.6	129.1
Bor 2	167.3	149.4
Bor 3	175.1	155.4
Bor 4	180.6	170.3
Si1	135.3	126.7
Si 2	153.1	145.4
Si 3	155.1	153.4
Si 4	158.9	155.9



Şekil 4.27. Nano kompozitler için (Al2024/ B₄C - Al2024/SiC) işleme tipine göre sertlik değerleri grafiği

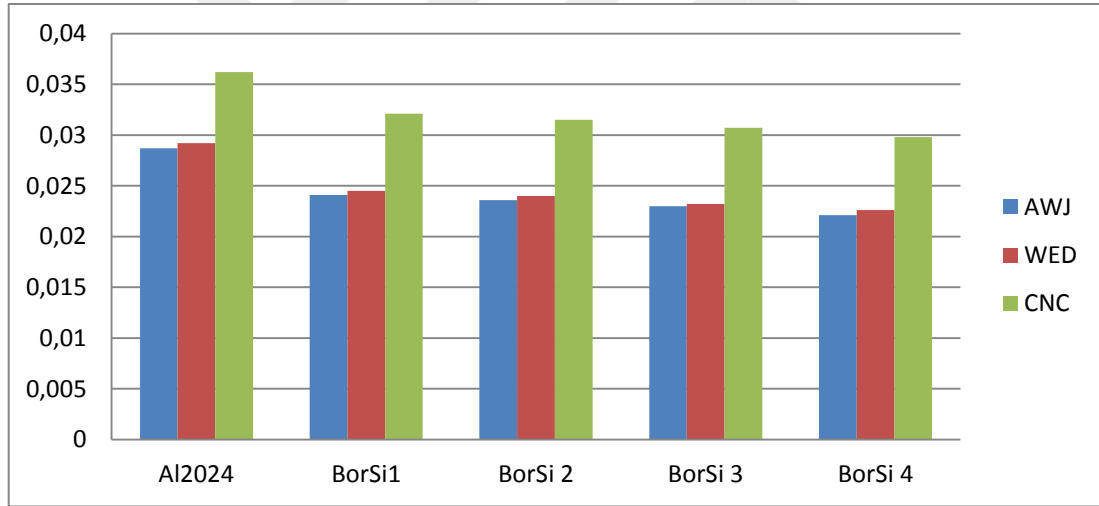
4.2.2. İşleme tipine göre hibrit nanokompozitlerin talaş kaldırma oranları (MRR)

Farklı kompozitlerin çeşitli işleme prosesleri sırasında ölçülen MRR değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Genel olarak, takviye içeriğinin artması ile MRR'nin azaldığı görülmektedir. Matrise takviye partiküllerinin eklenmesi ile kompozitlerin sertliği artar ve malzemeden talaş kaldırma işleminin zorlaşır. Talaş kaldırma işleminin yavaşlaması ile de talaş kaldırma oranının da azalma olduğu gözlenir. Kompozitlerin işlenmesi sırasında genel olarak gözlenen sonuç, kompozitlerin takviyesiz saf malzemelere göre daha düşük MRR değerleri sunduğu görülmüştür. Bunun ilk nedeni, sert seramik takviye malzemelerinin talaş kaldırma sırasında keSiCi alete karşı gösterdiği dirençtir. İkinci neden ise keSiCi takımındaki aşındırıcı partiküllerin kompozit yapıdaki takviye tozları ile çarpışması sonucu oluşan enerji kaybı ve dolayısıyla kesme kuvvetinin azalmasıdır (Kesarwani ve ark., 2020). Genel olarak, CNC işleme sürecinde öngörülen zaman dilimi ile, malzemelerden daha fazla miktarda talaş kaldırılır. CNC dikey işleme tezgahında talaş kaldırma işlemi, malzeme deformasyonu ve talaş şekli, sürekli bir şekildedir. Oysa WED tezgahındaki işleme sürecinde talaş kaldırma işlemi, partikül formundadır ve kompozitlerden talaş kaldırıldıktan sonra dielektrik ortam ile karıştırılır. WED ile işlemede malzemeden talaş kaldırma eritilerek ve buharlaştırılarak olduğundan talaş kaldırma işlemi daha fazla zaman alır. AWJ ile işleme sürecindeki talaş kaldırma işlemi ise, Aşındırıcı ve basınçlı su birlikte karıştırılarak malzemeler üzerindeki jet etkisi ve malzemelerin aşınmasına neden olan

mekanik aşınmayla yapılır. Karıştırıcının kinetik enerjisi, AWJ ile talaş kaldırma işleminde kullanılır. Diğer iki işleme süreciyle karşılaştırıldığında, talaş kaldırma işlemindeki aşındırma çok zaman aldığından, burada daha yavaş bir talaş kaldırma süreci gözlemlenir. Tüm kompozit malzemeler için benzer eğilim göze çarpmaktadır. Farklı kompozitlerin çeşitli işleme prosesleri sırasında ölçülen MRR değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Hibrit nano kompozitler (Al₂O₃/B₄C-SiC) işleme tipine talaş kaldırma oranları (MRR) değerleri

Numune Kodları	İşleme Tipleri		
	AWJ MRR (mm ³ /min)	WED MRR (mm ³ /min)	CNC MRR (mm ³ /min)
Al ₂ O ₃	0.0287	0.0292	0.0362
BorSi1	0.0241	0.0245	0.0321
BorSi 2	0.0236	0.0240	0.0315
BorSi 3	0.0230	0.0232	0.0307
BorSi 4	0.0221	0.0226	0.0298



Şekil 4.28. Hibrit nano kompozitler (Al₂O₃/B₄C-SiC) işleme tipine talaş kaldırma oranları (MRR) değerleri grafiği

4.2.3. İşleme tipine göre yüzey pürüzlülük değerleri

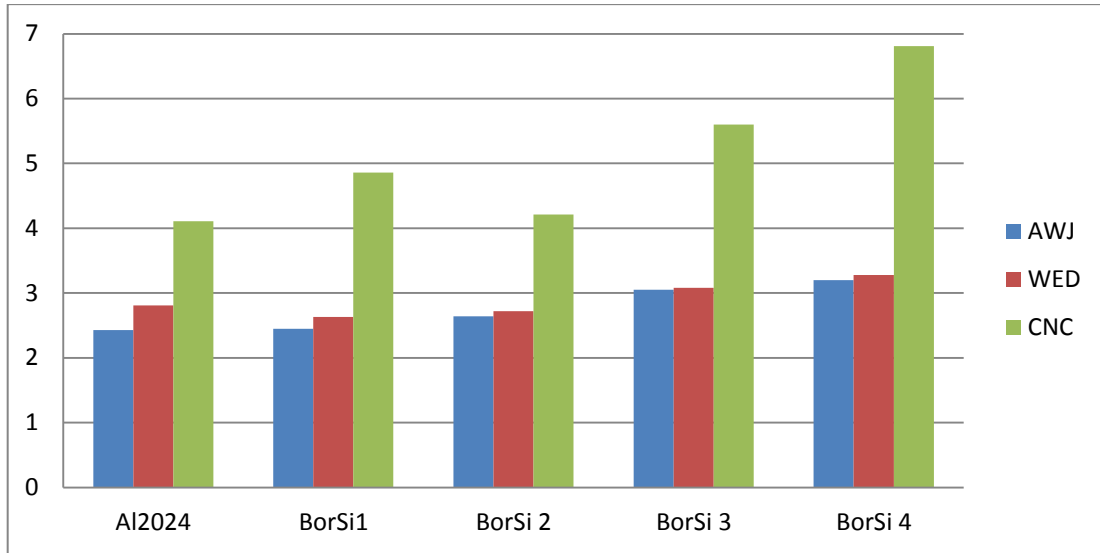
İşleme sonrası malzemenin yüzey kalitesi Ra, Rz ve Rmax parametreleri ile temsil edilir. Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 çeşitli işleme prosesleri ile işlenmiş AA2024 bazlı kompozitlerin yüzey pürüzlülük değerlerini göstermektedir. Genellikle, işleme süreci sırasında hızlı talaş kaldırma, düşük yüzey kalitesiyle sonuçlanır. Matris içerisine partiküllerin ilave edilmesi malzemelerin mukavemetini artırır ve talaş kaldırma hızını ve oranını yavaşlatır. Ayrıca yüzey kalitesinin etkilenmesine ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olur. Bu ve buna benzer durumlar, tüm işleme süreçleri

için de geçerlidir. Tüm bu işleme prosesleri arasında AWJ tezgahı ile işleme prosesinde, WED tezgahı ve CNC dik işleme tezgahına kıyasla daha düşük MRR gözlemlendiğinden daha güzel yüzey pürüzlülüğü ve daha iyi yüzey kalitesi sağlar. Ayrıca AWJ ve WED tezgahlarındaki işleme proseslerinde de talaş uzaklaştırma partikül halindedir. Bu ve bunun gibi nedenlerden dolayı, AWJ ve WED tezgahlarındaki işleme prosesi, CNC’de işlemeye göre nispeten daha pürüzsüz ve daha kaliteli bir yüzey oluşumuyla sonuçlanır. WED tezgahı ile işleme, nispeten normal dalgalı bir yüzey ve CNC dik işleme tezgahı ile işlenen bölgede daha pürüzlü yapıya sahip bir yüzey oluşur. Bunun nedeni, hızlı talaş kaldırma ve bunun neticesinde işlenmiş yüzeyde kalan talaşlardır. Yüzey pürüzlülüğündeki önemli artış, AWJ ve WED tezgahlarındaki işleme kıyasla partikül ilavesi olan malzemelerde, CNC dik işleme tezgahı ile işlenmiş yüzeyde not edilir. Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7, farklı tezgahlar ile işlenmiş yüzeyler için matris içindeki partikül oranlarına göre yüzey pürüzlülüğünün değişimini göstermektedir.

4.2.3.1. Hibrit nano kompozitler için (Al2024/B₄C-SiC), AWJ, WED ve CNC dik işleme tezgahı ile işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülük değerleri

Çizelge 4.5. Hibrit nano kompozitler (Al2024/B₄C-SiC) işleme tipine göre yüzey pürüzlülük değerleri

			Numune kodları				
			Al2024	BorSi1	BorSi 2	BorSi 3	BorSi 4
İşleme Tipi	AWJ	Ra	2.43	2.45	2.64	3.05	3.20
		Rz	15.91	17.14	17.52	19.31	21.65
		Rmax	23.45	26.63	21.45	23.26	25.96
	WED	Ra	2.81	2.63	2.72	3.08	3.28
		Rz	17.96	16.01	14.15	18.89	17.74
		Rmax	23.15	20.95	24.89	26.13	27.86
	CNC	Ra	4.11	4.86	4.21	5.60	6.81
		Rz	22.62	32.64	30.02	30.24	32.64
		Rmax	26.96	40.19	39.68	32.93	40.42

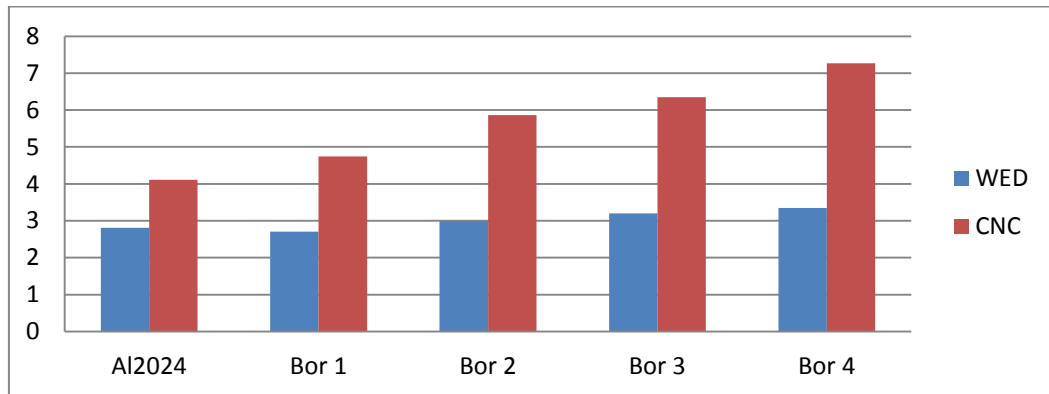


Şekil 4.29. Hibrit nano kompozitler (Al2024/B₄C-SiC) işleme tipine göre yüzey pürüzlülük değerleri grafiği

4.2.3.2. Kompozitler için (Al2024/B₄C), WED ve CNC dik işleme tezgahı ile işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülük değerleri

Çizelge 4.6. Nano kompozitler için (Al2024/B₄C) işleme tipine yüzey pürüzlülük değerleri

		İşleme Tipi					
		WED			CNC		
		Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
Numune Kodları	Al2024	2.81	17.96	23.15	4.11	22.62	26.96
	Bor 1	2.71	16.64	24.26	4.74	30.35	43.15
	Bor 2	2.99	18.96	27.67	5.86	32.38	46.28
	Bor 3	3.20	19.25	29.13	6.35	36.18	50.53
	Bor 4	3.35	22.15	33.14	7.27	40.01	54.69

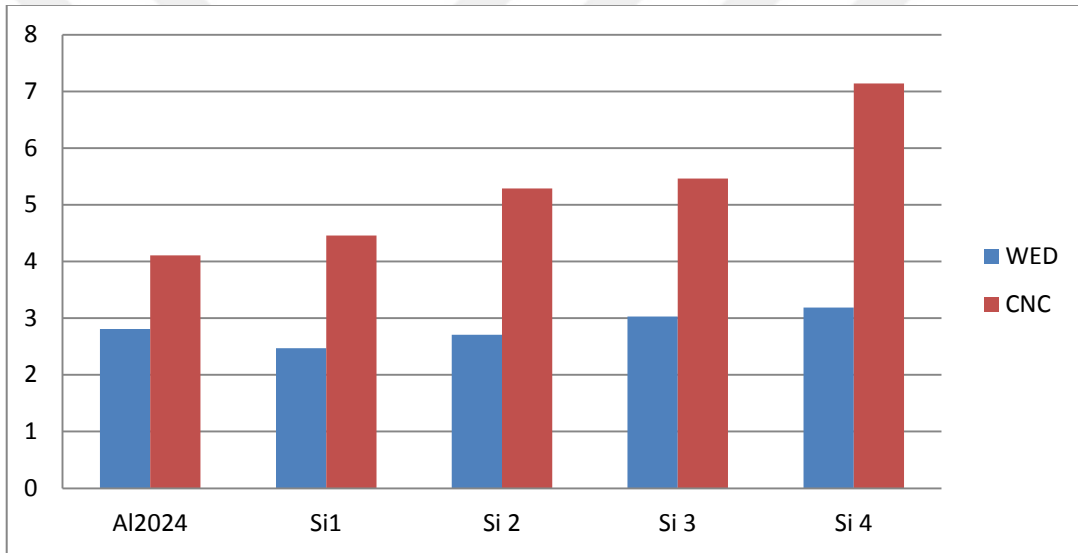


Şekil 4.30. Nano kompozitler için (Al2024/B₄C) işleme tipine yüzey pürüzlülük değerleri grafiği

4.2.3.3.Kompozitler için (Al2024/SiC), WED ve CNC dik işleme tezgahı ile işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülük değerleri

Çizelge 4.7. Nano kompozitler için (Al2024/SiC) işleme tipine yüzey pürüzlülük değerleri

		İşleme Tipi					
		WED			CNC		
		Ra	Rz	Rmax	Ra	Rz	Rmax
Numune Kodları	AA2024	2.81	17.96	23.15	4.11	22.62	26.96
	Si1	2.47	15.50	24.17	4.46	23.02	32.41
	Si 2	2.71	16.76	26.24	5.29	25.86	35.63
	Si 3	3.03	17.53	27.15	5.46	26.44	36.89
	Si 4	3.19	17.98	29.54	7.14	39.18	40.36



Şekil 4.31. Nano kompozitler için (Al2024/SiC) işleme tipine yüzey pürüzlülük değerleri grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sıcak presleme yöntemi ile üretilen Al2024-B₄C-SiC hibrit nanokompozitler, Al2024-B₄C nanokompozitler ve Al2024- SiC nanokompozitler toz metalurjisi tekniği ile imal edilmiştir. Üretilen numuneler, takviye oranına göre yüzey morfolojisi, sertliği, MRR ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için AWJ, WED ve CNC dik işleme merkezi ile işleme tekniklerine tabi tutulmuştur. Çıkan sonuçların karşılaştırmasındaki bazı önemli noktalar aşağıda verilmiştir:

- a. Numunelerimizdeki çeşitli işleme öncesi ve işleme sonrası sertlik değerleri karşılaştırılmıştır. Buradaki işlemeden önceki en düşük sertlik değeri Al2024 numunesinde 101.6 BSD değeri ile ortaya çıkmış, en yüksek sertlik değeri ise Bor 4 numunesinde 195.6 BSD değeri ile ortaya çıkmıştır. Bu durumun nedeni ise presleme esnasında B₄C takviye malzemesinin en yüksek oranda olması ve takviye ile matris arasındaki dislokasyon hareketidir.
- b. İşleme sonrası yüzeylerdeki sertlik değerlerinin karşılaştırılmasında Al2024 numunesinde CNC dik işlemde 110.2 BSD değeri ile ortaya çıkmış, en yüksek sertlik değeri ise AWJ ile işlenmiş yüzeydeki BorSi 4 numunesinde 192.8 BSD değeri ile ortaya çıkmıştır. Bunlardan AWJ ile işlenmiş yüzeyin diğer işlenmiş yüzeylere göre nispeten daha sert olduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebi ise malzeme üzerine basınçlı olarak püskürtülen aşındırıcı kumun yeni bir yüzey oluşturma etkisidir. Buda kayma deformasyonu oluşturarak sertliğin artmasına sebep olur.
- c. MRR sonuçlarında ise AWJ tekniği ile işlenen hibrit kompozitlerin minimum MRR değeri 0,0221 mm³ / dak, CNC dik işlem yöntemiyle işlenen AA2024 alaşımının ise 0,0362 mm³ / dak değerinde maksimum MRR değerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun en önemli sebebi sert seramik takviye malzemelerinin talaş kaldırma sırasında keSiCi alete karşı gösterdiği dirençtir.
- d. Hibrit Nano kompozitler (Al2024/B₄C-SiC) için yüzey pürüzlülük değerine baktığımızda en düşük değer AWJ ile işlenen Al2024 numunesinde (Ra) 2,43 µm değeri ile ortaya çıkmış, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise CNC dik işleme ile işlenen BorSi 4 numunesinde (Ra) 6,81 µm olarak ölçülmüştür.
- e. (Al2024/B₄C) kompozitler için yüzey pürüzlülük değerine baktığımızda en düşük değer WED ile işlenen Bor 1 numunesinde (Ra) 2,71 µm değeri ile ortaya çıkmış, en

yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise CNC dik işleme ile işlenen Bor 4 numunesinde (Ra) 7,27 μm ölçülmüştür.

- f. (Al2024/SiC) kompozitler için yüzey pürüzlülük değerine baktığımızda en düşük değer WED ile işlenen Si 1 numunesinde (Ra) 2,47 μm değeri ile ortaya çıkmış, en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ise CNC dik işleme ile işlenen Si 4 numunesinde (Ra) 7,14 μm ölçülmüştür.
- g. İşlenen yüzeylerindeki yüzey pürüzlülüğü her bir işleme süreci için ölçülmüş ve CNC dik işlem ile işlenmiş yüzeylerdeki yüzey pürüzlülüklerinin daha yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu görülmüştür. AWJ tarafından işlenen numuneler ise minimum yüzey pürüzlülüğü (Ra) göstermiştir. AWJ tezgahı ile işleme prosesinde, WED tezgahı ve CNC dik işleme tezgahına kıyasla daha düşük MRR gözlemlendiğinden daha güzel yüzey pürüzlülüğü ve daha iyi yüzey kalitesi sağlar.
- h. Ayrıca tüm kompozit malzemeler için matris içerisine nano partiküllerin eklenmesiyle yüzey pürüzlülük değerlerinin artışı gözlemlenmiştir.
- i. Her kompozite işlemeden önce ve işlemeden sonrası için işleme yüzeyi SEM ve EDS analizi yapılmıştır. Matris yapıya eklenen takviye miktarı arttırıldığı zaman işlenen yüzeylerdeki çukur, boşluk ve oluk miktarı daha da artar. Bu artış, artan gerilme konsantrasyonu ve artan takviye hacmi nedeniyle homojen olmayan plastik deformasyondan kaynaklanmaktadır. CNC ile işlenmiş bölgede dalgalı pürüzlü doku göze çarpmaktadır. Alaşım elementlerinin yanı sıra takviye partiküllerinin varlığı, EDS haritalama yoluyla açıkça görülmektedir. Elektrot tel malzemesinin işlenmiş yüzey üzerinde birikmesi EDS haritalama analizi ile gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, A. (2004). Su Jeti İle Kesme Sistemleri Ve Uygulama Alanlarının Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 7(2), 129-139.
- Alizadeh, M., Paydar, M. H., & Jazi, F. S. (2013). Structural evaluation and mechanical properties of nanostructured Al/B₄C composite fabricated by ARB process. *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 339-343.
- Andrewes, C. J., Feng, H. Y., & Lau, W. M. (2000). Machining of an aluminum/SiC composite using diamond inserts. *Journal of materials processing technology*, 102(1-3), 25-29.
- Camposeco-Negrete, C. (2015). Optimization of cutting parameters using Response Surface Method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum. *Journal of cleaner production*, 91, 109-117.
- Canakcı, A., Ozkaya, S., Erdemir, F., Karabacak, A. H., & Celebi, M. (2020). Effects of Fe–Al intermetallic compounds on the wear and corrosion performances of AA2024/316L SS metal/metal composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 845, 156236.
- Canakci, A., Varol, T., & Ozsahin, S. (2015). Artificial neural network to predict the effect of heat treatment, reinforcement size, and volume fraction on AlCuMg alloy matrix composite properties fabricated by stir casting method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(1-4), 305-317.
- Ding, X., Liew, W. Y. H., & Liu, X. D. (2005). Evaluation of machining performance of MMC with PCBN and PCD tools. *Wear*, 259(7-12), 1225-1234.
- Doğan, M. (2010). İncel 718 Malzemesinin Tel Erozyon Tezgâhında Kesme Parametrelerinin Kesme Parametresine Etkisinin Deneysel Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı İstanbul 78s.

- Dumbhare, P. A., Dubey, S., Deshpande, Y. V., Andhare, A. B., & Barve, P. S. (2018). Modelling and multi-objective optimization of surface roughness and kerf taper angle in abrasive water jet machining of steel. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(5), 1-13.
- Garg, R. K., Singh, K. K., Sachdeva, A., Sharma, V. S., Ojha, K., & Singh, S. (2010). Review of research work in sinking EDM and WEDM on metal matrix composite materials. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(5), 611-624.
- Ge, Y. F., Xu, J. H., Yang, H., Luo, S. B., & Fu, Y. C. (2008). Workpiece surface quality when ultra-precision turning of SiCp/Al composites. *Journal of materials processing technology*, 203(1-3), 166-175.
- German, R. M. (2007). Toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri. Çeviri Editörleri, Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu N., Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları, Ankara, 60-80.
- Gökler, M. İ., & Ozanözü, A. M. (2000). Experimental investigation of effects of cutting parameters on surface roughness in the WEDM process. *International journal of Machine tools and manufacture*, 40(13), 1831-1848.
- Hashish, M. (1989). A model for abrasive-waterjet (AWJ) machining. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 111, 154-162
- Kai, X. Z., Li, Z. Q., Fan, G. L., Guo, Q., Xiong, D. B., Zhang, W. L., ... & Zhang, D. (2013). Enhanced strength and ductility in particulate-reinforced aluminum matrix composites fabricated by flake powder metallurgy. *Materials Science and Engineering: A*, 587, 46-53.
- Karabacak, A. H., Çanakçı, A., Özkaya, S., Çelebi, M., & Yalçın, E. D. (2018) Production And Properties Of Al₂₀₂₄-2 wt. %(SiC-B₄C) Hybrid Nanocomposite. *Technological Applied Sciences*, 13(1), 29-33.
- Karabulut, Ş., Karakoç, H., & Çıtak, R. (2016). Influence of B₄C particle reinforcement on mechanical and machining properties of Al₆₀₆₁/B₄C composites. *Composites Part B: Engineering*, 101, 87-98.

- Kesarwani, S., Niranjana, M. S., & Singh, V. (2020). To study the effect of different reinforcements on various parameters in aluminium matrix composite during CNC turning. *Composites Communications*, 22, 100504.
- Khan, A. A., & Haque, M. M. (2007). Performance of different abrasive materials during abrasive water jet machining of glass. *Journal of materials processing technology*, 191(1-3), 404-407.
- Kolli, N., Chinka, T. R., Kolli, M., (2017), Experimental Studies on EDM of Al 7075/B₄C/Gr Hybrid Composite using RSM Box-Behnken Approach. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, (5). 2321-9653
- Kök, M., (2009). A study on the machinability of Al₂O₃ particle reinforced aluminium alloy composite. *Practical Metallography*, 46(11), 580-597.
- Kök, M., Kanca, E., & Eyercioğlu, Ö. (2011). Prediction of surface roughness in abrasive waterjet machining of particle reinforced MMCs using genetic expression programming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(9), 955-968.
- Kulisz, M., Zagórski, I., & Korpysa, J. (2020). The Effect of Abrasive Waterjet Machining Parameters on the Condition of Al-Si Alloy. *Materials*, 13(14), 3122.
- Kumar, M. S., Kumar, M. P., Krishna, S. V., & Kumar, K. V., (2020) Optimization of CNC Turning Parameters in Machining EN19 using Face Centered Central Composite Design Based RSM. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 2277-3878.
- Kumar, P. V., Devi, S. B., Gowshikan, G., & Balamuali, B. (2014). Machinability Investigation of Aluminium Based Hybrid Metal Matrix Composite. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2319-8753
- Kumar, S. S., Uthayakumar, M., Kumaran, S. T., Varol, T., & Canakci, A. (2019). Investigating the surface integrity of aluminium based composites machined by EDM. *Defence Technology*, 15(3), 338-343.

- Laghari, R. A., Li, J., Laghari, A. A., & Wang, S. Q. (2020). A review on application of soft computing techniques in machining of particle reinforcement metal matrix composites. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(5), 1363-1377.
- Li, X., & Seah, W. K. H. (2001). Tool wear acceleration in relation to workpiece reinforcement percentage in cutting of metal matrix composites. *Wear*, 247(2), 161-171.
- Liao, Z., Abdelhafeez, A., Li, H., Yang, Y., Diaz, O. G., & Axinte, D. (2019). State-of-the-art of surface integrity in machining of metal matrix composites. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 143, 63-91.
- Liu, X., Liang, Z., Wen, G., & Yuan, X. (2019). Waterjet machining and research developments: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(5), 1257-1335.
- Mohri, N., Fukuzawa, Y., Tani, T., & Sata, T. (2002). Some considerations to machining characteristics of insulating ceramics-towards practical use in industry. *CIRP Annals*, 51(1), 161-164.
- Mussada, E. K., Hua, C. C., & Rao, A. K. P. (2018). Surface hardenability studies of the die steel machined by WEDM. *Materials and Manufacturing Processes*, 33(16), 1745-1750.
- Nag, A., Ščučka, J., Hlavacek, P., Klichová, D., Srivastava, A. K., Hloch, S., ... & Zelenak, M. (2018). Hybrid aluminium matrix composite AWJ turning using olivine and Barton garnet. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(5), 2293-2300.
- Pahuja, R., Ramulu, M., & Hashish, M. (2019). Surface quality and kerf width prediction in abrasive water jet machining of metal-composite stacks. *Composites Part B: Engineering*, 175, 107134.
- Rajmohan, T., Palanikumar, K., & Arumugam, S. (2014). Synthesis and characterization of sintered hybrid aluminium matrix composites reinforced with nanocopper oxide

- particles and microsilicon carbide particles. *Composites Part B: Engineering*, 59, 43-49.
- Rao, C. P., Bhagyashekar, M. S., Rajagopal, M. S., & VedaVyasa, M. (2018). Influence of Edge Condition of Cutting Tool on Cutting Force and Surface Roughness While Machining Aluminum-Fly Ash Composites. *Materials Today: Proceedings*, 5(5), 11655-11666.
- Rozenek, M., Kozak, J., Dąbrowski, L., & Łubkowski, K. (2001). Electrical discharge machining characteristics of metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 109(3), 367-370.
- Sahoo, A. K., & Pradhan, S. (2013). Modeling and optimization of Al/SiCp MMC machining using Taguchi approach. *Measurement*, 46(9), 3064-3072.
- Saraçyakupoğlu, T. (2012). Aşındırıcı Su Jeti ile Kesmede Malzeme, Basınç, İlerleme Hızı ve Su Jeti Çapının Yüzey Kalitesine Etkisinin Analizi. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Eskişehir 129s.
- Sharifi, E. M., Karimzadeh, F., & Enayati, M. H. (2011). Fabrication and evaluation of mechanical and tribological properties of boron carbide reinforced aluminum matrix nanocomposites. *Materials & Design*, 32(6), 3263-3271.
- Singh, J., & Saini, S. (2020). Analysis of Surface Characteristics for Al–SiC Metal Matrix Composites Machined by Wire Electrical Discharge Machining (WEDM). *Indian Journal Of Science And Technology*, 13(09), 1027-1034.
- Suryanarayana, C., & Inoue, A. (2017). Bulk metallic glasses. CRC press. ISBN:13:978-1-4987-6367-7, USA.
- Thamizhvalavan, P., Arivazhagan, S., Yuvaraj, N., & Ramesh, B. (2019). Machinability study of abrasive aqua jet parameters on hybrid metal matrix composite. *Materials and Manufacturing Processes*, 34(3), 321-344.
- Tomac, N., Tannessen, K., & Rasch, F. O. (1992). Machinability of particulate aluminium matrix composites. *CIRP annals*, 41(1), 55-58.

- Umasankar, V., Xavior, M. A., & Karthikeyan, S. (2014). Experimental evaluation of the influence of processing parameters on the mechanical properties of SiC particle reinforced AA6061 aluminium alloy matrix composite by powder processing. *Journal of Alloys and Compounds*, 582, 380-386.
- Ünlü, Ş. M. (2015). Cnc Frezeleme İşleminde Isıl Genleşme Kaynaklı Boyutsal Hataların Bütünleşik Cad/Cam/Fea Operasyonlarıyla Düzeltilerek Boyutsal Tamlığın İyileştirilmesi. Doktora Tezi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Kayseri 109s.
- Xavior, M. A., & Kumar, J. A. (2017). Machinability of hybrid metal matrix composite-A review. *Procedia Engineering*, 174, 1110-1118.
- Zhang, L., Wang, Z., Li, Q., Wu, J., Shi, G., Qi, F., & Zhou, X. (2018). Microtopography and mechanical properties of vacuum hot pressing Al/B₄C composites. *Ceramics International*, 44(3), 3048-3055.
- Zhang, L., Xu, H., Wang, Z., Li, Q., & Wu, J. (2016). Mechanical properties and corrosion behavior of Al/SiC composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 678, 23-30.
- Zhu, X. M., Yu, J. K., & Wang, X. Y. (2012). Microstructure and properties of Al/Si/SiC composites for electronic packaging. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22(7), 1686-1692.