
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

SiC, B_4C İLE TAKVİYELENDİRİLMİŞ AL7075 ALAŞIMININ TOZ KATKILI ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE İŞLEME PARAMETRE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Gözde KESKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2019

Gözde KESKİN tarafından hazırlanan "SiC, B4C İLE TAKVİYELENDİRİLMİŞ AL7075 ALAŞIMININ TOZ KATKILI ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE İŞLEME PARAMETRE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……..……..

Başkan: Doç.Dr. Elmas SALAMCI
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Üye: Doç. Dr. Şener KARABULUT
Hacettepe ASO 1.OSB Meslek Yüksekokulu, Hacettepe Üniversitesi ...……
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 02/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……..…….

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

……..
Gözde KESKİN
02/07/2019

SiC, B_4C İLE TAKVİYELENDİRİLMİŞ AL7075 ALAŞIMININ TOZ KATKILI ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE İŞLEME PARAMETRE ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Gözde KESKİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Bu çalışmada, bor karbür ve silisyum karbür partikül ile takviyelendirilmiş alüminyum metal matris kompozitlerin (B_4C_p/ Al 7075, SiC_p/ Al 7075 ve (B_4C_p + SiC_p)/Al 7075) işlenebilirliği toz katkılı elektro erozyon ile işleme yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Al 7075, farklı sinterleme sürelerinde (90 dakika, 120 dakika, 150 dakika) ve B_4C (%10 ve %20), SiC (% 10 ve %20) ve B_4C + SiC (%5+%5, %10 +%10) oranları ile takviye edilerek toz metalürjisi yöntemi ile kompozitler üretilmiştir. İyileştirilmiş iş parçası işleme hızı (İİH) ve azalan yüzey pürüzlülüğü elde etmek için, 50 nanometreden küçük ortalama partikül boyutuna sahip grafit tozu, gazyağı dielektrik sıvısında karıştırılmış ve 6 mm çapa sahip grafit elektrot kullanılarak deneyler yapılmıştır. Numuneler farklı akımlarla (2A, 4A ve 8A) işlenerek iş parçası işleme hızı ve yüzey pürüzlülüğü performans çıktıları değerlendirilmiştir. TKEEİ işleminden sonra, işlenmiş yüzeyler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kompozit içindeki takviye parçacıklarının İİH üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlardan boşalım akımının artması ile İİH'nın çoğunlukla arttığı, diğer yandan İİH'nin kompozit içindeki takviyeli parçacık yüzdesi ile azaldığı görülmüştür.

Bilim Kodu	:	91417
Anahtar Kelimeler	:	Elektro erozyon ile işleme, metal matrisli kompozitler, iş parçası işleme hızı, nano boyutta grafit tozu, varyans analizi
Sayfa Adedi	:	107
Danışman	:	Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MACHINING PARAMETER EFFECTS ON AA7075 ALLOY REINFORCED WITH SiC, B_4C BY POWDER-MIXED ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

(M. Sc. Thesis)

Gözde KESKİN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In this study, machinability of boron carbide and silicon carbide particle reinforced aluminum metal matrix composites (B_4C_p /AA 7075, SiC_p/ AA 7075 and (B_4Cp+SiCp)/ AA 7075)) has been investigated by using powder-mixed electrical discharge machining (PMEDM). AA 7075 reinforced with various rates of B_4C (10% and 20%), SiC (10% and 20%) and B_4C+ SiC (%5+%5, %10+%10) at different sintering time (90 minutes, 120 minutes and 150 minutes) has been produced via powder metallurgy method. In order to obtain improved material removal rate (MRR) and decreased surface roughness, graphite powder with mean particle size of smaller than 50 nanometer were mixed in kerosene dielectric fluid and experiments were carried on using graphite electrode having 6 mm diameter. Samples were machined with different currents (2A, 4A and 8A) and material removal rates (MRR) and surface roughness values were evaluated. After powder-mixed electrical discharge machining (PMEDM) process, machined surfaces were examined by scanning electron microscopy (SEM). Obtained results indicate that current and percentage of reinforced particle in composite have mostly significant influence on MRR. It was observed from results that MRR mostly increases with increasing of current values, on the other hand MRR decreases with percentage of reinforced particle in composite.

Science Code	:	91417
Key Words	:	Electric discharge machining, metal matrix composites, material removal rate, nano size graphite powder, analysis of variance
Page Number	:	107
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde değerli görüş ve tavsiyeleriyle beni yönlendiren, bilgi ve kıymetli tecrübelerini esirgemeyen saygıdeğer tez danışmanım Doç. Dr. Gökhan KÜÇÜKTÜRK'e teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Hakan GÜRÜN'e ve deneylerde teknik olarak destek olan Dr. Öğr. Üyesi Muharrem PUL hocama teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca maddi, manevi desteğini esirgemeyen ve eğitim hayatım süresince gösterdikleri her türlü özveri için aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET....iv

ABSTRACT....v

TEŞEKKÜR....vi

ÇİZELGELERİN LİSTESİ....xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ....xiii

RESİMLERİN LİSTESİ....xvi

SİMGELER VE KISALTMALAR....xix

1. GİRİŞ....1

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI....5

3. ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME (EEİ) YÖNTEMİ....21

3.1. Klasik Elektro Erozyon ile İşlemenin Fiziksel Prensibi....22

3.2. EEİ Proses Parametreleri....24

3.2.1. Elektriksel parametreler....24

3.2.2. Elektriksel olmayan parametreler....28

3.2.3. Elektrot parametreleri....28

3.3. Elektro Erozyon Performans Çıktıları....29

3.4. Toz Katkılı Elektro Erozyon ile İşleme (TKEEİ) Yöntemi....30

3.4.1. Toz katkılı elektro erozyon ile işleme prensibi....30

3.4.2. TKEEİ yönteminin avantaj ve dezavantajları....33

4. DENEYSEL ÇALIŞMA....35

4.1. EEİ Tezgâhı....35

4.2. İş Parçaları....35

Sayfa

4.3. Deneylerde Kullanılan Elektrot Malzemesi, Dielektrik Sıvı ve Toz Katkısı.....37

4.4. Deney Parametreleri.....38

4.5. Deney Tasarımı.....39

4.6. Deneylerin Yapılışı.....41

4.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri ve SEM Analizi.....41

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....43

5.1. B_4C Parçacık Takviyeli Al7075 Matrisli Kompozit (B_4C_p /Al7075) İş Parçalarında Yapılan Deneyler.....43

5.1.1. Kompozit malzemelerde (B_4C_p /Al7075) iş parçası işleme hızının incelenmesi.....46

5.1.2. Kompozit malzemelerde (B_4C_p /Al7075) yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi.....50

5.1.3. Kompozit malzeme yüzeylerinin (B_4C_p/Al7075) SEM incelemesi.....53

5.2. SiC Parçacık Takviyeli Al7075 Matrisli Kompozit (SiC_p/Al7075) İş Parçalarında Yapılan Deneyler.....55

5.2.1. Kompozit malzemelerde (SiC_p/Al7075) iş parçası işleme hızının incelenmesi.....58

5.2.2. Kompozit malzemelerde (SiC_p/Al7075) yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi.....62

5.2.3. Kompozit malzeme yüzeylerinin (SiC_p/Al7075) SEM incelemesi.....65

5.3. SiC+ B_4C Parçacık Takviyeli Al7075 Matrisli Kompozit (SiC_p+B_4C_p/ Al7075) İş Parçalarında Yapılan Deneyler.....67

5.3.1. Kompozit malzemelerde (SiC_p+B_4C_p/Al7075) iş parçası işleme hızının incelenmesi.....70

5.3.2. Kompozit malzemelerde (SiC_p+B_4C_p/Al7075) yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi.....74

5.3.3. Kompozit malzeme yüzeylerinin (SiC_p+B_4C_p/Al7075) SEM incelemesi.....77

Sayfa

6. DENEY SONUÇLARININ İSTATİKSEL ANALİZİ VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ 79

6.1. B_4C_p / Al7075 Kompozit Malzemeleri Deney Sonuçlarının İstatiksel Analizi 80

6.1.1. İİH için B_4C_p / Al7075 kompozit malzemelerinde sinyal/gürültü (S/N) oranının analizi 80

6.1.2. İİH için B_4C_p / Al7075 kompozit malzemelerinde varyans analizi (ANOVA) 83

6.1.3. İİH için B_4C_p / Al7075 kompozit malzemelerinde regresyon analizi 83

6.1.4. İİH için B_4C_p/Al7075 kompozit malzemelerinde optimum yanıt karakteristiklerinin tahmini ve doğrulama analizi 84

6.2. SiC_p / Al7075 Kompozit Malzemeleri Deney Sonuçlarının İstatiksel Analizi 85

6.2.1. İİH için SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde sinyal/gürültü (S/N) oranının analizi 85

6.2.2. İİH için SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde varyans analizi (ANOVA) 88

6.2.3. İİH için SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde regresyon analizi 88

6.2.4. İİH için SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde optimum yanıt karakteristiklerinin tahmini ve doğrulama analizi 89

6.3. B_4C_p+SiC_p / Al7075 Kompozit Malzemeleri Deney Sonuçlarının İstatiksel Analizi 90

6.3.1. İİH için B_4C_p+SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde sinyal/ gürültü (S/N) oranının analizi 90

6.3.2. İİH için B_4C_p+SiC_p/ Al7075 kompozit malzemelerinde varyans analizi (ANOVA) 93

6.3.3. İİH için B_4C_p+SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde regresyon analizi 93

6.3.4. İİH için B_4C_p+SiCp / Al7075 kompozit malzemelerinde optimum yanıt karakteristiklerinin tahmini ve doğrulama analizi 94

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 95

Sayfa

7.1. Sonuçlar.....95

7.2. Öneriler 97

KAYNAKLAR.....99

EKLER.....105

EK-1. Nano grafit tozu teknik veri sayfası 106

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Çeşitli toz ilavelerinin özellikleri....33

Çizelge 4.1. Al 7075'in özellikleri....36

Çizelge 4.2. B_4C'nin özellikleri....36

Çizelge 4.3. SiC'nin özellikleri....36

Çizelge 4.4. Kompozitlerin takviye oranları....37

Çizelge 4.5. Deney parametreleri....38

Çizelge 4.6. Kontrol faktörleri ve seviyeleri....39

Çizelge 4.7. Taguchi L18 (2^1x 3^2) ortogonal diziye göre deney tasarımı....40

Çizelge 5.1. (B_4C_p /Al7075) iş parçalarının deney sonuçları....45

Çizelge 5.2. (SiC_p/Al7075) iş parçalarının deney sonuçları....57

Çizelge 5.3. (SiC_p+B_4C_p/Al7075) iş parçalarının deney sonuçları....69

Çizelge 6.1. B_4C_p / Al7075 için deney sonuçları ve S/N oranları....80

Çizelge 6.2. B_4C_p / Al7075 için İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosu....81

Çizelge 6.3. B_4C_p / Al7075, İİH için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri....81

Çizelge 6.4. B_4C_p / Al7075 , İİH için oluşturulan ANOVA sonuçları....83

Çizelge 6.5. B_4C_p/ Al7075 için ortalama yanıt tablosu....84

Çizelge 6.6. B_4C_p / Al7075 doğrulama testleri değerlendirmesi....84

Çizelge 6.7. SiC_p / Al7075 için deney sonuçları ve S/N oranları....85

Çizelge 6.8. SiC_p / Al7075 için İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosu....86

Çizelge 6.9. SiC_p / Al7075, İİH için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri....86

Çizelge 6.10. SiC_p / Al7075, İİH için oluşturulan ANOVA sonuçları....88

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.11. SiC_p / Al7075 için ortalama yanıt tablosu 89

Çizelge 6.12. SiC_p / Al7075 için doğrulama testleri değerlendirmesi 89

Çizelge 6.13. B_4C_p+SiC_p / Al7075 için deney sonuçları ve S/N oranları 90

Çizelge 6.14. B_4C_p+SiCp / Al7075 için İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosu 91

Çizelge 6.15. B_4C_p+SiC_p /Al 7075, İİH için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri 91

Çizelge 6.16. B_4C_p+SiC_p, İİH için oluşturulan ANOVA sonuçları 93

Çizelge 6.17. B_4C_p + SiC_p / Al7075 için ortalama yanıt tablosu 94

Çizelge 6.18. B_4C_p + SiC_p / Al7075 doğrulama testleri değerlendirmesi 94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Klasik EEİ yönteminin şematik gösterimi 21

Şekil 3.2. Elektro erozyon ile işleme yönteminin fiziksel prensibi 23

Şekil 3.3. EEİ proses parametreleri ve performans çıktıları ilişkisini gösteren sebep-sonuç diyagramı 24

Şekil 3.4. Gerilim kontrollü vurum jeneratöründe "gerilim-akım" dalga biçimleri 25

Şekil 3.5. Elektrot kutuplama türleri: (a) pozitif kutuplama (b) negatif kutuplama 28

Şekil 3.6. TKEEİ yönteminin şematik gösterimi 30

Şekil 3.7. TKEEİ işleme mekanizması 31

Şekil 3.8. Seri boşalımların gösterimi 32

Şekil 3.9. TKEEİ'de toz partiküllerinin davranışları 32

Şekil 5.1. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika) 47

Şekil 5.2. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika) 47

Şekil 5.3. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika) 47

Şekil 5.4. % 10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi 48

Şekil 5.5. %20 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi 49

Şekil 5.6. B_4C takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri 49

Şekil 5.7. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika) 52

Şekil 5.8. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi:120 dakika) 52

Şekil 5.9. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika) 52

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.10. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika) 59

Şekil 5.11. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika) 59

Şekil 5.12. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika) 59

Şekil 5.13. % 10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi 60

Şekil 5.15. SiC takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri 61

Şekil 5.16. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika) 64

Şekil 5.17. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika) 64

Şekil 5.18. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika) 64

Şekil 5.19. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika) 71

Şekil 5.20. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika) 71

Şekil 5.21. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika) 71

Şekil 5.22. %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi 72

Şekil 5.23. %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi 73

Şekil 5.24.SiC+B_4C takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri 73

Şekil 5.25. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika) 76

Şekil 5.26. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika) 76

Şekil 5.27. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika) 76

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.1. B_4C_p / Al7075, İİH için S/N oranı ortalamaları grafiği 82

Şekil 6.2. B_4C_p / Al7075, İİH ortalamaların ortalaması grafiği 82

Şekil 6.3. SiC_p / Al7075, İİH için S/N oranı ortalamaları grafiği 87

Şekil 6.4. SiC_p / Al7075, İİH ortalamaların ortalamaları grafiği 87

Şekil 6.5. B_4C_p+SiCp, İİH için S/N oranı ortalamaları grafiği 92

Şekil 6.6. B_4C_p+SiC_p, İİH için S/N oranı ortalamaları grafiği 92

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Charmilles D20 elektro erozyon tezgâhı 35

Resim 4.2. Grafit elektrot..... 37

Resim 5.1. %10 B_4C + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90 dakika 43

Resim 5.2. %10 B_4C + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika)..... 43

Resim 5.3. %10 B_4C + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika)..... 43

Resim 5.4. %20 B_4C + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90 dakika)..... 44

Resim 5.5. %20 B_4C + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika)..... 44

Resim 5.6. %20 B_4C + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika)..... 44

Resim 5.7. B_4C takviyeli kompozitlerin 50× ve 400× büyütmede mikroyapı görüntüleri 50

Resim 5.8. 90 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 53

Resim 5.9. 120 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 53

Resim 5.10. 150 dakikada sinterlenmiş, %10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 53

Resim 5.11. 90 dakikada sinterlenmiş , %20 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzey etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 54

Resim 5.12. 120 dakikada sinterlenmiş , %20 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 54

Resim 5.13. 150 dakikada sinterlenmiş , %20 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 54

Resim 5.14. %10 SiC + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90 dakika)..... 55

Resim **Sayfa**

Resim 5.15. %10 SiC + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika) 55

Resim 5.16. %10 SiC + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika) 55

Resim 5.17. %20 SiC + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90 dakika) 56

Resim 5.18. %20 SiC + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika) 56

Resim 5.19. %20 SiC + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika) 56

Resim 5.20. SiC takviyeli kompozitlerin 50× ve 400× büyütmede mikroyapı görüntüleri 62

Resim 5.21. 90 dakikada sinterlenmiş , %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 65

Resim 5.22. 120 dakikada sinterlenmiş , %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 65

Resim 5.23. 150 dakikada sinterlenmiş , %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 65

Resim 5.24. 90 dakikada sinterlenmiş , %20 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 66

Resim 5.25. 120 dakikada sinterlenmiş , %20 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 66

Resim 5.26. 150 dakikada sinterlenmiş , %20 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 66

Resim 5.27. %5SiC + %5B_4C + %90Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi: 90 dakika) 67

Resim 5.28. %5SiC+%5B_4C+%90Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi: 120 dakika) 67

Resim 5.29. %5SiC+%5B_4C+ %90Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi: 150 dakika) 67

Resim 5.30. %10SiC+%10B_4C+%80Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi: 90 dakika) 68

Resim **Sayfa**

Resim 5.31. %10SiC+%10B_4C+%80Al7075 deney numuneleri(sinterleme süresi: 120 dakika) 68

Resim 5.32. %10SiC+%10B_4C+%80Al7075 deney numuneleri(sinterleme süresi: 150 dakika) 68

Resim 5.33. SiC+B_4C takviyeli kompozitlerin 50× ve 400× büyütmede mikroyapı görüntüleri 74

Resim 5.34. 90 dakikada sinterlenmiş , %5 B_4C + %5 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 77

Resim 5.35. 120 dakikada sinterlenmiş , %5 B_4C + %5 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 77

Resim 5.36. 150 dakikada sinterlenmiş , %5 B_4C + %5 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 77

Resim 5.37. 90 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C + %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 78

Resim 5.38. 120 dakikada sinterlenmiş, %10 B_4C + %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 78

Resim 5.39. 150 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C + %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100) 78

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
f_p	Vurum frekansı
i_e	Boşalım akımı, A
P_e	Boşalım gücü, W
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, µm
t_d	Gecikme süresi, µs
t_e (µs)	Boşalım süresi, µs
t_i (µs)	Vurum süresi, µs
t_o (µs)	Vurum ara (bekleme) süresi, µs
u_e (V)	Boşalım gerilimi, V
u_j (V)	Açık devre gerilimi, V

Kısaltmalar	Açıklamalar
AO	Aşınma oranı
ANOVA	Değişken (varyans) analizi
B_4C_p	Bor karbür parçacığı
CCD	Central composite design (merkez esaslı kompozit tasarım)
EAH	Elektrot aşınma hızı
EEİ	Elektro erozyon ile işleme
İİH	İş parçası işleme hızı
MMK	Metal matrisli kompozit
RSM	Response surface methodology (yanıt yüzeyleri yöntemi)
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SiC_p	Silisyum karbür parçacığı
S/N	Signal/noise (işaret/gürültü)
TKEEİ	Toz katkılı elektro erozyon ile işleme
YP	Yüzey pürüzlülüğü

1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin hızla ilerlemesiyle, üstün özelliklere sahip mühendislik malzemelerinin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Bununla birlikte, gelişmiş özellikleriyle öne çıkan mühendislik malzemelerinin geleneksel imalat yöntemleriyle işlenmesinde birçok zorluk ile karşılaşılmaktadır. Yüksek boyutsal hassasiyet, karmaşık geometri, üstün yüzey kalitesi, düşük yüzey pürüzlülüğü gerektiren ihtiyaçların ortaya çıkması bu tür taleplerin karşılanmasına yönelik imalat yöntemlerini önemli hale getirmektedir. Günümüzde kompozit malzemeler arasında yaygın olarak kullanılan metal matrisli kompozitlerin (MMK) geleneksel imalat yöntemleriyle işlenmesinde de pek çok güçlük ile karşılaşılmaktadır [1-4].

Metal matrisli kompozit malzemeler, yüksek elastisite modülü, yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci, düşük yoğunluk ve termal genleşme katsayısı gibi üstün özelliklere sahiptirler. Öne çıkan özellikleri sebebiyle havacılık, uzay, otomotiv, demir yolu sanayi ve elektronik sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde toz metalürjisi, döküm, basınçlı infiltrasyon ve sıcak presleme gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır [1-4].

MMK malzemelerde matris malzemesi olarak, alüminyum, titanyum, bakır ve magnezyum kullanılabilmektedir. Alüminyum düşük yoğunluk, korozyon direnci ve yüksek mukavemete sahip olması nedeniyle en yaygın olarak kullanılan matris malzemesidir. MMK malzeme sınıflandırmalarından biri olan alüminyum esaslı kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak en çok tercih edilen seramik partiküller B_4C, SiC, Al_2O_3 ve Si_3N_4 'dir [1-4].

MMK malzemelerin içerdiği aşındırıcı takviyeler ile birlikte homojen olmayan anizotropik yapıların işlenmesini zor hale getirmektedir. İşleme sırasında iş parçası zarar görebilir ve kesici takımların aşınması ekonomik olmayan hatta işlemeyi imkânsız hale getirebilecek bir üretim sürecine yol açabilir [5]. Sert seramik takviyelerin işlemede aşırı takım aşınmasına yol açması geleneksel yöntemler ile işlemede istenilen toleransların ve yüzey özelliklerinin elde edilememesine yol açmaktadır. Takım aşınmasının ana sebebi, doğrudan temas nedeniyle takımda termal ve mekanik yük meydana gelmesidir. Böylece aşınma süreci hızlanmakta ve takım ömrü kısalmaktadır [2].

Kompozit malzemelerin işlenmesinde sıklıkla karşılaşılan bu tür problemlerin üstesinden gelebilmek için elektro erozyon ile işleme (EEİ), lazer ışını ile işleme, aşındırıcı su jeti ile işleme, elektrokimyasal işleme ve ultrasonik işleme gibi geleneksel olmayan imal usulleri yöntemlerine başvurulmaktadır [2].

Günümüzde kalıp ve takım imalatında sıklıkla kullanılan EEİ yöntemi ile sert malzemeler rahatlıkla işlenebilmekte ve karmaşık geometriler elde edilebilmektedir. EEİ yöntemi, iletken elektrot ile dielektrik sıvı içerisine daldırılan elektriksel iletken iş parçası arasında meydana gelen bir dizi elektriksel boşalım sayesinde ergime ve buharlaşma ile malzeme kaldırılması esasına dayanır. Geleneksel imalat yöntemlerine kıyasla EEİ'de iş parçası ve elektrot arasında doğrudan temas olmaması mekanik gerilmeleri ortadan kaldırmaktadır.

MMK malzemelerin işlenmesinde yaygın olarak geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden EEİ yöntemine başvurulmaktadır. MMK malzemelerin EEİ ile işlenmesinde işleme parametrelerinin işleme performansı üzerine etkilerine ilişkin birçok deneysel ve teorik çalışma mevcuttur. EEİ yönteminde işleme performansını etkileyen faktörlerin çeşitli olması ve aynı anda etki etmesi optimum işleme parametrelerinin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bununla beraber uygun işleme parametrelerin seçimi, iş parçası işleme hızı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH) ve yüzey özellikleri gibi performans çıktılarının istenilen seviyelerde elde edilmesi için son derece önemli hale gelmektedir.

Tezin Amacı

Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen MMK malzemelerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde üretimde başvurulan sinterleme süresi ve takviye oranı parametrelerinin büyük rol oynadığı bilinmektedir. Bu çalışmada, kompozit malzeme özelliklerine doğrudan etkisi bulunan bu parametrelerin, malzemelerin işlenebilirliği üzerindeki etkisinin değerlendirilebileceği düşünülmüştür. Yüksek mukavemet, sertlik ve aşınma direncine sahip MMK malzemelerin geleneksel imalat yöntemleri ile işlenmesinin zorlukları nedeniyle bu çalışmada başvurulan geleneksel olmayan yöntemlerden olan EEİ yönteminin uygulanabilirliğinin deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Kompozit yapının kalitesini etkileyen matris malzemesi ile takviye arasındaki ıslanabilirlik seviyesi ve takviye partiküllerinin homojen dağılma durumunun EEİ ile işleme performansı üzerine etkilerinin gözlemlendiği bu çalışmada dielektrik sıvı içerine nano boyutta grafit tozu ilavesi ile başarılı

ve kararlı işlemenin sağlanabileceği ve işleme performansının geliştirilebileceği düşünülmüştür. Bu amaçla, farklı oranlarda B_4C, SiC ve B_4C+SiC takviye edilmiş Al7075 matrisli kompozitlerin işlenebilirliği ve toz katkılı elektro erozyon ile işlemede (TKEEİ) deney parametrelerinin (boşalım akımı, sinterleme süresi ve takviye oranı) ve kompozit yapı kalitesinin rolünün belirlenmesi araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yapılan literatür araştırmasında öncelikle genel olarak EEİ yöntemi üzerine yapılmış çalışmalar anlatılmış, ardından metal matrisli kompozit malzemeler özelinde yapılmış çalışmaların anlatımı ile devam edilmiştir.

Zhao, Meng ve Wang çalışmalarında (2002) dielektrik sıvı içerisine 10 μm büyüklüğünde ve 40 g/L derişiminde alüminyum tozu ilave ederek çeliğin bakır elektrot kullanılarak işlenmesinde, işleme verimi ve yüzey pürüzlülüğü (YP) performans çıktılarını incelemişlerdir. İşleme veriminde %70 oranında iyileşme (2,06 mm^3/dakikadan 3,40 mm^3/dakikaya) ile yüzey kalitesinde artış tespit edilmiştir. Toz katkılı elektro erozyon ile işlemede boşalım aralığının ve boşalım kanalının genişlediğini, geniş ve sığ kraterlere sahip iyileşmiş işlenmiş yüzey elde edildiğini belirtmişlerdir [6].

Kansal, Singh ve Kumar (2007) ortalama parçacık büyüklüğü 30 μm olan silisyum tozunu dielektrik sıvı gaz yağına karıştırarak iş parçası AISI D2 kalıp çeliğini işledikleri çalışmalarında, boşalım akımı, vurum süresi, vurum ara süresi, dielektrik uygulama durumu, toz konsantrasyonu ve elektrotun iş parçasına doğru ilerleme hızı parametrelerinin işleme hızı üzerindeki etkisini incelemiştir. ANOVA (değişken analizi) sonuçlarına göre boşalım akımı ve gaz yağı içerisine eklenen silisyum tozu konsantrasyonunun malzeme işleme hızını etkileyen en önemli parametreler olduğunu ifade etmişlerdir [7].

Ojha, Garg ve Singh (2011) tarafından yapılan çalışmada, EN-8 çeliğinin toz katkılı elektro erozyon ile işlenmesinde işleme parametrelerinin İİH ve EAH üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yanıt yüzeyleri metodolojisi (ing. Response Surface Methodology "RSM") - Merkez Esaslı Kompozit Tasarım (ing. Central Composite Design – CCD) tekniğine başvurarak deney planlarını oluşturmuşlar ve optimum proses parametrelerini analiz etmişlerdir. İşleme akımı (4A, 6A, 8A), boşalım çevrim süresi (% 54, % 63, %72), elektrot açısı (50º, 90º, 130º), krom tozu konsantrasyonu (2g/L, 4g/L, 6g/L) işleme parametreleri olarak seçilmiştir. Deneysel çalışma, dielektrik sıvı gaz yağı içerisine 45-55 μm partikül büyüklüğünde krom tozu karıştırılarak ve %99 saflıkta bakır elektrot kullanılarak işleme süresi her bir deney için 15 dakika olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. 50 mm^2 sabit kesit alanı ve sırasıyla 50º, 90º, 130º açılı 3 çeşit elektrot tel erozyon yöntemi ile hazırlanmıştır.

Deneyler neticesinde, ANOVA sonuçlarından, işleme parametrelerinden gaz yağı içerisine karıştırılan krom tozu konsantrasyonunun, İİH üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. İİH, krom tozu konsantrasyonu arttıkça yükselmiştir. EAH'yi etkileyen baskın parametrelerin ise boşalım akımı ve elektrot açısı olduğunu analiz etmişlerdir. EAH'nin, elektrot açısındaki artış ile azaldığını gözlemlemişlerdir [8].

Muniu, Ikua, Nyaanga ve Gicharu (2012) elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvı saf su içerisine karıştırılan diatomiti potansiyel bir toz olarak araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmalarında, düşük karbonlu çeliğin grafit elektrot ile işlenmesinde İİH ve EAH performans çıktılarını incelemişlerdir. Deneyler sırasında boşalım akımı, vurum süresi ve toz konsantrasyonu işleme parametreleri değiştirilmiştir. Sonuçta, dielektrik sıvı saf suya diatomit tozu ilavesinin, düşük karbonlu çelik iş parçasının İİH'yi arttırırken grafit elektrotun EAH'yi azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca daha ucuz olması gerekçesiyle diatomit toz karıştırılmış saf suyun, bazı uygulamalarda silisyum karbür, alüminyum, bakır gibi toz katkılı dielektriklerin yerine kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir [9].

Bai, Q. Zhang, J. Zhang, Kong ve Yang (2013) tarafından yapılan çalışmada, iş parçası ve takım elektrotlarının çeşitli kombinasyonları için kuruya yakın EEİ yöntemi ile işlemede (ing. PMND-EDM) dielektrik sıvıya karıştırılan silisyum tozunun, işleme veriminin temel göstergesi olan İİH üzerindeki etkileri incelenmiştir. Malzeme kodu W18Cr4V yüksek hız çeliği ve 45 karbon çeliği olan iki farklı iş parçası ile malzeme tipi pirinç ve bakır olan iki farklı takım elektrotunun çeşitli kombinasyonlarda kullanılmasıyla tek faktörlü deneyler yapılmıştır. Tek faktörlü deneylerde boşalım akımı, vurum süresi, vurum ara süresi, hava basıncı, akış hızı, toz derişimi ve takım dönme hızı işleme parametrelerinin İİH'ye etkileri incelenmiştir. "W18Cr4V" tipi iş parçası ve pirinç elektrot takımı kombinasyonunun çoğu boşalım koşulunda en yüksek İİH elde edilirken, bakır elektrot ve 45 karbon çeliği kombinasyonu için İİH üstünlüğünün uygun olmayan ısı dağılımı olduğunda ortaya çıktığını belirtmişlerdir [10].

Khundrakpam, Kumar, Singh ve Brar çalışmalarında (2014), iş parçası EN-8 çeliğinin %99 saflıkta bakır elektrot kullanılarak dielektrik sıvı gazyağına çinko tozu ilave edilerek elektro erozyon ile işlenmesinde proses parametrelerinin İİH üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmişlerdir. Taguchi yöntemi L-27 ortogonal dizisi kullanılarak tasarlanan deneylerde, farklı toz derişimi, boşalım akımı, vurum ara süresi, takım elektrotu çapı büyüklüğü ve

püskürtme basıncı proses parametreleri kombinasyonları için elde edilen sonuçlar ile S/N (ing. Signal/Noise) oranları ve grafikleri elde edilmiştir. Yaptıkları analizler sonucunda, İİH için en önemli faktörlerin toz derişimi, boşalım akımı ve her ikisinin etkileşimi olduğunu, bir diğer taraftan ise vurum ara süresi ve takım elektrot çapı büyüklüğü parametrelerinin İİH için önemli olmadığını belirtmişlerdir [11].

Singh ve Kalra (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmada, iş parçası EN 24 alaşımlı çeliğin bakır elektrot kullanılarak TKEEİ yöntemi ile işlenmesinde toz derişimi, boşalım akımı, vurum süresi ve boşalım çevrim süresi işleme parametrelerinin performans çıktısı İİH üzerindeki etkisi incelenmiştir. Dielektrik sıvı içerisine tungsten tozu ilave edilmiştir. Deney tasarımı Taguchi metodu L9 ortogonal dizi (4 faktör-3 seviye) esas alınarak yapılmıştır. Deney sonucunda tungsten tozu derişimi, boşalım akımı ve vurum süresinin TKEEİ'nin etkili parametreleri olduğu bulunmuştur. Toz derişimi artışı ile İİH'nin artan bir eğilim gösterdiği ve TKEEİ'de klasik EEİ'ye kıyasla daha büyük İİH elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Toz derişiminin 0 g/L'den 2 g/L'ye yükselmesi ile İHH ortalamasının %43,76, 0 g/L'den 4 g/L'ye yükselmesi ile İİH ortalamasının %90,78 arttığını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra maksimum işleme verimliliği toz derişimi: 4 g/L, boşalım akımı: 16 A, vurum süresi: 100 µs, boşalım çevrim süresi: % 48 optimum değerleri için elde edilmiştir [12].

Wong, Lim, Rahuman ve Tee (1998) tarafından yapılan deneysel çalışmada, grafit (38 ± 3 µm), silisyum (45 ± 3 µm), alüminyum (45 ± 3 µm), öğütülmüş cam (2.0 ± 0.07 mm), SiC (2.36 ± 0.08 mm), Molibden disülfid-MoS_2 (tipik partikül büyüklüğü: 1-3 µm (maksimum 40 µm) gibi çeşitli tozlar dielektrik sıvıya 2 g/L derişiminde ayrı ayrı karıştırılarak malzeme kodları " SKH-54 takım çeliği" ve "AISI-OI takım çeliği" olan iki farklı tip iş parçasını, kare kesit bakır elektrot (15 mm x 15 mm) kullanarak farklı kombinasyonlarda toz katkılı elektro erozyon yöntemi ile işlemişlerdir. Deneyler neticesinde ayna benzeri yüzeylerin oluşumunu etkileyen çeşitli faktörler araştırılmıştır. Elektrot kutuplaması, vurum süresi ayarları, iş parçası – toz derişiminin doğru kombinasyonda seçilmesi ile bitirme işlemlerinde negatif elektrot kutuplama yapılmasının üstün yüzey pürüzlülüğünde yüzey elde edilmesinde önemli işleme parametreleri olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca TKEEİ yönteminin daha kısa işleme zamanı, elektriksel boşalımların düzgün dağılım ve kararlı işleme sağladığını belirtilmiştir. Bunlara ek olarak alüminyum, SiC ve öğütülmüş cam toz katkılar ile işlenmiş

iş parçalarına kıyasla; grafit, MoS_2 ve Si toz katkıları ile işlenmiş iş parçalarının daha iyi yüzey kalitesine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [13].

Kumar, Maheshwari, Sharma ve Beri (2012), dielektrik sıvı içerisine grafit tozu karıştırılarak Inconel 718 iş parçasının kriyojenik işlem görmüş 8 mm çapında bakır elektrotlar ile deneysel işlenmesinde elektro erozyon yönteminin işleme verimliliğini araştırmışlardır. İşleme parametreleri; kutuplama tipi, elektrot tipi, boşalım akımı, boşalım çevrim süresi, boşluk gerilimi, geri çekme mesafesi ve toz derişimi iken, işleme verimliliği; elektrot aşınma hızı (EAH) ve elektrottan hacimsel malzeme kaybının, iş parçasından hacimsel malzeme kaybına oranı yani aşınma oranı (AO) bakımında değerlendirilmiştir. ANOVA (varyans analizi) ile işleme parametrelerinin önem sırası tayin edilmiştir. Buna göre, kutuplama, elektrot tipi, boşalım akımının EAH ve AO çıktılarını kayda değer ölçüde etkilediğini ve kriyojenik işlem görmüş bakır elektrot kullanımı ile minimum EAH ve AO elde edildiğini ifade etmişlerdir. Grafit tozu katkısının ise EAH ve AO azalmasında etkili olduğunu belirtmişlerdir [14].

A.K. Singh, Kumar ve V. P. Singh (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, dielektrik sıvıya 10 g/L toz derişiminde grafit tozu karıştırılarak ve karıştırılmadan süper alaşım Super Co 605 iş parçasının 16 mm çapında grafit elektrot kullanılarak elektro erozyon yöntemi ile işlenmesinde kutuplama, boşalım akımı, vurum süresi, vurum ara süresi, boşalım gerilimi ve püskürtme basıncı proses değişkenlerinin yüzey özellikleri (mikro sertlik ve yüzey pürüzlülüğü) üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Dielektrik sıvıya iletken tozların ilave edilmesinin, dielektrik gücünü azaltarak, enerji dağılımını ve boşalım verimini etkilediğini, bunun da işlemeden sonra yüzey pürüzlülüğünü ve mikro sertliği değiştirdiğini ifade etmişlerdir. Deney sonucumda, klasik EEİ'de 1315,2 HV mikro-sertlik elde edilirken, TKEEİ'de 1608,30 HV mikro sertlik elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ise grafit tozu ilavesiyle 2,23'ten 1,99 µm'ye düştüğünü saptamışlardır. İletken tozla işleme ile yüzey pütürlerinin düzelerek daha düzgün ve homojen hale geldiğini ve klasik EEİ'de meydana gelen tipik krater oluşumunu azalttığını belirtmişlerdir. İşleme polaritesinin, boşalım akımının ve vurum süresinin yüzey özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu analiz etmişler ve S/N grafiklerini oluşturulmuşlardır. Optimum işleme koşullarının negatif kutuplanmış elektrot, 9A boşalım akımı ve 20 µs boşalım akımı için elde ettiklerini belirtmişlerdir [15].

Kolli ve Kumar tarafından yapılan çalışmada (2015), Ti-6Al-4V alaşımının dielektrik sıvı içerisine ortalama partikül büyüklüğü 20 μm olan grafit tozu ilavesi ile EEİ yöntemine başvurularak işlenmesinde, proses parametreleri olarak belirlenen boşalım akımı (10, 15, 20 A), sürfaktan derişimi (4, 6, 8 g/L) (yüzey aktif madde) (ing. surfactant) ve grafit toz derişimi (4,5; 9; 13,5 g/L) değişiminin, performans göstergeleri olan iş parçası işleme hızı (İİH), yüzey pürüzlülüğü (YP), elektrot aşınma hızı (EAH) ve yeniden katılaşan katman kalınlığına etkileri araştırılmıştır. Yüzey aktif madde ve grafit tozu derişimini optimize edebilmek için Taguchi yöntemi kullanılmış olup, deney tasarımı L9 ortogonal dizi temel alınarak oluşturulmuştur. Deneyler sonucunda, grafit tozu ve yüzey aktif maddenin ilave edilmesinin İİH'yi önemli ölçüde geliştirdiği, çeşitli koşullarda ise YP, EAH ve yeniden katılaşan katman kalınlığını düşürdüğünü belirtmişlerdir. ANOVA ve F-Testi sonuçlarına göre boşalım akımı ve yüzey aktif madde derişiminin İİH ve EAH çıktılarına, benzer şekilde boşalım akımı ve grafit tozu derişiminin ise YP ve yeniden katılaşan katman kalınlığını önemli ölçüde etkilediğini ifade etmişlerdir [16].

Çoğun, Özerkan ve Karaçay (2005) SAE 1040 çeliğini işledikleri çalışmalarında dielektrik sıvı gaz yağı içerisine sırasıyla ortalama partikül büyüklüğü 40,2 μm olan grafit tozu ile ortalama partikül büyüklüğü 60 μm olan ve düşük elektriksel iletkenlik (10^8 Ω / m) özelliği gösteren H_3BO_3 tozlarının ilavesinin, işleme performansı çıktıları yüzey pürüzlülüğüne, İİH'ye, EAH'ye, bağıl aşınmaya, iş parçasının yüzey sertliğine ve mikro yapıya etkilerini incelemişlerdir. Grafit katkılı dielektrik sıvı ve H_3BO_3 katkılı dielektrik sıvı için yapılan deneylerde vurum süresinin artışı ile yüzey pürüzlülük değerinin yükseldiğini gözlemlemişlerdir. H_3BO_3 katkılı deneylere kıyasla grafit katkılı deneylerde elde edilen işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülük kalitesinin daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır. Optik mikroskop analizine göre toz katkılı deneylerde krater çapı ve derinliğinin azaldığını belirtmişlerdir. H_3BO_3 ilavesinin, yüzey sertliği dışında diğer performans çıktılarına (İİH, EAH ve YP) belirgin bir iyileşmeye neden olmadığını belirtmişlerdir [36].

Erdem, Çoğun ve diğerleri (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, ısıtılmış dielektrik sıvı silikon yağı içerisine sırasıyla karbon tozu (10 g/L ve 15 g/L) ve nişasta tozu (15 g/L ve 30 g/L) ilavesiyle daha iyi yüzey kalitesinde delikler elde edebilmek amacıyla, kendi ekseni etrafında dönen ortası delik pozitif kutuplanmış döner pirinç elektrot ile AISI 4140 takım çeliğinin işlenmesi incelemişlerdir. Deney sonucunda, nişasta katkılı silikon yağı karışımlarında düşük İİH değerleri elde edilirken, karbon tozu katkılı silikon yağı

karışımlarında yüksek İİH elde edilmiştir. Ayrıca dielektriğe karbon tozu katkısının yüzey özelliklerini iyileştirdiğini ifade etmişlerdir [37].

Singh, J. Kumar ve S. Kumar (2015), karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilen %10 SiC takviyeli Al6061 matrisli kompozit malzemenin işlenebilirliğini klasik EEİ yöntemi ve TKEEİ yöntemi ile incelemişlerdir. Yanıt Yüzey Yöntemi kullanılarak işleme parametreleri (vurum süresi, boşalım akımı, gerilim ve vurum bekleme süresi) ile iş parçası işleme hızı arasında matematiksel ilişki geliştirilmiştir. Deneysel plan "Merkezi Tümleşik Tasarım" yöntemi esas alınarak hazırlanmış, beşer farklı boşalım akımı (1, 3, 6, 9, 12 A) , vurum süresi (30, 60, 90, 120, 150 µs), vurum ara süresi (8, 56, 104, 152, 200 µs) ve boşalım gerilimi (30, 40, 50, 60, 70 V) değerleri işleme parametreleri olarak kullanılmıştır. Pozitif kutuplanmış 12 mm çapında bakır elektrotlar ve sabit 30 dakika işleme süresi için deneyler gerçekleştirilmiş, TKEEİ'de dielektrik sıvı içerisine 10-15 µm partikül büyüklüğünde tungsten tozu ilave edilmiştir. Deney sonucunda ergime ve buharlaşma esnasında yüksek ısıl enerji oluşumu nedeniyle yüksek iş parçası ile işleme hızının, yüksek vurum süresi ve yüksek boşalım akımında elde edildiğini belirtmişlerdir. Dielektrik sıvı içerisine tungsten ilavesi ile daha kararlı ve düzenli boşalımlar sağlaması nedeniyle TKEEİ yönteminde işleme sonrası yüzey kalitesinin daha iyi olduğu görülmüştür. Tungsten tozu ilavesi ile gerçekleştirilen deneylerde işleme hızında % 48,43 artış ve yeniden katılaşma tabakasında % 42,85 azalma görülmüştür [17]. Bunun yanı sıra, dielektrik sıvıya tungsten tozlarının ilavesinin işlenmiş yüzeyde krater ve çatlak oluşumu, yüzey pürüzlülüğü, yüzey sertliği ve yeniden katılaşma tabakası gibi performans çıktılarına etkileri deneysel olarak incelenerek, klasik EEİ ile işlenmiş deney numuneleri ile kıyaslanmıştır. Pozitif kutuplanmış 12 mm çapında bakır elektrotlar ve işleme süresi sabit 30 dakika için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, klasik EEİ yöntemi ile işlenmiş yüzey TKEEİ ile işlenmiş yüzeyler kıyaslandığında dielektrik sıvıya tungsten tozu ilavesinin yüzey pürüzlülüğünü azalttığını ve akım, vurum süresi ile gerilimin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir. Krater büyüklüğü, krater derinliği, yeniden katılaşma tabakası (beyaz katman) tortulaşmasının TKEEİ işlenmiş yüzeylerde azaldığı tespit edilmiştir. Ortalama yeniden katılaşan tabaka kalınlığı 54,67 µm dan 47,5 µm seviyesine düşmüştür. Bunlara sebep olarak, dielektrik sıvı içerisine tungsten tozu ilavesinin elektrotlar arasında daha stabil ve düzenli boşalımlar sağlaması ve gaz yağının elektriksel yalıtkanlık direncinin azalması olarak açıklamışlardır [18].

Hu ve diğerleri (2013), ortalama hacim oranı % 40 olan SiC parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemenin klasik EEİ yöntemi ve toz katkılı EEİ yöntemiyle işlenmesini inceledikleri çalışmalarında bu yöntemlerin pürüzlülük, sertlik, etkilenen katman, fiziksel özellikler gibi yüzey özelliklerine etkilerini karşılaştırmışlardır. TKEEİ, dielektrik sıvısı olarak kullanılan gaz yağına, toz derişimi 35 g/L ve toz partikül boyutu 2 µm den küçük olan alüminyum tozu karıştırmışlardır. 50 mm çapında bakır elektrot kullanılarak, iki yöntem ile işlenmiş yüzey hazırlanmıştır. 0,5 A akım, 12 µs vurum süresi, 40 µs vurum ara süresi ve 50 V boşluk voltajı değerleri işleme parametreleri ve işleme süresi 40 dakikadır. Deney sonucunda, klasik EEİ ile karşılaştırıldığında, TKEEİ ile işlenen yüzeylerde birçok yüzey özelliklerinin iyileştirildiğini tespit etmişlerdir. EEİ ile işlenmiş iş parçasının, "Ra" yüzey pürüzlülük değeri 0,834 µm iken, TKEEİ ile işlenmiş iş parçasının "Ra" yüzey pürüzlülük değeri 0,571 µm olarak ölçülmüş olup, pürüzlülük değerinin EEİ yöntemine kıyasla % 31,5 daha az olduğu görülmüştür. Yüzey dokuları çevre taramalı elektron mikroskobu (ESEM) yardımıyla incelenmiş olup, TKEEİ'de işlenmiş yüzeyin daha pürüzsüz ve metalik parlaklığının daha iyi olduğu, boşaltım dağlama çukurcuklarının daha büyük ama daha pürüzsüz ve sığ olduğu gözlemlenmiştir. TKEEİ yöntemi ile elde edilen yüzey mikro sertliğinin yaklaşık %40 arttığını, korozyon direncinin daha yüksek olduğunu ve aşınma direncinin neredeyse %100 arttığını belirtmişlerdir [19].

Syed, Anuraag, Hemanth ve Subahan (2015), karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak elde edilen farklı oranlarda (% 6, % 9 ve %12) SiC (silisyum karbür) parçacık takviyeli Al 6061 esaslı metal matris kompozitlerin, 6 mm çapında bakır elektrotlarla elektro erozyonla işlenmesini incelemişlerdir. Deneyler, %70'lik bir boşalım çevrim süresinde ve 40V'lık tezgâh gerilimi değeri ile 65 µm sabit vurum süresinde gerçekleştirilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda 0 g/L, 1g/L ve 2g/L olmak üzere dielektrik sıvı içeresine ilave edilen 27 µm büyüklüğünde alüminyum tozu ve 2A, 4A, 6A boşalım (işleme) akımının İİH 'ye etkilerini incelemişlerdir. İİH üzerinde boşalım akımı, dielektrik sıvı içerisine katılan toz miktarı ve kompozit içerisindeki partikül takviye oranlarının etkilerini analiz etmek için ANOVA analizi yapılmıştır. Deney sonucunda, iş parçası işleme hızının, alüminyum matrisli MMK malzemede başvurulan parçacık takviye oranına bağlı kalmadan, boşalım akımı arttıkça arttığı görülmüştür. İş parçası işleme hızının SiC partikül takviye oranının % 6'dan % 9'a artışı ile azalırken SiC partikül takviye oranının % 9'dan % 12'ye artışı ile artması bir diğer gözlemdir. Bundan anlaşılacağı üzere, %9 oranında takviyelendirilmiş SiC/Al 6061 kompozit malzemesinin, diğer takviye oranları ile imal edilmiş kompozit malzemelere göre,

işlenebilirliğinin daha zor olduğu anlaşılmıştır. Syed ve diğerleri tarafından bu durum, elektrot boşluğu arasının köprüleşmesi nedeniyle sık sık kısa devre oluşması ve buna bağlı olarak işleme verimliliğinin azalması olarak yorumlanmıştır [20].

Anuaarag ve Reddy (2016), karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak ürettikleri %3, %9, %15 takviye oranlarında SiC takviyelendirilmiş Al6061 esaslı kompozitlerin TKEEİ yöntemi ile işlenmesinde, boşalım akımı, vurum süresi ve iş parçasındaki SiC oranının değişiminin İİH üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Dielektrik sıvı gaz yağı içerisine 27 µm partikül büyüklüğünde alüminyum tozu ilave edilerek yapılan deneylerde negatif kutuplanmış 6mm çapında bakır elektrot ile sabit 10 dakika işleme yapılmıştır. İİH'nin vurum süresine bakılmaksızın boşalım akımının artışına bağlı olarak arttığını, iş parçası içindeki takviye oranına bakılmaksızın herhangi bir sabit boşalım akımı için vurum süresinin artışına bağlı olarak İİH'nin azaldığını, sabit vurum süresi ve boşalım akımında iş parçası içindeki takviye oranı artışı ile İİH'nin arttığını raporlamışlardır [21].

Talla, Sahoo, Gangopadhyay ve Biswas (2015) Al_2O_3 içeren alüminyum matrisli kompozitlerin, dielektrik sıvı gaz yağı içerisine alüminyum tozu ilave edilerek EEİ ile işlemişlerdir. Deney sonunda, klasik EEİ yöntemine kıyasla İİH'nin arttığı ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerinin azaldığı görülmüştür. İşleme parametreleri (boşalım akımı, vurum süresi, toz katkısı derişimi, gerilim ve boşalım çevrim süresi) ve malzemenin ısıl iletkenlik, yoğunluk, ısıl genleşme katsayısı gibi termofiziksel özellikleri esas alınarak İİH ve Ra için boyutsal ve regresyon analizinin hibrit bir yaklaşımını kullanarak yarı deneysel modeller oluşturulmuştur. Model denklemlerinden, işleme parametrelerinin yanı sıra, ısıl iletkenlik, ısıl genleşme katsayısı ve malzemenin yoğunluğunun hem İİH hem de Ra'yı önemli ölçüde etkilediği anlaşılmaktadır Maksimum İİH ve minimum Ra elde etmek için gerekli optimum işleme parametrelerinin belirlenebilmesi için Grey – PCA tekniği kullanılarak çoklu yanıt optimizasyonu yapılmıştır [22].

Metal matrisli kompozit malzemelerin TKEEİ ile işlenmesine yönelik literatür araştırmaların çoğunun yüzey özelliklerinde (yüzey pürüzlülüğü, yüzey topolojisi, sertlik, yeniden oluşan tabaka kalınlığı vs.) iyileşmenin incelenmesine yönelik olduğu görülmektedir. Araştırmalarda ayrıca TKEEİ esnasında oluşan yüzey altı hataları da incelenmiştir. EEİ yönteminde ergitme ve buharlaşma sonucu malzeme kaldırma işlemi

gerçekleştirilirken dielektrik sıvı püskürtme ile ergimiş malzemenin tamamı uzaklaştırılmazsa yeniden katılaşmış tabaka oluşur [23].

Müller ve Monaghan (1997), parçacık takviyeli metal matris kompozit malzemelerin sert takviye parçacıkları içermesi sebebiyle geleneksel imalat yöntemleri ile işlemenin son derece zor olduğunu ve yüksek takım aşınmasının görüldüğünü belirtmiş, bu sebeple sıcak izostatik presleme içeren toz metalürjisi yöntemi kullanılarak üretilen %35 SiC parçacık takviyeli A356 matrisli kompozit malzemenin (A356/SiC/35p) dalma EEİ yöntemi ile işlenebilirliği incelemişlerdir. Deneylerde dielektrik sıvı olarak parafin yağı ve 5mm kalınlığında ve 10x10 mm ölçülerinde kare şeklinde bakır ve grafit elektrot kullanılmıştır. Elektrot malzeme tipi, boşalım akımı ve vurum süresi gibi işleme parametrelerini değiştirerek optimum İİH, yüzey pürüzlülüğü ve EAH elde edilmesine yönelik deneysel çalışma yapmışlardır. Ayrıca takviyenin işleme sürecine etkisini incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, SiC partiküllerinin düşük elektriksel iletkenliğine ve yüksek ısıl direncine rağmen, Al/SiC_p kompozit malzemelerinin EEİ yönteminin kullanılarak işlenebileceğini göstermiştir. Genel olarak iş parçası işleme hızının geleneksel işleme yöntemlerine kıyasla yavaş olduğu görülmüştür. İİH'nin boşalım akımının artışına ve optimum vurum süresi değerine kadar arttığını, ancak bu değerden daha büyük herhangi bir vurum süresi için azaldığını belirtmişlerdir. SiC takviye oranı seramik içeriği arttıkça malzeme kaldırma oranının düştüğü de gösterilmiştir. Buna sebep olarak seramik takviyenin olması nedeniyle matrisin elektriksel iletkenliğinin azalması ve SiC 'ün düşük ısıl iletkenliğe ve yüksek ısıl dirence sahip olması olarak açıklanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve yeniden katılaşma tabakası daha yüksek boşalım enerjisi ile arttığı ve düşük takım aşınmasının düşük bir akım ve yüksek vurum süresinde görüldüğü belirtilmiştir [24].

Müller ve Monaghan (2000) tarafından yapılan bir diğer çalışmada geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden EEİ, lazer ile kesme, aşındırıcı su jeti ile işleme yöntemlerini kullanarak %20 SiC parçacık takviyeli Al2618 matrisli kompozitlerin (AA2618/SiC/20p) ve %35 SiC parçacık takviyeli A356 (A356/SiC/35p) matrisli kompozitlerin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Ayrıca, EEİ esnasında oluşan yeniden katılaşma tabakası incelenmiştir. Yeniden katılaşma tabakasında ergiyik alüminyum damlacıklarının hatalı birleşmesinden dolayı boşluklar oluştuğu görülmüştür. Gözeneklilik oluşumu yeniden katılaşma katmanında belirgindir. Hızlı yeniden katılaşma esnasında aşırı yüksek sıcaklıktan kaynaklı oluşan gaz buharı bunun nedeni olarak gösterilmiştir [25].

Hung, Yang, ve Leong (1994), silisyum karbür (SiC) partikülleri ile güçlendirilmiş dökme alüminyum metal matris kompozitlerinin EEİ ile işlenebilirliğini araştırmışlardır. İş parçası işleme hızı, yeniden katılaşma tabası ve yüzey kalitesi üzerinde işleme parametrelerinin etkisini tahmin etmek için istatiksel modelleri geliştirilmişlerdir [26].

Kumar ve Parkash (2016), karıştırmalı döküm metodunu kullanarak ürettikleri ağırlıkça %5 oranında 50 μm büyüklüğünde B_4C partikülleri kullanarak takviyelendirilmiş Al6061 esaslı kompoziti EEİ ile işledikleri çalışmalarında, akım, vurum süresi, vurum ara süresi ve elektrot malzeme tipi işleme parametrelerinin İİH, EAH ve YP üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyler, negatif kutuplanmış silindirik 30 mm çapında 3 farklı tip elektrot (bakır, EN-19 ve grafit) kullanılarak ve her bir deney işleme süresi sabit 20 dakika tutularak gerçekleştirilmiştir. Deney tasarımı için Taguchi yöntemi L9-ortogonal dizisini, deney sonuçlarının değerlendirilmesi için ise varyans analizini (ANOVA) kullanmışlardır. Yaptıkları ANOVA analizi sonucunda, akım ve vurum süresi parametrelerinin İİH ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörler olduğunu, elektrot malzeme tipi ve akım parametrelerinin ise EAH'yi etkileyen en önemli faktörler olduğunu tespit etmişlerdir. Grafit elektrot kullanımı ile en yüksek İİH ve en düşük yüzey pürüzlüğü, EN-19 elektrot kullanımı ile en yüksek EAH değerlerini elde etmişlerdir. İİH'nin akımın artışı ile artarken, vurum süresinin artışı ile azaldığını, vurum ara süresinin artışı ile ise başlangıçta azaldığını daha sonra arttığını; EAH'nin akımın artması ile doğrusal olarak arttığını, vurum süresinin artışı ile başlangıçta azaldığını daha sonrası arttığını, yüzey pürüzlülüğünün ise akımın artışı ile yükseldiğini ifade etmişlerdir. Taguchi metodu S/N grafikleri yardımıyla en iyi sonuçları (maksimumum İİH, minimum EAH ve YP) alabilmek için gerekli optimum işleme parametrelerini belirlemişlerdir [27].

Dubey ve Singh (2018), dielektrik sıvı gaz yağına partikül büyüklüğü 20 ile 40 μm büyüklüğünde ve 4 g/L derişiminde krom tozu ilave ederek karıştırmalı döküm yöntemi ile imal edilen %5 B_4C parçacık takviyeli Al7075 esaslı kompozit malzemeyi (Al7075/B_4C) elektro erozyon yöntemi ile pozitif kutuplanmış bakır elektrot (Ø 12 mm) ile işledikleri çalışmada, işleme parametreleri (boşalım akımı, vurum süresi, vurum ara süresi, gerilim) ile İİH arasındaki matematiksel ilişkiyi yanıt yüzeyleri yöntemini kullanarak geliştirmişlerdir. Yapılan ANOVA analizi sonucunda, akım ve vurum süresinin İİH'yi etkileyen en önemli işleme parametreleri olduğu belirtilmiştir. RSM yöntemi ile belirlenen optimum işleme ayarlarında elde edilen İİH sonuçlarını, deneysel (0,2208 g/dk) ve

öngörülen (0,2399 g/dk) değerler olarak kıyaslamışlardır ve %8,65 sapma olduğunu tespit etmişlerdir. Yeniden katılaşma tabakasını taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile inceledikleri ve Axio-Vision yazılımı yardımıyla ölçtükleri çalışmada 6 A akım, 120 µs vurum süresi, 152 µs vurum ara süresi, 40 V gerilim işleme değerlerinde yeniden katılaşma tabakası ortalama kalınlığını 51,6 µm olarak, 12 A akım, 120 µs vurum süresi, 56 µm vurum ara süresi, 60 V gerilim işleme değerlerinde ise yeniden katılaşma tabakası ortalama kalınlığının 62,7 µm olarak bulmuşlardır [28].

Kumar ve Davim (2011) tarafından yapılan deneysel çalışmada, Al-%10 SiC_p metal matrisli kompozit malzemenin toz katkılı elektro erozyon yöntemi ile işlenmesinde dielektrik sıvı içerisine silisyum tozu ilavesinin malzeme kaldırma mekanizması üzerindeki rolü araştırılmıştır. Dielektrik gazyağı içerisine partikül toz büyüklüğü 20-30 µm olan silisyum tozu ilave edilmiş olup, karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilen hacimce %10 SiC parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemeleri 5 mm çapında pozitif kutuplanmış bakır elektrot kullanarak her bir deney süresini sabit 30 dakika tutarak işlemişlerdir. Yapılan çalışmada toz derişimi (0, 2, 4 g/L), boşalım akımı (3, 6, 9 A), vurum süresi (50, 100, 150 µs) ve gerilim (50, 70, 90 V) işleme parametrelerinin, işleme hızı ve yüzey pürüzlülüğü performans çıktıları üzerindeki etkileri analiz edilmiş ve Taguchi metodu kullanılarak optimum işleme parametreleri elde edilmiştir. Deney neticesinde silisyum toz derişimi ve boşalım akımının, işleme hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki en etkili parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Uygun miktarda silisyum tozu ilavesinin işleme hızını artırırken yüzey pürüzlülüğünü azalttığını ifade etmişlerdir. 4 g/L silisyum tozu ilavesinin işleme hızını 3 katına çıkardığını, yüzey pürüzlülüğünü %33 azalttığını tespit etmişlerdir [29].

Kumar, Kumaran ve Kumaraswamidhas (2015), karıştırmalı döküm yöntemi ile farklı takviye oranlarında (% ağırlık = 0, 2, 4, 6, 8) ve farklı tip takviye malzemeleri AlN (alüminyum nitrit), Si_3N_4 (silisyum nitrür) ve ZrB_2 (zirkonyum diborür) kullanılarak çeşitli kombinasyonlarda takviyelendirilerek üretilen Al2618 esaslı kompozit malzemelerin bakır elektrot kullanılarak elektro erozyon ile işlenmesini incelemişlerdir. Deney tasarımını Taguchi metodu L25 ortogonal dizi esas alarak yaptıkları çalışmada, iş parçalarının farklı işleme parametreleri ile (takviye oranı değişimi, boşalım akımı, vurum süresi ve vurum ara süresinde) delinmesinde, İİH ve EAH performans çıktıları üzerindeki etkileri ile takviye oranı değişiminin kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini ANOVA (varyans değişimi) ve S/N grafikleri ile analiz etmişlerdir. Deney sonucunda, takviye

oranının artması ile kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini ve İİH ve EAH'nin azaldığını gözlemlemişlerdir [30].

Sidhu, Batish ve Kumar (2014), hacimce %65 SiC takviyeli A356.2, hacimce %10 SiC ve %5 kuartz takviyeli Al ve hacimce %30 SiC takviyeli A359 olan üç farklı tipte metal matrisli kompozit malzemelerin EEİ ve TKEEİ ile işlenmesinin yüzey özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Deneylerde iş parçalarının işlenmesinde bakır, grafit ve bakır-grafit olmak üzere üç farklı tip takım elektrotu ile dielektrik sıvı olarak ise gaz yağı, gaz yağı + bakır tozu, gaz yağı + grafit tozu olmak üzere üç farklı tip dielektrik kullanılmıştır. Deney tasarımı L27 ortogonal dizi esas oluşturulmuş ve farklı kompozit malzeme tipi, elektrot tipi ve dielektrik sıvı kombinasyonları için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda S/N mikro sertlik oranları için yapılan ANOVA analizinde, işleme sonrası kompozit malzeme sertliklerinin takviye parçacıkları yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değiştiğini yani takviye parçacıklarının yoğunluğundaki artış ile arttığını tespit etmişlerdir. İşleme esnasında SiC partiküllerinin Si ve C elementlerine ayrıştığını ve bu nedenle takviye partiküllerinin oksidasyonu nedeniyle SiO_2 oluştuğunu ifade etmişlerdir. Grafit elektrot ile işlenen iş parçalarının bakır elektrot ile işlenen iş parçalarına kıyasla mikro sertlik değerlerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. XRD sonuçları, elektrot ve/veya dielektrik ortamdan transfer edilen ana element olarak bakır oksit oluşumunun yüzey özellikleri üzerinde etkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Buna sebep olarak bakırın grafite kıyasla daha yüksek iletkenlik ve reaktivite potansiyeline sahip olması gösterilmiştir. Bunun yanı sıra SEM ile mikro yapı ve yeniden katılaşma tabakası incelenmiş, toz katkılı işlemenin yüzey özelliklerini geliştirmede etkili olduğunu belirtmişlerdir [31].

Hourmand, Farahany, Sarhan ve Noordin (2015) tarafından yağ bazlı dielektrik sıvı içerisine alüminyum tozu ilave edilerek yapılan çalışmada, Al-Mg_2Si metal matrisli kompozit malzemenin işlenmesinde, gerilim (50, 80, 110 V) , akım (3, 9, 15 A) , vurum süresi (10, 105, 200 µs) ve boşalım çevrim süresi (%0,25; %0,55; %0,85) işleme parametrelerinin İİH, EAH ve mikro yapı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneylerde pozitif kutuplanmış 5,5 mm çapında bakır elektrot kullanılmış ve her bir deneyde sabit işleme derinliği 6 mm olarak tutulmuştur. Yanıt yüzeyleri metodu - merkez esaslı kompozit tasarımı tekniği ile deney planı tasarlanmış, ANOVA (değişken analizi) ile İİH ve EAH için matematiksel bağıntılar oluşturulmuştur. Deney neticesinde gerilim, akım ve vurum süresi parametrelerinin yüzey

profili ve işlenmiş yüzeyin mikro yapısı üzerinde önemli etkisi olduğunu ifade etmişlerdir [32].

Singh, J. Kumar ve S. Kumar (2015), karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilen AA6061/10%SiC_p kompozit malzemenin TKEEİ yöntemi ile işlenmesinde EAH üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İşleme parametreleri; vurum süresi, boşalım akımı, gerilim ve vurum bekleme süresi ile EAH arasında matematiksel bağıntı Yanıt Yüzeyleri Yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. 12 mm çapında bakır elektrotlar ile ters kutuplamada deneyler gerçekleştirilmiş, dielektrik sıvı içerisine 10-15 µm partikül büyüklüğünde ve 4 g/L derişiminde tungsten tozu ilave edilmiştir. Sonuçta, akım ve vurum süresinin EAH'yi etkileyen en önemli proses parametreleri olduğunu belirtmişlerdir. EAH'nin akım artışıyla önemli ölçüde arttığını, daha yüksek vurum süresinin ise EAH üzerinde orta düzeyde azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Klasik EEİ yöntemine kıyasla, TKEEİ ile %51,12 oranında EAH'nin azalma gözlemlenmiştir [33].

Kumar, Uthayakumar, Kumaran ve Parameswaran (2014) tarafından yapılan çalışmada, karıştırmalı döküm yöntemi ile üretilen %5 SiC + %5 B_4C parçacık takviyeli Al6351 metal matris esaslı hibrit kompozit malzemenin elektro erozyon ile işlenmesinde işleme parametrelerinin EAH, YP ve güç tüketimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Akım (5, 10, 15 A), vurum süresi (50, 75, 100 µs), boşalım çevrim süresi faktörü (4, 6, 8) ve gerilim (40, 45, 50 V) işleme parametreleri değerlerinde, bakır elektrotlar ile işleme derinliği sabit 2 mm için her bir deney gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, akımın artması ile elektriksel kıvılcım enerjisinin elektrottan boşalması ile EAH'yi artırdığını, vurum süresi ve boşalım çevrim süresi faktörünün EAH'yi olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü incelediklerinde akım ve vurum süresinin artışı ile arttığını, boşalım çevrim süresinin düşük olmasının daha iyi yüzey pürüzlüğü sağladığını fakat önemli bir katkısının olmadığını saptamışlardır. İşleme esnasında güç tüketimini değerlendirdiklerinde ise, akımın ve boşalım çevrim süresi artması ile azaldığını gözlemlemişlerdir. ANOVA analizi sonuçlarına göre akımın EAH üzerinde %33.08, YP üzerinde %76,65, güç tüketimi üzerinde ise %48,08 katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca işlenmiş yüzeyleri SEM ile incelemeleri sonucunda krater ve yeniden katılaşmış tabaka oluşumu gözlemlemişlerdir [34].

Hu ve arkadaşları (2011), ortalama hacim oranı %45 olan SiCp / Al kompozit malzemenin işlenebilirliğini klasik EEİ ve TKEEİ yöntemleriyle incelemişlerdir. TKEEİ'de dielektrik sıvı gaz yağı içerisine toz büyüklüğü 6 µm'dan az olan ve derişimi 35 g/L olan alüminyum tozu karıştırılmıştır. Deney sonucunda, klasik EEİ ile işlenmiş yüzeyde Ra = 1,386 µm iken, TKEEİ ile işlenmiş yüzeyde Ra= 0,406 µm olarak ölçülmüştür. Araştırmacılar %70,7 iyileşme tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Yüzey sertliğini ise klasik EEİ ile işlenmiş yüzeyde yaklaşık 1,7 GPA iken, TKEEİ ile işlenmiş yüzeyde yaklaşık 2,2 Gpa (1,3 katı) olarak bulmuşlardır [35].

TKEEİ yönteminde dielektrik sıvıya ilave edilen toz malzemesinin yoğunluğu, elektriksel direnci, ısıl iletkenliği, partikül büyüklüğü ve derişiminin işleme performansı üzerinde belirleyici role sahip olduğu ileri sürülmektedir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda ise dielektrik sıvı içerisine uygun toz ilavesinin işleme performansını olumlu etkilediği gözlemlenmiştir. TKEEİ yönteminin incelendiği çalışmaların çoğunda mikron boyutta toz partikülü ilavesinin, nano boyutta toz ilavesine kıyasla daha çok incelendiği görülmüştür. TKEEİ yönteminde başarılı sonuçların elde edilebilmesi için toz partikül büyüklüğü seçimi belirleyicidir. Tzeng ve Lee (2001) tarafından yapılan çalışmada, 70-80 nm, 10-15 µm ve 100 µm partikül büyüklüğünde toz ilave edilerek gerçekleştirilen deneylerde toz partikül büyüklüğünün işleme performansı üzerine etkisi kıyaslamıştır. 70-80 nm boyutlarında toz ilavesi ile boşalım aralığında en küçük artışı meydana getirdiği ve daha yüksek İİH ile daha düşük EAH elde edildiği tespit edilmiştir [60]. Yih-fong ve Fu-chen (2005) yılında yaptıkları çalışmalarında, 70 -80 nm, 10-15 µm ve 100 µm partikül büyüklüğünde toz ilave edilerek gerçekleştirilen deneylerde toz partikül büyüklüğünün yüzey özelliklerine etkisini incelemiştir. Deney sonucunda en iyi yüzey kalitesini 70-80 nm toz ilavesi ile elde ettiklerini belirtmişlerdir [61]. Bir diğer taraftan toz ilavesi olarak yaygın olarak kullanılan grafit tozu malzemesinin işleme performansını iyileştirdiği yapılan literatür araştırmasında gözlemlenmiştir. Bu çalışmalar grafit tozu ilavesinin İİH'nı artırdığı, EAH'nı azalttığını ve yüzey kalitesini iyileştirdiğini göstermektedir. Grafit tozu düşük elektriksel direnç, yüksek termal iletkenlik ve aynı zamanda mükemmel yağlayıcı görevi sağlama işlevini sağlamaktadır. Grafit tozu düşük elektriksel direnci özelliği ile dielektrik sıvının elektrik iletkenliğini artırırken, yüksek ısıl iletkenlik özelliği ile ısının işleme esnasında iş parçası yüzeyinde daha fazla dağıtılmasını sağlayarak işlenmiş yüzeyde oluşan krater boyutunu sınırlandırır [13].

İşlenebilirliği ve hassasiyeti olumlu etkileyen tüm bu özellikler göz önünde bulundurularak nano boyutta grafit tozu ilavesi ile deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

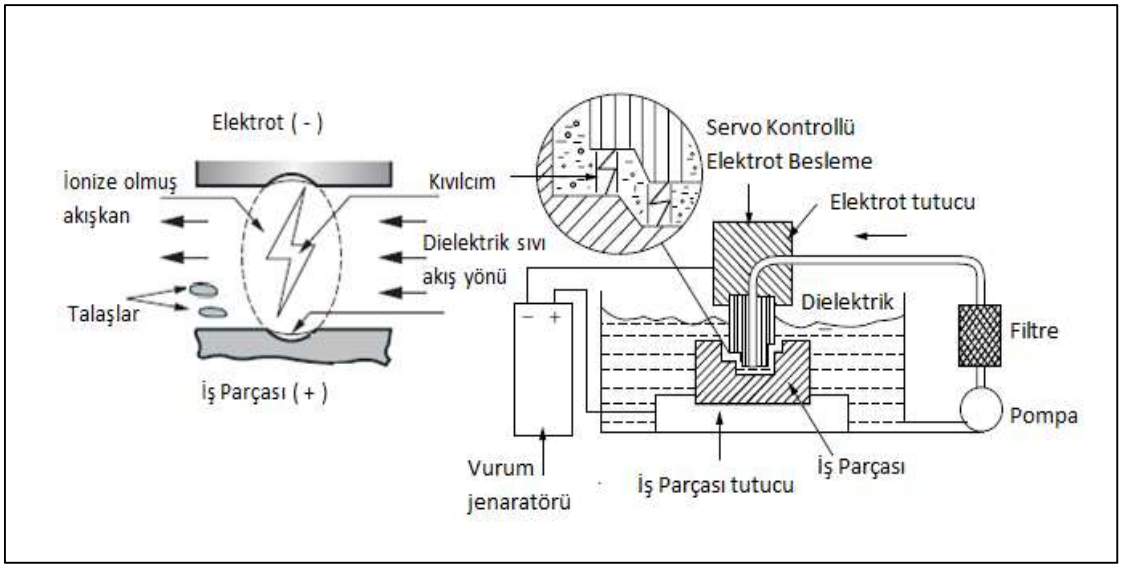
Bu tez çalışması kapsamında, dielektrik sıvı gaz yağı içerisine ortalama partikül büyüklüğü 50 nanometreden küçük olan grafit tozu ilave edilerek, toz metalürjisi yöntemi kullanılarak üç farklı sinterleme süresinde (90, 120, 150 dakika) üretilmiş %10 SiC, %20 SiC, %10 B_4C, %20 B_4C, %5SiC + %5 B_4C, %10 SiC + %10 B_4C oranlarında parçacık takviyeli Al7075 esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin grafit elektrot ile işlenmesinde, işleme parametrelerinin işleme performansları olan iş parçası işleme hızı (İİH), yüzey pürüzlülüğü (YP), ve yüzey özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İşlenmiş yüzeylerin SEM görüntüleri incelenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde ANOVA kullanılarak işleme parametreleri ile İİH arasındaki matematiksel bağıntı geliştirilmiş ve proses parametrelerinin önem sırası belirlenmiştir.

Böylelikle, toz metalürjisi yöntemi ile üretilen MMK malzemelerin dielektrik sıvıya nano boyutta grafit tozu ilave edilerek TKEEİ yöntemi ile işlenmesinde elde edilen deneysel sonuçların literatüre katkı sağlaması hedeflenmiştir

3. ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME (EEİ) YÖNTEMİ

Elektro erozyon ile işleme (EEİ) dielektrik sıvı içerisine birbiri ile temas etmeyecek biçimde yerleştirilmiş olan elektriksel iletkenliğe sahip bir iş parçası ile elektrot arasında kontrollü olarak oluşturulan elektriksel boşalımların, iş parçası yüzeyinden küçük parçacıkları ergiterek ve buharlaştırarak kaldırması esasına dayanan geleneksel olmayan işleme yöntemidir.

Klasik bir EEİ sistemi iş parçası, elektrot, dielektrik sıvı, dielektrik sıvı tankı, filtre, sirkülasyon pompası, servo kontrollü elektrot besleme mekanizması, vurum jeneratörü, iş parçası bağlama aparatı ve elektrot takımı tutucudan oluşmaktadır. Servo kontrollü elektrot besleme ünitesi, iş parçası ile elektrot arasında aktif elektriksel boşalımların (kıvılcımların) oluşumu esnasında işleme aralığının sabit tutulmasını sağlar. İşleme sırasında meydana gelen ergiyip katılaşan partiküller dielektrik sıvı püskürtülerek ortamdan uzaklaştırılır ve dielektrik sirkülasyon ünitesi aracılığı ile dielektrik sıvı işleme kalıntılarından filtrelendikten sonra işleme bölgesine tekrar püskürtülür. Şekil 3.1'de klasik EEİ yönteminin genel yapısı şematik olarak gösterilmiştir [38].



Şekil 3.1. Klasik EEİ yönteminin şematik gösterimi [38,39]

EEİ yöntemi ile elektriksel iletken malzemeler, malzeme sertliğinden bağımsız olarak ısıl (termal) enerji kullanılarak başarı ile işlenmektedir. Elektro erozyon ile işleme yöntemi, kalıp imalatı, tıbbi bileşenlerin imalatı, otomotiv endüstrisi, havacılık ve uzay sanayisinde

yaygın olarak kullanılmaktadır. İş parçası ve elektrot arasında temas eden yüzey bulunmaması sebebiyle mekanik gerilim ve titreşim gibi işleme esnasında ortaya çıkan problemleri bertaraf eder [40,42].

EEİ sürecinin bazı uygulamalarında görülen işlenmiş yüzey üzerinde yüzey çatlakları, yüzeyde ve yüzey altında metalürjik değişiklikler, ısıdan etkilenen bölge ve yeniden katılaşmış tabaka oluşumu bu yöntemin olumsuz etkilerindendir [41].

EEİ'de iş parçasında oluşan malzeme kaybı, elektrotta oluşan malzeme kaybından daha büyüktür. Bu durum elektrottan kopan elektronların, iş parçasından ayrılan iyonlara kıyasla daha küçük kütleli olmalarından dolayı elektriksel alanda daha hızlı olmalarından kaynaklanmaktadır [50].

3.1. Klasik Elektro Erozyon ile İşlemenin Fiziksel Prensibi

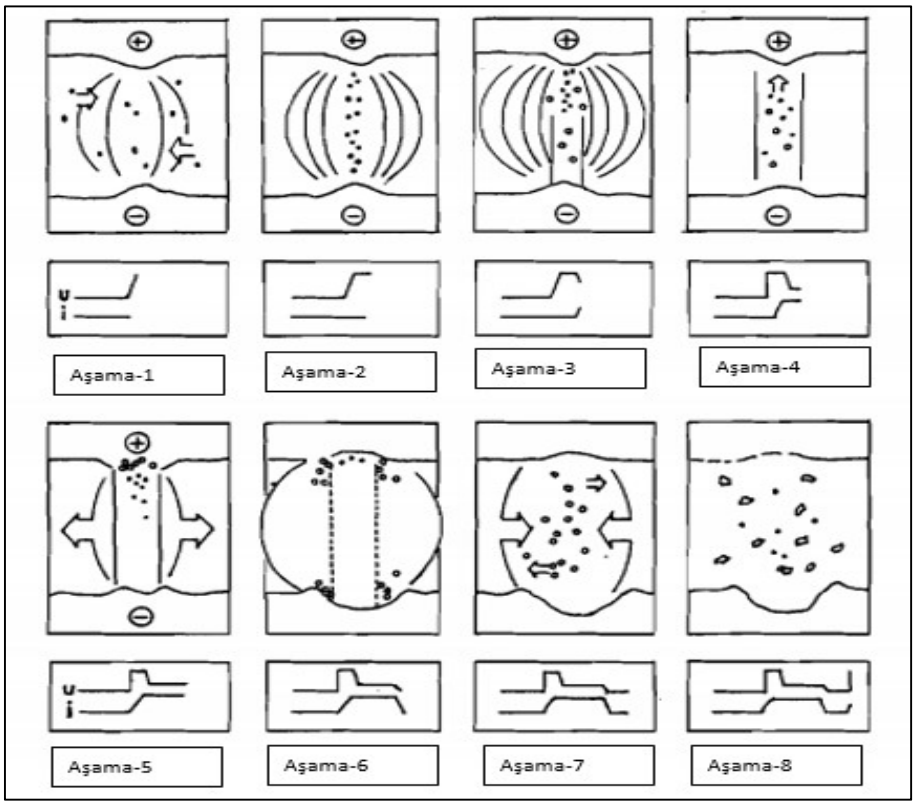
Vurum jeneratörü kutuplarına bağlanan iş parçası, takım elektrotu ile arasında küçük bir boşluk olacak şekilde (0,01-0,05 mm) işleme tankı içerisine yerleştirilir [38]. İşleme aralığında elektriksel direncin kontrol edilebilirliğinin sağlanması için dielektrik sıvı kullanılır.

EEİ'de iş parçası, elektrot ve dielektrik sıvı arasında elektriksel boşalım sırasında meydana gelen fiziksel olaylar Şekil 3.2'de [46] verilmiştir ve detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır [43-45];

1. İlk aşamada, iş parçası ile elektrot, işleme aralığını dolduran dielektrik sıvı tarafından yalıtılmıştır (aşama-1).
2. İşleme aralığı boyunca 80-200 V gerilim uygulandığında, iş parçası ve elektrot arasında elektriksel alan oluşur. Bunun sonucunda dielektrik sıvı içerisinde bulunan küçük parçacıklar elektriksel alan içinde işleme aralığı boyunca bir köprü oluşturarak elektriksel alanın güçlendiği aralıkta toplanır. Bu sırada gerilim hızla artarken, akım sıfırdır (aşama-2).
3. Elektriksel alanının en güçlü olduğu noktada dielektrik sıvı yalıtkanlık özelliğini kaybetmeye başlar, dielektrik sıvı kırılarak iyonlaşır, elektriksel olarak iletken olur. İş parçası ve elektrot arasından akım geçmeye başlar. Bu sebeple işleme aralığındaki

gerilim düşer ve akım değeri operatör tarafından ayarlanmış sabit değere yükselir. İş parçası ve elektrot arasında plazma kanalı oluşmaya başlar (aşama-3).

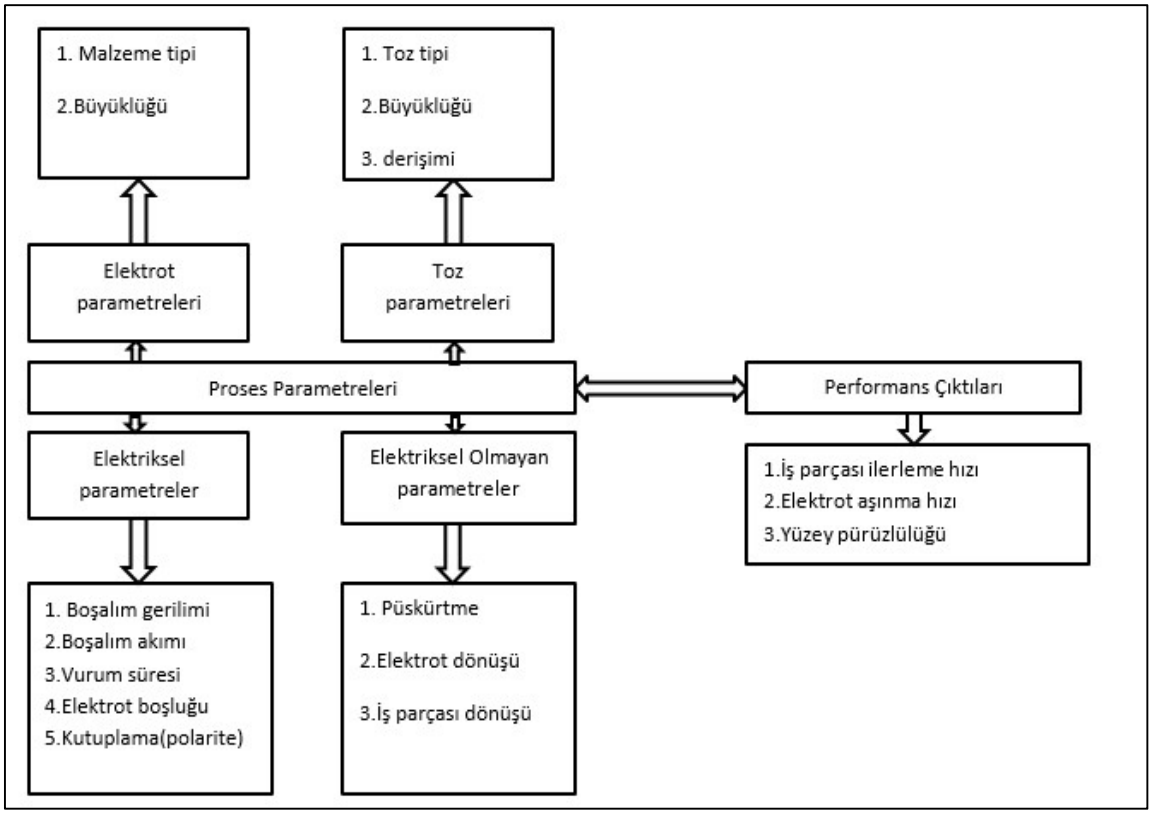
4. Akımın artışı nedeniyle bu alanda ısı hızla yükselir, elektrot ve iş parçası malzemesinin bir kısmı ergiyerek buharlaşır. Böylece iş parçası ve elektrot arasında plazma kanalı oluşur (aşama-4).
5. Oluşan plazma kanalı, vurum süresi boyunca büyür ve genişler (aşama-5).
6. Plazma kanalı etrafında buhar kabarcıkları oluşur, dışarıya doğru genişler. Buhar kabarcıkları ve plazma kanalı etrafındaki dielektrik sıvı yoğunluğunu etkisiyle, plazma kanalının daha fazla gelişmesini sınırlandırır ve giren enerjiyi çok küçük bir hacimde yoğunlaştırılmış olarak tutar (aşama-6).
7. Vurum süresi bitiminde, akım ve voltaj değerleri sıfıra düşer. Plazma kanalındaki sıcaklık ve basınç hızla azalır, buhar kabarcıkları dağılır. Böylece iş parçasından ergimiş malzeme dışa doğru yayılmaya başlar (aşama-7).
8. Dielektrik sıvı ergimiş malzemeyi soğutarak katılaştır ve ortamdan uzaklaştırır (aşama-8).



Şekil 3.2. Elektro erozyon ile işleme yönteminin fiziksel prensibi [46]

3.2. EEİ Proses Parametreleri

EEİ yöntemi proses parametreleri, elektriksel parametreler, elektriksel olmayan parametreler, elektrot parametreleri, toz katkısı vb. olarak çeşitli kategorilerde sınıflandırılabilir ve Şekil 3.3 ile gösterilmiştir [47].

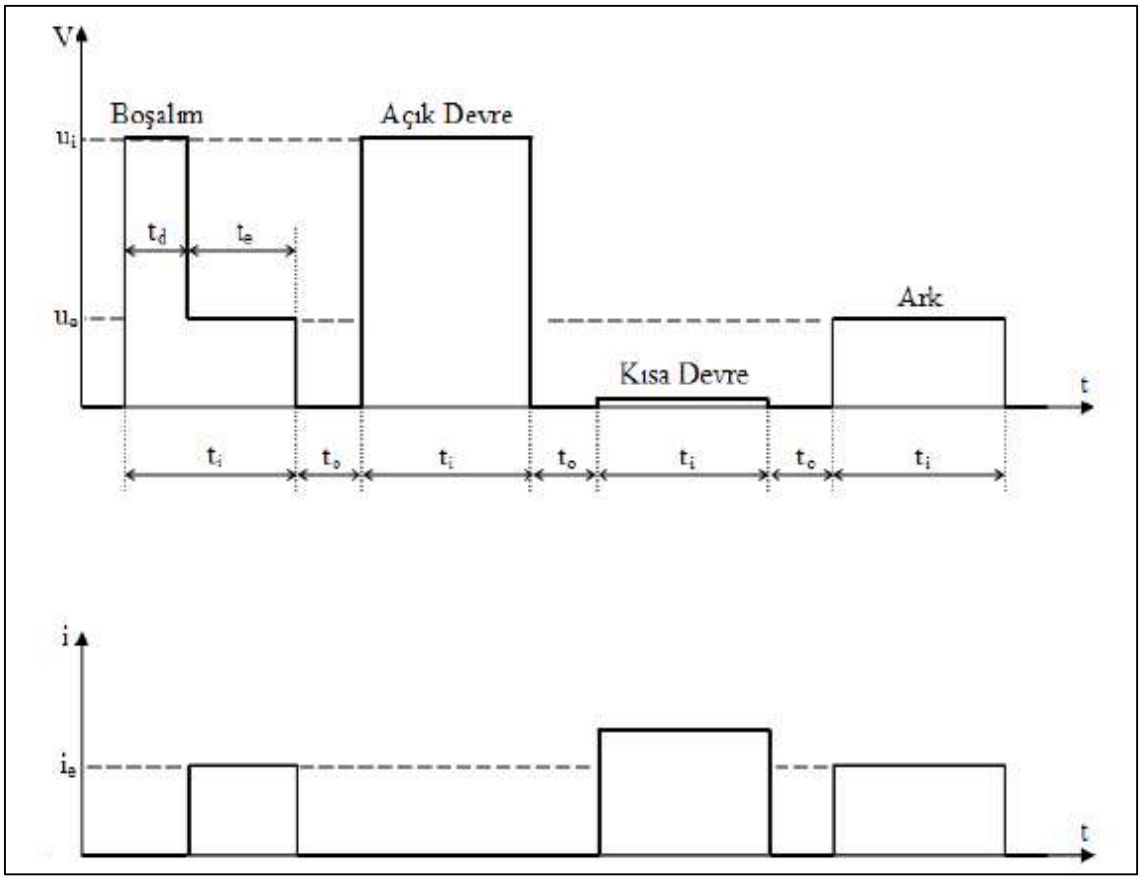


Şekil 3.3. EEİ proses parametreleri ve performans çıktıları ilişkisini gösteren sebep-sonuç diyagramı

3.2.1. Elektriksel parametreler

Elektro erozyon ile işlemede kullanılan elektriksel parametre terimleri aşağıda açıklanmıştır. Başlıca elektriksel parametreler, boşalım gerilimi, boşalım akımı, vurum süresi, vurum ara süresi, elektrot boşluğu ve kutuplamadır.

Şekil 3.4'te gerilim "u(t)" ve akım "ı(t)"değişimleri verilmiştir. Bunlar işleme aralığında elektriksel boşalımdaki tipik değişimleri ifade etmektedir [51].



Şekil 3.4. Gerilim kontrollü vurum jeneratöründe "gerilim-akım" dalga biçimleri [51]

Vurum süresi (t_i) ve vurum ara (bekleme) süresi (t_o): İş parçası ve elektrot arası işleme aralığında, gerilimin ilk uygulanma anı ile boşalımın bitiş anı arasındaki toplam süre vurum süresidir. Birbiri ardına oluşan iki boşalım arasında geçen süre vurum ara süresidir. Vurum süresi ve vurum ara süresi mikro saniye birimi cinsinden ifade edilir [62].

Tüm işleme vurum süresi boyunca yapıldığından, bu parametreler ve saniye başına devir sayısı (frekans) önemli bir role sahiptir. İş parçası işleme hızı vurum süresi boyunca uygulanan enerji miktarına bağlıdır. Daha uzun vurum süresiyle, daha fazla iş parçası malzemesi iş parçasından uzaklaştırılacaktır. Ortaya çıkan krater daha kısa vurum süresi ile oluşan kraterlerden daha geniş ve derin olacaktır. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünü artıracaktır. Vurum süresinin artması daha fazla ısının iş parçasına nüfuz etmesini ve sağlar, bu sebeple yeniden katılaşma tabakasının daha büyük olacağı ve ısıdan etkilenen bölgenin daha derin olacağı anlamına gelir. Bununla birlikte, aşırı vurum süresi zarar verici etkide olabilir. Optimum vurum süresi aşıldığında malzeme kaldırma hızı düşme eğilimi gösterir [47].

Vurum ara süresi temel olarak işleme hızını etkiler, daha kısa ara süresinin olması daha hızlı işleme çalışması ile sonuçlanır. Ancak, ara süresi çok kısa ise, kaldırılan iş parçası malzemesi dielektrik sıvı akışı ile temizlenmez ve dielektrik sıvı deiyonize olmaz. Bu, bir sonraki boşalımın kararsızlığına neden olur. Kararsız boşalım nedeniyle düzensiz döngü, uzun işleme süresine neden olur. Aynı zamanda, bir noktada sürekli kıvılcım oluşmasını önlemek için vurum ara süresi deiyonizasyon süresinden daha büyük olmalıdır [47,48]. Modern güç kaynakları bağımsız vurum süresi ve vurum ara süresi ayarı yapılmasına olanak sağlar. Tipik aralıkları 2 ile 1000 µs arasında değişmektedir [47].

Vurum çevrim süresi: Vurum süresi ve vurum bekleme süresi toplamıdır [62].

Boşalım çevrim süresi: Vurum süresinin, vurum çevrim süresine göre yüzdesidir [47].

$$\text{Boşalım çevrim süresi } (\%) = \frac{\text{Vurum süresi}(\ \mu s\ )}{\text{Vurum çevrim süresi}(\ \mu s\ )} \text{x}100 \qquad (3.1)$$

Boşalım gerilimi (u_e): İş parçası ve elektrot arası işleme aralığında, boşalımın devam ettiği süre boyunca ölçülen gerilimdir. Boşalım gerilimi, kıvılcım aralığı ve dielektrik akışkanın bozulma dayanımı ile ilgilidir [47].

Boşalım akımı (i_e): Boşalım süresi boyunca işleme aralığından geçen akımdır. Boşalım akımı, en önemli işleme parametresi olarak kabul edilir. Boşalım akımı her vurum süresi sırasında önceden belirlenmiş bir seviyeye ulaşana kadar artar. Kaba işleme sırasında ve daha geniş yüzey alanı gerektiren uygulamalarda daha yüksek boşalım akımı uygulanır. Yeni geliştirilmiş elektrot malzemelerinden biri olan özellikle grafit, yüksek akımlarda çok fazla hasar görmeden çalışabilir [47].

Boşalım süresi (t_e): Gerilim uygulanması sonrasında işleme aralığı boyunca akımın boşaldığı süredir [62].

Gecikme süresi (t_d) : Boşalım öncesinde dielektrik sıvının iyonlaşması için geçen süredir [62].

Açık devre gerilimi (u_i): Boşalımın olmadığı anda işleme aralığında görülen gerilimdir. Elektrik boşalmasından önceki açık devre gerilimi, iş parçası ve elektrot arasında iyonlaşma yolu oluşana kadar artar. Akım akmaya başladığında, voltaj düşer ve işleme aralığı seviyesinde stabilize olur [47].

Boşalım gücü (P_e) : Bir boşalım süresi boyunca uygulanan güçtür [62].

$$P_e = u_e(t) x\, i_e(t) \tag{3.2}$$

Vurum enerjisi (W_e) : Boşalım süresi boyunca işleme aralığına uygulanan enerjidir [62].

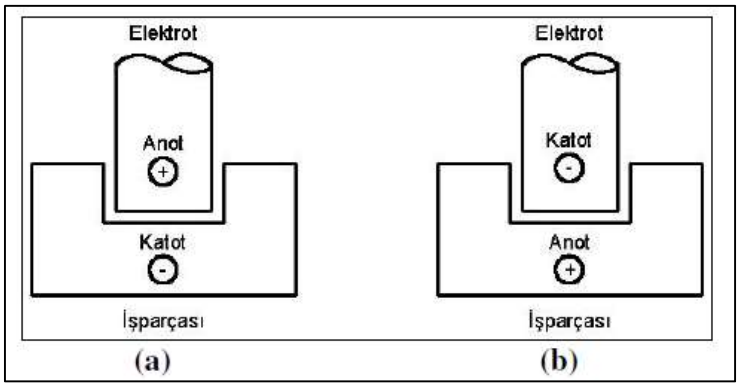
$$W_e = \int u_e(t) x\, i_e(t) x dt \approx u_e\, x\, i_e\, x\, t_e \tag{3.3}$$

Vurum frekansı (f_p): İş parçası ve elektrot arasında birim zamanda vurum jeneratörü tarafından uygulanan vurumların sayısıdır.

Elektrot boşluğu: Elektro boşluğu servo mekanizması tarafından ayarlanır. Bu mekanizma, ortalama aralık gerilimine iyi yanıt vermek için tasarlanmıştır. Boşluk kararlılığı iyi performans sağlamak için en önemli gerekliliklerdendir [47].

Kutuplama (polarite): Elektrot polaritesi pozitif veya negatif olabilir. Genel olarak, polarite deneylerle belirlenir ve elektrot malzemesi, iş parçası malzemesi, akım yoğunluğu ve vurum uzunluğu kombinasyonlarına bağlıdır [47]. Modern güç kaynakları, ark oluşumunu önlemek için sabit aralıklarla zıt kutuplara “salınım vurumu” ekler. Tipik bir oran, her 15 standart vurum için bir salınım vurumudur [40].

Kutuplama, elektrota göre kıvılcımın akış yönünü belirler ve işleme hızı ile aşınma hızını belirleyen önemli etkenlerdendir. EEİ’de elektrot (+) ya da (-) kutuba bağlanabilir. EEİ’de kutuplama, elektrodun sahip olduğu kutba göre adlandırılmaktadır (Şekil 3.5) [49].



Şekil 3.5. Elektrot kutuplama türleri: (a) pozitif kutuplama (b) negatif kutuplama

3.2.2. Elektriksel olmayan parametreler

Dielektrik sıvı ve uygulama yöntemleri: EEİ çalışmalarında genellikle parafin, madeni yağlar ve gaz yağı gibi hidrokarbon esaslı yağlar ile silikon esaslı yağlar dielektrik sıvı olarak tercih edilmektedir [44]. EEİ'de kullanılan dielektrik sıvının temel işlevleri aşağıdaki şekildedir [38] ;

- İşleme atıklarının, işleme boşluğundan uzaklaştırılmasını sağlar.
- Kontrollü elektriksel boşalımların meydana geldiği bir ortam olarak çalışır.
- Elektrot ve iş parçası arasında yalıtım sağlar.
- Elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen elektriksel boşalımlar neticesinde oluşan yüksek ısıyı uzaklaştırmak için bir ısı transfer aracı olarak çalışır.

Dielektriğin püskürtülmesi, sabit işlemenin sürdürülmesinde ve daha yakın boyutsal tolerans ve iyi yüzey kalitesinin elde edilmesinde önemli bir rol oynar. Yetersiz püskürtme, ark oluşumuna neden olur bu da elektrot ömrünü azaltır ve işleme süresini arttırır [38].

3.2.3. Elektrot parametreleri

EEİ'de genellikle yüksek ergime sıcaklığı ve yüksek elektriksel iletkenliğe sahip malzemeler elektrot malzemesi olarak seçilir. Grafit en yaygın kullanılan elektrot malzemesidir. Bunun nedeni, iyi işlenebilir olması, aşınma direnci ve elektrotlarda küçük püskürtme deliklerinin açılabilir olmasıdır [38].

3.3. Elektro Erozyon Performans Çıktıları

Genel olarak elektro erozyon ile işlemede işleme performansı iş parçası işleme hızı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (YP) sonuçlarına göre değerlendirilir.

$$\text{İİH} = \frac{\text{İş parçasının ilk ağırlığı (gr)} - \text{İş parçasının son ağırlığı(gr)}}{\text{İşleme süresi(dak)}} \quad (3.4)$$

$$\text{EAH} = \frac{\text{Elektrotun ilk ağırlığı (gr)} - \text{Elektrotu son ağırlığı(gr)}}{\text{İşleme süresi(dak)}} \quad (3.5)$$

Yüzey Kalitesi:

Yüzey morfolojisi, mikro sertlik profili, yüzey pürüzlülüğü, artık gerilme, çatlak yoğunluğu, beyaz tabaka gibi çeşitli yüzey karakteristikleri ile ilişkilidir. İşlenmiş bir parçanın yüzey morfolojisi özellikleri bu parçanın uygulamada kullanılacağı alanda performans, dayanıklılık ve güvenilirlik beklentilerini karşılayabilmesi için önemlidir. İmalat sektöründe parça geometrisi, pürüzlülüğü ve boyutsal hassasiyet ölçümü önemli bir rol oynamaktadır. Yüzey tamlığı ölçümü, mikro sertlik test cihazı, XRD, SEM ve yüzey pürüzlülük test cihazı gibi cihazların kullanılması zaman alan bir işlemdir. Yüzey pürüzlülüğü, elektro erozyon ile işlenmiş yüzey kalitesini değerlendirmek için kullanılan önemli bir faktördür. İşlenmiş numuneler üzerindeki yüzey profili yüzey pürüzlülük cihazı, atomik kuvvet mikroskobu (AFM), 3D profilometre gibi cihazlar kullanılarak ölçülmektedir [42].

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), örnekleme uzunluğu (L) içerisinde bulunan profil ortalama çizgisinden sapmaların (hx) mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasının alınması ile hesaplanır. Eşitlik 3.6'da formül ile ifade edilmiştir [52] .

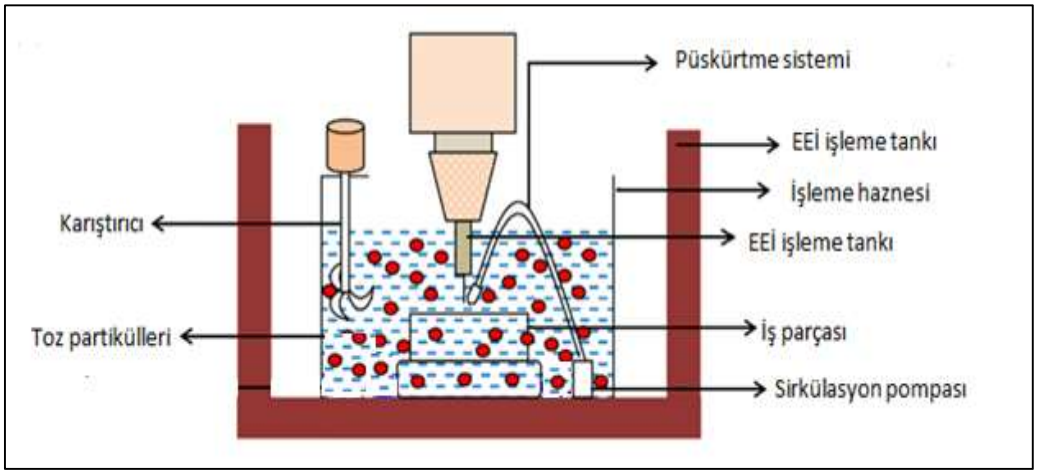
$$R_a = \frac{1}{L}\int_0^L |\,h(x)|dx \quad (3.6)$$

3.4. Toz Katkılı Elektro Erozyon ile İşleme (TKEEİ) Yöntemi

EEİ yönteminin işleme performansı çıktılarını ve kararlılığını artırmak için birçok çalışma yapılmaktadır. Dielektrik sıvı içerisine toz ilave edilmesi bu çalışmalarda incelenen yöntemlerden birisidir. Elektriksel iletken tozların dielektrik sıvısına ilave edilmesi ile dielektrik sıvının yalıtkanlık direnci azalırken, iş parçası ile elektrot arasındaki kıvılcım boşluğu artmaktadır. Böylelikle işleme süreci daha kararlı hale gelir, İİH yükselir ve yüzey kalitesinde iyileşme görülür. Ayrıca TKEEİ yöntemi ile işlenmiş yüzeylerin daha yüksek korozyon ve aşınma direnci gösterdiği tespit edilmiştir [52].

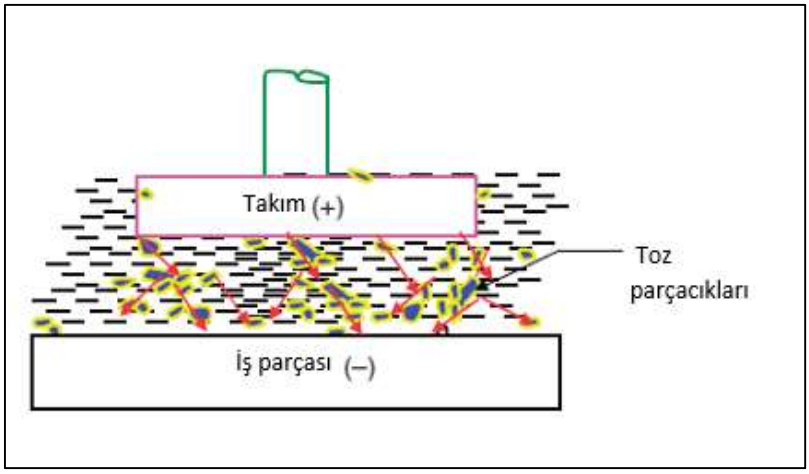
3.4.1. Toz katkılı elektro erozyon ile işleme prensibi

TKEEİ yöntemi, klasik EEİ yönteminden farklı bir işleme mekanizmasına sahiptir. TKEEİ yönteminde, toz formundaki uygun bir malzeme dielektrik sıvı içeresine aynı tank ya da ayrı bir tankta karıştırılarak ilave edilir. Toz katkılı dielektrik sıvının daha etkin sirkülasyonunu sağlamak için karıştırıcı ve pompadan oluşan bir karıştırma sistemi kullanılır. Şekil 3.6'da TKEEİ'de kullanılan örnek bir sistem tasarımı görülmektedir, bu tür bir TKEEİ sistemi klasik EEİ işleme tankına monte edilerek kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Dielektrik tankın alt kısımlarında toz parçacıkların çökmesini önlemek için karıştırıcı yerleştirilmiştir [29,42].



Şekil 3.6. TKEEİ yönteminin şematik gösterimi [42]

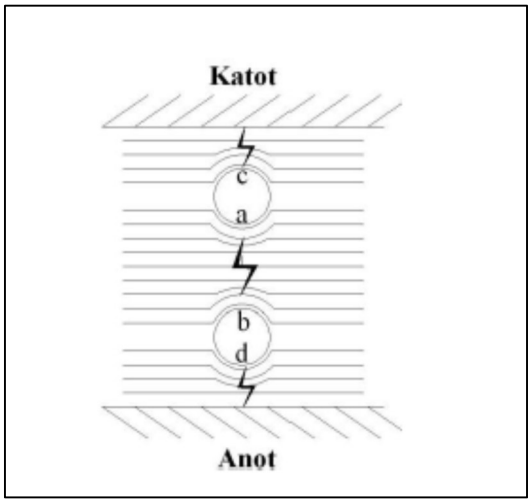
Elektrot ve iş parçası arası boşlukta yeterli gerilim (80-320 V) uygulandığında 10^5-10^7 V/m aralığında bir elektrik alanı meydana gelir. Bunun sonucunda kıvılcım boşluğuna dolan toz partikülleri enerji ile yüklenir ve Şekil 3.7'de gösterildiği gibi, toz partiküller zikzaklar çizerek hareket ederler. Bir müddet sonra kıvılcım bölgesinde toz partikülleri birbirlerine yaklaşır ve zincir şeklinde hareket eden yapılar oluşur. Elektriksel alan enerji yüklenmiş bu toz partiküllerini hızlandırır, toz partikülleri iletken gibi davranır. Akımın iletilmesinde rol oynayan iletken toz partikülleri iş parçası ve elektrot arasında boşalım aralığının artmasına neden olur. Bunun sonucunda daha hızlı kıvılcım oluşur, iş parçası yüzeyinden daha hızlı malzeme aşındırılır ve iş parçası işleme hızı (İİH) artar. Aynı zamanda eklenen toz katkısı boşalım kanalını değiştirir ve boşalım kanalı genişler. Kıvılcım, toz parçacıkları arasında düzgün kıvılcım dağılımına bağlı olarak, iş parçası yüzeyinde sığ kraterler üretilir. Böylece yüzey kalitesinde iyileşme sağlanır [29,54].



Şekil 3.7. TKEEİ işleme mekanizması [29]

Boşalım aralığının genişlemesi daha detaylı biçimde şu şekilde ifade edilebilir. Gerilimin etkisi altında, toz parçacıklarının üstünde ve altında çok sayıda pozitif ve negatif yük toplanır. Toz parçacıklarının alta ya da üste yakın noktalarında elektrik alan yoğunluğu en yüksektir .Elektrik alan yoğunluğunun en yüksek olduğu yerde (Şekil 3.8 "a" ve "b" arası) dielektrik direnci yenildiğinde ilk boşalım oluşur. Bu boşalım iki toz partikülü arasında kısa devre ve elektrik yüklerinin yeniden dağılmasına sebebiyet verir. Daha sonra daha fazla elektrik yükü, c ve d noktalarında toplanır, bu durum bu iki toz ve diğer tozlar arasında boşalmaya yol açar ve bu da seri boşalmaya neden olur. Tozlar arasındaki mesafeler boşalım aralığından daha küçük hale geldikçe ve daha fazla elektrik yükü tozun tepe noktalarında diğer noktalardan daha fazla toplandığında, seri boşalma kolayca gerçekleşir ve seri

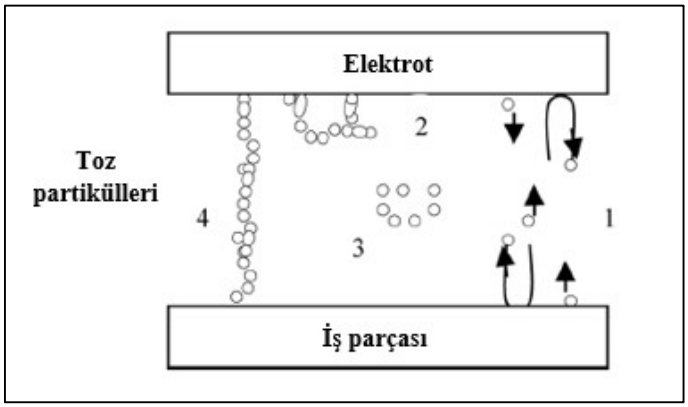
boşalımlar boşalım aralığı boyunca oluşur. Böylelikle TKEEİ'de kolayca elektriksel boşalım ortaya çıkar ve boşalım aralıkları genişler [54].



Şekil 3.8. Seri boşalımların gösterimi [54]

Toz partikülleri;

- karşılıklı hareket (1),
- iş parçası ve/veya elektrota yapışma (2) ,
- salkım şeklinde hareketsiz durma (3),
- zincir şeklinde hareketsiz durma (4) olmak üzere şekil 3.9'da gösterilen davranışları gösterirler [55].



Şekil 3.9. TKEEİ'de toz partiküllerinin davranışları [55]

Tozların, termo-fiziksel özellikleri, özellikle partikül yoğunluğu ve elektriksel iletkenlik, TKEEİ boşalım mekanizmasını çok fazla etkilemektedir. Çizelge 3.1'de TKEEİ 'de yaygın olarak kullanılan bazı toz malzemelerin özellikleri verilmiştir [55].

Çizelge 3.1. Çeşitli toz ilavelerinin özellikleri

Toz çeşidi	Yoğunluk (gcm^{-3})	Isıl iletkenlik ($Wcm^{-1}ºC^{-1}$)	Elektriksel direnç ($\mu\Omega cm^{-1}$)	Ergime noktası (ºC)	Özgül ısı ($calg^{-1}$ ºC^{-1})
Al	2,70	2,38	2,45	660	0,215
Cr	7,16	0,67	12,7	1875	0,11
SiC	3,21	1,0-5,0	$1x10^9$	2987	0.18
Grafit	1,3-1,95	0,25-4,70	500-3000	4550	0,17-0,20
Ni	8,9	0,91	6,84	1453	0,105
Si	2,33	1,5	$1x10^5$	1410	0,17
Mo	10,2	1,39	5,27	2610	0,06

3.4.2. TKEEİ yönteminin avantaj ve dezavantajları

TKEEİ yönteminin avantaj ve dezavantajları şu şekilde özetlenebilir [52];

Avantajları;

- İİH'yi artırması.
- EAH'yi azaltması.
- İşlenmiş yüzeyin korozyon ve aşınma direncini yükseltmesi.
- Yüzey pürüzlülüğünü azaltarak yüzey kalitesini iyileştirmesi.

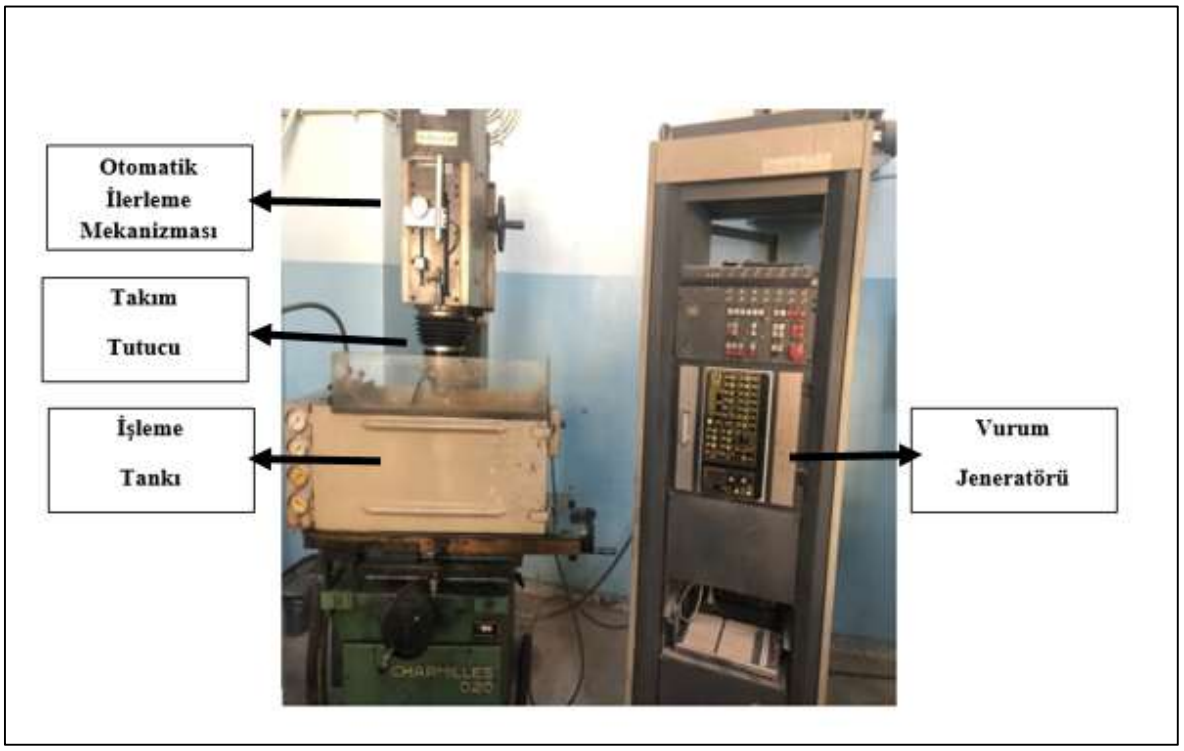
Dezavantajları;

- TKEEİ mekanizmasının kompleks olması.
- İlave edilen toz partiküllerinin termofiziksel özelliklerinin etkileri ve toz karakteristiklerinin (toz tipi, şekli, büyüklüğü vb.) optimum değerlerinin belirlenebilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulması.
- Tozların kullanım ömrü ve maliyete etkisi.
- Dielektrik sıvıya ilave edilecek derişimin belirlenmesi.
- Talaş artıklarından toz katkısının filtrelenerek ayırmanın güçlüğü

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. EEİ Tezgâhı

Deneysel çalışmalar, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarı'nda bulunan Charmilles D20 marka elektro erozyon tezgâhında gerçekleştirilmiştir (Resim 4.1).



Resim 4.1. Charmilles D20 elektro erozyon tezgâhı

4.2. İş Parçaları

Deneysel çalışmada "Balistik Malzeme Üretimine Yönelik B_4C + SiC takviyeli Al7075 Kompozitlerde Optimum Katkı Oranının Belirlenmesi (2018) " tez çalışması kapsamında Volkan BAYDAROĞLU tarafından toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş iş parçaları kullanılmıştır [56].

Tane boyutu 44 µm olan B_4C (bor karbür) tozu, tane boyutu 63 µm olan SiC (silisyum karbür) tozu takviye malzemesi olarak, tane boyutu 74 µm olan Al7075 alüminyum tozu ise matris malzemesi olarak kullanılmıştır [56].

Kompozit üretiminde kullanılan Al 7075 matris malzemesinin kimyasal kompozisyonları ve yoğunluk, erime noktası, parçacık şekli özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir [56]. Takviye elemanları B_4C ve olan SiC malzemelerinin özellikleri ise sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3' te verilmiştir [56,57].

Çizelge 4.1. Al 7075'in özellikleri

Kimyasal özellikleri							
% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Cr
0,50	0,40	1,21-2,0	0,30	2,1-2,9	5,1-6,1	0,2	0,18-0,28
Yoğunluk (g/cm^3): 2,81							
Ergime noktası (°C) : 635							
Parçacık şekli: Yuvarlak							

Çizelge 4.2. B_4C'nin özellikleri

Kimyasal özellikleri	
% B	% C
78,28	21,72
Yoğunluk (g/cm^3): 2,52	
Ergime noktası (°C) : 2760	
Parçacık şekli: Köşeli	
Isıl iletkenliği(W/mK 20ºC): 30-90	
Spesifik yalıtkanlık direnci (Ω-cm 25ºC): 0.1-10	

Çizelge 4.3. SiC'nin özellikleri

Kimyasal özellikleri						
% Si	% Al_2O_3	% Fe_2O_3	% SiO_2	% P_2O_5	% SO_3	% C
61-66	0,7-1,2	0,6-1,1	0,02	0,07	0,3	22-26
Yoğunluk (g/cm^3):3,21						
Erime noktası (°C) : 2730						
Parçacık şekli: Köşeli						
Isıl iletkenliği(W/mK 20ºC): 90-160						
Spesifik yalıtkanlık direnci (Ω-cm 25ºC): 10^3-10^5						

Kompozit malzemelerin üretiminin ilk aşamasında Al7075, B_4C ve SiC tozları ile farklı oranlarda karışımlar pervaneli karıştırıcı kullanılarak 60 dakikada hazırlanmıştır. Toz karışımları 700 MPa basınç altında hidrolik preste sıkıştırılarak kompozit numuneler elde edilmiştir. Ardından numuneler 550 °C ye ısıtılarak üç farklı sinterleme süresinde (90 dakika, 120 dakika ve 150 dakika) ısıl işlem gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işlemleri argon gazı atmosferi altında gerçekleştirilmiştir [56].

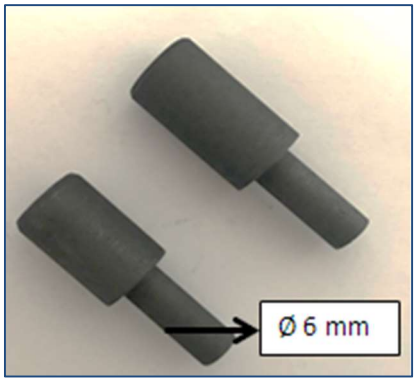
Bu tez çalışması kapsamında kullanılan kompozit numunelerin takviye oranları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kompozitlerin takviye oranları

Tip-1:	%10 B_4C + %90 Al7075
Tip-2:	%20 B_4C + %80 Al7075
Tip-3:	%10 SiC + %90 Al7075
Tip-4:	%20 SiC + %80 Al7075
Tip-5:	%5 B_4C + %5 SiC + %90 Al7075
Tip-6:	%10 B_4C + %10 SiC + %80 Al7075

4.3. Deneylerde Kullanılan Elektrot Malzemesi, Dielektrik Sıvı ve Toz Katkısı

Her bir deneyde 6 mm çapında grafit elektrot kullanılmıştır. Çubuk grafit formunda temin edilen grafit elektrotların takım tutucuya kolaylıkla bağlanabilmesi için torna işlemi ile aynı boy ve çap ölçülerine getirilmiştir (Resim 4.2) . Grafit , elektriksel direncinin düşük olması ve üstün yüzey kalitesine olanak sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir. Dielektrik sıvı olarak gaz yağı kullanılmıştır. Gaz yağı düşük viskozite ve yüksek püskürtme kalitesi özellikleri sunar [58]. Dielektrik sıvı uygulaması yanal püskürtme biçiminde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneylerde toz partikül büyüklüğü 50 nm den daha düşük olan nanografit tozu kulanılmıştır.



Resim 4.2. Grafit elektrot

4.4. Deney Parametreleri

Dielektrik sıvıya 70-80 µm büyüklüğünde grafit tozu ilavesiyle ve sabit deney parametrelerinin çeşitli kombinasyonlarda belirlendiği ön deneylerde, toz partikül boyutunun büyük olması nedeniyle partiküller arası köprüleşmenin çok olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca kararsız boşalımlar ve kısa devre vurumları sıklıkla görülmüştür. Bunun sonucu işlenmiş yüzelerde yanma ve geometrik bozukluklar meydana gelmiştir. Yalıtkanlığın ve iletkenliğin kontrolsüz değiştiği kompozit malzemelerde doğru boyutta ve eş boyuta sahip tozlar kullanılması gerektirdiği değerlendirilmiştir. İşleme esnasında karşılaşılan bu problemlerin üstesinden gelebilmek için literatür araştırmaları doğrultusunda nano boyutta grafit tozu kullanımı ile başarılı işlenebilirliğin sağlanabileceği düşünülmüştür. Bu sebeple nanografit toz (<50 nm) dielektrik sıvı içerisine ilave edilerek ve farklı deney parametreleri kombinasyonlarında ön deneyler tekrarlanmıştır. Sonuçta işlenebilirliğin mümkün hale geldiği görülmüştür ve sabit deney parametreleri kararlaştırılmıştır.

Bu çalışmada başvurulan sabit parametreler ve değişken parametreler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deney parametreleri

Deney Parametreleri		
Sabit Parametreler	Vurum süresi [µs]	8
	Bekleme süresi [µs]	10
	Gerilim (V)	60-80
	Kutuplama	Elektrot (+), iş parçası(-)
	Elektrot tipi ve çapı	Grafit , Ø:6mm
	Dielektrik püskürtme	Yandan püskürtme
	Toz katkısı ve derişimi	Grafit tozu (15 g/L)
Değişken Parametreler	Takviye Oranı (%)	10, 20
	İş parçası Malzemesi	B_4C_p / Al7075 MMK malzeme SiC_p / Al7075 MMK malzeme B_4C_p + SiC_p / Al7075 MMK malzeme
	İş Parçasına Uygulanmış Sinterleme Süresi (dakika)	90, 120, 150

4.5. Deney Tasarımı

Bu çalışmada, B_4C_p/Al7075, SiC_p/Al7075 ve (B_4C_p+SiC_p)/Al7075 kompozit deney numunelerinin toz katkılı elektro erozyon ile işlenmesinde kontrol faktörlerinin (deney parametrelerinin) etkilerini ve en uygun iş parçası işleme hızı ve yüzey pürüzlülüğünün elde edebilmesi için optimum kontrol parametrelerini ve kombinasyonlarını belirlemek için Taguchi metodu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada takviye oranı, işleme akımı ve iş parçasına uygulanmış sinterleme süresi kontrol faktörleri (değişken deney parametreleri) olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.6'da verilen kontrol faktörleri ve bunların seviyeleri göz önünde bulundurularak en uygun deney tasarımı için ortogonal dizi L18 (2^1x3^2) belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Faktörler (Semboller)	Birim	Seviye-1	Seviye-2	Seviye-3
Takviye Oranı (A)	-	%10	%20	-
Boşalım Akımı (B)	A	2	4	8
Sinterleme Süresi (C)	dakika	90	120	150

Deney tasarımı dizisi Minitab18 yazılımı aracılığıyla oluşturulmuş ve Çizelge 4.7'de verilmiştir. Deney sonuçlarının güvenilirliğini sağlayabilmek için her bir deney faktörü kombinasyonu için ikişer kere deney tekrarlanmış ve ortalama İİH ve ortalama YP değerlerine göre sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.7. Taguchi L18 (2^1x 3^2) ortogonal diziye göre deney tasarımı

Deney No	Kodlanmış Değişkenler	Kontrol faktörleri		
		Takviye Oranı % [1]	Boşalım Akımı (A)	Sinterleme Süresi (dakika)
1	A1B1C1	10	2	90
2	A1B1C2	10	2	120
3	A1B1C3	10	2	150
4	A1B2C1	10	4	90
5	A1B2C2	10	4	120
6	A1B2C3	10	4	150
7	A1B3C1	10	8	90
8	A1B3C2	10	8	120
9	A1B3C3	10	8	150
10	A2B1C1	20	2	90
11	A2B1C2	20	2	120
12	A2B1C3	20	2	150
13	A2B2C1	20	4	90
14	A2B2C2	20	4	120
15	A2B2C3	20	4	150
16	A2B3C1	20	8	90
17	A2B3C2	20	8	120
18	A2B3C3	20	8	150

Deneysel çalışmada toplam 108 adet delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunlar özetle;

- B_4C_p takviyeli Al7075 esaslı metal matrisli kompozit iş parçaları grafit elektrot ile farklı kontrol faktörlerinde (takviye oranı, boşalım akımı ve sinterleme süresi) , her bir deney ikişer defa tekrarlanarak toplam 36 deney,
- SiC_p takviyeli Al7075 esaslı metal matrisli kompozit iş parçaları grafit elektrot ile farklı kontrol faktörlerinde (takviye oranı, boşalım akımı ve sinterleme süresi) , her bir deney ikişer defa tekrarlanarak toplam 36 deney,

[1] " %5 B_4C+ %5 SiC " ve " %10 B_4C+ %10 SiC " takviyeli numunelerde de bu oran toplam %10 ve % 20 olarak düşünülerek ilgili deney tasarımındaki sıra dikkate alınmıştır.

- (B_4C_p+SiC_p) takviyeli Al7075 esaslı metal matrisli kompozit iş parçaları grafit elektrot ile farklı kontrol faktörlerinde (takviye oranı, boşalım akımı ve sinterleme süresi) , her bir deney ikişer defa tekrarlanarak toplam 36 deney,

olarak ifade edilebilir.

4.6. Deneylerin Yapılışı

İş parçasını işleme derinliği sabit 2 mm olarak belirlenmiştir. Hedeflenen işleme derinliğine ulaşıldığında, otomatik olarak delik delme işlemi sonlandırılmıştır. Bu esnada işleme süresi kronometre ile tutulmuştur. Delik delme işlemine başlanmadan önce numunelerin ilk ağırlığı hassas terazi ile tartılmıştır. Delik delme işlemi sonrasında numune temizlenmiş ve tekrar tartılmıştır. Bu işlem her delme işlemi sonrasında tekrar edilmiştir. Numunelerin tartım işleminin gerçekleştirildiği hassas terazinin ölçüm hassasiyeti 0,001 g dır. Her bir delik delme işleminde ayrı grafit elektrot kullanılmıştır.

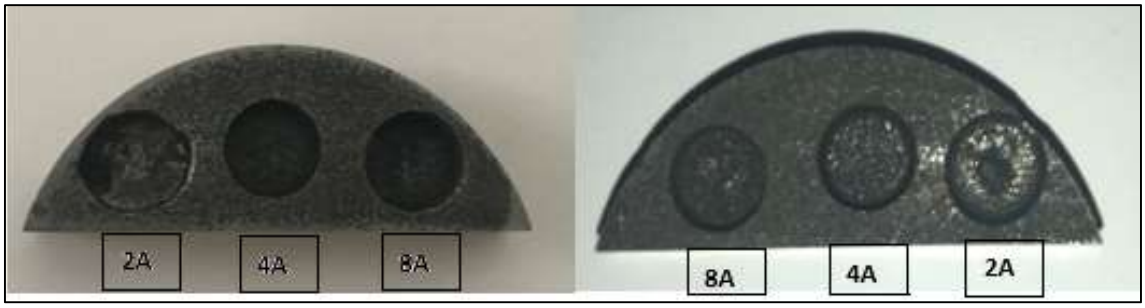
4.7. Yüzey Pürüzlülük Ölçümleri ve SEM Analizi

Form Talysurf PGI marka ölçüm cihazı kullanılarak yüzey pürüzlüğü ölçümleri yapılmıştır. Mikro yapı incelemesi ise Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü SEM Laboratuvarı'nda bulunan taramalı elektron mikroskobu aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

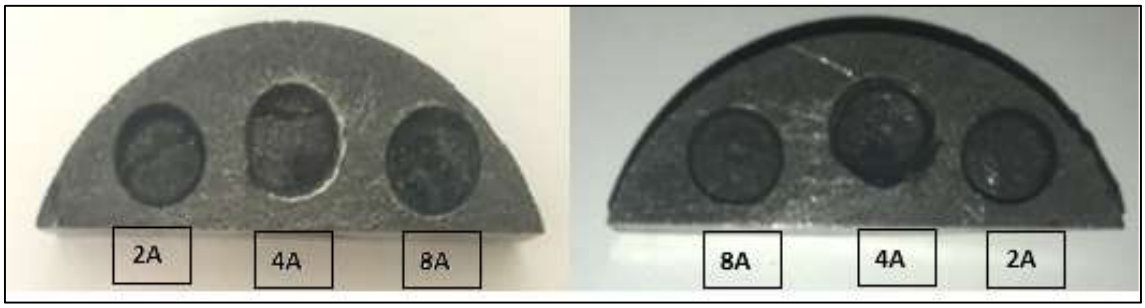
5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. B_4C Parçacık Takviyeli Al7075 Matrisli Kompozit (B_4C_p /Al7075) İş Parçalarında Yapılan Deneyler

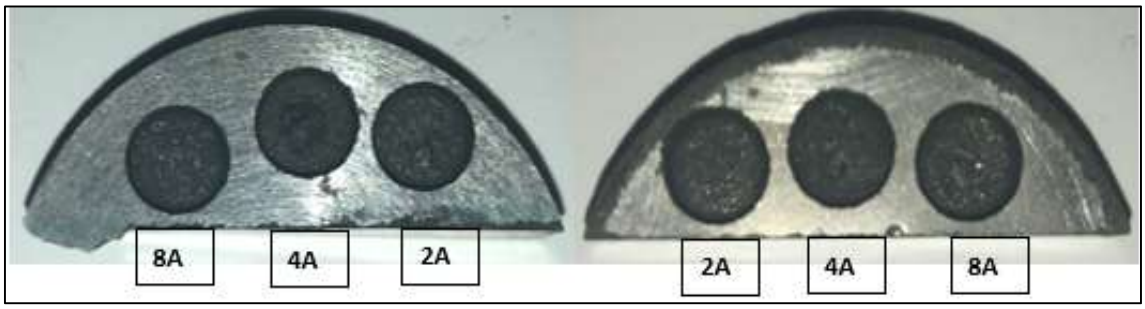
B_4C parçacık takviyeli Al7075 matrisli kompozit (B_4C_p /Al7075) iş parçalarında grafit elektrot ile kör delik delme işlemi neticesinde elde edilen deney numunelerinin fotoğrafları Resim 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.



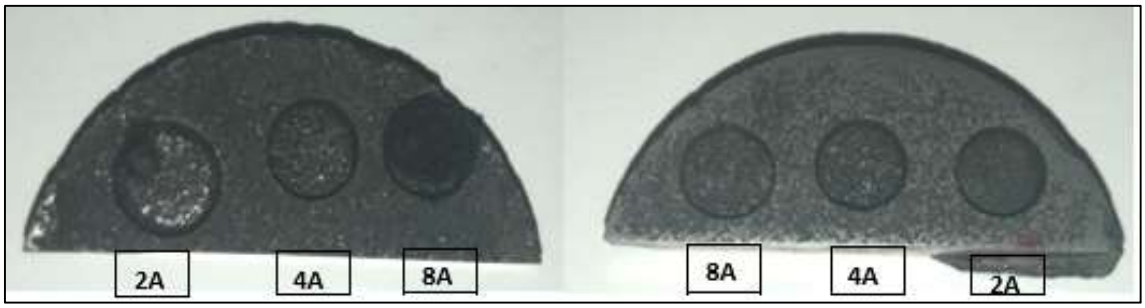
Resim 5.1. %10 B_4C + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90 dakika)



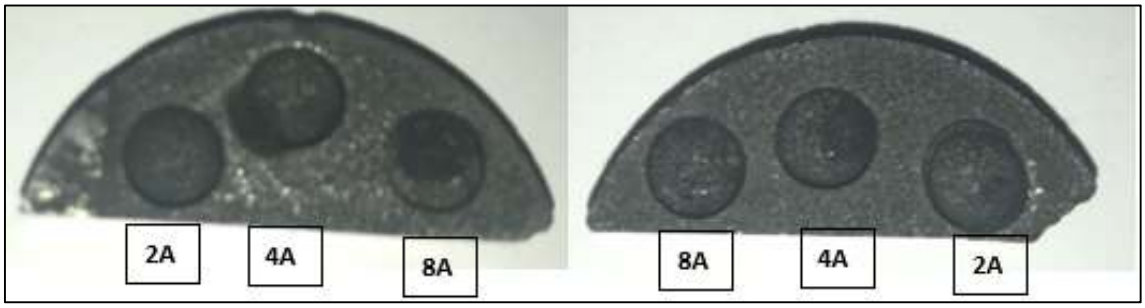
Resim 5.2. %10 B_4C + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika)



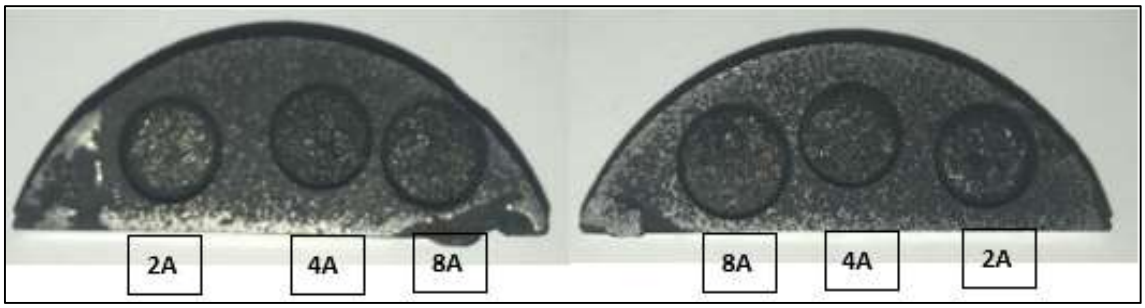
Resim 5.3. %10 B_4C + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika)



Resim 5.4. %20 B_4C + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90 dakika)



Resim 5.5. %20 B_4C + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika)



Resim 5.6. %20 B_4C + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika)

B_4C parçacık takviyeli Al7075 matrisli kompozit (B_4C_p/Al7075) iş parçalarında grafit elektrot ile delik delme işlemi neticesinde elde edilen deney sonuçları ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. (B_4C_p /Al7075) iş parçalarının deney sonuçları

Deney No	Takviye Oranı (%)	Ie [A]	t_s (dak)	İş parçası (g)			İşleme Süresi	İİH (g/dak)	Ort. İİH (g/dak)	Ra (µm)	Ort. Ra (µm)
				ilk ağırlık	son ağırlık	ağırlık farkı					
1.1	%10 B_4C + %90 Al7075	2	90	5,1970	5,1072	0,0898	26'13"	0,00343	0,00330	5,0842	5,0598
1.2			90	4,6820	4,6055	0,0765	24'10"	0,00317		5,0353	
2.1		2	120	5,2411	5,1037	0,1374	16'50"	0,00816	0,00794	6,7221	6,3002
2.2			120	4,9647	4,8200	0,1447	18'46"	0,00771		5,8782	
3.1		2	150	5,0961	4,9598	0,1363	27'40"	0,00493	0,00666	5,3542	6,1535
3.2			150	4,1982	4,0505	0,1477	17'36"	0,00839		6,9527	
4.1		4	90	5,1072	4,9655	0,1417	7'56"	0,01786	0,01739	5,8803	5,6761
4.2			90	4,6055	4,4431	0,1624	9'36"	0,01692		5,4718	
5.1		4	120	5,3379	5,2411	0,0968	8'15"	0,01173	0,01174	6,4496	6,1497
5.2			120	5,0841	4,9647	0,1194	10'10"	0,01174		5,8497	
6.1		4	150	4,9598	4,8169	0,1429	11'38"	0,01228	0,01201	3,6327	5,1000
6.2			150	4,0505	3,9248	0,1257	10'43"	0,01173		6,5673	
7.1		8	90	4,9655	4,8070	0,1585	8'40"	0,01829	0,01758	4,8551	5,6403
7.2			90	4,4431	4,2980	0,1451	8'36"	0,01687		6,4254	
8.1		8	120	5,1037	4,9823	0,1214	8'37"	0,01409	0,01429	7,1949	6,5554
8.2			120	4,8200	4,7036	0,1164	8'02"	0,01449		5,9159	
9.1		8	150	5,2088	5,0961	0,1127	6'04	0,01858	0,02052	6,3637	6,0289
9.2			150	4,3045	4,1982	0,1063	4'44"	0,02246		5,6941	
10.1	%20 B_4C + %80 Al7075	2	90	3,8384	3,7185	0,1199	55'	0,00218	0,00216	4,6896	5,5539
10.2			90	5,1359	5,0292	0,1067	49'44"	0,00215		6,4182	
11.1		2	120	3,3905	3,2613	0,1292	36'30"	0,00354	0,00343	5,7516	5,2453
11.2			120	4,1863	4,0834	0,1029	31'05"	0,00331		4,7389	
12.1		2	150	3,9294	3,8247	0,1047	20'14"	0,00517	0,00509	7,0617	6,5638
12.2			150	3,6599	3,5470	0,1129	22'34"	0,00500		6,0659	
13.1		4	90	3,7185	3,6101	0,1084	8'18"	0,01306	0,01258	6,4723	6,5048
13.2			90	5,0292	4,9143	0,1149	9'30"	0,01209		6,5372	
14.1		4	120	3,4996	3,3905	0,1091	18'09	0,00601	0,00617	7,0202	7,0986
14.2			120	4,0834	3,9744	0,1090	17'13"	0,00633		7,1769	
15.1		4	150	3,8247	3,7045	0,1202	10'	0,01202	0,01036	7,2298	6,6603
15.2			150	3,5470	3,4143	0,1327	15'15"	0,00870		6,0908	
16.1		8	90	3,6101	3,4979	0,1122	9'11"	0,01222	0,01317	7,9839	7,6543
16.2			90	4,9143	4,8124	0,1019	7'13"	0,01412		7,3246	
17.1		8	120	3,2613	3,1587	0,1026	9'23"	0,01093	0,01279	7,1376	6,0801
17.2			120	3,9744	3,8419	0,1325	9'03"	0,01464		5,0225	
18.1		8	150	3,7045	3,5514	0,1531	9'07"	0,01679	0,01735	5,7810	5,9745
18.2			150	3,4143	3,24’62	0,1681	9'23"	0,01791		6,1679	

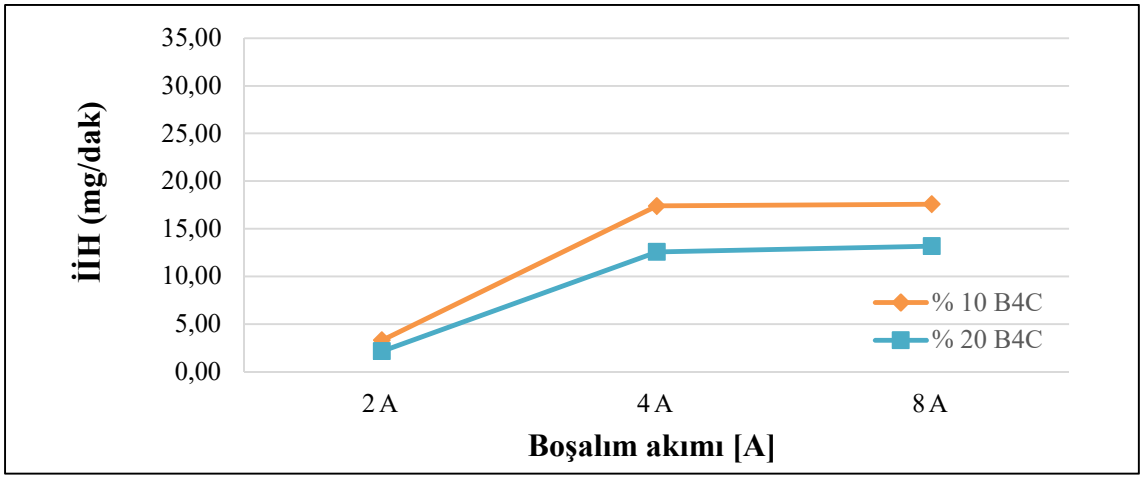
5.1.1. Kompozit malzemelerde (B_4C_p /Al7075) iş parçası işleme hızının incelenmesi

Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'de görüldüğü üzere, sinterleme süresi sabit alındığında her üç sinterleme süresinde (90 dakika, 120 dakika, 150 dakika) boşalım akımının artması ile İİH değerlerinin arttığı; takviye oranlarının artması ile ise İİH değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

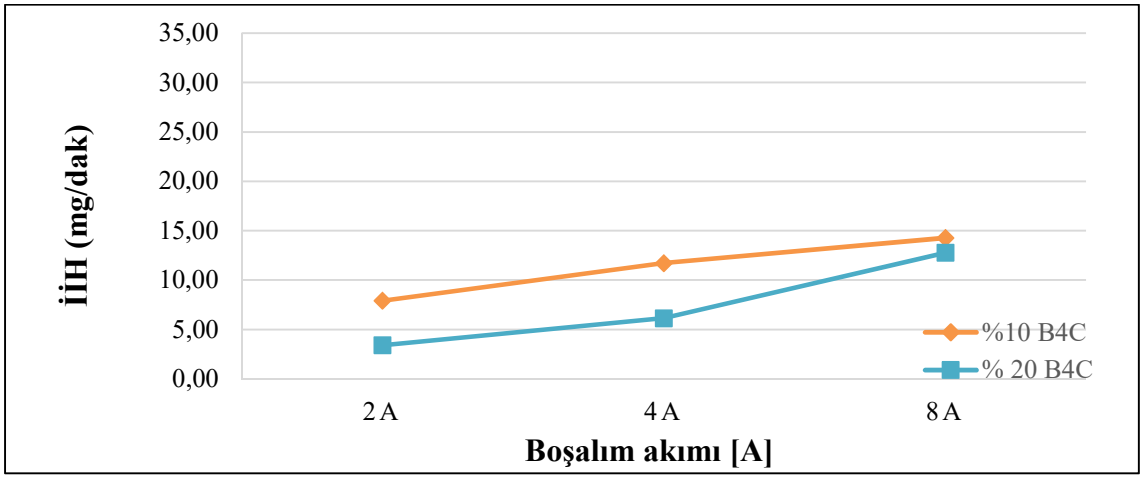
Bu çalışmada %10 B_4C takviyeli kompozit numunelerde 8A boşalım akımında ve 150 dakika sinterleme süresinde en yüksek İİH "0,02052 g/dak" olarak elde edilmiştir. En düşük İİH ise, % 20 B_4C takviyeli kompozit numunelerde 2A boşalım akımında ve 90 dakika sinterleme süresinde en düşük İİH "0,00216 g/dak" olarak elde edilmiştir.

Boşalım akımının artması ile boşalım enerjisinin artışına bağlı olarak iş parçası yüzeyinden daha fazla malzeme ergitilerek buharlaştırılmaktadır. Akımının yükselmesi ile boşalımın daha da artması ile birim zamanda daha fazla alanın ergitilerek buharlaşmasına ve ergitilmesine neden olmaktadır. Deney sonuçları incelendiğinde boşalım akımının 2A değerinden 8A değerine yükseldiğinde, İİH'da belirgin bir artışın olduğu görülmüştür.

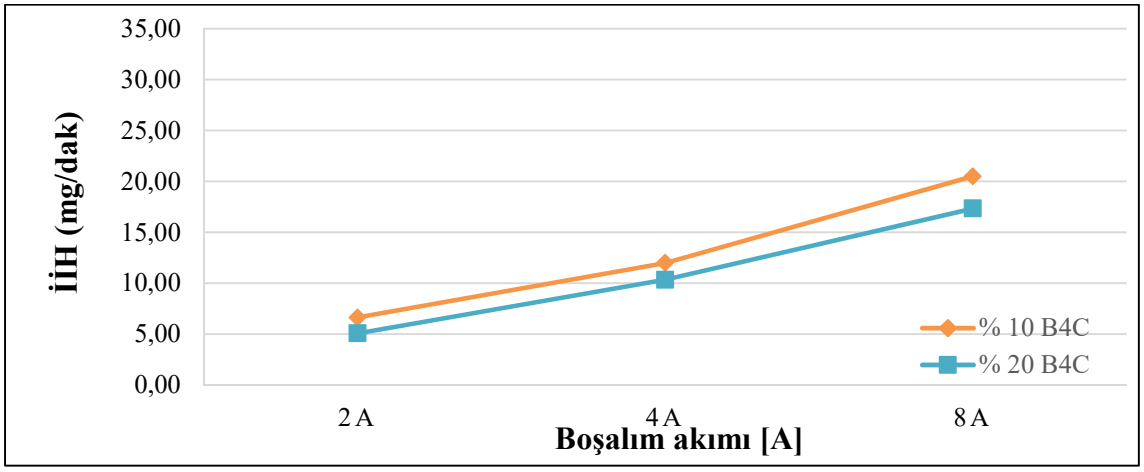
Bilindiği üzere EEİ yönteminin uygulanması için işlenen iş parçası malzemesinin elektriksel iletken olması temel prensiptir. Bu çalışmada kullanılan %10 ve %20 oranlarında takviye partikülleri içeren B_4C_p/Al7075 iş parçalarının, kompozit yapı içerisinde elektriksel iletkenliği düşük takviye partiküllerinin ihtiva edilme oranının yükselmesi (%10'dan %20'ye) İİH'nin azalmasına sebebiyet vermektedir. Elde edilen deneysel sonuçlar bu yorumu destekler niteliktedir.



Şekil 5.1. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika)

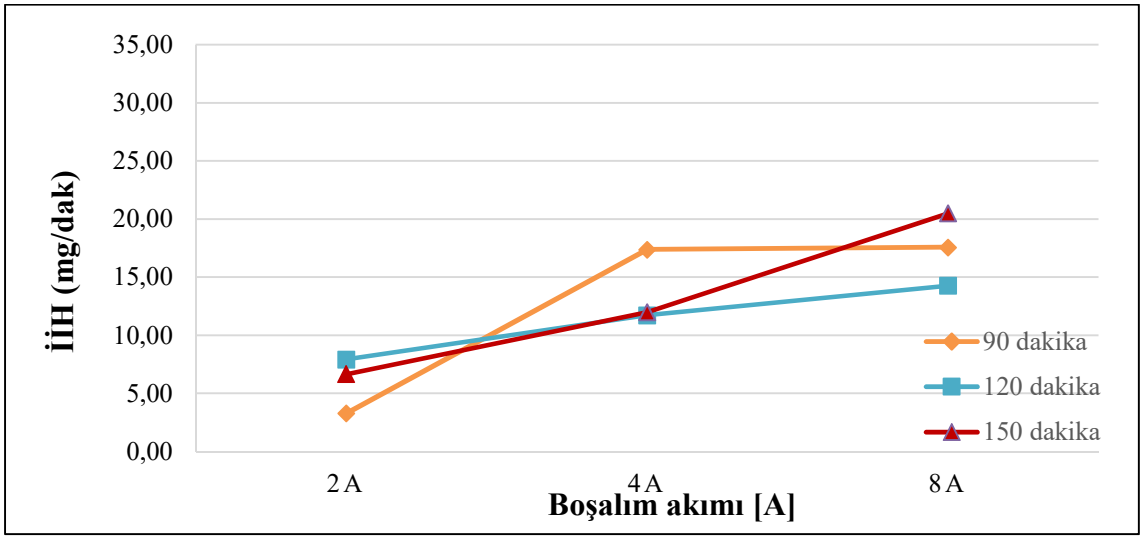


Şekil 5.2. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika)

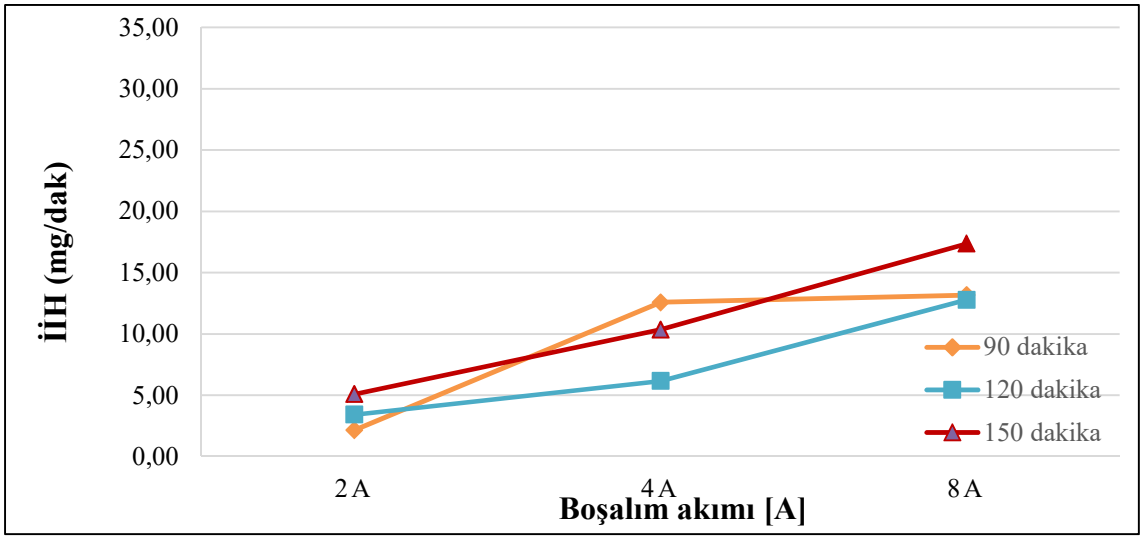


Şekil 5.3. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika)

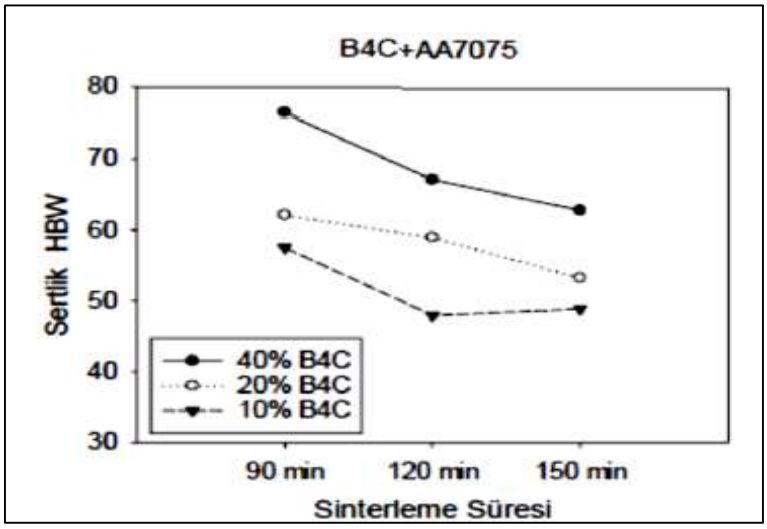
Şekil 5.4 ve 5.5'te ise takviye oranları sabit tutularak (%10 ve %20 için sırasıyla) her üç faklı sinterleme süresi için İİH değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere sinterleme süreleri arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. Şekil 5.6'da Baydaroğlu,V 'nun tezinde alınan sinterleme süresi ile sertlik değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir [56]. Baydaroğlu,V tarafından yapılan yorumda sinterleme süresinin artmasıyla sertlik değerlerinin azaldığı değerlendirilmiştir [56]. Bir diğer yorumunda ise Baydaroğlu,V., B_4C taneciklerinin şekillerinin düzensiz olması nedeniyle tanecikli yapı içerisinde boyut farkının fazla olduğu ve boşluklu yapının buna bağlı olarak daha fazla oluştuğunu belirtmiştir. Bu nedenle alüminyum matris ile takviye partikülleri arasında ıslatmanın yeterli seviyede olmadığını ifade etmiştir. Bilindiği üzere EEİ ile işlemeye malzeme sertliğinin etkisi bulunmamaktadır. Şekil 5.4 ve 5.5 incelendiğinde de EEİ ile işlemeye malzemenin sinterleme süresinin etkisi bulunmamaktadır yorumunu benzer şekilde yapmak mümkündür. Elektro erozyon ile işleme esnasında,10^{17} W/mm^2'ye kadar ulaşılan ısı akışlarında, yüksek ısıl enerji tarafından oluşturulan plazma kanalının anot ve katot uçlarında yaklaşık sıcaklık 8.000 °C ile 20.000 °C arası değerlerindedir [38,40]. Bu sıcaklık değerinde kompozit yapı içerisinde sinterlemenin etkisinin EEİ yönteminin işleme prensibi açısından etkin olmadığı değerlendirilmektedir.



Şekil 5.4. % 10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi

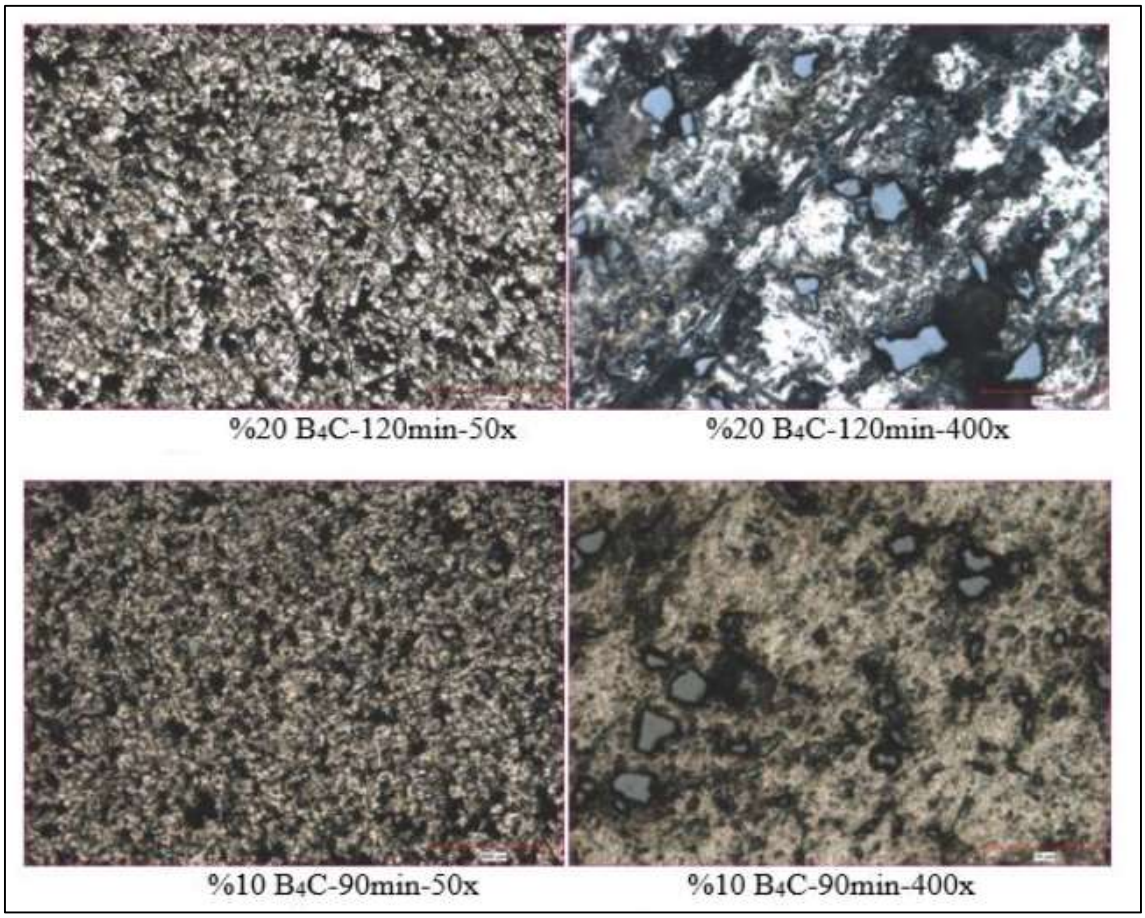


Şekil 5.5. %20 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi



Şekil 5.6. B_4C takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri [56]

Ayrıca, Baydaroğlu, V. kompozit yapı içerisinde takviye oranı arttıkça partiküllerin topaklanma eğilimi gösterdiğini yorumlamıştır. Resim 5.7'de Baydaroğlu,V 'nun tezinde aldığı mikroyapı görüntüleri verilmiştir [56]. Bölüm 4.4'de açıklandığı üzere ön deneylerde işleme esnasında birçok problem ile karşılaşılmıştı. Tüm bu yorumlar göz önünde bulundurulduğunda kompozit üretiminde takviye partiküllerinin matris malzeme içerisinde homojen dağılamaması ve topaklanması gibi karşılaşılan birçok problemin işleme sırasında karşılaşılan sorunların kaynağı olduğu düşünülmektedir.



Resim 5.7. B_4C takviyeli kompozitlerin 50× ve 400× büyütmede mikroyapı görüntüleri [56]

5.1.2. Kompozit malzemelerde (B_4C_p /Al7075) yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

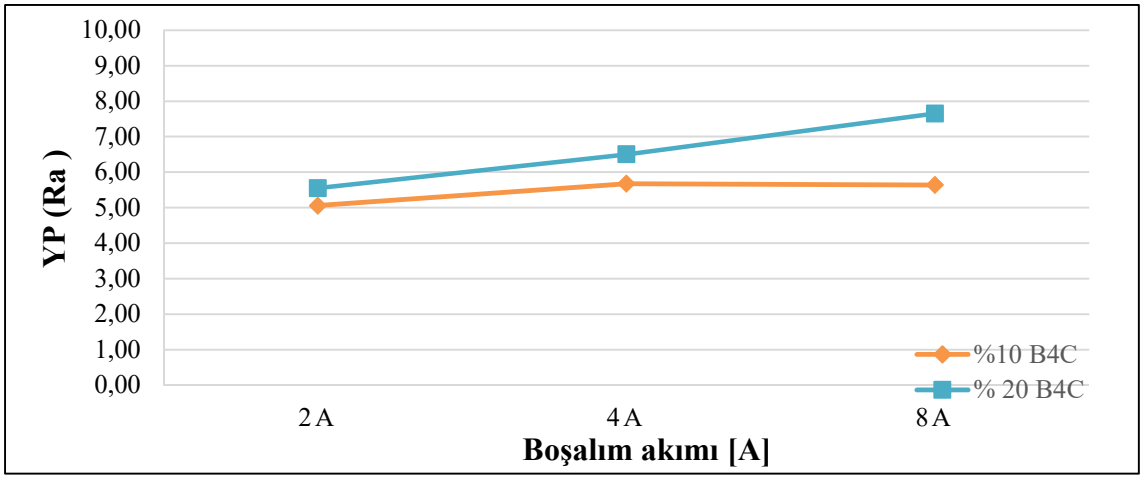
Çizelge 5.1 ve Şekil 5.7 ’de görüldüğü üzere, 90 dakika sinterleme süresinde %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,0598 ile 5,6761 µm değerleri arasında, %20 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,5539 ile 7,6543 µm değerleri arasında değişmektedir. %20 B_4C takviyeli kompozitlerin, %10 B_4C takviyeli kompozitlere kıyasla yüzey pürüzlülüğü aralığının çok az farkla daha yüksek olduğu görülmektedir. Boşalım akımı artışına bağlı olarak ise özellikle %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülük değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.1 ve Şekil 5.8 ’de görüldüğü üzere, 120 dakika sinterleme süresinde %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 6,1497 ile 6,5554 µm değerleri arasında, %20 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,2453 ile 7,0986 µm değerleri arasında değişmektedir. %20 B_4C takviyeli kompozitlerin, %10 B_4C takviyeli kompozitlere kıyasla

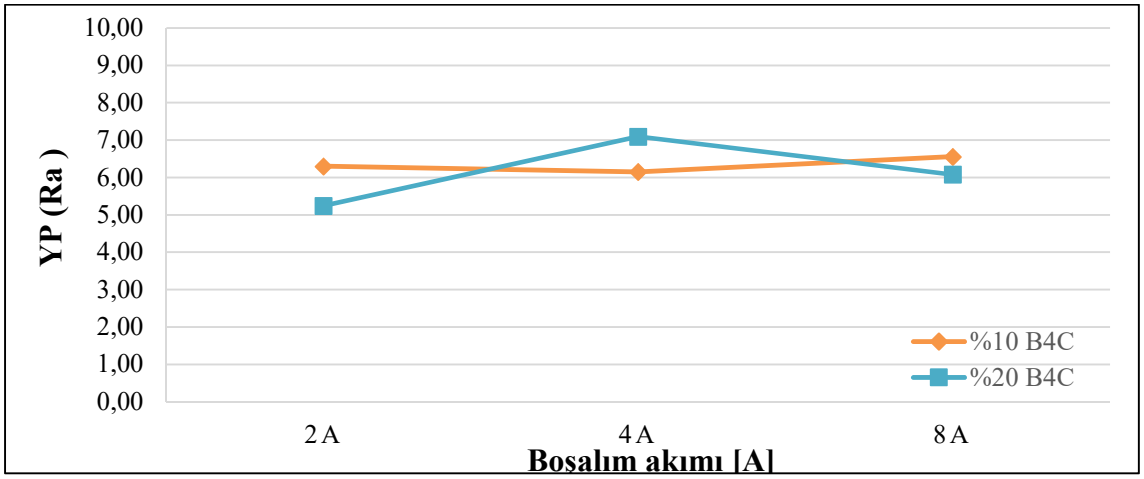
yüzey pürüzlülüğünün 4A boşalım akımı değerinde daha yüksek olduğu görülmektedir. %10 B_4C takviyeli kompozitler incelendiğinde 2A'den 8A'e boşalım akımının artmasıyla birlikte ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinde anlamlı bir yükselme tespit edilmemiştir.

Çizelge 5.1 ve Şekil 5.9'da görüldüğü üzere, 150 dakika sinterleme süresinde %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,1000 ile 6,1535 µm değerleri arasında, %20 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,9745 ile 6,6603 µm değerleri arasında değişmektedir. %20 B_4C takviyeli kompozitlerin, %10 B_4C takviyeli kompozitlere kıyasla yüzey pürüzlülüğü aralığının çok az farkla daha yüksek olduğu görülmektedir.

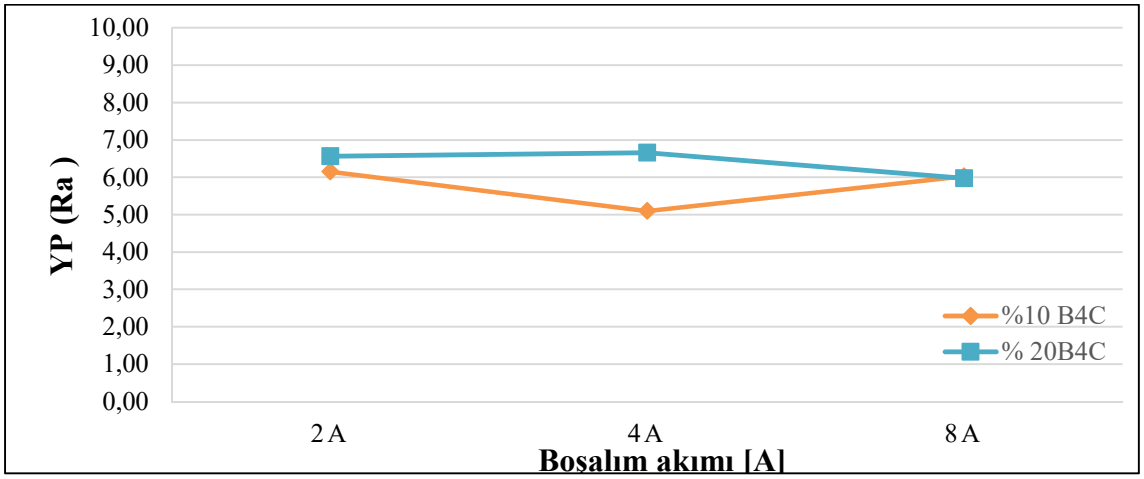
EEİ yönteminin esası gereği elektrik iletken metal malzemelerin işlenmesi sırasında boşalım akımının artmasına bağlı olarak, ergime esnasında iş parçası ile elektrot arasında yüksek sıcaklık meydana gelir ve malzeme kaldırılır. Kopan malzemeler, iş parçası üzerine kratersi bir yapı oluşumuna sebep olur. Boşalım akımı arttıkça daha geniş ve derin kraterler oluşması beklenmektedir. Krater büyüklüğü yüzey pürüzlülüğünü etkilediği için boşalım akımının artması ise krater büyüklüğünü artacağı için pürüzlülüğün artması beklenmektedir. Ancak bu çalışmada boşalım akımının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değeri aralıklarının çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir (Şekil 5.7-5.9). Resim 5.1- 5.6 incelendiğinde, işlenmiş yüzeylerde grafit elektrot yapışması, işlenmiş yüzeylerde çatlakların görülmesi, işleme esnasında takviye partiküllerinin topaklandığı bölgelerin mevcut olması nedeniyle yüzey bozukluklarının oluşması gibi birçok problem görülmektedir. Karşılaşan bu problemler numunelerin yüzey pürüzlülüğünün ölçüm doğruluğunu zorlaştırmaktadır. Çünkü aynı işleme koşullarında her bir numune için tekrarlı ölçümlerde farklı problemler görülmüş, kararlı bir duruma rastlanmamıştır.



Şekil 5.7. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika)



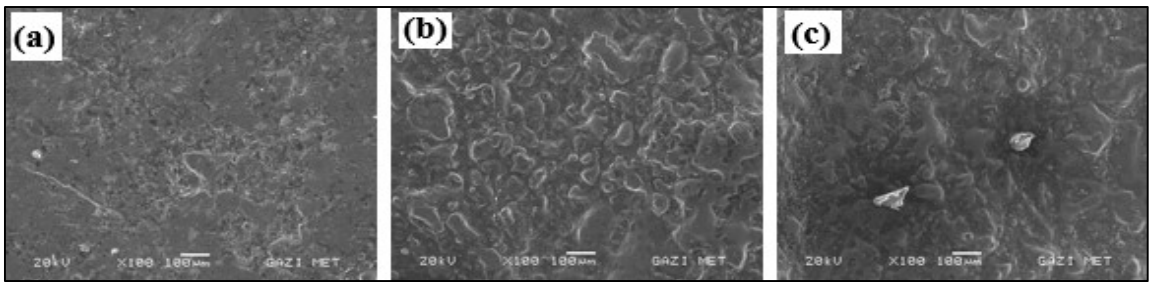
Şekil 5.8. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi:120 dakika)



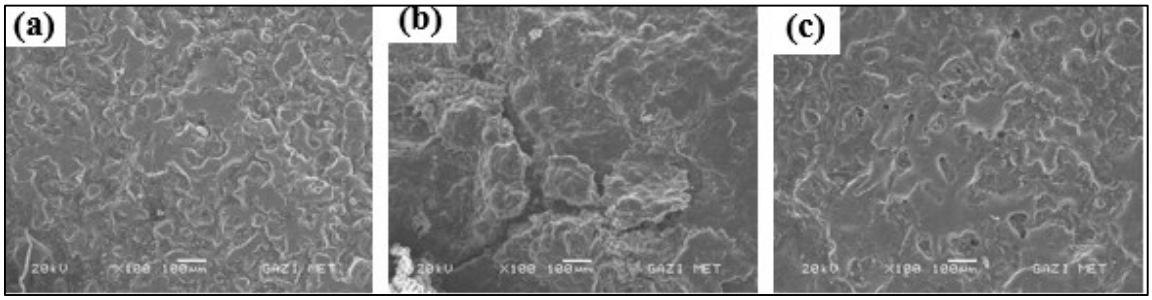
Şekil 5.9. B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika)

5.1.3. Kompozit malzeme yüzeylerinin (B_4C_p/Al7075) SEM incelemesi

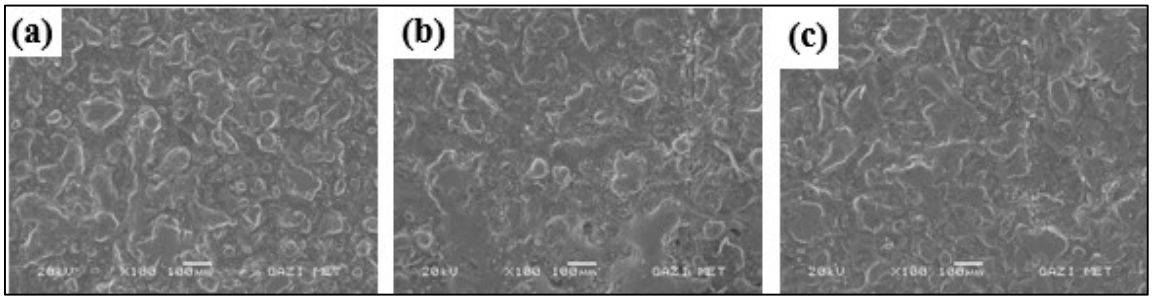
Resim 5.8-5.13 arasında %10 ve %20 B_4C takviyeli kompozit malzemelerin işlenmiş yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Boşalım akımının artmasıyla oluşan yüzey hasarları da artması beklenmektedir. İş parçası yüzeyine daha yoğun bir enerji boşalımın olması sonucu olarak yüzeyden daha fazla talaş kaldırılmaktadır. Yüzeyden kaldırılan talaş miktarının artması, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünü de kötüleştirmektedir. Akım değerinin artması ile yüzeyde oluşan kraterler daha geniş olmaktadır.



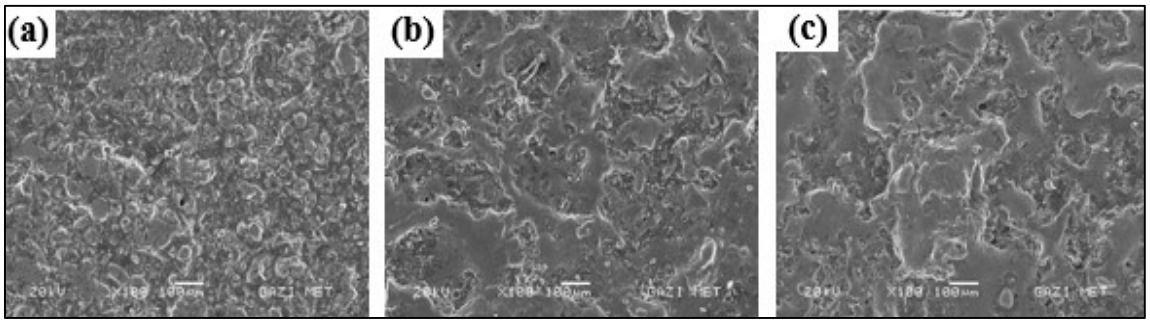
Resim 5.8. 90 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



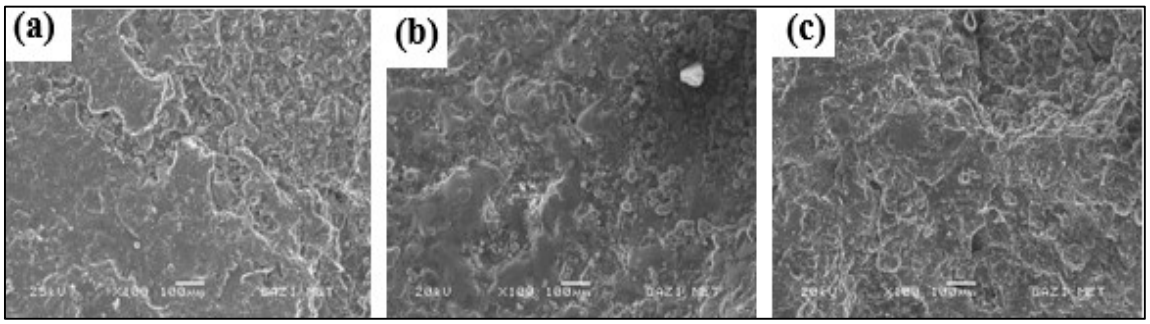
Resim 5.9. 120 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



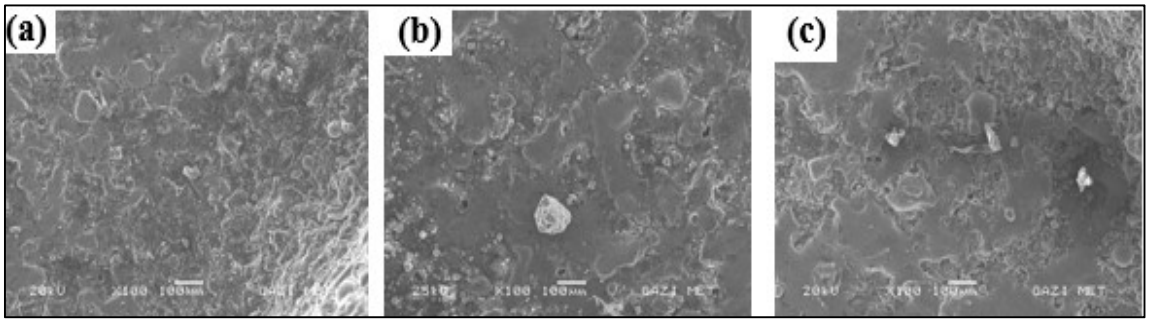
Resim 5.10. 150 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



Resim 5.11. 90 dakikada sinterlenmiş , %20 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzey etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



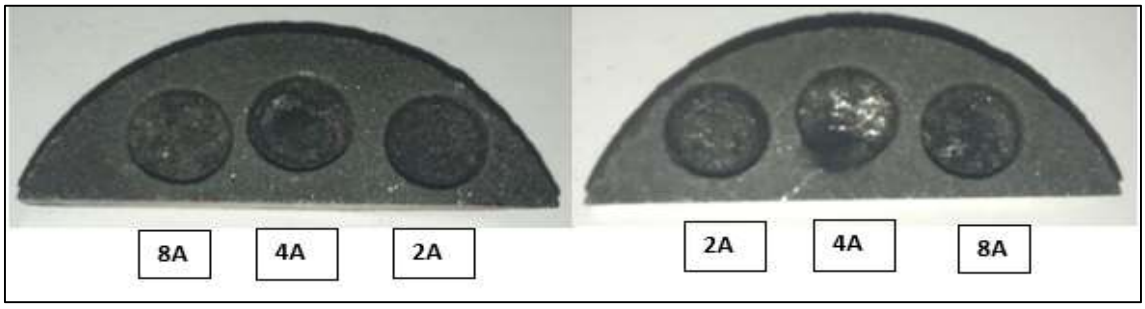
Resim 5.12. 120 dakikada sinterlenmiş , %20 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



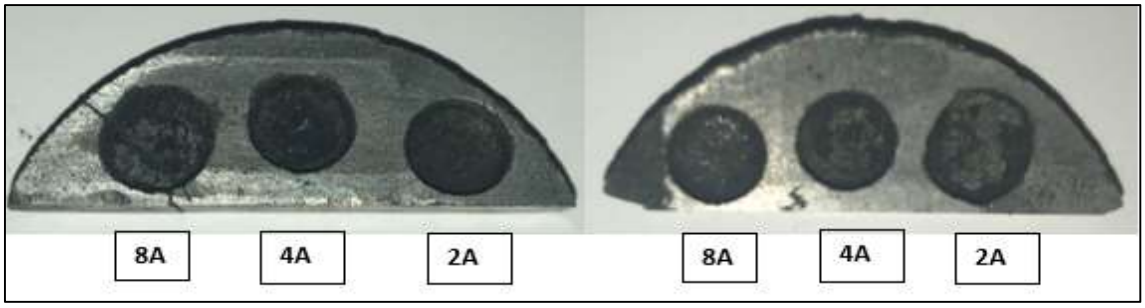
Resim 5.13. 150 dakikada sinterlenmiş , %20 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)

5.2. SiC Parçacık Takviyeli Al7075 Matrisli Kompozit (SiC_p/Al7075) İş Parçalarında Yapılan Deneyler

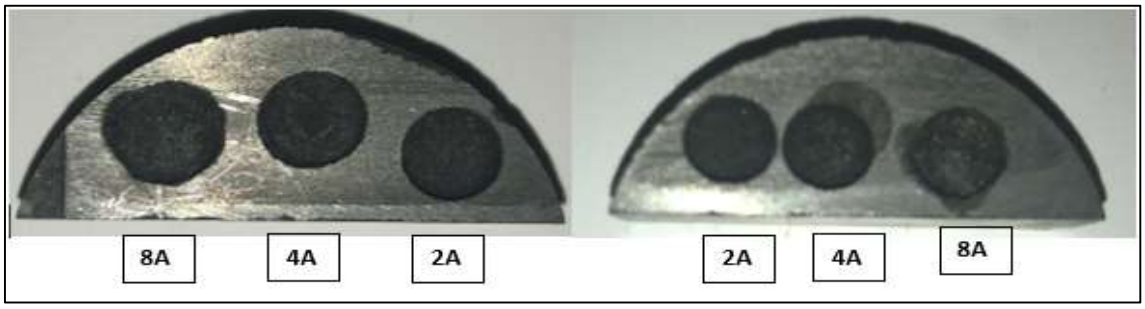
SiC parçacık takviyeli Al7075 matrisli kompozit (SiC_p/Al7075) iş parçalarında grafit elektrot ile delik delme işlemi neticesinde elde edilen deney numunelerinin fotoğrafları Resim 5.14-Resim 5.19'da verilmiştir.



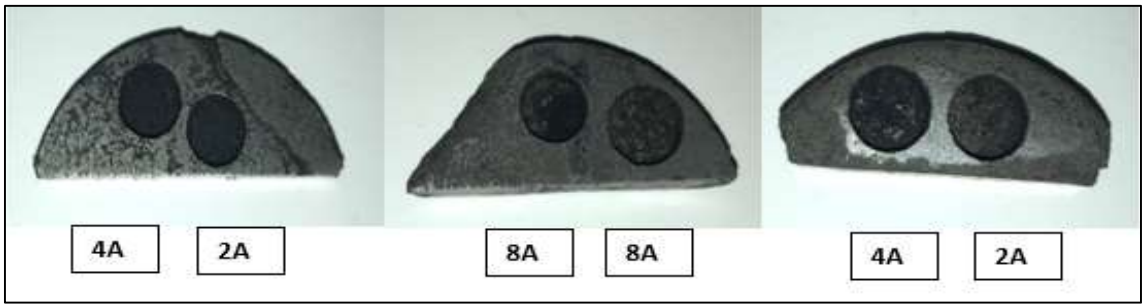
Resim 5.14. %10 SiC + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90 dakika)



Resim 5.15. %10 SiC + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika)



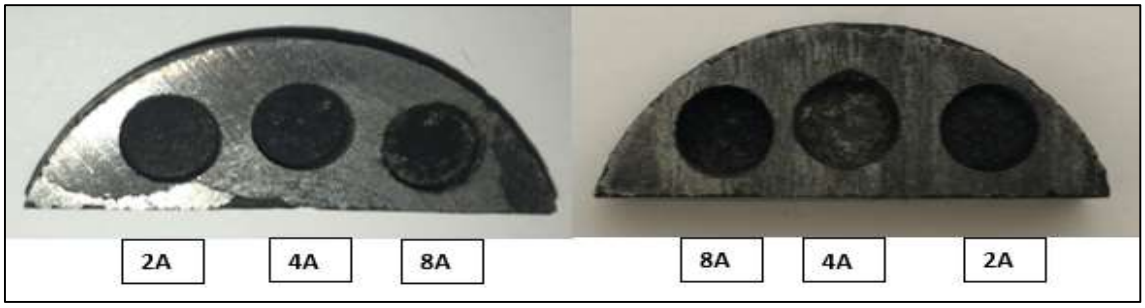
Resim 5.16. %10 SiC + %90 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika)



Resim 5.17. %20 SiC + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90 dakika)



Resim 5.18. %20 SiC + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika)



Resim 5.19. %20 SiC + %80 Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika)

SiC parçacık takviyeli Al7075 matrisli kompozit (SiC_p/Al7075) iş parçalarında grafit elektrot ile kör delik delme işlemi neticesinde elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. (SiC_p/Al7075) iş parçalarının deney sonuçları

D. No.	Takviye Oranı (%)	Ie [A]	t_s (dak)	İş parçası (g)			İşleme Süresi (dak)	İİH (g/dak)	Ort. İİH (g/dak)	Ra (µm)	Ort. Ra (µm)
				ilk ağırlık	son ağırlık	ağırlık farkı					
1	%10 SiC + %90 Al7075	2	90	3,5516	3,4483	0,1033	8”13’	0,01257	0,01205	5,8499	6,1438
2			90	4,1524	4,008	0,1444	12”32’	0,01152		6,4376	
3		2	120	3,3495	3,2129	0,1366	30”06’	0,00454	0,00418	7,2341	7,1524
4			120	3,3894	3,2659	0,1235	32”14’	0,00383		7,0707	
5		2	150	8,4577	8,3313	0,1264	18”	0,00702	0,00577	5,2737	5,6656
6			150	7,4991	7,4088	0,0903	20"	0,00452		6,0574	
7		4	90	3,4483	3,3186	0,1297	6”39’	0,01950	0,02017	7,2796	6,7920
8			90	4,008	3,9035	0,1045	5”01	0,02083		6,3044	
9		4	120	3,2129	3,0476	0,1653	6”38’	0,02492	0,02325	7,1884	7,3081
10			120	3,2659	3,0885	0,1774	8”13’	0,02159		7,4277	
11		4	150	8,3313	8,2346	0,0967	9”50’	0,00983	0,01161	5,7851	6,5978
12			150	7,4088	7,248	0,1608	12”01’	0,01338		7,4104	
13		8	90	3,3186	3,1448	0,1738	7”59’	0,02177	0,02617	8,2872	7,7674
14			90	3,9035	3,7237	0,1798	5”53’	0,03056		7,2475	
15		8	120	3,0476	2,8652	0,1824	8”55’	0,02046	0,01590	8,4365	7,1724
16			120	3,0885	2,9011	0,1874	16”31’	0,01135		5,9082	
17		8	150	8,2346	8,1183	0,1163	17”44’	0,00656	0,02000	6,2826	7,0535
18			150	7,248	7,0602	0,1878	5”37’	0,03344		7,8244	
19	%20 SiC + %80 Al7075	2	90	3,6598	3,5401	0,1197	12”42’	0,00943	0,00877	5,1947	5,6500
20			90	2,8181	2,6904	0,1277	15”44’	0,00812		6,1052	
21		2	120	4,4661	4,3334	0,1327	20”21’	0,00652	0,00473	6,8035	6,6747
22			120	3,3636	3,2498	0,1138	38”50’	0,00293		6,5458	
23		2	150	4,9297	4,8336	0,0961	23”33’	0,00408	0,00492	6,3030	7,2458
24			150	4,5060	4,3944	0,1116	19”24’	0,00575		8,1885	
25		4	90	3,5401	3,3207	0,2194	8”22’	0,02622	0,02442	5,6771	6,6449
26			90	2,6904	2,5276	0,1628	7”12’	0,02261		7,6126	
27		4	120	4,3334	4,0388	0,2946	11”44’	0,02511	0,02207	7,2734	7,8185
28			120	3,2498	3,0261	0,2237	11”45’	0,01904		8,3635	
29		4	150	4,8336	4,6643	0,1693	19”24’	0,00873	0,00903	5,5072	5,3024
30			150	4,3944	4,2817	0,1127	12”05’	0,00933		5,0975	
31		8	90	3,2788	3,1534	0,1254	5”45’	0,02181	0,02578	5,8833	7,1289
32			90	3,1534	2,9551	0,1983	6”40’	0,02975		8,3744	
33		8	120	4,0388	3,7970	0,2418	12”12’	0,01982	0,01540	7,7132	8,0775
34			120	3,0261	2,8980	0,1281	11”40’	0,01098		8,4418	
35		8	150	4,6643	4,4700	0,1943	8”57’	0,02171	0,01951	6,8257	6,7841
36			150	4,2817	4,1375	0,1442	8”20’	0,01730		6,7424	

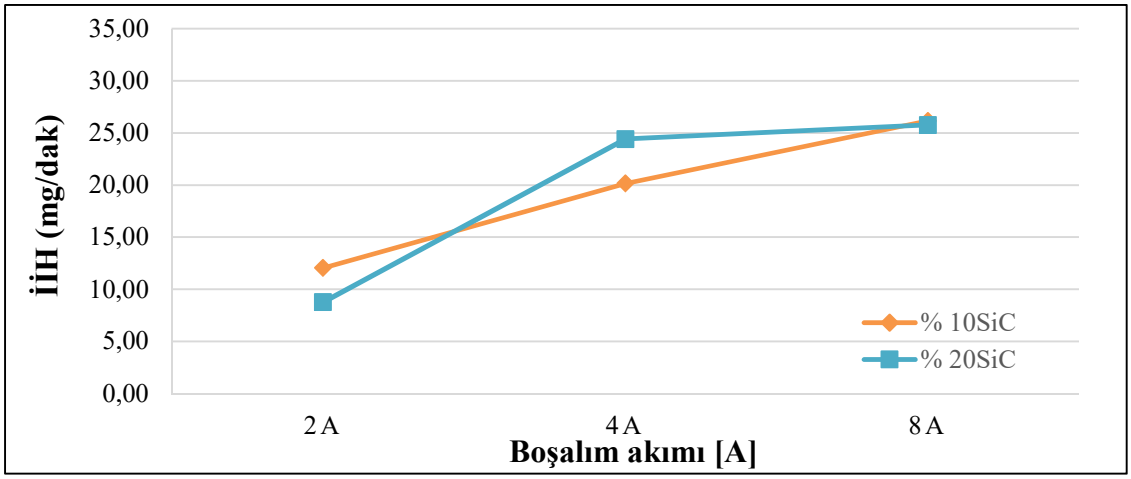
5.2.1. Kompozit malzemelerde (SiC_p/Al7075) iş parçası işleme hızının incelenmesi

Şekil 5.10 , 5.11 ve 5.12'te görüldüğü üzere, 90 dakika ve 150 dakika sinterleme süresinde boşalım akımının artması ile İİH değerlerinin arttığı; 120 dakika sinterleme süresinde boşalım akımının 2A'den 4A'e çıkmasıyla İİH'nın artarken, 4A'den 8A'e İİH'nın azaldığı tespit edilmiştir. 90 dakika sinterleme süresinde takviye oranlarının artması ile ise 2A ve 8A boşalım akımlarında İİH değerinin azaldığı, 4A'da ise İİH değerinin arttığı; 120 dakika sinterleme süresinde takviye oranlarının artması ile ise 4A ve 8A boşalım akımlarında İİH değerinin azaldığı, 2A'da ise İİH değerinin arttığı tespit edilmiştir. 150 dakika sinterleme süresinde takviye oranının artması ile İİH değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

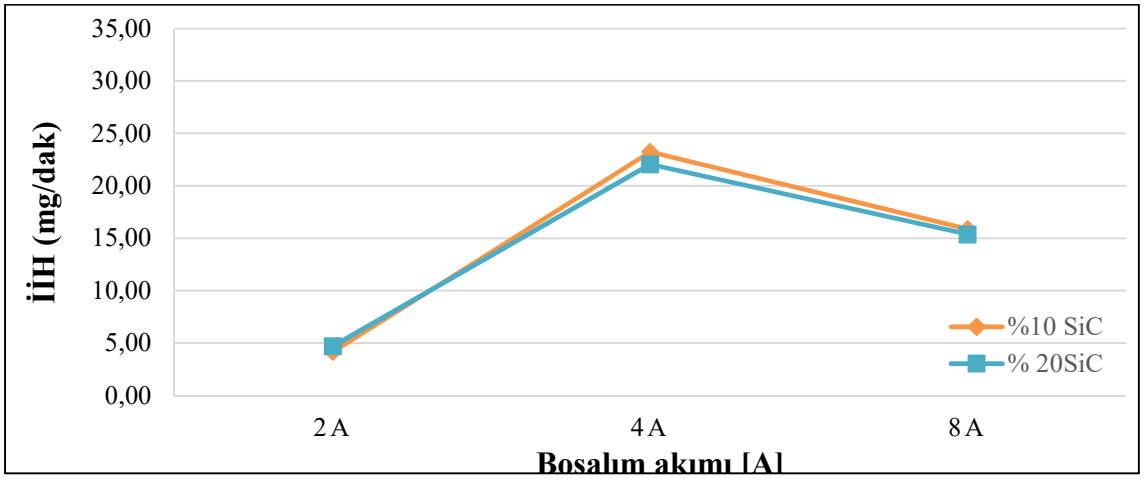
Bu çalışmada % 10 SiC takviyeli kompozit numunelerde 8A boşalım akımında ve 90 dakika sinterleme süresinde en yüksek İİH "0,02617 g/dak" olarak elde edilmiştir. En düşük İİH ise, % 10 SiC takviyeli kompozit numunelerde 2A boşalım akımında ve 120 dakika sinterleme süresinde en düşük İİH "0,00418 g/dak" olarak elde edilmiştir.

Temelde, boşalım akımının artması ile artan boşalım enerjisi iş parçası yüzeyinden daha fazla malzeme ergitilerek buharlaştırılmasına neden olur. Deney sonuçları incelendiğinde bu durumun aksi örnekleri görülmektedir. Bu durumun sebebi, işleme esnasında takviye partiküllerinin topaklandığı bölgelere denk gelindiğinde ark oluşumlarının görülmesi olarak yorumlanmıştır.

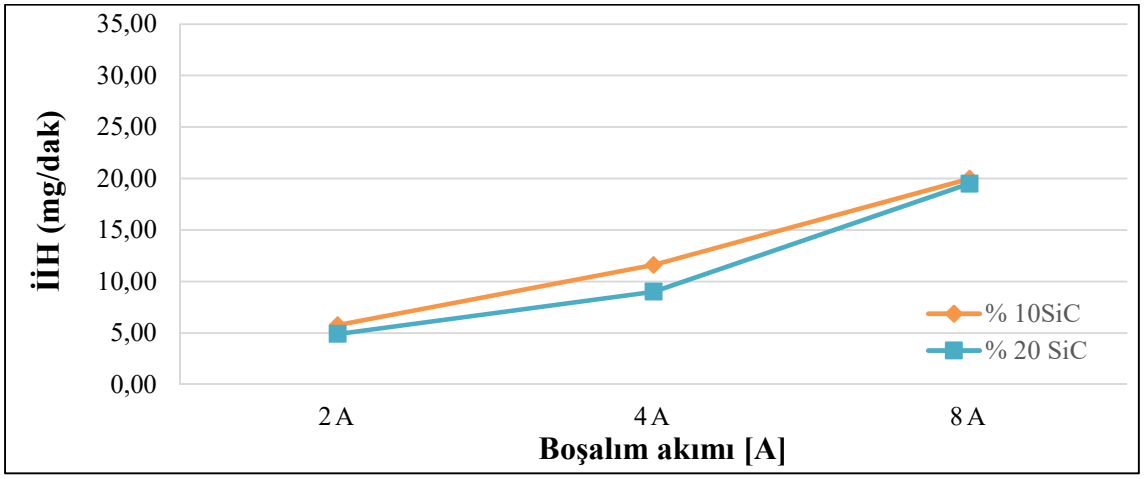
EEİ yönteminin uygulanması için işlenen iş parçası malzemesinin elektriksel iletken olması temel prensiptir. Bu çalışmada kullanılan %10 ve %20 oranlarında takviye partikülleri içeren SiC_p/Al7075 iş parçalarının, kompozit yapı içerisinde yalıtkanlık direnci yüksek takviye partikülleri ihtiva etme oranının yükselmesi (%10'dan %20'ye) İİH'nın azalmasına sebebiyet vermektedir. Deneylerin genelinde partikül hacminin artışı ile İİH'nin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika)

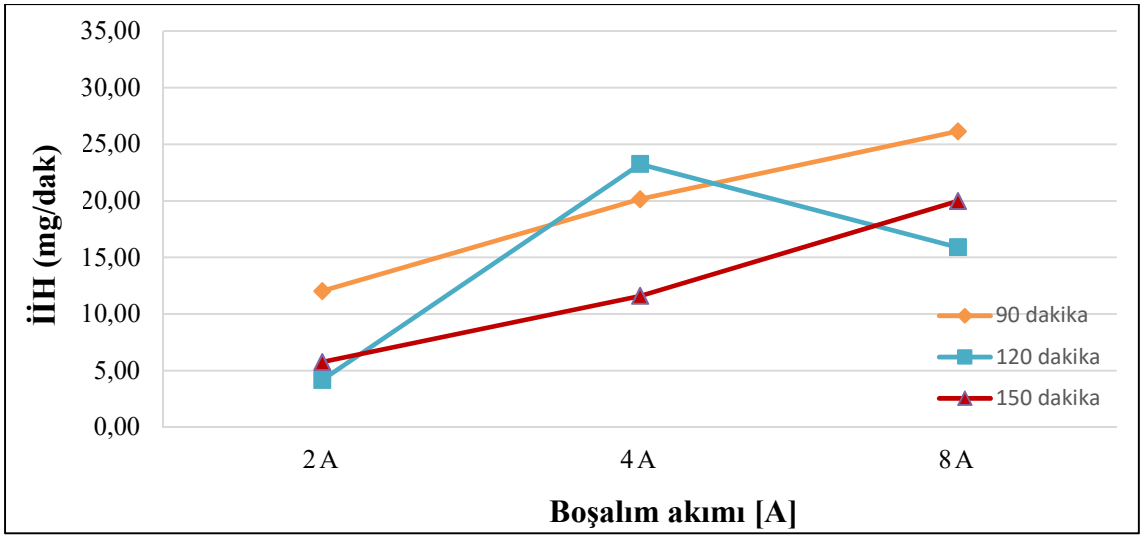


Şekil 5.11. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika)

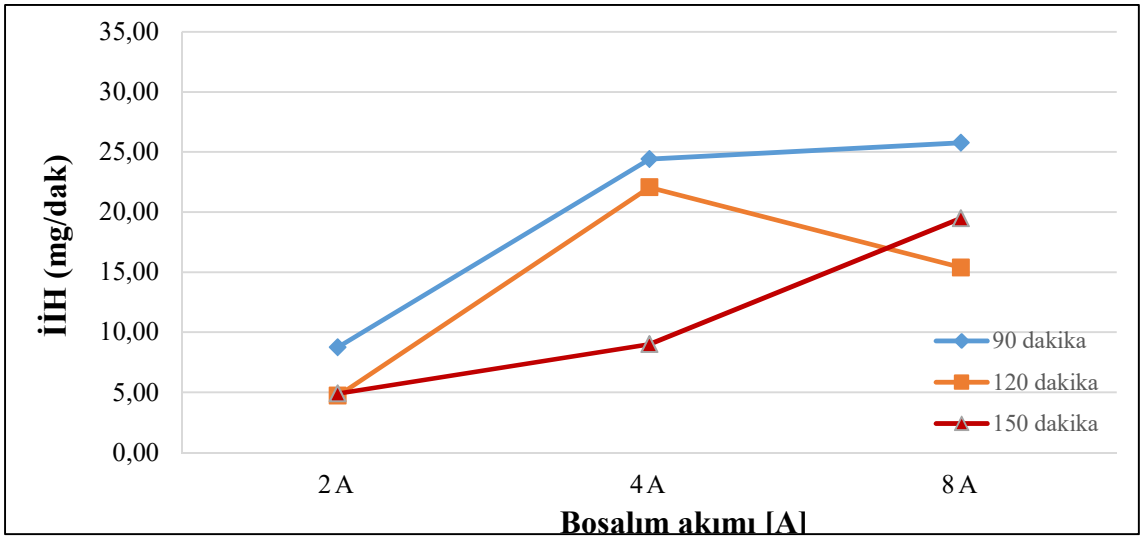


Şekil 5.12. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika)

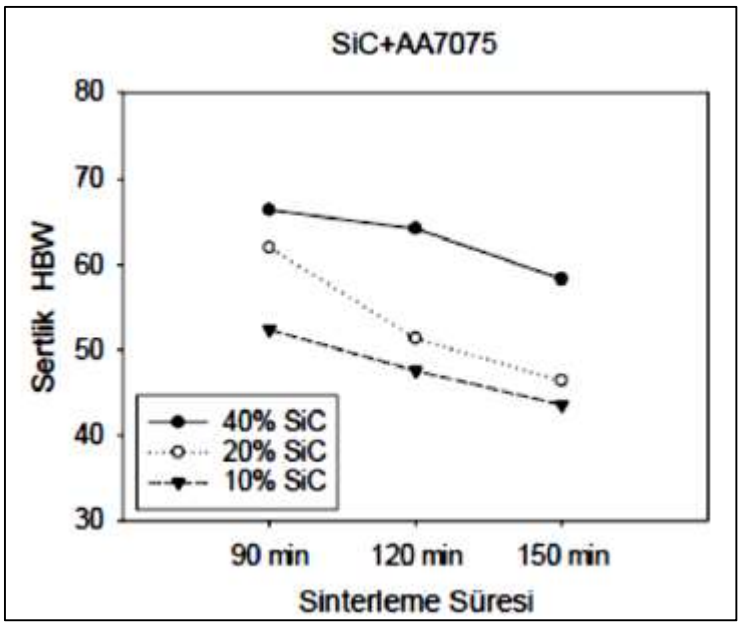
Şekil 5.13 ve 5.14'de ise takviye oranları sabit tutularak (%10 ve %20 için sırasıyla) her üç faklı sinterleme süresi için İİH değişimi incelenmiştir. Görüldüğü üzere sinterleme süreleri arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir. Şekil 5.16'da Baydaroğlu,V. 'nin tezinde alınan sinterleme süresi ile sertlik değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir [56]. Baydaroğlu,V. tarafından yapılan yorumda sinterleme süresinin artmasıyla sertlik değerlerinin azaldığı değerlendirilmiştir [56]. Bilindiği üzere EEİ ile işlemeye malzeme sertliğinin etkisi bulunmamaktadır. Şekil 5.4 ve 5.5 incelendiğinde de EEİ ile işlemeye malzemenin sinterleme süresinin etkisi bulunmamaktadır yorumunu benzer şekilde yapmak mümkündür. Elektro erozyon ile işleme esnasında,10^{17} W/mm^2'ye kadar ulaşılan ısı akışlarında, yüksek ısıl enerji tarafından oluşturulan plazma kanalının anot ve katot uçlarında yaklaşık sıcaklık 8.000 °C ile 20.000 °C arası değerlerindedir [38,40]. Bu sıcaklık değerinde kompozit yapı içerisinde bağların bağlanma etkisinin EEİ açısından çok fazla önemli olmadığı ve bundan bağımsız olarak EEİ yönteminin gerçekleştirilebildiği yorumu yapılabilir.



Şekil 5.13. % 10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi

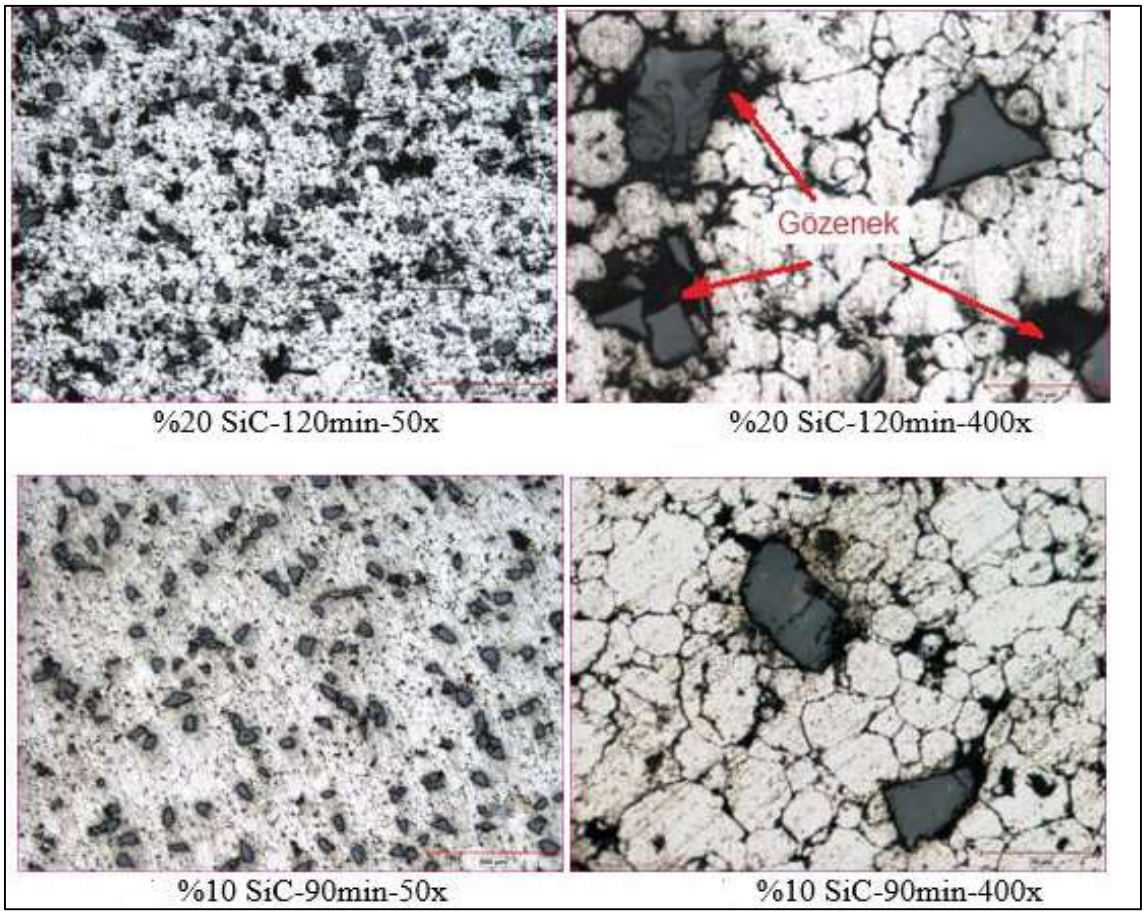


Şekil 5.14. %20 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi



Şekil 5.15. SiC takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri [56]

Ayrıca, Baydaroğlu,V., SiC takviye yüzdesinin artması ile takviye topaklanmasının meydana geldiğini belirtmiştir. Resim 5.20'de Baydaroğlu,V 'nun tezinde aldığı mikroyapı görüntüleri verilmiştir [56]. Bilindiği üzere ön deneylerde işleme esnasında birçok problem ile karşılaşılmıştı. Buradan kompozit üretiminde takviye partiküllerinin matris malzeme içerisinde homojen dağılamaması ve topaklanması gibi karşılaşılan birçok problemin işleme sırasında karşılaşılan sorunlara sebebiyet verdiği söylenebilir.



Resim 5.20. SiC takviyeli kompozitlerin 50× ve 400× büyütmede mikroyapı görüntüleri [56]

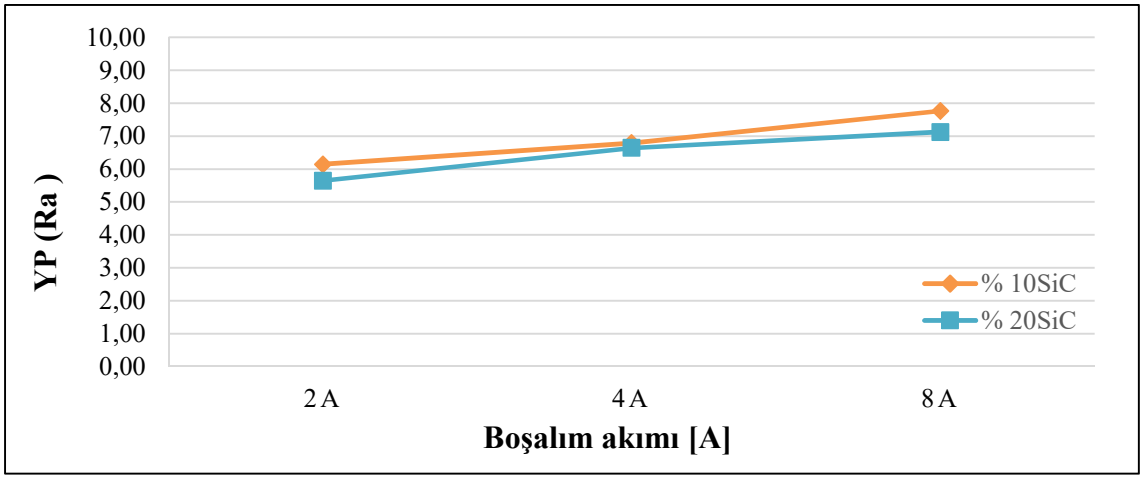
5.2.2. Kompozit malzemelerde (SiC_p/Al7075) yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

Çizelge 5.2 ve Şekil 5.17'de görüldüğü üzere, 90 dakika sinterleme süresinde %10 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 6,1438 ile 7,7674 µm değerleri arasında, %20 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,6500 ile 7,1289 µm değerleri arasında değişmektedir. %10 SiC takviyeli kompozitlerin, %20 SiC takviyeli kompozitlere kıyasla yüzey pürüzlülüğü aralığının çok az farkla daha yüksek olduğu görülmektedir. Boşalım akımı artışına bağlı olarak ise özellikle yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

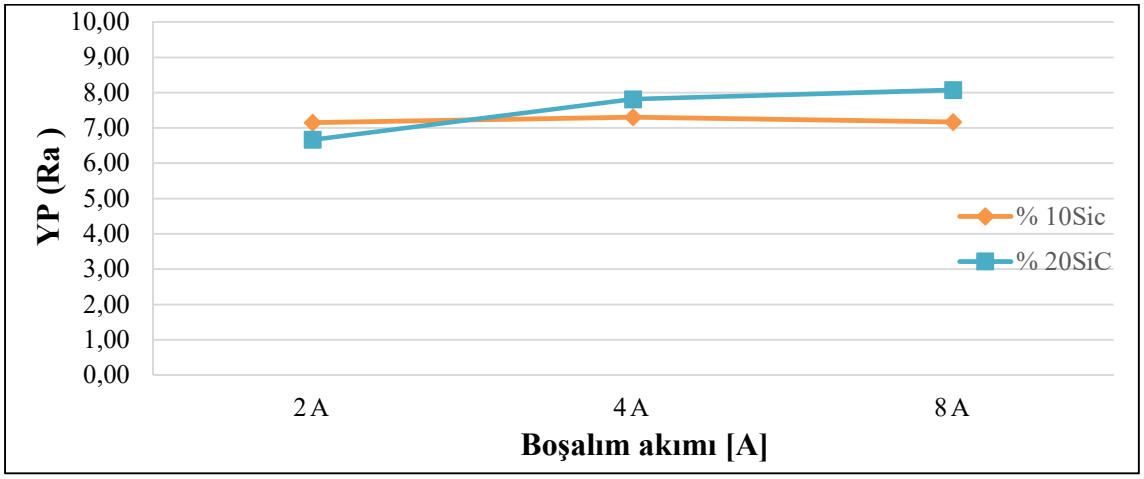
Çizelge 5.2 ve Şekil 5.18'de görüldüğü üzere, 120 dakika sinterleme süresinde %10 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 7,1524 ile 7,3081 µm değerleri arasında, %20 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 6,6747 ile 8,0775 µm değerleri arasında değişmektedir. %20 SiC takviyeli kompozitlerin, %10 SiC takviyeli kompozitlere kıyasla yüzey pürüzlülüğünün 4A ve 8A akım değerinde daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2 ve Şekil 5.19'da görüldüğü üzere, 150 dakika sinterleme süresinde %10 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,6656 ile 7,0535 μm değerleri arasında, %20 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,3024 ile 7,2458 μm değerleri arasında değişmektedir. Boşalım akımı artışına bağlı olarak ise %10 SiC yüzey pürüzlülük değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

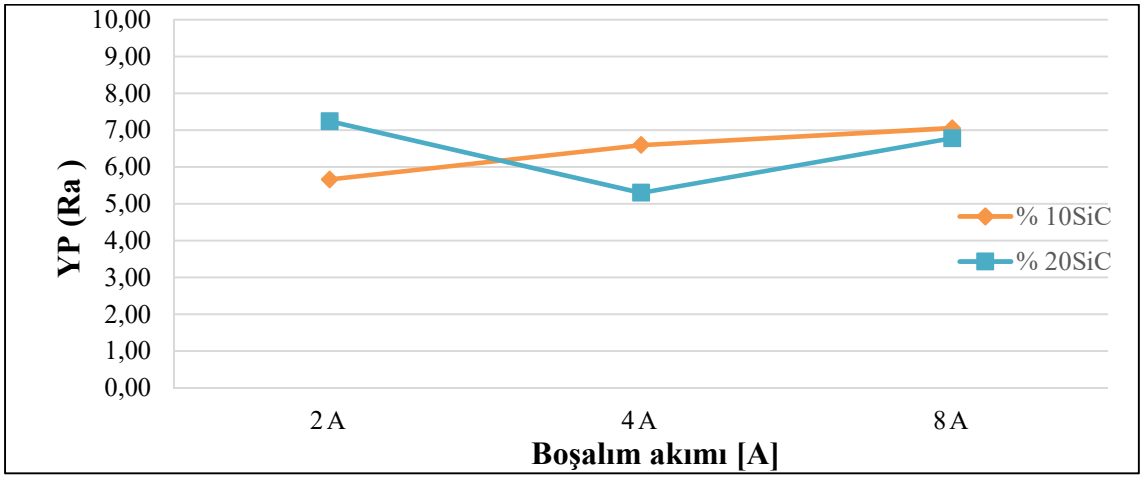
EEİ yönteminin esası gereği boşalım akımının artmasına bağlı olarak , ergime esnasında iş parçası ile elektrot arasında yüksek sıcaklık meydana gelir ve malzeme kaldırılır. Kopan malzemeler, iş parçası üzerine krater yapı oluşumuna sebep olur. Boşalım akımı arttıkça daha geniş ve derin kraterler oluşması beklenmektedir. Krater büyüklüğü yüzey pürüzlülüğünü etkilediği için , boşalım akımının artması ise krater büyüklüğünü artacağı için pürüzlülüğün artması beklenmektedir. Ancak bu çalışmada genel olarak boşalım akımının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değeri aralıklarının çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir (Şekil 5.17-5.19). Grafit elektrot yapışması, işleme sürecinde takviye partiküllerinin topaklandığı bölgelere denk gelinmesi nedeniyle çeşitli yüzey bozuklukları ile oluştuğu deney numunelerinin işlenmiş yüzeylerinde (Resim 5.14-5.19) görülmektedir. Bu olumsuzluklar yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin sağlıklı olarak gerçekleştirilmesinin önüne geçmekte, tekrarlanma sayısı iki olan deneylerin yüzey pürüzlülüğü ortalamasını değiştirerek yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak, aynı proses koşullarında işlenmiş her bir deney numunesinde farklı problemler gözlemlenmiş ve kararlı bir yüzey çıktısı elde edilememiştir.



Şekil 5.16. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika)



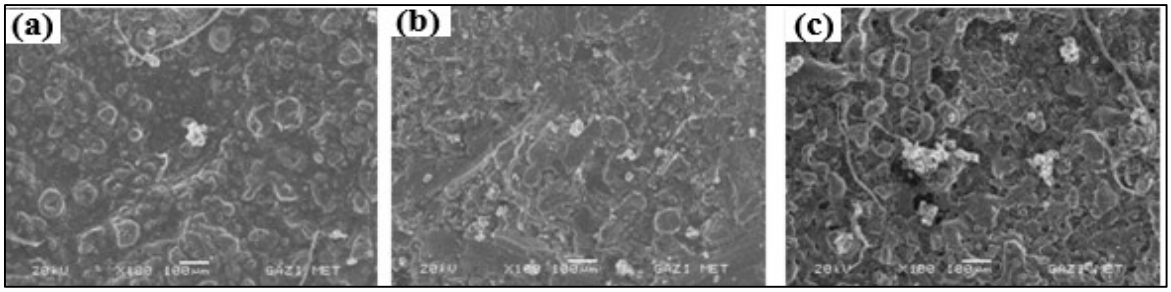
Şekil 5.17. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika)



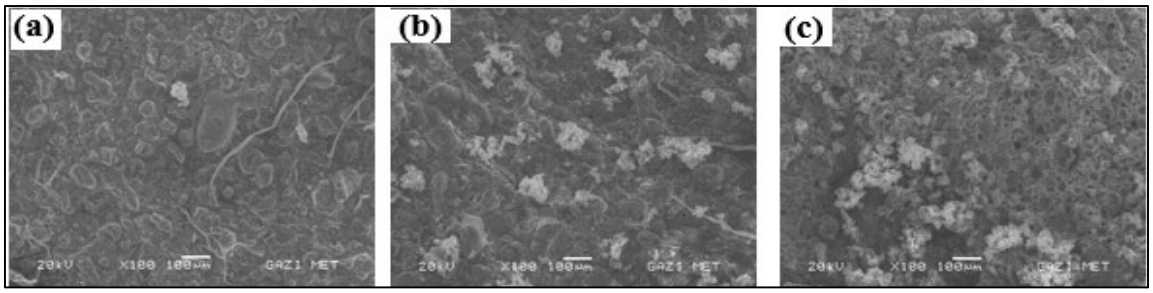
Şekil 5.18. SiC_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika)

5.2.3. Kompozit malzeme yüzeylerinin (SiC_p/Al7075) SEM incelemesi

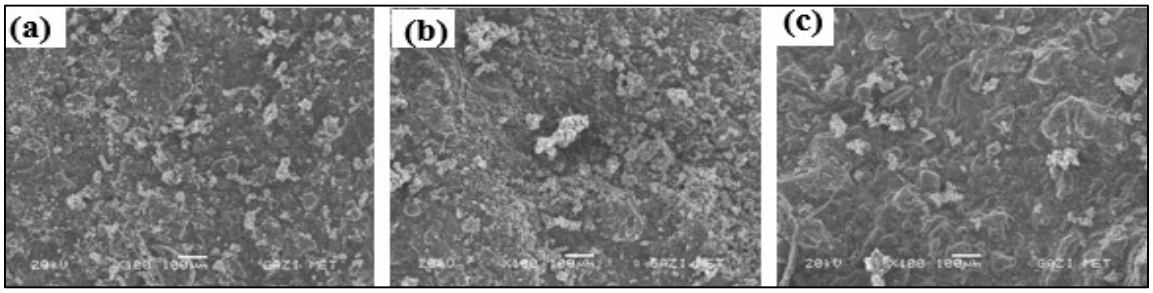
Resim 5.21-5.26 arasında %10 ve %20 SiC takviyeli kompozit malzemelerin işlenmiş yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Akımın artmasıyla oluşan yüzey hasarlarıda artması beklenmektedir. Akım şiddetinin artması, iş parçası yüzeyine daha yoğun bir enerji boşalımın olmasına yol açmakta ve bunun sonucu olarak yüzeyden daha fazla talaş kaldırılmaktadır. Yüzeyden kaldırılan talaş miktarının artması, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünü de kötüleştirmektedir. Akım değerinin artması ile yüzeyde oluşan kraterler daha geniş olmaktadır.



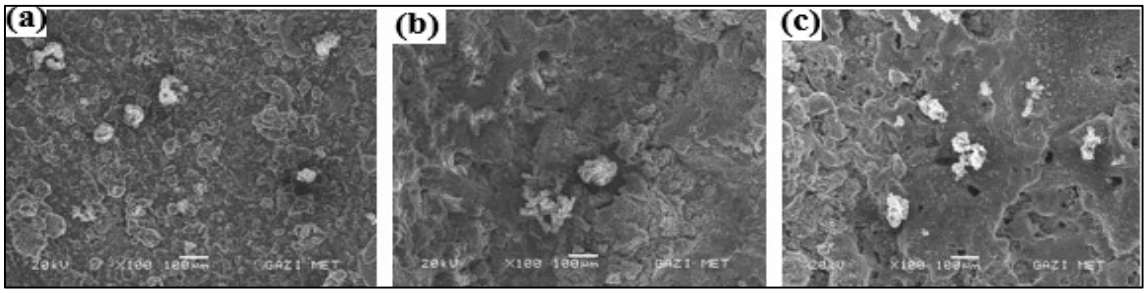
Resim 5.21. 90 dakikada sinterlenmiş , %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



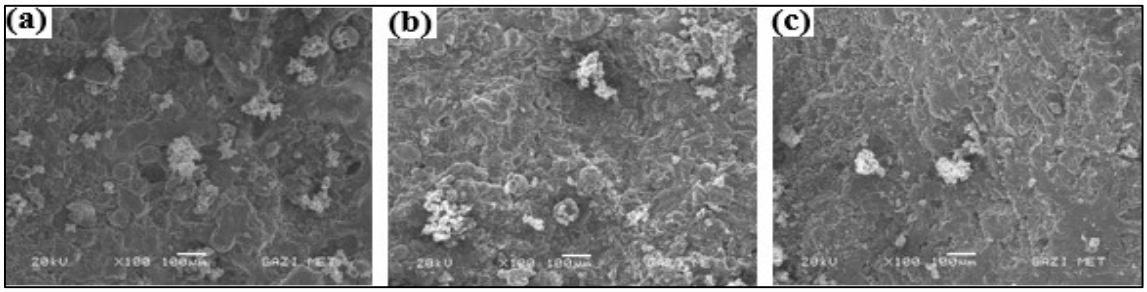
Resim 5.22. 120 dakikada sinterlenmiş , %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



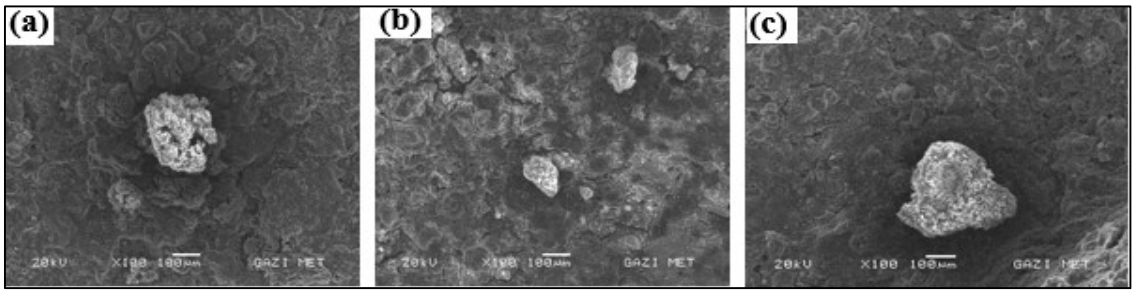
Resim 5.23. 150 dakikada sinterlenmiş , %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



Resim 5.24. 90 dakikada sinterlenmiş , %20 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



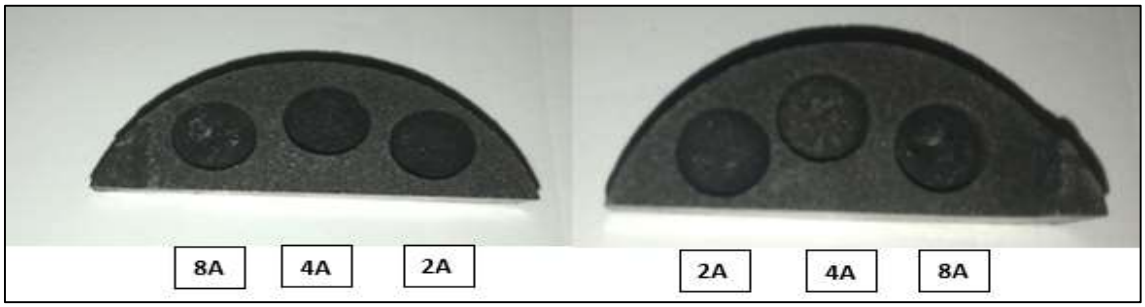
Resim 5.25. 120 dakikada sinterlenmiş , %20 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



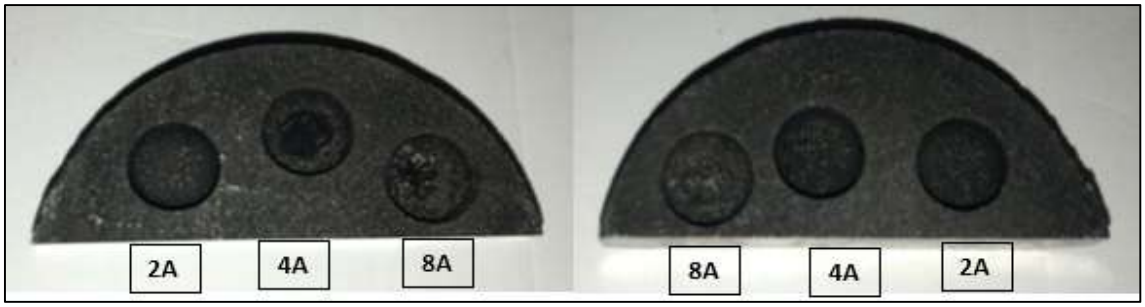
Resim 5.26. 150 dakikada sinterlenmiş , %20 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının işleme yüzeyine etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)

5.3. SiC+ B_4C Parçacık Takviyeli Al7075 Matrisli Kompozit (SiC_p+B_4C_p/Al7075) İş Parçalarında Yapılan Deneyler

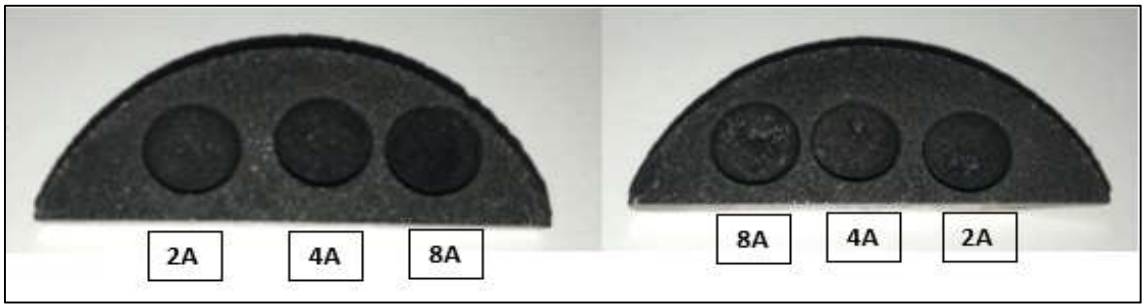
SiC+B_4C parçacık takviyeli Al7075 matrisli kompozit (SiC_p+B_4C_p/Al7075) iş parçalarında grafit elektrot ile kör delik delme işlemi sonrasında elde edilen deney numunelerinin fotoğrafları Resim 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31 ve 5.32'de verilmiştir.



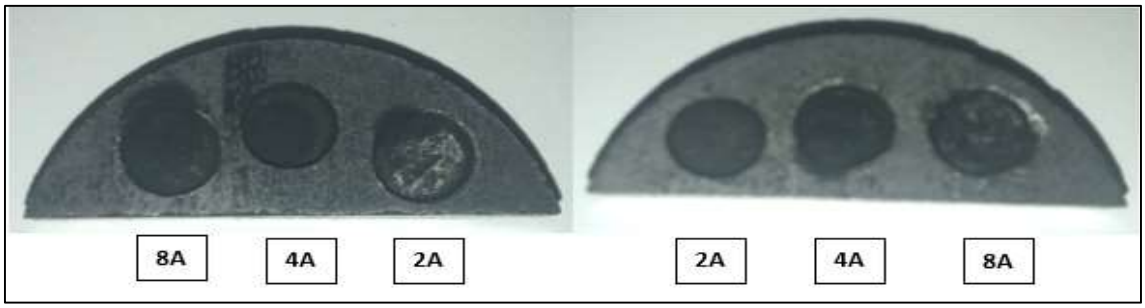
Resim 5.27. %5SiC + %5B_4C + %90Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi 90 dakika)



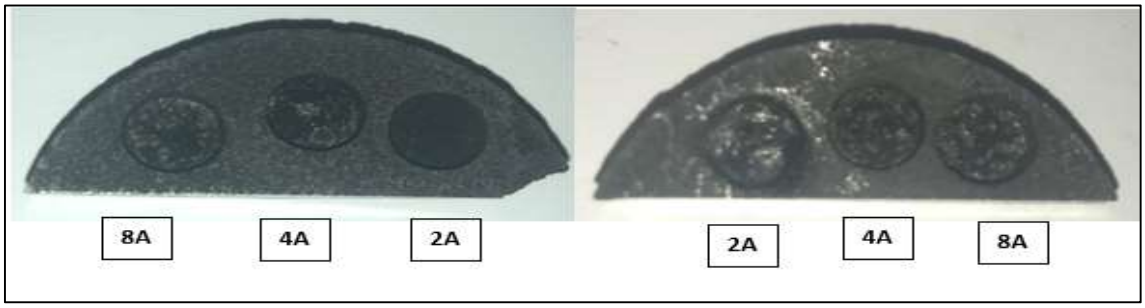
Resim 5.28. %5SiC+%5B_4C+%90Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:120 dakika)



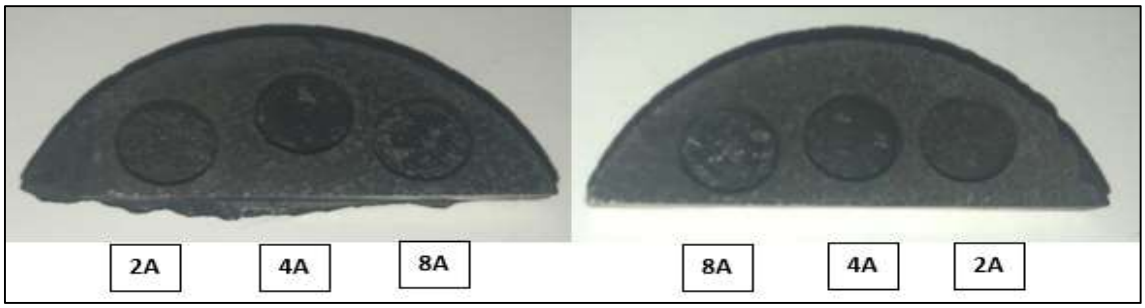
Resim 5.29. %5SiC+%5B_4C+ %90Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:150 dakika)



Resim 5.30. %10SiC+%10B_4C+%80Al7075 deney numuneleri (sinterleme süresi:90dakika)



Resim 5.31. %10SiC+%10B_4C+%80Al7075 deney numuneleri(sinterleme süresi:120 dak.)



Resim 5.32.%10SiC+%10B_4C+%80Al7075 deney numuneleri(sinterleme süresi:150 dak.)

SiC+B_4C parçacık takviyeli Al7075 matrisli kompozit (SiC_p+B_4C_p/Al7075) iş parçalarında grafit elektrot ile delik delme işlemi neticesinde elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. (SiC_p+B_4C_p/Al7075) iş parçalarının deney sonuçları

D. No.	Takviye Oranı (%)	Ie [A]	t_s (dak)	İş parçası (g)			İşleme Süresi (dak)	İİH (g/dak)	Ort. İİH (g/dak)	Ra (µm)	Ort. Ra (µm)
				ilk ağırlık	son ağırlık	Ağırlık farkı					
1	%5 SiC + %5 B_4C + %90 Al7075	2	90	5,2592	5,1027	0,1565	20”36’	0,00760	0,00587	5,8956	5,4560
2			90	5,2859	5,154	0,1319	31”54’	0,00413		5,0163	
3		2	120	4,4593	4,3309	0,1284	20”47’	0,00618	0,00620	6,0123	6,3412
4			120	4,3586	4,2538	0,1048	16”51’	0,00622		6,6701	
5		2	150	3,7866	3,6828	0,1038	20”35’	0,00504	0,00511	5,0082	5,7779
6			150	3,489	3,3847	0,1043	20”11’	0,00517		6,5476	
7		4	90	5,1027	4,9347	0,1680	9”35’	0,01753	0,01900	4,664	5,4072
8			90	5,154	5,0087	0,1453	7”6’	0,02046		6,1503	
9		4	120	4,3309	4,2103	0,1206	7”19’	0,01648	0,01546	7,8116	7,4140
10			120	4,2538	4,1162	0,1376	9”32’	0,01443		7,0164	
11		4	150	3,6828	3,5149	0,1679	8”31’	0,01971	0,01943	6,1754	6,5222
12			150	3,3847	3,2399	0,1448	7”34’	0,01914		6,8689	
13		8	90	4,9347	4,7966	0,1381	5”32’	0,02496	0,02809	5,1706	5,5829
14			90	5,0087	4,8312	0,1775	5”41’	0,03123		5,9952	
15		8	120	4,2103	4,0563	0,1540	5”26’	0,02834	0,02924	6,4361	6,0259
16			120	4,1162	4,0127	0,1035	3”26’	0,03015		5,6157	
17		8	150	3,5149	3,3399	0,1750	6”47’	0,02580	0,02724	7,0037	6,5806
18			150	3,2399	3,1022	0,1377	4”48’	0,02869		6,1575	
19	%10 SiC + %10 B_4C + %90 Al7075	2	90	4,9441	4,8196	0,1245	54”11’	0,00230	0,00274	4,6343	5,9206
20			90	4,9513	4,8373	0,1140	35”53	0,00318		7,2068	
21		2	120	4,0986	3,9949	0,1037	27”05’	0,00383	0,00371	4,2542	5,2551
22			120	4,2227	4,1080	0,1147	31”54’	0,00360		6,2560	
23		2	150	3,8283	3,7183	0,1100	23”27’	0,00469	0,00417	5,5372	5,5205
24			150	3,9349	3,8385	0,0964	26”25’	0,00365		5,5037	
25		4	90	4,8196	4,6930	0,1266	22”	0,00575	0,00523	6,1497	6,8466
26			90	4,8373	4,7196	0,1177	25”	0,00471		7,5435	
27		4	120	3,9949	3,8852	0,1097	9”47’	0,01121	0,01160	6,0230	6,0774
28			120	4,1080	3,9874	0,1206	10”04’	0,01198		6,1318	
29		4	150	3,7183	3,5881	0,1302	8”35’	0,01517	0,01540	6,3966	5,5290
30			150	3,8385	3,7108	0,1277	8”10’	0,01564		4,6613	
31		8	90	4,6930	4,4250	0,2680	38”5’	0,00704	0,00633	6,4537	5,9980
32			90	4,7196	4,5876	0,1320	23”30’	0,00562		5,5423	
33		8	120	3,8852	3,8485	0,0367	5”58’	0,00615	0,02311	7,3693	7,0009
34			120	3,9874	3,7169	0,2705	6”45’	0,04007		6,6324	
35		8	150	3,5881	3,4527	0,1354	8”21’	0,01622	0,01741	7,0447	6,1925
36			150	3,7108	3,5709	0,1399	7”31’	0,01861		5,3403	

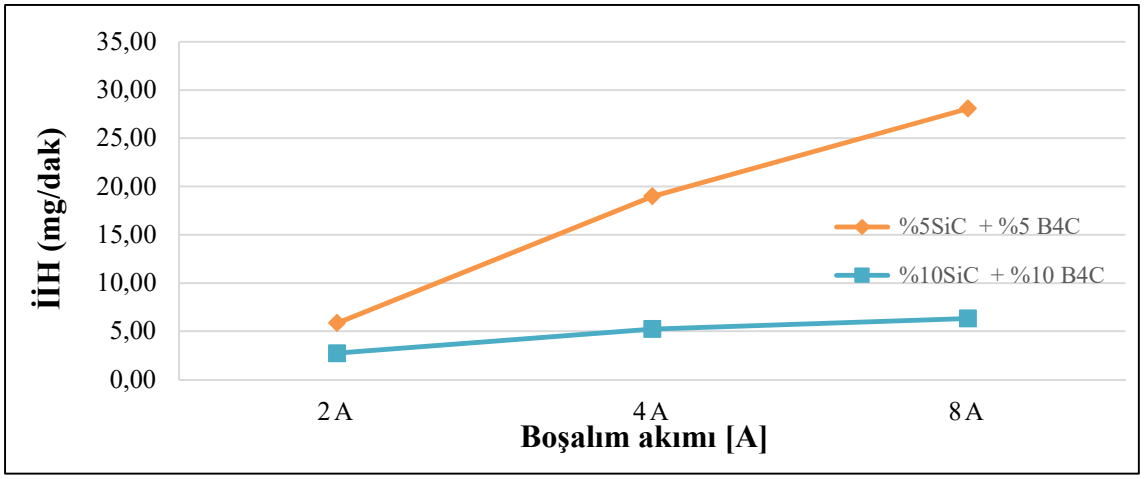
5.3.1. Kompozit malzemelerde (SiC_p+B_4C_p/Al7075) iş parçası işleme hızının incelenmesi

Şekil 5.19 , 5.20 ve 5.21'de görüldüğü üzere, sinterleme süresi sabit alındığında her üç sinterleme süresinde (90 dakika, 120 dakika, 150 dakika) boşalım akımının artması ile İİH değerlerinin arttığı; takviye oranlarının artması ile ise İİH değerinin azaldığı tespit edilmiştir.

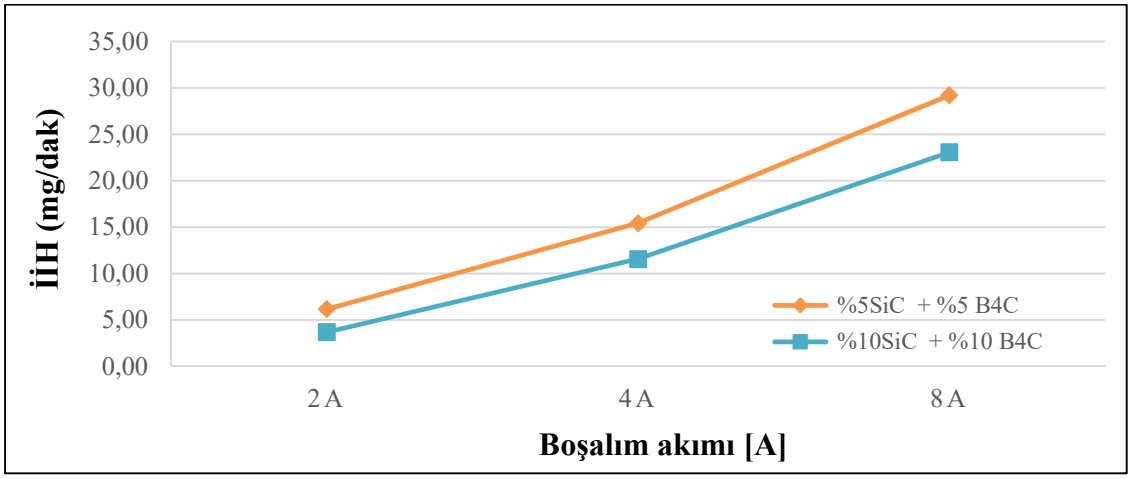
Bu çalışmada %5SiC+%5B_4C takviyeli kompozit numunelerde 8A boşalım akımında ve 120 dakika sinterleme süresinde en yüksek İİH "0,02924 g/dak" olarak elde edilmiştir. En düşük İİH ise, %10SiC+%10B_4C takviyeli kompozit numunelerde 2A boşalım akımında ve 90 dakika sinterleme süresinde en yüksek İİH "0,00274 g/dak" olarak elde edilmiştir.

Boşalım akımının artması ile boşalım enerjisinin artışı sebebiyle iş parçası yüzeyinden daha fazla malzeme ergitilerek buharlaştırılmaktadır. Boşalım akımının yükselmesi ile kıvılcım daha şiddetli bir hale gelerek birim zamanda daha fazla alanın ergitilerek buharlaşmasına ve malzeme koparılmasına neden olmaktadır.

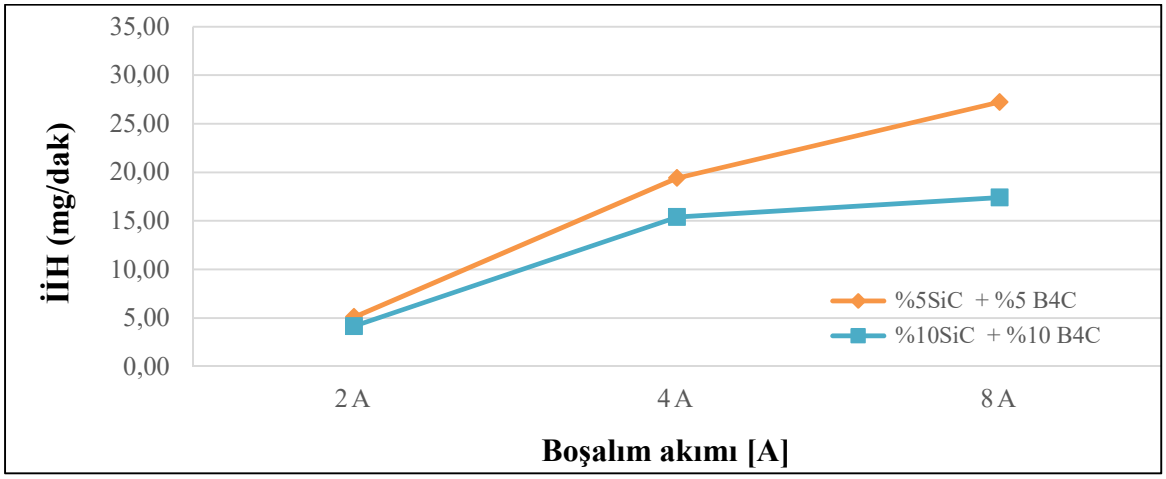
Bilindiği üzere EEİ yönteminin uygulanması için işlenen iş parçası malzemesinin iletken olması temel prensiptir. Ancak bu çalışmada kullanılan %10 ve %20 oranlarında takviye partikülleri içeren SiC_p+B_4C_p/Al7075 kompozit malzeme numunelerinin elektriksel iletkenliği düşük takviye partikülleri içerme oranının %10'dan %20'ye yükselmesi, İİH'nın azalmasına neden olmaktadır. Deneysel sonuçlar bu yorumu doğrulamaktadır.



Şekil 5.19. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika)

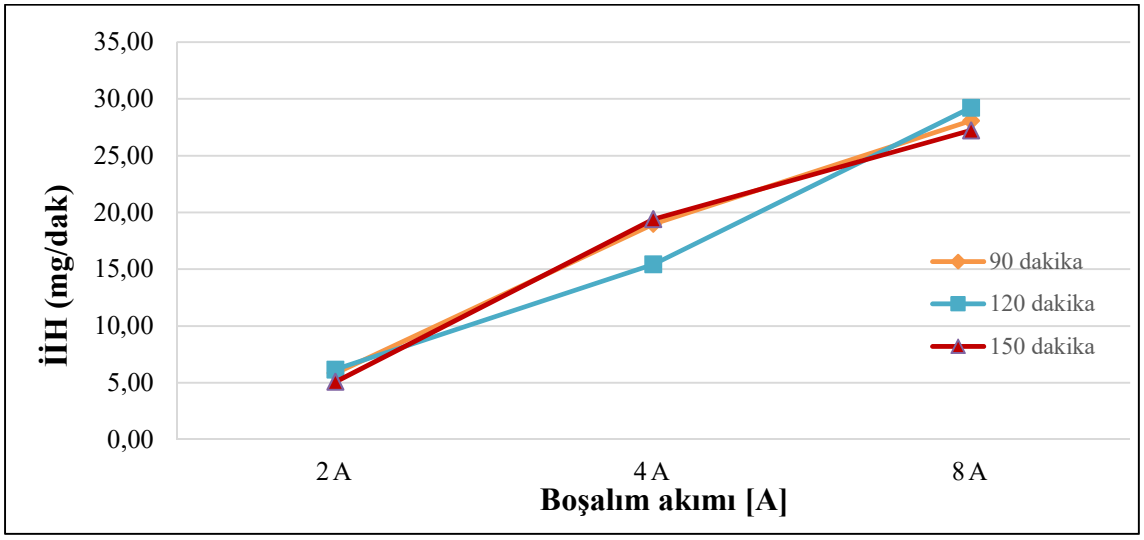


Şekil 5.20. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika)

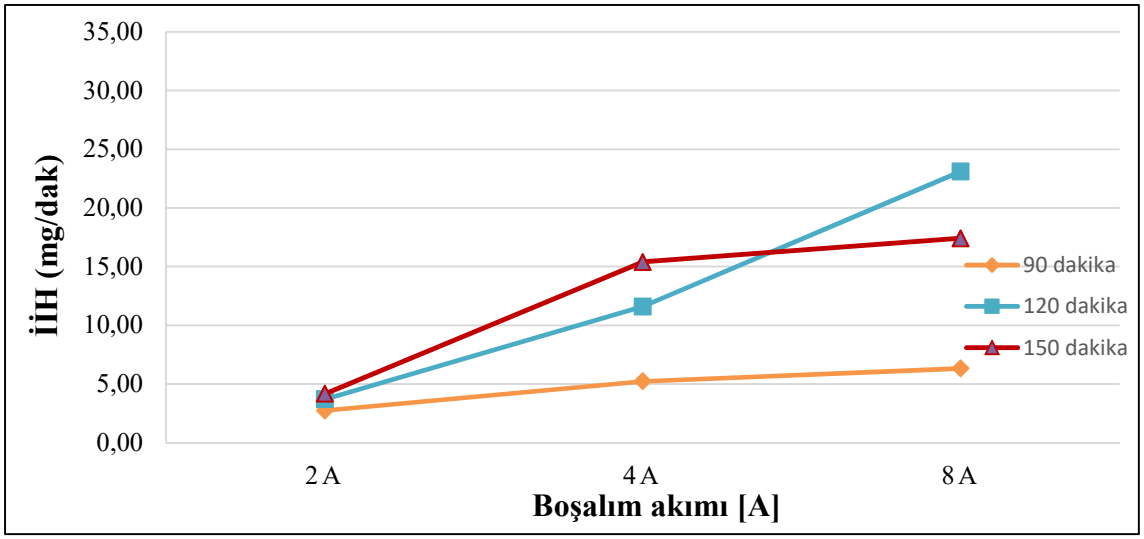


Şekil 5.21. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika)

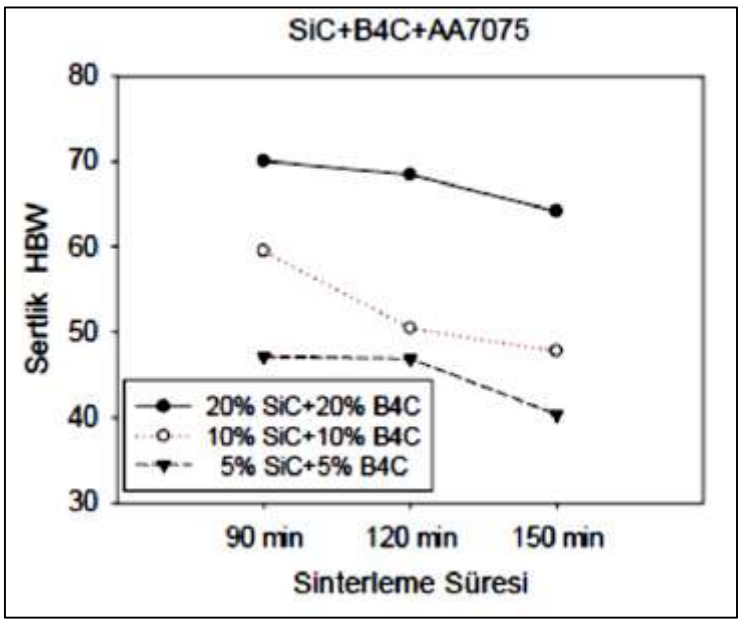
Şekil 5.22 ve 5.23'de ise takviye oranları sabit tutularak her üç faklı sinterleme süresi için İİH değişimi incelenmiştir. Şekil 5.24'de Baydaroğlu,V 'nun tezinde alınan sinterleme süresi ile sertlik değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir [56]. Baydaroğlu,V tarafından yapılan yorumda sinterleme süresinin artmasıyla sertlik değerlerinin azaldığı değerlendirilmiştir [56]. Bilindiği üzere EEİ ile işlemeye malzeme sertliğinin etkisi bulunmamaktadır. Şekil 5.22 ve 5.23 incelendiğinde de EEİ ile işlemeye malzemenin sinterleme süresinin etkisi bulunmamaktadır yorumunu benzer şekilde yapmak mümkündür. Elektro erozyon ile işleme esnasında,10^{17} W/mm^2'ye kadar ulaşılan ısı akışlarında, yüksek ısıl enerji tarafından oluşturulan plazma kanalının anot ve katot uçlarında yaklaşık sıcaklık 8.000 °C ile 20.000 °C arası değerlerindedir [38,40]. Bu sıcaklık değerinde kompozit yapı içerisinde bağların bağlanma etkisinin EEİ açısından çok fazla önemli olmadığı ve bundan bağımsız olarak EEİ yönteminin gerçekleştirilebildiği yorumu yapılabilir.



Şekil 5.22. %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi

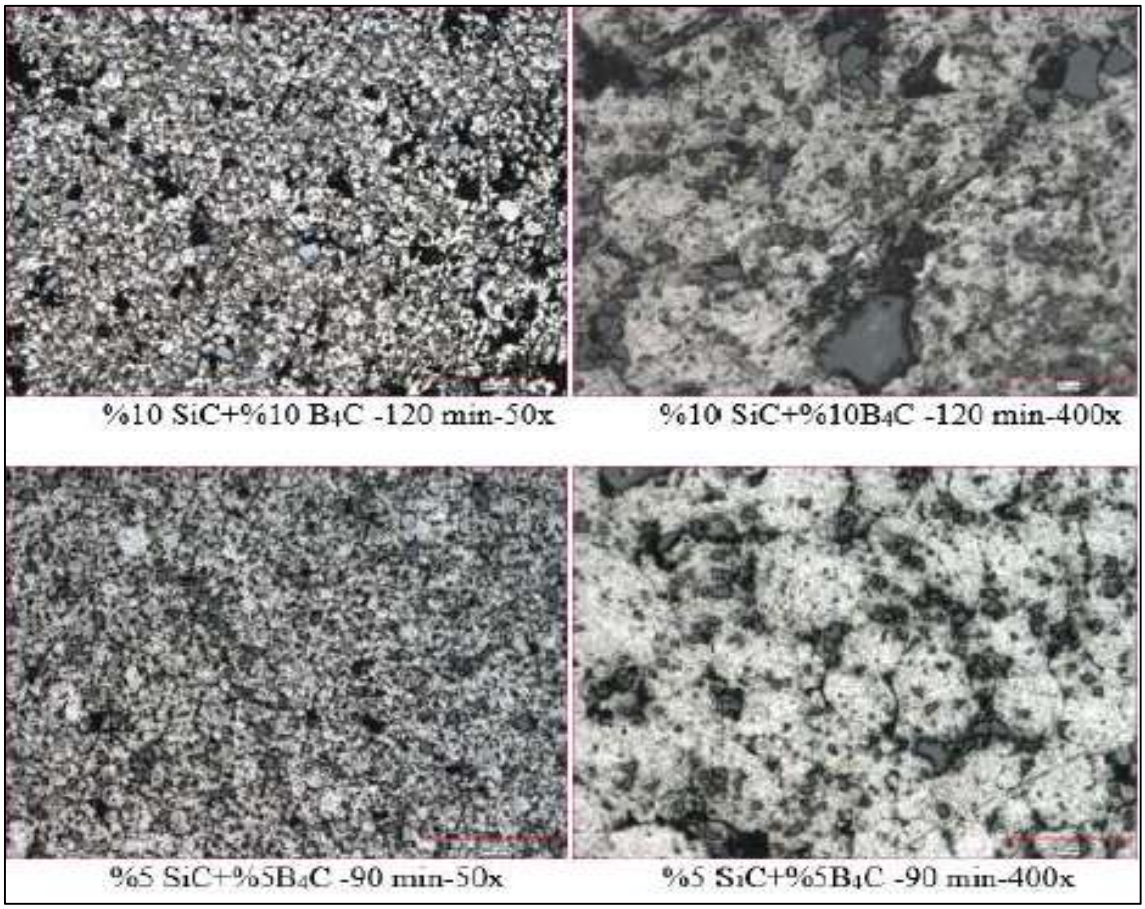


Şekil 5.23. %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitlerde boşalım akımının İİH'ye etkisi



Şekil 5.24.SiC+B_4C takviyeli kompozitlerin sertlik değerleri [56]

Ayrıca, Baydaroğlu,V, kompozit yapı içerisinde takviye partiküllerinin topaklanma eğilimi gösterdiğini yorumlamıştır. Resim 5.33'de Baydaroğlu,V.'nun tezinde alınan mikroyapı görüntüleri verilmiştir [56]. Bölüm 4.6'da açıklandığı üzere ön deneylerde işleme esnasında birçok problem ile karşılaşılmıştı. Tüm bu yorumlar göz önünde bulundurulduğunda takviye partiküllerinin matris malzeme içerisinde homojen dağılamaması ve topaklanması gibi karşılaşılan birçok problemin işleme sırasında karşılaşılan sorunların kaynağı olduğu görülmektedir.



Resim 5.33. SiC+B_4C takviyeli kompozitlerin 50× ve 400× büyütmede mikroyapı görüntüleri [56]

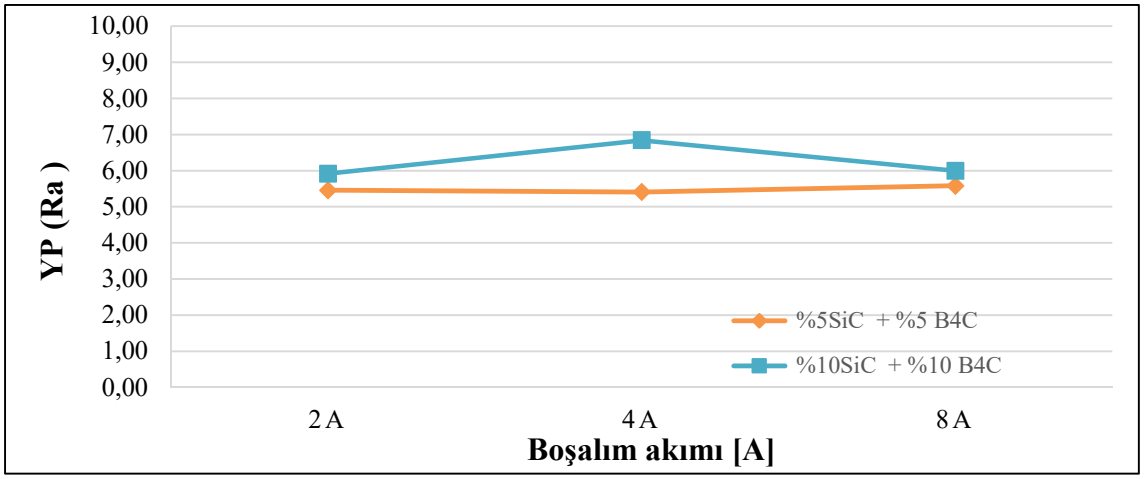
5.3.2. Kompozit Malzemelerde (SiC_p+B_4C_p/Al7075) yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi

Çizelge 5.3 ve Şekil 5.25'de görüldüğü üzere, 90 dakika sinterleme süresinde %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,4072 ile 5,5829 µm değerleri arasında, %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,9206 ile 6,8466 µm değerleri arasında değişmektedir. %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitlerin, %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitlere kıyasla yüzey pürüzlülüğü aralığının çok az farkla daha yüksek olduğu görülmektedir. Boşalım akımı artışına bağlı olarak ise özellikle %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

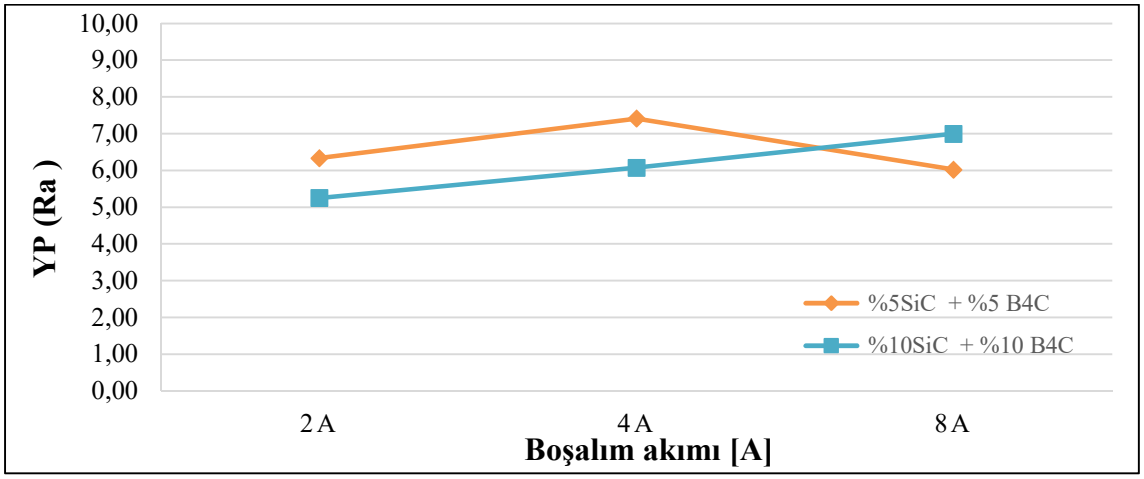
Çizelge 5.3 ve Şekil 5.26'da görüldüğü üzere, 120 dakika sinterleme süresinde %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 6,0259 ile 7,414 µm değerleri arasında, %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,2551 ile 7,0009 µm değerleri arasında değişmektedir. %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitlerin, %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitlere kıyasla yüzey pürüzlülüğünün 8A akım değerinde daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3 ve Şekil 5.27'de görüldüğü üzere, 150 dakika sinterleme süresinde %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,7779 ile 6,5806 µm değerleri arasında, %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,5205 ile 6,1925 µm değerleri arasında değişmektedir. %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitlerin, %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitlere kıyasla yüzey pürüzlülüğü aralığının daha yüksek olduğu görülmektedir.

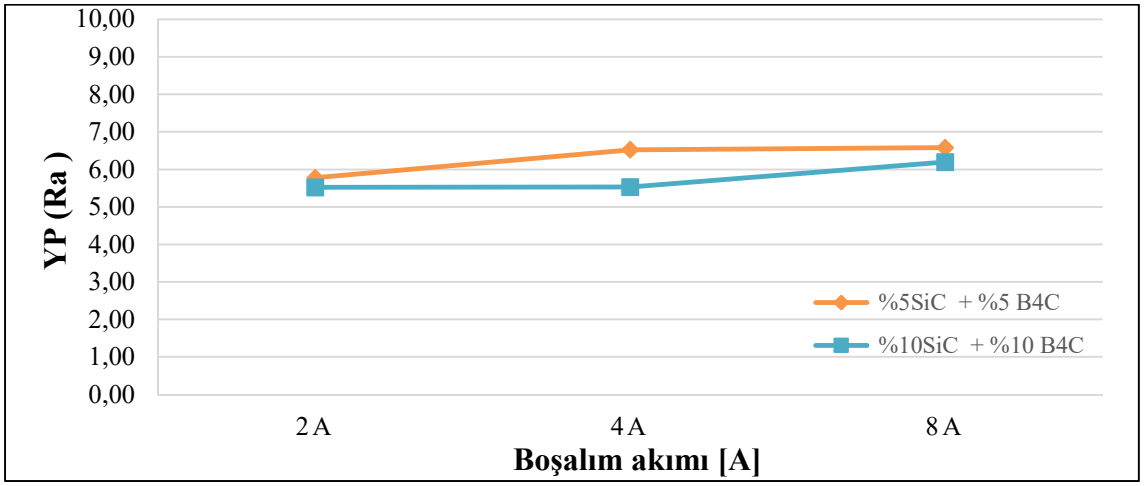
EEİ yönteminin esası gereği boşalım akımının artmasına bağlı olarak , ergime esnasında iş parçası ile elektrot arasında yüksek sıcaklık meydana gelir ve malzeme kaldırılır. Kopan malzemeler, iş parçası üzerine krater yapı oluşumuna sebep olur. Boşalım akımı arttıkça daha geniş ve derin kraterler oluşması beklenmektedir. Krater büyüklüğü yüzey pürüzlülüğünü etkilediği için , boşalım akımının artması ise krater büyüklüğünü artacağı için pürüzlülüğün artması beklenmektedir. Ancak bu çalışmada bazı istisnalar hariç boşalım akımının artmasına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değeri aralıklarının çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir (Şekil 5.25-5.27). İşlenmiş yüzeylerde işleme esnasında takviye partiküllerinin topaklandığı bölgelere rastlanması, grafit elektrotun yüzeye yapışması gibi nedenlerden kaynaklı bozukluklar olduğu Resim 5.27- 5.32'de gözlemlenmektedir. Bunlar yüzey pürüzlülüklerinin ortalamasını etkileyerek ölçüm sonuçlarının yorumlanmasını zorlaştırmaktadır.



Şekil 5.25. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 90 dakika)



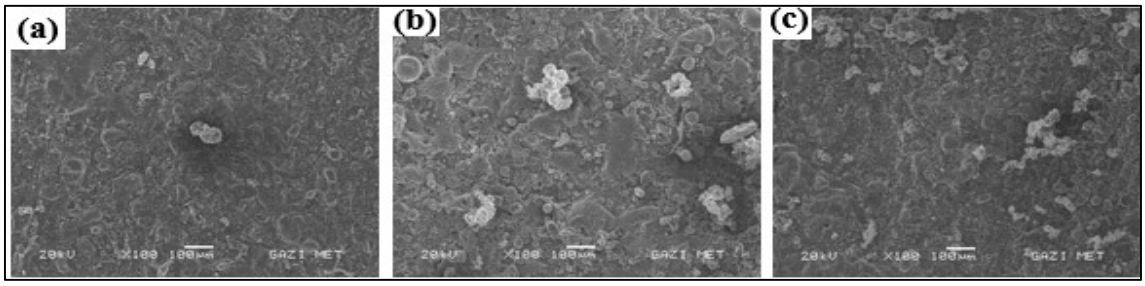
Şekil 5.26. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 120 dakika)



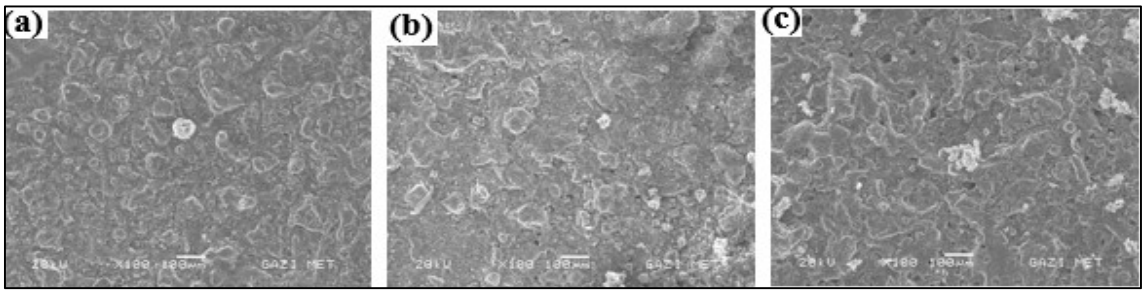
Şekil 5.27. SiC_p+B_4C_p takviyeli kompozitlerde boşalım akımının R_a değerine etkisi (sinterleme süresi: 150 dakika)

5.3.3. Kompozit Malzeme Yüzeylerinin (SiC_p+B_4C_p/Al7075) SEM İncelemesi

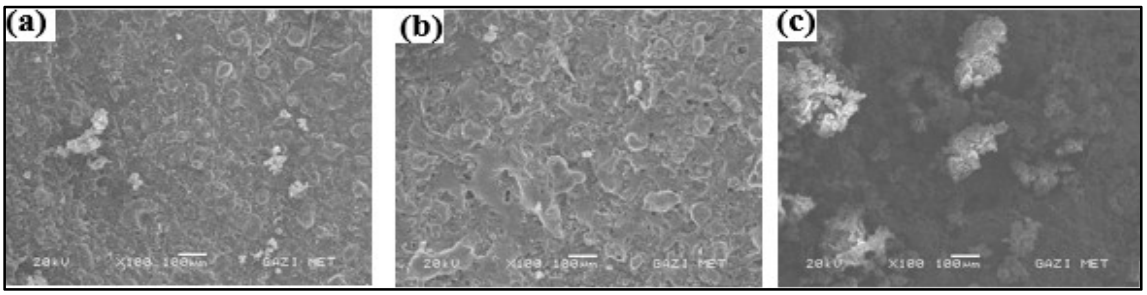
Resim 5.33-5.38 arasında %5 SiC+%5 B_4C ve %10 SiC+%10 B_4C takviyeli kompozit malzemelerin işlenmiş yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Akımın artmasıyla oluşan yüzey hasarları da artması beklenir. Akım şiddetinin artması, iş parçası yüzeyine daha yoğun bir enerji boşalımın olmasına yol açmakta ve bunun sonucu olarak yüzeyden daha fazla talaş kaldırılmaktadır. Yüzeyden kaldırılan talaş miktarının artması, aynı zamanda yüzey pürüzlülüğünü de kötüleştirmektedir. Akım değerinin artması ile yüzeyde oluşan kraterler daha geniş olmaktadır.



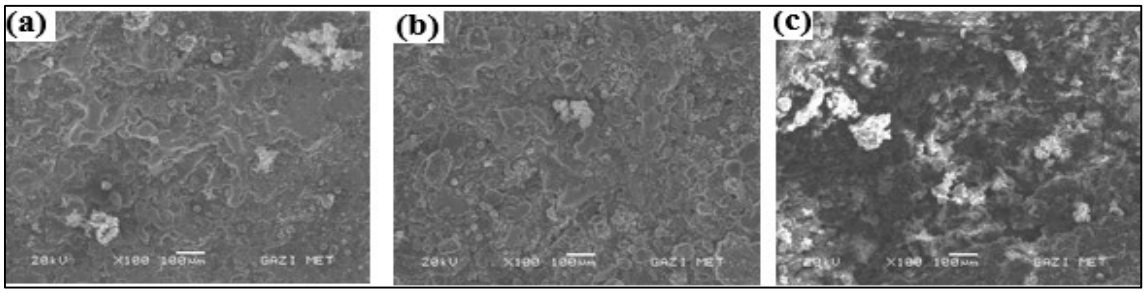
Resim 5.34. 90 dakikada sinterlenmiş , %5 B_4C + %5 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



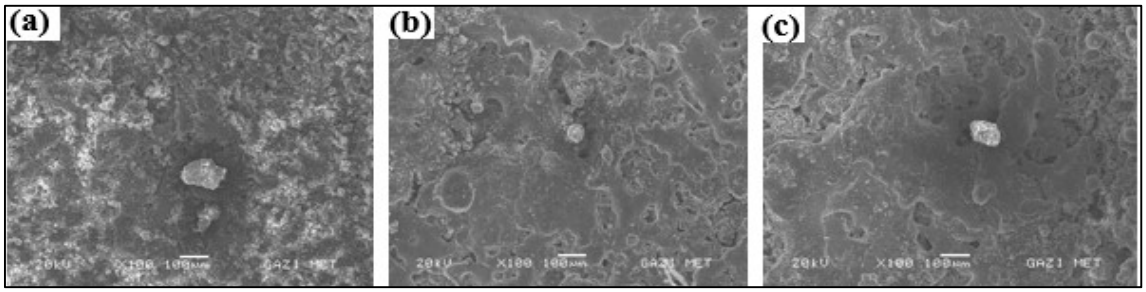
Resim 5.35. 120 dakikada sinterlenmiş , %5 B_4C + %5 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



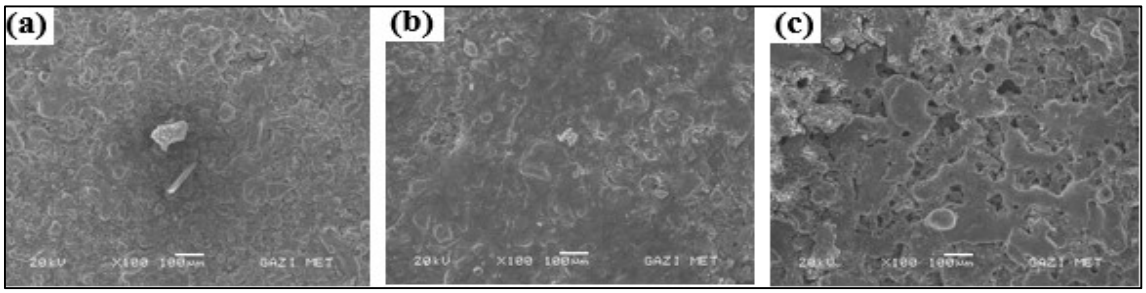
Resim 5.36. 150 dakikada sinterlenmiş , %5 B_4C + %5 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



Resim 5.37. 90 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C + %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



Resim 5.38. 120 dakikada sinterlenmiş, %10 B_4C + %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)



Resim 5.39. 150 dakikada sinterlenmiş , %10 B_4C + %10 SiC takviyeli kompozitlerde boşalım akımının yüzey yapısına etkisi (a) 2A , (b) 4A , (c) 8A (x100)

6. DENEY SONUÇLARININ İSTATİKSEL ANALİZİ VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Varyans analizi (ANOVA) yöntemi ile işleme parametrelerinin performans çıktıları üzerindeki etkileri istatiksel olarak değerlendirilebilmektedir. Deneysel değerler ile istenilen değerler arasındaki sapma kayıp fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Kayıp fonksiyonu, işaret/gürültü (ing. signal/noise "S/N") oranı ile değerlendirilir. Taguchi metoduna göre üç farklı formül ile S/N oranı değerlendirilerek, süreç optimizasyonu sağlanmaktadır. Bu formüller aşağıda verilmiştir [59].

- "Ortalama en iyi" yanıtı için;

$$S/N_{NB} = 10\log\left(\frac{\bar{y}}{{s_y}^2}\right) \quad (6.1)$$

- "Daha büyük daha iyi" yanıtı için;

$$S/N_{LB} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{{y_i}^2}\right) \quad (6.2)$$

- "Daha küçük daha iyi" yanıtı için;

$$S/N_{SB} = -10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}{y_i}^2\right) \quad (6.3)$$

kullanılmaktadır. Bu denklemlerde deney sayısı "n" , "y_i" elde edilen i. veriyi, "$\bar{y}$" ölçülen değerlerin ortalamasını ve "${s_y}^2$" y'nin varyansını göstermektedir. Optimum işleme parametreleri, S/N oranının en yüksek olduğu değerlerde elde edilir.

Bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkinin olduğu çeşitli değişkenlerin modellenmesi ve analizinde Regresyon analizi yöntemi kullanılır. Bu çalışmada, bağımlı değişkenler iş parçası işleme hızı (İİH), bağımsız değişkenler takviye oranı, boşalım akımı ve iş parçalarının üretilmesinde uygulanmış sinterleme süreleridir. İİH için regresyon analizi kullanılarak matematiksel modelleme yapılmıştır.

6.1. B_4C_p / Al7075 Kompozit Malzemeleri Deney Sonuçlarının İstatiksel Analizi

6.1.1. İİH için B_4C_p / Al7075 kompozit malzemelerinde sinyal/gürültü (S/N) oranının analizi

Deney neticesinde iş parçası işleme hızı (İİH) değerlerinin yüksek olması amaçlandığı için işaret / gürültü (S/N) oranları dB cinsinden " Daha büyük daha iyi" yaklaşımı ve referans eşitlik 6.2 formülü seçilerek Minitab yazılımı aracılığıyla hesaplanmıştır. İş parçası işleme hızına ait, her bir kontrol faktörünün (işleme parametreleri) her bir seviyesi için elde edilen S/N oranı sayısal değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Toz katkılı elektro erozyon ile işleme sonrası ortalama iş parçası işleme hızı 0,01081 olarak, ortalama S/N oranı ise -40,7887 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.1. B_4C_p / Al7075 için deney sonuçları ve S/N oranları

Deney No	Takviye Oranı (%)	Boşalım Akımı (A)	Sinterleme Süresi (dak)	Ortalama İİH (g/dak)	S/N oranı
1	10	2	90	0,00330	-49,6418
2	10	2	120	0,00794	-42,0075
3	10	2	150	0,00666	-43,5315
4	10	4	90	0,01739	-35,1945
5	10	4	120	0,01174	-38,6075
6	10	4	150	0,01201	-38,4116
7	10	8	90	0,01758	-35,0995
8	10	8	120	0,01429	-36,8998
9	10	8	150	0,02052	-33,7576
10	20	2	90	0,00216	-53,3
11	20	2	120	0,00343	-49,3066
12	20	2	150	0,00509	-45,8614
13	20	4	90	0,01258	-38,0081
14	20	4	120	0,00617	-44,1928
15	20	4	150	0,01036	-39,6921
16	20	8	90	0,01317	-37,609
17	20	8	120	0,01279	-37,8642
18	20	8	150	0,01735	-35,212

Çizelge 6.2'deki S/N yanıt tablosu ile iş parçası işleme hızı (İİH) üzerindeki her bir kontrol faktörünün etkilerinin analizi yapılmıştır. Her bir kontrol faktörlerinin farklı seviyelerde elde edilen en yüksek ve en düşük İİH değerleri arasındaki fark hesaplanarak etki derecelendirilmesi yapılmaktadır. Çizelge 6.2'den görüleceği üzere sırasıyla İİH üzerindeki en etkili faktörler boşalım akımı, takviye oranı ve sinterleme süresi olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.2. B_4C_p / Al7075 için İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosu

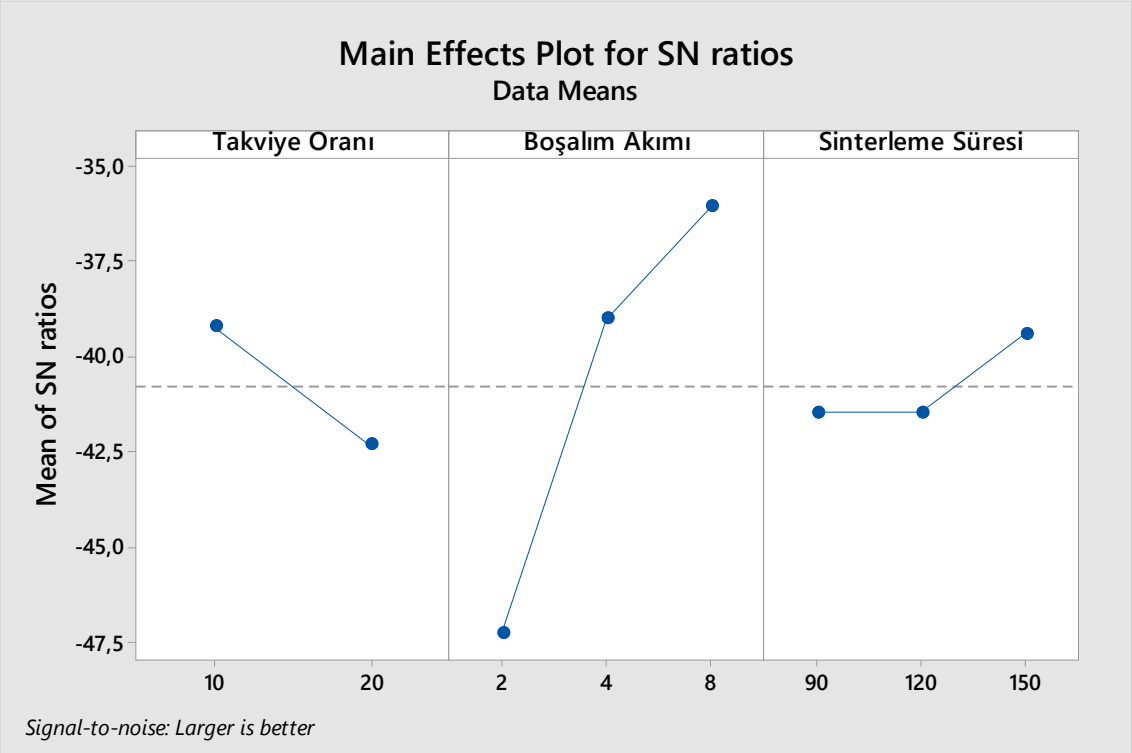
	Takviye Oranı	Boşalım Akımı	Sinterleme Süresi
1	-39,24*	-47,27	-41,48
2	-42,34	-39,02	-41,48
3	-	-36,07*	-39,41*
Delta	3,10	11,20	2,07
Sıralama	2	1	3
* Optimum seviyeler			

En yüksek iş parçası işleme hızı değerlerinin elde edilebilmesi için ise kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri; takviye oranı birinci seviyesinde (A1), boşalım akımının üçüncü seviyesinde (B3) ve sinterleme süresinin üçüncü seviyesinde (C3) olarak bulunmuştur (Çizelge 6.3).

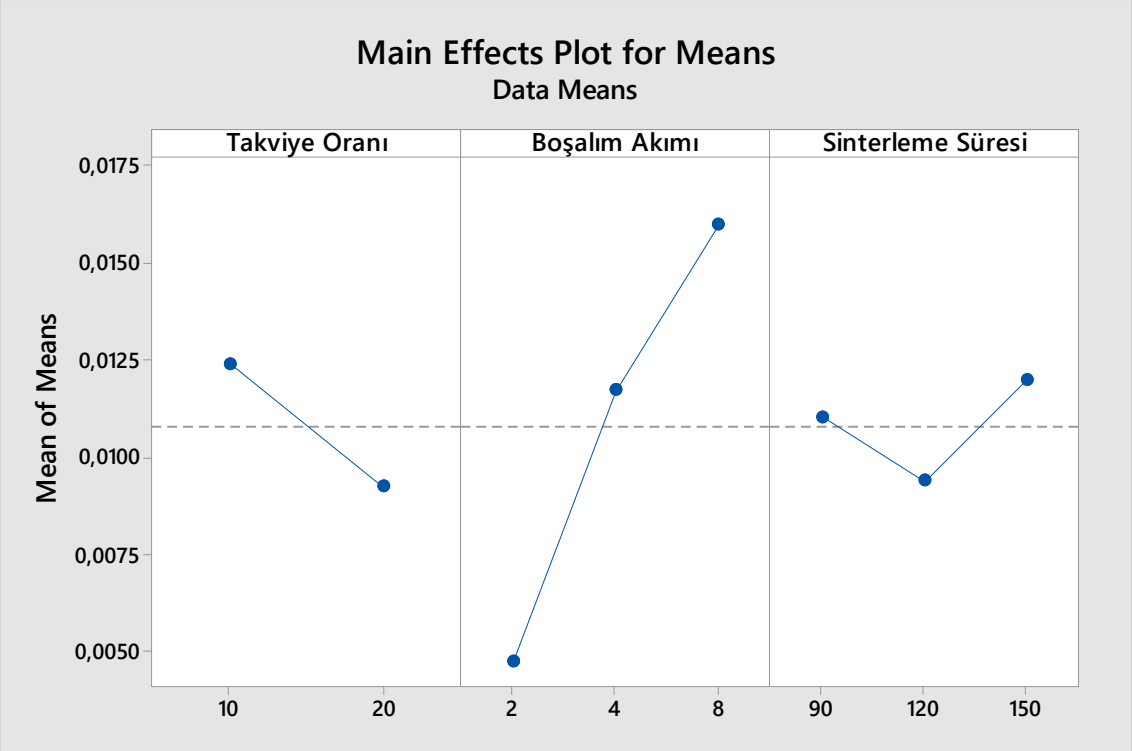
Çizelge 6.3. B_4C_p / Al7075, İİH için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol Faktörleri	Takviye oranı (A) %	Boşalım akımı (B) [A]	Sinterleme süresi (C) dakika
Optimum Seviye	A1	B3	C3
Optimum Değer	%10	8	150

Şekil 6.1'deki S/N oranı ortalamaları grafiklerinde S/N değerleri boşalım akımının artışı ile belirgin olarak artarken, takviye oranı artışı ile belirgin olarak azalmaktadır. Sinterleme süresinde ise 90 ve 120 dakika arasında belirgin bir durum görülmemekte, ancak 150 dakika da belirgin bir yükselme olduğu görülmektedir. Şekil 6.2'de ise ortalamaların ortalaması grafiği verilmiştir.



Şekil 6.1. B_4C_p / Al7075, İİH için S/N oranı ortalamaları grafiği



Şekil 6.2. B_4C_p / Al7075, İİH ortalamaların ortalaması grafiği

6.1.2. İİH için B_4C_p / Al7075 kompozit malzemelerinde varyans analizi (ANOVA)

B_4C_p /Al7075 tipi kompozit malzemelerin işlenmesinde İİH için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonucunda Çizelge 6.4'te elde edilmiştir. %95 güvenilirlik seviyesinde yapılan analize göre İİH üzerinde etkili en önemli parametre % 73,80 ile boşalım akımı olmuştur. Bu sonucun Çizelge 6.2. İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosunda elde edilen etki derecesi ile tutarlı olduğu yorumu yapılabilir. Takviye oranı için ise katkı oranı %8,67, sinterleme süresi için katkı oranı %4,05 elde edilmiştir.

Çizelge 6.4. B_4C_p / Al7075 , İİH için oluşturulan ANOVA sonuçları

Source (Faktörler)	DF (Serbestlik derecesi)	Adj SS (Kareler toplamı)	Adj MS (Kareler Ortalaması)	F-Value (F değeri)	P-Value (P değeri)	Contribution Rate (%) (Katkı oranı)
Takviye Oranı	1	0,000045	0,000045	7,5598	0,0176	8,67
Boşalım Akımı	2	0,000383	0,000191	32,4923	0,0000	73,80
Sinterleme Süresi	2	0,000021	0,000010	1,7686	0,2122	4,05
Hata	12	0,000071	0,000006	-	-	13,68
Toplam	17	0,000519	-	-	-	100

6.1.3. İİH için B_4C_p / Al7075 kompozit malzemelerinde regresyon analizi

İİH için B_4C_p/Al7075 kompozitlerde Minitab programı aracılığıyla yapılan regresyon analizi sonucunda elde lineer denklem sırasıyla eşitlik 6.4'te verilmiştir.

İİH = 0,00542 - 0,000315 [takviye oranı] + 0,001750 [boşalım akımı] + 0, 000016 [sinterleme süresi], R-sq = 75,21% , R-sq (adj) = 75,21% , R-sq (pred) = 59,65% (6.4)

6.1.4. İİH için B_4C_p/Al7075 kompozit malzemelerinde optimum yanıt karakteristiklerinin tahmini ve doğrulama analizi

Çizelge 6.5 ortalama yanıt tablosunda iş parçası işleme hızı ortalama değerlerinin elde edilebilmesi için ise kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri; takviye oranı birinci seviyesinde (A1), boşalım akımının üçüncü seviyesinde (B3) ve sinterleme süresinin üçüncü seviyesinde (C3) olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.5. B_4C_p/ Al7075 için ortalama yanıt tablosu

	Takviye Oranı	Boşalım Akımı	Sinterleme Süresi
1	0,012379	0,004762	0,011029
2	0,009233	0,011707	0,009391
3	-	0,015950	0,011998
Delta	0,003146	0,011188	0,002607

$\overline{(A1)}$ = 0,012379, $\overline{(B3)}$ = 0,015950, $\overline{(C3)}$ = 0,011998

İİH için tahmin edilen optimum değer formülünden [29] ise;

$İİH_{opt}= \overline{(A1)} + \overline{(B3)} + \overline{(C3)} - 2T\overline{(İİH)}$ =0,01871 sonucu elde edilmiştir.

Doğrulama testleri optimum kontrol faktörleri ve rastlantısal olarak seçilen kontrol faktörleri için yapılmıştır. Çizelge 6.6'da sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.6. B_4C_p / Al7075 doğrulama testleri değerlendirmesi

	İİH	Deneysel	Tahmini	Hata (%)
Taguchi yöntemi	A1B3C3 (optimum)	0,02052	0,01871	8.82
Lineer Regresyon	A1B3C3 (optimum)	0,02052	0,01845	10,08

6.2. SiC_p / Al7075 Kompozit Malzemeleri Deney Sonuçlarının İstatiksel Analizi

6.2.1. İİH için SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde sinyal/gürültü (S/N) oranının analizi

Deney neticesinde iş parçası işleme hızı (İİH) değerlerinin yüksek olması amaçlandığı için işaret / gürültü (S/N) oranları dB cinsinden " Daha büyük daha iyi" yaklaşımı ve referans eşitlik 6.2 formülü seçilerek Minitab yazılımı aracılığıyla hesaplanmıştır. İş parçası işleme hızına ait, her bir kontrol faktörünün (işleme parametreleri) her bir seviyesi için elde edilen S/N oranı sayısal değerleri Çizelge 6.7'de verilmiştir. Toz katkılı elektro erozyon ile işleme sonrası ortalama iş parçası işleme hızı 0,01521 olarak, ortalama S/N oranı ise -37,7715 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.7. SiC_p / Al7075 için deney sonuçları ve S/N oranları

Deney No	Takviye Oranı (%)	Boşalım Akımı (A)	Sinterleme Süresi (dak)	Ortalama İİH (gr/dak)	S/N oranı
1	10	2	90	0,01205	-38,3803
2	10	2	120	0,00418	-47,5765
3	10	2	150	0,00577	-44,7765
4	10	4	90	0,02017	-33,9059
5	10	4	120	0,02325	-32,6715
6	10	4	150	0,01161	-38,7034
7	10	8	90	0,02617	-31,6439
8	10	8	120	0,01590	-35,9721
9	10	8	150	0,02000	-33,9794
10	20	2	90	0,00877	-41,14
11	20	2	120	0,00473	-46,5028
12	20	2	150	0,00492	-46,1607
13	20	4	90	0,02442	-32,2451
14	20	4	120	0,02207	-33,124
15	20	4	150	0,00903	-40,8862
16	20	8	90	0,02578	-31,7743
17	20	8	120	0,01540	-36,2496
18	20	8	150	0,01951	-34,1949

Çizelge 6.8'deki S/N yanıt tablosu ile iş parçası işleme hızı (İİH) üzerindeki her bir kontrol faktörünün etkilerinin analizi yapılmıştır. Her bir kontrol faktörlerinin farklı seviyelerde elde edilen en yüksek ve en düşük İİH değerleri arasındaki fark hesaplanarak etki derecelendirilmesi yapılmaktadır. Çizelge 6.8'den görüleceği üzere sırasıyla İİH üzerindeki en etkili faktörler boşalım akımı, sinterleme süresi ve takviye oranı olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.8. SiC_p / Al7075 için İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosu

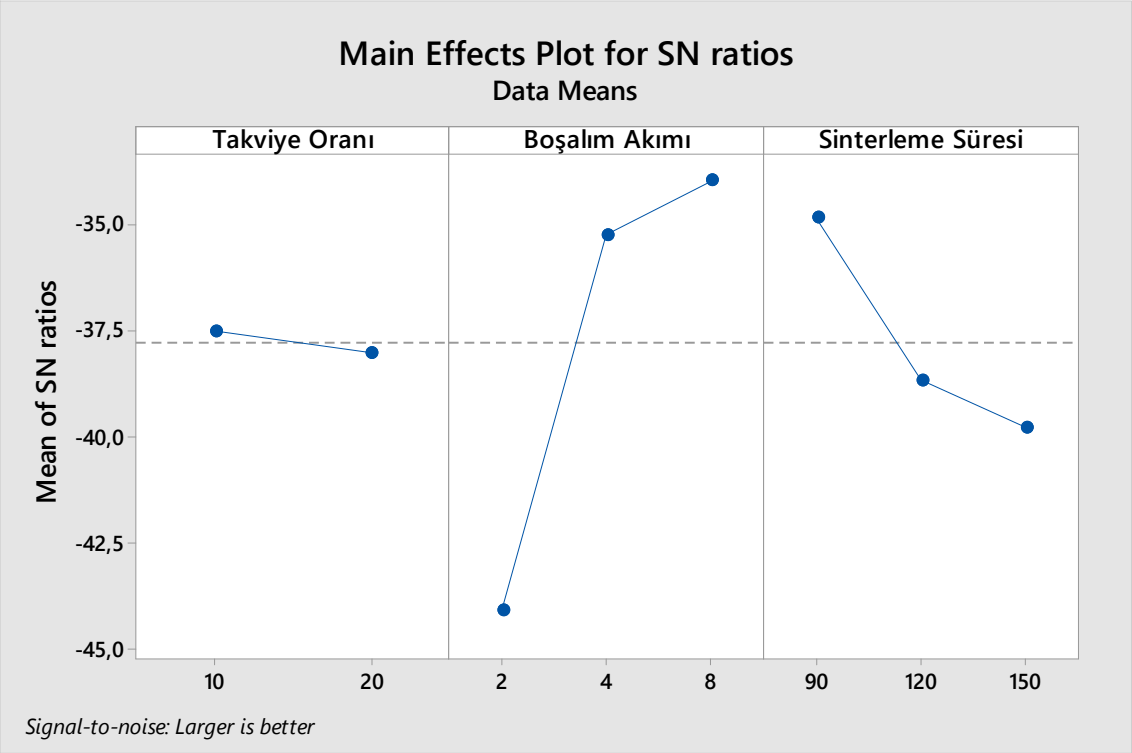
	Takviye Oranı	Boşalım Akımı	Sinterleme Süresi
1	-37,51*	-44,09	-34,85*
2	-38,03	-35,26	-38,68
3	-	-33,97*	-39,78
Delta	0,52	10,12	4,94
Sıralama	3	1	2
* Optimum seviyeler			

En yüksek iş parçası işleme hızı değerlerinin elde edilebilmesi için ise kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri; takviye oranı birinci seviyesinde (A1), boşalım akımının üçüncü seviyesinde (B3) ve sinterleme süresinin üçüncü seviyesinde (C1) olarak bulunmuştur (Çizelge 6.9).

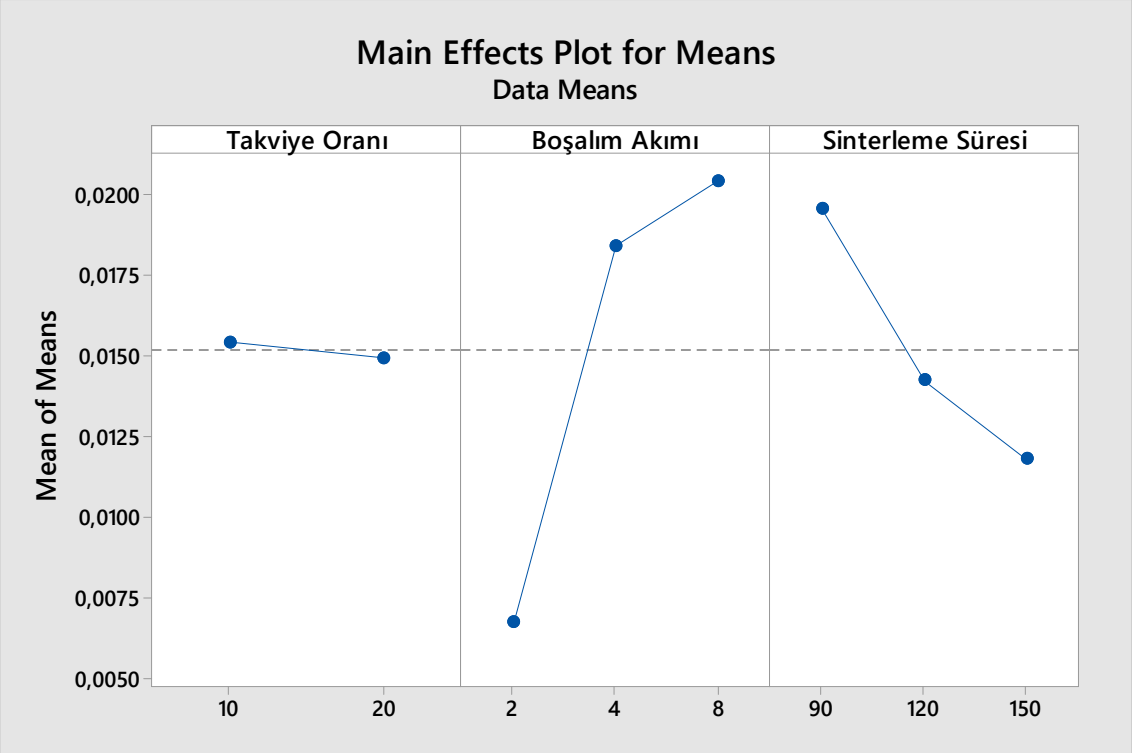
Çizelge 6.9. SiC_p / Al7075, İİH için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol Faktörleri	Takviye oranı (A) %	Boşalım akımı (B) [A]	Sinterleme süresi (C) dakika
Optimum Seviye	A1	B3	C1
Optimum Değer	%10	8	90

Şekil 6.3'deki S/N oranı ortalamaları grafiklerinde S/N değerleri boşalım akımının artışı ile belirgin olarak artarken, takviye oranı artışı ve sinterleme süresi ile belirgin olarak azalmaktadır. Şekil 6.4'te ise ortalamaların ortalaması grafiği verilmiştir.



Şekil 6.3. SiC_p / Al7075, İİH için S/N oranı ortalamaları grafiği



Şekil 6.4. SiC_p / Al7075, İİH ortalamaların ortalamaları grafiği

6.2.2. İİH için SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde varyans analizi (ANOVA)

SiCp/Al7075 tipi kompozit malzemelerin işlenmesinde İİH için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonucunda Çizelge 6.10 elde edilmiştir. %95 güvenilirlik seviyesinde yapılan analize göre İİH üzerinde etkili en önemli parametre % 64,26 ile boşalım akımı olmuştur. Bu sonucun Çizelge 6.8 İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosu'nda elde edilen etki derecesi ile tutarlı olduğu yorumu yapılabilir. Takviye oranı için ise katkı oranı %0,10, sinterleme süresi için katkı oranı %17,19 elde edilmiştir.

Çizelge 6.10. SiC_p / Al7075, İİH için oluşturulan ANOVA sonuçları

Source (Faktörler)	DF (Serbestlik derecesi)	Adj SS (Kareler toplamı)	Adj MS (Kareler Ortalaması)	F-Value (F değeri)	P-Value (P değeri)	Contribution Rate (%) (Katkı oranı)
Takviye Oranı	1	0,000001	0,000001	0,08	0,788	0,10
Boşalım Akımı	2	0,000658	0,000329	22,41	0,000	64,26
Sinterleme Süresi	2	0,000189	0,000094	6,42	0,013	18,46
Hata	12	0,000176	0,000015	-	-	17,19
Toplam	17	0,001024	-	-	-	100

6.2.3. İİH için SiCp / Al7075 kompozit malzemelerinde regresyon analizi

İİH için SiCp/Al7075 kompoziterde Minitab programı aracılığıyla yapılan regresyon analizi sonucunda elde lineer denklemi sırasıyla eşitlik 6.5'de verilmiştir:

İİH= 0,02197 - 0,000050 [takviye oranı] + 0,002033 [boşalım akımı] - 0,000129 [sinterleme süresi], R-sq= 62,93%, R-sq (adj)= 54,99%, R-sq(pred)= 45,78% (6.5)

6.2.4. İİH için SiCp / Al7075 kompozit malzemelerinde optimum yanıt karakteristiklerinin tahmini ve doğrulama analizi

Çizelge 6.11 ortalama yanıt tablosunda iş parçası işleme hızı ortalama değerlerinin elde edilebilmesi için ise kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri; takviye oranı birinci seviyesinde (A1), boşalım akımının üçüncü seviyesinde (B3) ve sinterleme süresinin üçüncü seviyesinde (C1) olarak bulunmuştur**.**

Çizelge 6.11. SiC_p / Al7075 için ortalama yanıt tablosu

	Takviye Oranı	Boşalım Akımı	Sinterleme Süresi
1	0,015456	0,006737	0,019560
2	0,014959	0,018425	0,014255
3	-	0,020460	0,011807
Delta	0,000497	0,013723	0,007753

$\overline{(A1)}$ = 0,015456, $\overline{(B3)}$ =0,020460, $\overline{(C1)}$ = 0,019560

İİH için tahmin edilen optimum değer formülünden [29] ise;

$İİH_{opt}= \overline{(A1)} + \overline{(B3)} + \overline{(C3)} - 2T\overline{(İİH)}$ =0,025056 sonucu elde edilmiştir.

Doğrulama testleri optimum kontrol faktörleri ve rastlantısal olarak seçilen kontrol faktörleri için yapılmıştır.

Çizelge 6.12. SiC_p / Al7075 için doğrulama testleri değerlendirmesi

	İİH	Deneysel	Tahmini	Hata (%)
Taguchi yöntemi	A1B3C1 (optimum)	0,02617	0,025056	4,25
Lineer Regresyon	A1B3C1 (optimum)	0,026124	0,025056	4,08

6.3. B_4C_p+SiCp / Al7075 Kompozit Malzemeleri Deney Sonuçlarının İstatiksel Analizi

6.3.1. İİH için B_4C_p+SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde sinyal/gürültü (S/N) oranının analizi

Deney neticesinde iş parçası işleme hızı (İİH) değerlerinin yüksek olması amaçlandığı için işaret / gürültü (S/N) oranları dB cinsinden " Daha büyük daha iyi" yaklaşımı ve referans eşitlik 6.2 formülü seçilerek Minitab yazılımı aracılığıyla hesaplanmıştır. İş parçası işleme hızına ait, her bir kontrol faktörünün (işleme parametreleri) her bir seviyesi için elde edilen S/N oranı sayısal değerleri Çizelge 6.13'de verilmiştir. Toz katkılı elektro erozyon ile işleme sonrası ortalama iş parçası işleme hızı 0,01363 olarak, ortalama S/N oranı ise -39,5785 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.13. B_4C_p+SiC_p / Al7075 için deney sonuçları ve S/N oranları

Deney No	Takviye Oranı (%)	Boşalım Akımı (A)	Sinterleme Süresi (dak)	Ortalama İİH (gr/dak)	S/N oranı
1	10	2	90	0,00587	-44,6272
2	10	2	120	0,00620	-44,1522
3	10	2	150	0,00511	-45,8316
4	10	4	90	0,01900	-34,4249
5	10	4	120	0,01546	-36,2158
6	10	4	150	0,01943	-34,2305
7	10	8	90	0,02809	-31,029
8	10	8	120	0,02924	-30,6805
9	10	8	150	0,02724	-31,2959
10	20	2	90	0,00274	-51,245
11	20	2	120	0,00371	-48,6125
12	20	2	150	0,00417	-47,5973
13	20	4	90	0,00523	-45,63
14	20	4	120	0,01160	-38,7108
15	20	4	150	0,01540	-36,2496
16	20	8	90	0,00633	-43,9719
17	20	8	120	0,02311	-32,724
18	20	8	150	0,01741	-35,184

Çizelge 6.14'deki S/N yanıt tablosu ile iş parçası işleme hızı (İİH) üzerindeki her bir kontrol faktörünün etkilerinin analizi yapılmıştır. Her bir kontrol faktörlerinin farklı seviyelerde elde edilen en yüksek ve en düşük İİH değerleri arasındaki fark hesaplanarak etki derecelendirilmesi yapılmaktadır. Çizelge 6.14' den görüleceği üzere sırasıyla İİH üzerindeki en etkili faktörler boşalım akımı, takviye oranı ve sinterleme süresi olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.14. B_4C_p+SiCp / Al7075 için İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosu

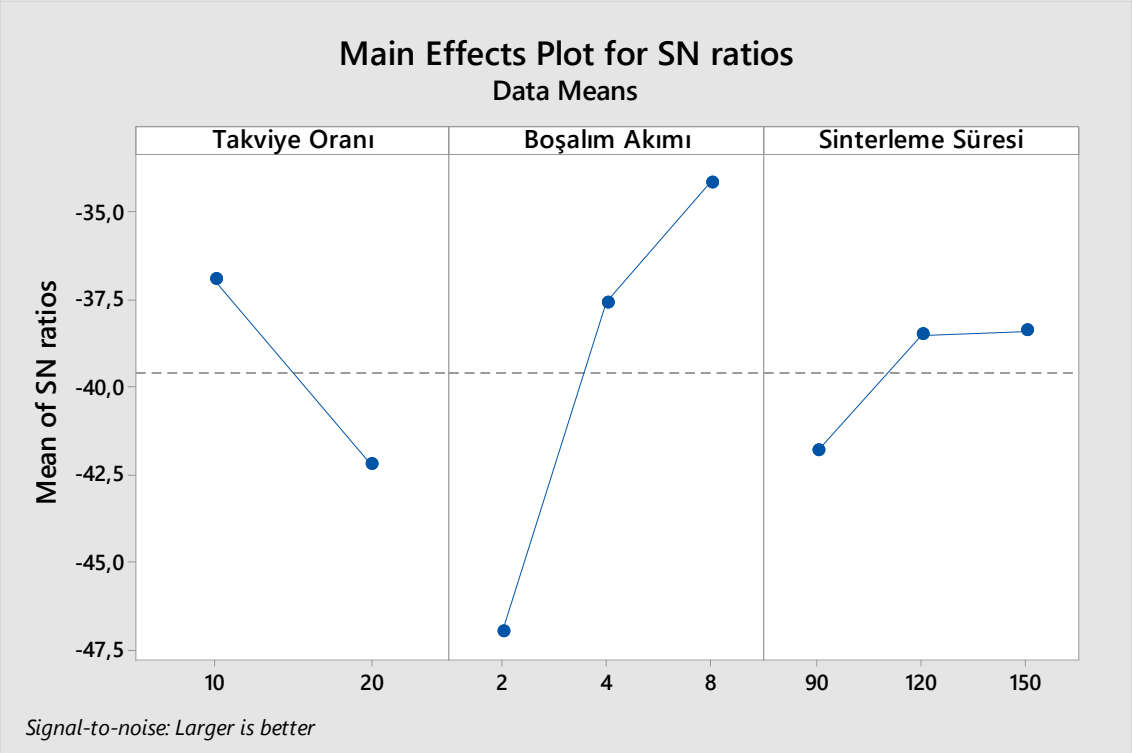
	Takviye Oranı	Boşalım Akımı	Sinterleme Süresi
1	-36,94*	-47,01	-41,82
2	-42,21	-37,58	-38,52
3	-	-34,15*	-38,40*
Delta	5,27	12,86	3,42
Sıralama	2	1	3
* Optimum seviyeler			

En yüksek iş parçası işleme hızı değerlerinin elde edilebilmesi için ise kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri; takviye oranı birinci seviyesinde (A1), boşalım akımının üçüncü seviyesinde (B3) ve sinterleme süresinin üçüncü seviyesinde (C3) olarak bulunmuştur (Çizelge 6.15).

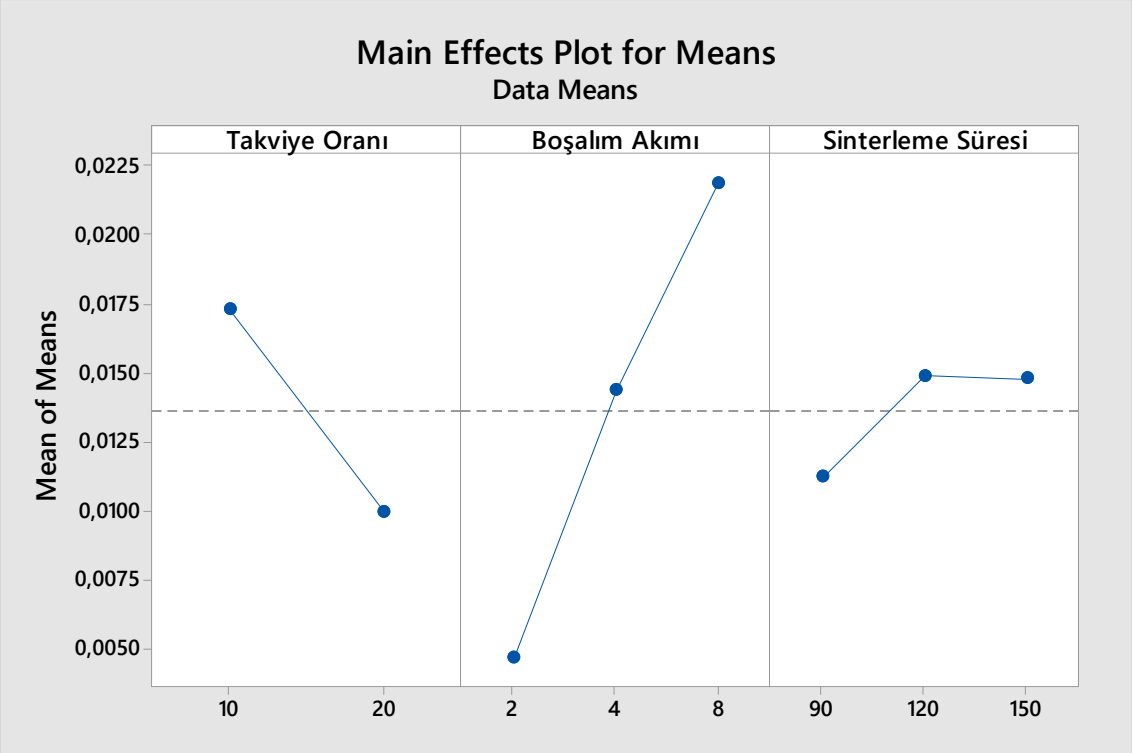
Çizelge 6.15. B_4C_p+SiC_p /Al 7075, İİH için kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri

Kontrol Faktörleri	Takviye oranı (A) %	Boşalım akımı (B) [A]	Sinterleme süresi (C) dakika
Optimum Seviye	A1	B3	C1
Optimum Değer	%10	8	150

Şekil 6.5' deki S/N oranı ortalamaları grafiklerinde S/N değerleri boşalım akımının artışı ile belirgin olarak artarken, sinterleme süresi ile artmakta, takviye oranı artışı ile belirgin olarak azalmaktadır. Şekil 6.6'da ise ortalamaların ortalaması grafiği verilmiştir.



Şekil 6.5. B_4C_p+SiCp, İİH için S/N oranı ortalamaları grafiği



Şekil 6.6. B_4C_p+SiC_p, İİH için S/N oranı ortalamaları grafiği

6.3.2. İİH için B_4C_p+SiC_p/ Al7075 kompozit malzemelerinde varyans analizi (ANOVA)

B_4C_p+SiC_p /Al7075 tipi kompozit malzemelerin işlenmesinde İİH için gerçekleştirilen varyans analizi (ANOVA) sonucunda Çizelge 6.16 elde edilmiştir. %95 güvenilirlik seviyesinde yapılan analize göre İİH üzerinde etkili en önemli parametre % 62,69 ile boşalım akımı olmuştur. Bu sonucun Çizelge 6.14. İİH'ye ait işaret/gürültü (S/N) oranları [dB] için yanıt tablosu'nda elde edilen etki derecesi ile tutarlı olduğu yorumu yapılabilir. Takviye oranı için ise katkı oranı %16,88, sinterleme süresi için katkı oranı %3,70 elde edilmiştir.

Çizelge 6.16. B_4C_p+SiC_p, İİH için oluşturulan ANOVA sonuçları

Source (Faktörler)	DF (Serbestlik derecesi)	Adj SS (Kareler Toplamı)	Adj MS (Kareler Ortalaması)	F-Value (F değeri)	P-Value (P değeri)	Contribution Rate (%) (Katkı oranı)
Takviye Oranı	1	0,000242	0,000242	12,09	0,005	16,88
Boşalım Akımı	2	0,000899	0,000450	22,50	0,000	62,69
Sinterleme Süresi	2	0,000053	0,000026	1,32	0,303	3,70
Hata	12	0,000240	0,000020	-	-	16,74
Toplam	17	0,001434	-	-	100	100

6.3.3. İİH için B_4C_p+SiC_p / Al7075 kompozit malzemelerinde regresyon analizi

İİH için B_4C_p+SiCp/Al7075 kompozitlerde Minitab programı aracılığıyla yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen lineer denklemi sırasıyla eşitlik 6.5'de verilmiştir;

A: takviye oranı B: boşalım akımı C:sinterleme süresi

İİH=0,00468- 0,000733 [takviye oranı] + 0,002737 [boşalım akımı] + 0,000060 [sinterleme süresi], R-sq = 78,05%, R-sq(adj)= 73,35%, R-sq(pred)= 60,58% (6.5)

6.3.4. İİH için B_4C_p+SiCp / Al7075 kompozit malzemelerinde optimum yanıt karakteristiklerinin tahmini ve doğrulama analizi

Çizelge 6.17 ortalama yanıt tablosunda iş parçası işleme hızı ortalama değerlerinin elde edilebilmesi için ise kontrol faktörlerinin optimum seviyeleri; takviye oranı birinci seviyesinde (A1), boşalım akımının üçüncü seviyesinde (B3) ve sinterleme süresinin üçüncü seviyesinde (C3) olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.17. B_4C_p + SiC_p / Al7075 için ortalama yanıt tablosu

	Takviye Oranı	Boşalım Akımı	Sinterleme Süresi
1	0,017293	0,004633	0,011210
2	0,009967	0,014353	0,014887
3	-	0,021903	0,014793
Delta	0,007327	0,017270	0,003677

$\overline{(A1)}$ = 0,017293, $\overline{(B3)}$ =0,021903, $\overline{(C3)}$ = 0,014793

İİH için tahmin edilen optimum değer formülünden [29] ise

$İİH_{opt}= \overline{(A1)} + \overline{(B3)} + \overline{(C3)} - 2T\overline{(İİH)}$ =0,026729 sonucu elde edilmiştir.

Doğrulama testleri optimum kontrol faktörleri ve rastlantısal olarak seçilen kontrol faktörleri için yapılmıştır.

Çizelge 6.18. B_4C_p + SiC_p / Al7075 doğrulama testleri değerlendirmesi

	İİH	Deneysel	Tahmini	Hata (%)
Taguchi yöntemi	A1B3C3(optimum)	0,02724	0,026729	1,87
Lineer Regresyon	A1B3C3(optimum)	0,026124	0,026729	4,08

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Deneysel çalışmada, metal matrisli kompozit malzemelerin TKEEİ yöntemi ile işlenmesinde deney parametrelerinin (takviye oranı, boşalım akımı ve sinterleme süresi) performans göstergeleri (İİH , R_a ve yüzey özellikleri) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Toz metalürjisi yöntemi ile 90 dakika, 120 dakika, 150 dakika sinterleme sürelerinde üretilmiş olan sırasıyla %10 B_4C, %20 B_4C, %10 SiC, %20 SiC, %5B_4C+%5SiC, %10B_4C+%10SiC takviyeli Al 7075 esaslı metal matrisli kompozit malzemelerin , nano boyutta grafit tozu katkılı dielektrik sıvı içerisinde grafit elektrot yardımıyla işlenmesine çalışılmıştır. Farklı oranlarda B_4C, SiC ve B_4C+SiC takviyelendirilmiş Al7075 esaslı metal matrisli kompozit deney numuneleri grafit elektrot ile farklı kontrol faktörlerinde (takviye oranı, boşalım akımı ve sinterleme süresi için) her bir deney ikişer kere tekrarlanarak toplamda 108 deney gerçekleştirilmiştir.

70-80 mμ büyüklüğünde grafit tozu ilavesi ile gerçekleştirilen ön deneylerde işleme esnasında kararsız boşalım ve ark oluşumları ile karşılaşılması sonucunda dielektrik sıvı içerisine nano boyutta grafit tozu ilavesi ile boşalım aralığında en küçük artışı oluşturarak kısa devre vurumlarının önüne geçileceği değerlendirilmiştir.

Kompozit yapı içerisinde yalıtkanlık ve iletkenliğin kontrolsüz değişmesi, toz metalürjisi ile üretim esnasında iş parçalarında topaklanma oluşumu sebepleriyle kararsız boşalım ve ark oluşumları işlemede başarısız olduğu düşünülmüştür.

Bilindiği üzere EEİ ile işlemeye malzeme sertliğinin etkisi bulunmamaktadır. Elektro erozyon ile işleme esnasında,10^{17} W/mm^2'ye kadar ulaşılan ısı akışlarında, yüksek ısıl enerji tarafından oluşturulan plazma kanalının anot ve katot uçlarında yaklaşık sıcaklık 8.000 °C ile 20.000 °C arası değerlerindedir [38,40]. Bu sıcaklık değerinde kompozit yapı içerisinde bağların bağlanma etkisinin EEİ açısından çok fazla önemli olmadığı ve bundan bağımsız olarak EEİ yönteminin gerçekleştirilebildiği yorumu yapılmış, buradan EEİ ile işlemeye malzemenin sinterleme süresinin etkisi bulunmamaktadır değerlendirmesi yapılmıştır.

Aynı deney koşullarının uygulandığı işlemelerde,

- En yüksek İİH % 10 B_4C takviyeli kompozit numunelerde 8A boşalım akımında ve 150 dakika sinterleme süresinde "0,02052 gr/dak" olarak elde edilmiştir. En düşük İİH ise, %20 B_4C takviyeli kompozit numunelerde 2A boşalım akımında ve 90 dakika sinterleme süresinde en düşük İİH "0,00216 gr/dak" olarak elde edilmiştir.
- En yüksek İİH %10 SiC takviyeli kompozit numunelerde 8A boşalım akımında ve 90 dakika sinterleme süresinde en yüksek İİH "0,02617 gr/dak" olarak elde edilmiştir. En düşük İİH ise, %10 SiC takviyeli kompozit numunelerde 2A boşalım akımında ve 120 dakika sinterleme süresinde en düşük İİH "0,00418 gr/dak" olarak elde edilmiştir.
- En yüksek İİH %5SiC+%5 B_4C takviyeli kompozit numunelerde 8A boşalım akımında ve 120 dakika sinterleme süresinde "0,02924 gr/dak" olarak elde edilmiştir. En düşük İİH ise, %10SiC+%10 B_4C takviyeli kompozit numunelerde 2A boşalım akımında ve 90 dakika sinterleme süresinde en yüksek İİH "0,00274 gr/dak" olarak elde edilmiştir.
- 90 dakika sinterleme süresinde %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,0598 ile 5,6761 µm değerleri arasında, %20 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,5539 ile 7,6543 µm değerleri arasında değişmektedir.
- 120 dakika sinterleme süresinde %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 6,1497 ile 6,5554 µm değerleri arasında, %20 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,2453 ile 7,0986 µm değerleri arasında değişmektedir.
- 150 dakika sinterleme süresinde %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,1000 ile 6,1535 µm değerleri arasında, %20 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,9745 ile 6,6603 µm değerleri arasında değişmektedir.
- 90 dakika sinterleme süresinde %10 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 6,1438 ile 7,7674 µm değerleri arasında, %20 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,6500 ile 7,1289 µm değerleri arasında değişmektedir.
- 120 dakika sinterleme süresinde %10 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 7,1524 ile 7,3081 µm değerleri arasında, %20 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 6,6747 ile 8,0775 µm değerleri arasında değişmektedir.
- 150 dakika sinterleme süresinde %10 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,6656 ile 7,0535 µm değerleri arasında, %20 SiC takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,3024 ile 7,2458 µm değerleri arasında değişmektedir.

- 90 dakika sinterleme süresinde %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,4072 ile 5,5829 μm değerleri arasında, %10 SiC+ %10 B4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,9206 ile 6,8466 μm değerleri arasında değişmektedir.
- 120 dakika sinterleme süresinde %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 6,0259 ile 7,414 μm değerleri arasında, %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,2551 ile 7,0009 μm değerleri arasında değişmektedir.
- 150 dakika sinterleme süresinde %5 SiC+ %5 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,7779 ile 6,5806 μm değerleri arasında, %10 SiC+ %10 B_4C takviyeli kompozitte yüzey pürüzlülüğü 5,5205 ile 6,1925 μm değerleri arasında değişmektedir.

7.2. Öneriler

Grafit elektrot yerine farklı bir takım malzemesi tercih edilerek ve daha büyük bir delik çapı için işleme yapılarak EAH ve bağıl aşınma incelenebilir.

Dielektrik sıvıya farklı tip toz malzemeler ve farklı derişimlerde toz malzemeler ilave edilerek performans çıktıları (İİH, EAH ve yüzey pürüzlülüğü) kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

1. Garg, R.K., Singh, K.K., Sachdeva, A., Sharma, V.S., Ojha, K. and Singh, S. (2010). Review of research work in sinking EDM and WEDM on metal matrix composite materials. *International Journal Advanced Manufacturing Technol,* 50,611–624.

2. Mardi, K.B., Dixit, A.R. and Mallick, A. (2017). Studies on non-traditional machining of metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 4, 8226-8239

3. Sezen, G. (2018). *Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Takviye Malzemesinin Yüzey Özelliklerinin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 6-14.

4. Karakoç, H. (2017). *TM Yöntemi ile B_4C Takviyeli AA6061 Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretimi, Mekanik Özelliklerinin ve Balistik Performansının İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 15-36.

5. Ahamed, A.R., Asokan, P., and Aravindan, S. (2009). EDM of hybrid Al-SiC_p-B_4C_p and Al-SiC_p-$Glass_p$ MMCs. *International Journal Advanced Manufacturing Technol,* 44, 520–528.

6. Zhao, W.S., Meng, Q.G. and Wang, Z.L. (2002). The application of research on powder mixed EDM in rough machining. *Journal of Materials Processing Technology*, 129, 30-33.

7. Kansal, H.K., Singh, S. and Kumar, P. (2007). Effect of silicon powder mixed EDM on machining rate of AISI D2 die steel. *Journal of Manufacturing Process*, 9(1), 13-22.

8. Ojha, K., Garg, R.K. and Singh K.K. (2011). Parametric optimization pf PMEDM process using chromium powder mixed dielectric and triangular shape electrodes. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 10(11),1087-1102.

9. Muniu, J.M., Ikua, B.W., Nyaanga, D.M. and Gicharu, S.N. (2012). I*nvestigation on applicability of diatomite powder-mixed dielectric fluid in electrical discharge machining processes*. Proceedings of the 2012 Mechanical Engineering Conference on Sustainable Research and Innovation, 4, 280-288.

10. Bai, X., Zhang, Q., Zhang, J., Kong, D. and Yang, T. (2013). Machining efficiency of powder mixed near dry electrical discharge machining based on different material combinations of tool electrode and workpiece electrode. *Journal of Manufacturing Processes*, 15, 474-482.

11. Khundrakpam, N.S., Kumar,S., Singh, A. and Brar, S.G. (2014). Study and analysis of zinc PMEDM process parameters on MRR. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(3), 541-546.

12. Singh, S., Kalra, C.S. (2014). Experimental study of PMEDM on EN 24 Steel with tungsten powder in dielectric. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 5(1), 153-160.

13. Wong, Y.S., Lim, L.C., Rahuman, I. and Tee, W.M. (1998). Near-mirror,finish phenomenon in EDM using powder-mixed dielectric. *Journal of Materials Processing Technology*, 79, 30-40.

14. Kumar, A., Maheshwari, S., Sharma, C. and Beri, N. (2012). Machining efficiency evaluation of cryogenically treated copper electrode in additive mixed EDM. *Materials and Manufacturing Process*, 27, 1051-1058.

15. Singh, A.K., Kumar, S., Singh, V.P. (2015). Effect of addition of conductive powder in dielectric on the surface properties of supperalloy Super Co 605 by EDM process. *International Journal Advanced Manufacturing Technol,* 77, 99–106.

16. Kolli, M., Kumar, A. (2015). Effect of dielectric fluid with surfactant and graphite powder on electrical discharge machining of titanium alloy using Taguchi method. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 1-12.

17. Singh, B., Kumar, J. and Kumar, S. (2015). Influences of process parameters on MRR improvement in simple and powder-mixed EDM of AA6061/10%SiC composite. *Materials and Manufacturing Processes*, 30, 303-312.

18. Singh, B., Kumar, J. and Kumar, S. (2014). Experimental investigation on surface characteristics in powder-mixed electrodischarge machining of AA6061/10%SiC composite. *Materials and Manufacturing Processes*, 29, 287-297.

19. Hu, F.Q., Cao, F.Y., Song, B.Y., Hou, P.J., Zhang, Y., Chen, K. and Wei, J.Q. (2013). Surface properties of SiC_p/Al composite by powder-mixed EDM. *Procedia CIRP,*6, 103-106.

20. Syed, K.H., Anuraag, G.P., Hemanth, G. and Subahan, S.A. (2015). Powder-mixed EDM machining of aluminium-silicon carbide composites. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(S2), 133-137.

21. Anuraag, G.P., Reddy, M.V.K. (2016). Studies on the material removal rate of Al-SiC composites machined by powder-mixed EDM technique. *International Journal of Engineering and Technology*, 8(2), 829-836.

22. Talla, G., Sahoo, D.K., Gangopadhyay, S. and Biswas, C.K. (2015). Modeling and multi-objective optimization of powder mixed electric discharge machining process of aluminum/alümina metal matrix composite. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18, 369-373.

23. Mardi, K.B., Dixit, A.R. and Mallick, A. (2017). Studies on non-traditional machining of metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 4, 8226-8239.

24. Müller, F., Monaghan, J. (1997). *Electro discharge machining of particle reinforced metal matrix composites*. Proceedings of the Thirty,Second International Matador Conference, 425-430.

25. Müller, F., Monaghan, J. (2000). Non-conventional machining of particle reinforced metal matrix composite. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40, 1351–1366.

26. Hung, N.P., Yang, L.J. and Leong K.W. (1994). Electrical discharge machining of cast metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 44, 229-236.

27. Kumar, P., Parkash, R. (2016). Experimental investigation and optimization of EDM process parameters for machining of aluminum boron carbide (Al-B_4C) composite. *Machining Science and Technology,* 20(2), 330-348.

28. Dubey, V., Singh, B. (2018). Study of material removal rate in powder mixed EDM of AA7075/B_4C composite. *Materials Today: Proceedings*, 5, 7466-7475.

29. Kumar, H., Davim, J.P. (2011). Role of powder in the machining of Al-10%SiC_p metal matrix composites by powder mixed dielectric discharge machining. *Journal of Composite Materials*, 45(2), 133-151.

30. Kumar, N.M., Kumaran, S.S. and Kumaraswamidhas, L.A. (2015). An investigation of mechanical properties and material removal rate, tool wear rate in EDM machining process of Al2618 alloy reinforced with Si_3N_4, AlN and ZrB_2. *Journal of Alloys and Compounds,* 650, 318-327.

31. Sidhu, S.S., Batish, A. and Kumar, S. (2014). Study of surface properties in particulate-reinforced metal matrix composites (MMCs) using powder-mixed electrical discharge machining (EDM). *Materials and Manufacturing Processes*, 29, 46-52.

32. Hourmand, M., Farahany, S., Sarhan, A.A.D., Noordin, M.Y. (2015). Investigating the electrical discharge machining (EDM), parameter effects on Al-Mg_2Si metal matrix composite (MMC) for high material removal rate (MRR) and less EWR-RSM approach. *International Journal Advanced Manufacturing Technol,* 77, 831-838.

33. Singh, B., Kumar, J. and Kumar, S. (2016). Investigation of tool wear rate in tungsten powder-mixed electric discharge machining of AA6061/10%SiC_p composite. *Materials and Manufacturing Processes,* 31, 456-466.

34. Kumar, S.S., Uthayakumar, M., Kumaran, S.T., and Parameswaran, P. (2014). Electrical discharge machining Al(6351)-SiC-B_4C hybrid composite. *Materials and Manufacturing Processes,* 29, 1395-1400.

35. Hu, F., Song, B.Y., Guo, Y.F., Yang, X.D., Bai, J.C. and Li, D. (2011). Study on powder mixed EDM of an aluminium matrix composite. *Advanced Materials Research,* 183(185), 1947-1951.

36. Çoğun, C., Özerkan, B. ve Karaçay, T. (2006). An experimental investigation on the effectof powder mixed dielectric on machining performance in electric discharge machining. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers-Part B, Journal of Engineering Manufacture*, 220, 1035-1050.

37. Erdem, O., Çoğun, C., Urtekin, L., Özerkan, H.B. ve Uslan, İ. (2016). Toz katkılı ve ısıtılmış dielektriğin elektro erozyon ile işlemede (EEİ) delik delme performansı üzerine etkisi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University,* 31(3), 531-544.

38. Abdel, H., El-Hofy, G. (2014). *Fundamentals of Machining Processes, Conventional and Nonconventional Processes* (Second edition). *CRC Press*, New York, 385-403.

39. Groover, M.P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing, Materials, Processes, and Systems* (4th edition). United States of America, John Wiley & Sons, Inc., 637-641.

40. Ho, K.H., Newman, S.T. (2003). State of art electrical discharge machining (EDM). *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43, 1287-1300.

41. Shabgard, M.R., Gholipoor, A. and Baseri, H. (2016). A review on recent developments in machining methods based on electrical discharge phenomena. *International Journal Advanced Manufacturing Techn,* 87, 2081-2097.

42. Nahak, B., Gupta, A. (2019). A review on optimization of machining performances and recent developments in electro discharge machining. *Manufacturing Review*, 6(2), 1-22.

43. Poyrazoğlu, O. (2008). *Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Elektro Erozyon ile İşleme Performanslarının Deneysel İncelenmesi,* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 17-30.

44. Küçüktürk, G. (2008). *Elektro Erozyon ile İletken Olmayan Seramiklerin İşlenmesi için Yöntem Geliştirilmesi,* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 26-40.

45. Yılmaz, V. (2013). *Elektro Erozyon ile İşleme Yöntemiyle Mikro Deliklerin Delinebilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

46. Petrofes, N.F., Gadalla,A.M. (1988). Processing aspects of shaping advenced materials by electrical discharge machining. *Advanced Materials & Manufacturing Processes*, 3, 127-153.

47. Singh, S., Bhardwaj, A. (2011). Review to EDM by using water and powder-mixed dielectric fluid. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering,* 10(2), 199-230.

48. Füller, J.E. (1989). *Metals Handbook: Electrical Discharge Machining*. United States of America: ASM International, 16, 557-564

49. Özerkan, H. B. (2003). *Elektro Erozyon İle İşlemede Toz Karışımlı Dielektrik Sıvının İşleme Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-58.

50. Sarıkavak, Y. (2009). *Elektro Erozyon ile İşlemede İşparçası Aşınmasının Teorik Modellenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 32-47.

51. Çoğun, C., Erden, A. (1986). *Elektro erozyon ile işleme (EDM) performansının bilgisayarlı denetiminin gerçekleştirilmesi.* 2. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, 105-112.

52. Kansal, H.K., Singh, S., Kumar, P. (2007). Technology and research developments in powder mixed electric discharge machining (PMEDM). *Journal of Materials Processing Technology*, 184, 32-41.

53. Singh, A., Singh, R. (2015). Effect of powder mixed electric discharge machining (PMEDM) on various materials with different powders: a review. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2, 164-169.

54. Zhao, W.S., Meng, Q.G. and Wang, Z.L. (2002). The application of research on powder mixed EDM in rough machining. *Journal of Materials Processing Technology*, 129, 30-33.

55. Kumar, A., Maheshwari, S., Sharma, C. and Beri, N. (2010). Research developments in additives mixed electrical discharge machining (AEDM): a state of art review. *Materials and Manufacturing Processes,* 25, 1166-1180.

56. Baydaroğlu, V. (2018). *Balistik Malzeme Üretimine Yönelik B_4C + SiC Takviyeli Al 7075 Kompozitlerde Optimum Katkı Oranının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 30-101.

57. İnternet: Everitt, P., Doggett,I. Ceramic Carbides: The Tough Guys of the Materials World.URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.goodfellowusa.com%2Fwhite-papers%2Fceramic-carbides-tough-guys-of-the-materials-world-wp-en-us.pdf&date=2019-05-26 , Son Erişim Tarihi: 26.05.2019.

58. Kumar, D., Kumar, K., Payal, H.S., Mer, K.K.S. (2017). A *state-of-the-art review on dielectric fluid in electric discharge machining: uses and its effects. International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(7), 1185-1190.

59. Çaydaş,U. (2008). *Ti6Al4V Alaşımının Elektro Erozyon ve Elektro Kimyasal İşleme Yöntemleriyle İşlenebilirliğinin Araştırılması,* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

60. Tzeng, Y.F., Lee, C.Y. (2001).Effects of powder characteristics on electrodischarge machining efficiency. *International Journal Advanced Manufacturing Technol,* 17:586–592.

61. Yih-fong, T., Fu-chen, C. (2005). Investigation into some surface characteristics of electrical discharge machined SKD-11 using powder-suspension dielectric oil. *Journal of Materials Processing Technology*, 170, 385-391.

62. Dursun,K. (2007).*Elektro Erozyon ile İşlemede Tel Demeti Elektrodun Performansının Deneysel ve Teorik İncelenmesi,* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 9-13

EKLER

EK-1. Nano grafit tozu teknik veri sayfası

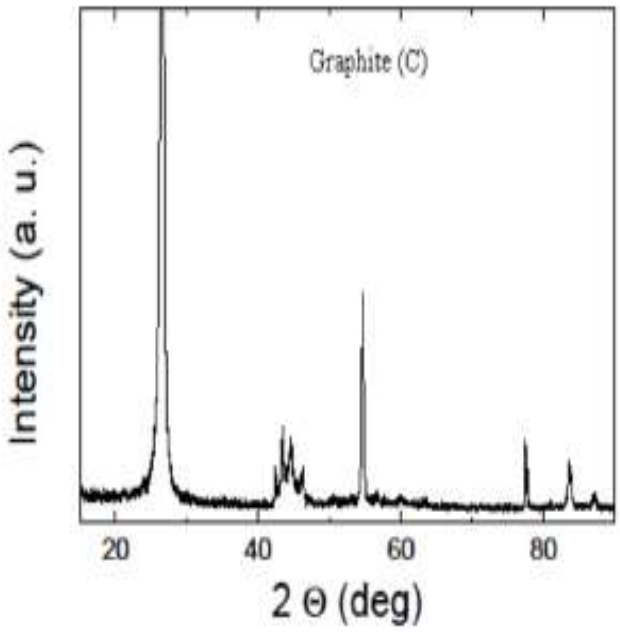
Ege NanoteK
Kimya Sanayi Limited Şirketi

Ege Nanotek Kimya Sanayi Limited Şirketi

Konak Mahallesi Mücibur Rahman Sokak No:3/712 Konak / İZMİR
Tel: +90 (232) 431 10 55 & Fax: +90 (232) 484 40 51
Kemeraltı V.D. 325 056 25 06
www.egenanotek.com.tr & www.egenanotek.com
info@egenanotek.com.tr & info@egenanotek.com

NANO GRAFİT TOZU - TDS

Toz Boyut Dağılımı	: <100nm
Ortalama Parçacık Boyutu	: <50nm
Saflık	: %99.9
Yüzey Alanı	: >10 m^2/g
Ash Yüzdesi	: <%0,5
pH	: 6-7



Şekil 1. XRD sonucu.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : KESKİN, Gözde
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 14.09.1991, Ankara
Medeni hali : Bekar
e-mail : gozdeskeskin@gmail.com.tr

Eğitim	Eğitim Birimi	Eğitim Dönemi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2010-2015
Lise	Ayrancı Anadolu Lisesi	2005-2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	TÜBİTAK SAGE	Araştırmacı
2017-2018	Ortadoğu Rulman Sanayi ve Tic. A.Ş.	Kalite Mühendisi
2015-2017	Gür-san İnşaat Makinaları Ltd. Şti.	Kalite Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Kongre

Küçüktürk,G., Keskin, G., Pul,M., Baydaroğlu,V., Gürün,H. (2019, 11-14 Nisan). *Effects of process parameters in the machining of AA7075 alloy reinforced with B_4C composite by powder-mixed electrical discharge machining*, II. International Congress on Engineering and Life Sciences, Kastamonu,Türkiye

Hobiler

Tiyatro, Pilates



GAZİ GELECEKTİR..