



TC.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DALMA EROZYON İLE İŞLENEN INCONEL  
MALZEMELERDE YÜZEY GEOMETRİSİ VE İŞLEME  
PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİ ÜZERİNE  
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YUSUF IŞIK**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
**Doç. Dr. M. Taylan DAŞ**

**KIRIKKALE 2023**





TC.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DALMA EROZYON İLE İŞLENEN INCONEL  
MALZEMELERDE YÜZEY GEOMETRİSİ VE İŞLEME  
PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİ ÜZERİNE  
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YUSUF İŞİK**  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMAN**  
Doç. Dr. M. Taylan DAŞ

**KIRIKKALE 2023**

YUSUF IŞIK tarafından hazırlanan “DALMA EROZYON İLE İŞLENEN INCONEL MALZEMELERDE YÜZEY GEOMETRİSİ ve İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. M. Taylan DAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan : Prof. Dr. Osman BİCAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Masoud LATIFINAVID

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, THK Üniversitesi İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 06/01/2023

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

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- 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 çalışmada 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.

# ÖZET

## DALMA EROZYON İLE İŞLENEN INCONEL MALZEMELERDE YÜZEY GEOMETRİSİ ve İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi Danışman: Doç. Dr. M. Taylan DAŞ

Ocak 2023, 63 sayfa

Bu çalışmada, Inconel 718 malzemenin dalma erozyon ile kare ve silindirik geometrili delik formu işlemleri yapılarak, işleme parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri ve daha iyi yüzey kalitesine ulaşmak amaçlanmıştır. Havacılık endüstrisinde kullanım alanları artmakta olan Inconel 718 malzemenin tok ve sert özellikleri talaşlı imalat ile üretim sürecinde takım sarfiyatının artmasına neden olmaktadır. Dalma erozyon ile işlenen Inconel 718 malzemelerin yüzey kalitesi incelenerek oluşan yüzey pürüzlülüğünün işleme parametreleri arasında ilişkisi incelenmiştir. Değişken dalma erozyon parametreleri olarak; Darbe süresi (Ton), bekleme süresi (Toff) ve servo (kontrol voltajı), sabit olarak elektrot cinsi alınmıştır. Dalma erozyonda 8 mm çapında bakır elektrot ve 5x5 mm kare bakır elektrot kullanılmıştır. Deneyler sonucunda numunelerin yüzeyleri (SEM) elektron mikroskopunda incelenmiştir. Sonuç olarak, farklı geometrik şekiller dalma erozyon işlemleri sonucunda oluşan yüzeylerdeki değişimler işlem parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Elektro Erozyon, Inconel 718, SEM

## ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE SURFACE GEOMETRY AND PROCESSING PARAMETERS ON THE SURFACE QUALITY OF INCONEL MATERIALS MANUFACTURED BY ELECTRO DISCHARGE MACHINING

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Machine, Graduate

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Taylan DAŞ

January 2023, 63 pages

In this thesis, it is aimed to obtain better surface quality and the effects of machining parameters on the surface quality by performing the Electro Discharge Machining (EDM) for square and cylindrical hole form processes of Inconel 718 material. Due to the tough and hard properties of the material, Inconel 718, whose usage areas are increasing in the aviation industry, causes an increase in tool consumption in the production process with machining. By examining the surface quality of Inconel 718 materials processed by sinking erosion, the relationship between the resulting surface roughness and processing parameters was investigated. As variable sinking erosion parameters; Pulse time ( $T_{on}$ ), dwell time ( $T_{off}$ ) and servo (control voltage) were taken. The type of electrode was taken as a constant parameter. 8 mm diameter copper electrode and 5x5 mm square electrode were used in sinking erosion. As a result of the experiments, the surfaces of the samples were examined by using the scanning electron microscope (SEM). As a result, the changes in the surfaces formed as a result of different geometric shapes and sinking erosion processes are evaluated and discussed depending on the process parameters.

**Keywords:** Electro Discharge Machining, Inconel 718, SEM

## TEŞEKKÜR

Yapmış olduğum çalışmanın konu tespitinden deney çalıőmalarına kadar her safhasında yanımda olan, danışman hocam Sayın Doç. Dr. M. Taylan DAŞ'a, saha çalıőmasında zorlukların üstesinden birlikte geldiğimiz ve her durumda birbirimize destek olduğumuz Oğuzhan Can'a, yaptığımız çalışmada bize destek olan ve bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Osman BİCAN'a ve hayatımın her döneminde yanımda olan aileme teőekkürü borç bilirim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

## Sayfa

ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Süper Alaşımlar .....	1
1.1.1 Süper Alaşımların Özellikleri .....	1
1.1.2. Süper Alaşımların Kullanım Yerleri .....	2
1.2. Inconel 718.....	2
1.2.1. Inconel 718 malzemenin element özellikleri .....	3
1.3. Elektro Erozyon .....	4
1.3.1. Elektro Erozyonla Talaş Almanın Avantajları .....	4
1.3.2. Elektro Erozyon İşlemenin Dezavantajları.....	5
1.3.3. Dalma Erozyon .....	5
1.4. Elektrotlar (Takımlar).....	6
1.4.1. Elektrotların Özellikleri.....	6
1.4.2. Elektrot Malzemeleri.....	6
1.4.2.1. Grafit Elektrot .....	7
1.4.2.2. Bakır Elektrot.....	7
1.5. Dielektrik Sıvı .....	8
1.5.1. Dielektrik Sıvının Görevleri .....	8
1.5.2. Dielektrik Sıvının En Önemli Özellikleri.....	9
1.6. SEM Görüntüleme .....	9
1.7. Yüzey Pürüzlülüğü .....	10
1.8. Yapay Zekâ.....	12
1.8.1. Bulanık Mantığın Gelişimi ve Tarihi .....	13

1.8.2. Bulanık Mantık Çalışma Prensipleri .....	13
1.8.3. Bulanık Mantık Uygulamaları .....	13
1.8.4. Bulanık Mantık Sistemlerinin Avantajları.....	13
1.8.5. Bulanık Mantık Sistemlerinin Dezavantajları .....	13
1.8.6. Bulanık Sistem.....	14
1.8.7. Durulaştırma Yöntemleri.....	15
1.8.7.1. Ağırlık Merkezi.....	15
1.8.7.2. Ağırlıklı Ortalama .....	15
1.8.7.3. Alan Merkezi .....	15
1.9. Literatür Araştırması .....	16
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	20
2.1. Numunelerin Hazırlanması.....	20
2.2. Deneyin Yapılışı .....	22
3. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	24
3.1. SEM Görüntüleme Sonuçları.....	24
3.1.1. Silindirik Form İşleme Inconel Malzemelerin SEM Görüntüleri .....	24
3.1.2. Kare Form İşlenmiş Inconel 718 Malzemelerin SEM Görüntüleri .....	35
4. YAPAY ZEKÂ.....	45
4.1. Bulanık Mantık Modeli .....	45
4.2. Bulanık Kümelerin Oluşturulması .....	46
4.3. Üyelik Fonksiyonu .....	47
4.3.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu .....	48
4.3.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu.....	48
4.4. Bulanık Çıkarım Yöntemleri .....	48
4.4.1. Mamdani Çıkarımı .....	49
4.4.2. Sugeno Çıkarımı .....	49
4.5. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması .....	49
4.6. Kuralların Oluşturulması .....	50
4.7. Durulaştırma .....	51
5. GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE KRATER ve ÇATLAK TAYİNİ .....	53
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	59
6.1. Sonuçlar .....	59
6.2. Öneriler.....	60
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	63

# ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Süper Alaşımlar [1] .....	2
1.2. Inconel 718 süper alaşımı mekanik özellikleri [3].....	3
1.3. Inconel 718 alaşımının kimyasal bileşimi [2].....	3
1.4. Bulanık sistem.[12] .....	14
1.5. Literatür taraması .....	16
3.1. Dalma Erozyon İşleme Parametreleri .....	24
3.2. Silindirik form işleme Inconel 718 malzemelerin SEM görüntüleri.....	25
3.3. Kare form işlenmiş Inconel 718 malzemelerin SEM görüntüleri.....	35
3.4. Dalma erozyonda işleme parametreleri ve yüzey pürüzlülüğü değeri .....	42
4.1. Tof, Ton ve Servo için üyelik dereceleri .....	46
4.2. Yüzey pürüzlülüğü üyelik dereceleri .....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dalma erozyon şeması .....	6
1.2. Grafit elektrot [7] .....	7
1.3. Bakır Elektrot[6].....	8
1.4. Cihaz: QUANTA 400F Field Emission SEM [8].....	9
1.5. Inconel 718 malzemenin yüzey pürüzlülüğü ölçümü .....	11
1.6. Yüzey pürüzlülüğü cihazı .....	12
2.1. Inconel 718 numunenin şematik gösterimi .....	20
2.2. Kare ve Silindir form işlenen numunenin şematik görünümü .....	21
2.3. Inconel 718 malzemenin dalma erozyon ile kare form açma işlemi .....	22
2.4. Inconel 718 malzemenin dalma erozyon ile delik delme işlemi .....	23
3.1. Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	25
3.2. Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	25
3.3. Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	25
3.4. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	26
3.5. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	26
3.6. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	26
3.7. Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	27
3.8. Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	27
3.9. Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	27
3.10. Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	28
3.11. Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	28
3.12. Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	28
3.13. Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	29
3.14. Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	29
3.15. Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	29
3.16. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	30
3.17. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	30
3.18. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	30

3.19.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	31
3.20.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	31
3.21.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	31
3.22.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	32
3.23.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	32
3.24.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	32
3.25.	Ton:99 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	33
3.26.	Ton:99 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	33
3.27.	Ton:99 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	33
3.28.	Ton:200 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü .....	34
3.29.	Ton:200 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü .....	34
3.30.	Ton:200 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü .....	34
3.31.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü.....	35
3.32.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü.....	35
3.33.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü....	35
3.34.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü.....	36
3.35.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü....	36
3.36.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü..	36
3.37.	Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü.....	37
3.38.	Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü.....	37
3.39.	Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü....	37
3.40.	Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü.....	38
3.41.	Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü..	38
3.42.	Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü.....	38
3.43.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü.....	39
3.44.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü.....	39
3.45.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü....	39
3.46.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü.....	40
3.47.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü....	40
3.48.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü..	40
3.49.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü.....	41
3.50.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü.....	41
3.51.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü....	41
3.52.	Servo 50 iken Ton, Tof, Ra değerlerinin değişim grafiği .....	42

3.53.	Servo 60 iken Ton, Tof, Ra değerlerinin değişim grafiği .....	42
3.54.	Servo 70 iken Ton , Tof , Ra değerlerinin değişim grafiği .....	43
3.55.	Ton 99 iken Servo, Tof , Ra değerlerinin değişim grafiği .....	43
3.56.	Ton 200 iken Servo, Tof , Ra değerlerinin değişim grafiği .....	43
3.57.	Tof 48 iken Servo, Ton , Ra değerlerinin değişim grafiği .....	44
3.58.	Tof 24 iken Servo, Ton , Ra değerlerinin değişim grafiği .....	44
4.1.	Matlab programında bulanık mantık model .....	45
4.2.	Üçgen üyelik fonksiyonu.[13] .....	48
4.3.	Yamuk üyelik fonksiyonu.[13].....	48
4.4.	Ton için belirlenmiş üçgen üyelik fonksiyonu .....	49
4.5.	Tof için belirlenmiş üçgen üyelik fonksiyonu.....	50
4.6.	Servo için belirlenmiş üçgen üyelik fonksiyonu .....	50
4.7.	Ra için belirlenmiş üçgen üyelik fonksiyonu .....	50
4.8.	Ra tahmini için girilen kurallar.....	51
4.9.	Ton : 150 Tof : 30 Servo : 55 olduğu durumda Ra : 5.93 çıkmaktadır.....	51
4.10.	Ton : 130 Tof : 50 Servo : 65 olduğu durumda Ra : 5.86 çıkmaktadır.....	52
4.11.	Ton : 99 Tof : 48 Servo : 70 olduğu durumda Ra : 5.01 çıkmaktadır.....	52
5.1.	Matlab programında görüntü işleme yapılan resmin örnek çıktıları. ....	53
5.2.	Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü.....	54
5.3.	Şekil 5.2 'nin Canny kenar uygulaması ile çatlak ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli. ....	54
5.4.	Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü.....	55
5.5.	Şekil 5.4 'ün Canny kenar uygulaması ile çatlak eriyik ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli .....	55
5.6.	Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü.....	56
5.7.	Şekil 5.6 'nin Canny kenar uygulaması ile eriyik ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli. ....	56
5.8.	Şekil 5.6 'nin Canny kenar uygulaması ile çatlakların belirginleştirilmiş görseli.....	56
5.9.	Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü.....	57

5.10. Şekil 5.9 ‘nin Canny kenar uygulaması ile eriyik ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli .....	57
5.11. Şekil 5.9 ‘nin Canny kenar uygulaması ile çatlakların belirginleştirilmiş görseli.....	57
5.12. Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü.....	58
5.13. Şekil 5.12 ‘nin Canny kenar uygulaması ile çatlak, eriyik ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli .....	58



## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Ton</b>	Ark açık kalma süresi
<b>Toff</b>	Ark kapalı kalma süresi
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope
<b>I</b>	Akım
<b>Ra</b>	Yüzey pürüzlülüğü
<b>MRR</b>	Talaş kaldırma oranı
<b>Servo</b>	Kontrol voltajı



# 1. GİRİŞ

Savunma ve havacılık alanında çalışmaların artmasıyla beraber ortaya çıkan yeni malzemeler ve bunları işlemede geleneksel imalat yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu yeni malzemelerden olan Inconel 718 malzeme talaşlı imalatta üretimi zor malzemelerdendir. Yapmış olduğum çalışmada, işlenmesi zor Inconel 718 malzeme kullanılmıştır. Farklı kesme parametrelerinde dalma erozyon tezgâhların da işleme yapılarak malzeme yüzeyinde meydana gelen değişim incelenmiş ve en iyi yüzey elde edilmesi amaçlanmıştır. Dalma erozyon yönteminde; ark kapalı kalma süresi (Toff) , ark açık kalma süresi (Ton) , Servo – kontrol voltajı, tabla hızı, elektrot malzeme özellikleri gibi işlem parametreleri yüzey kalitesini ve mikro yapısını değiştirmektedir. Böylece, işlem parametrelerinin seçimi yüzey kalitesinin değişiminde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Yanlış parametre seçiminde elektrot aşınmaları gibi işlem kararlılığını etkileyen olumsuz sonuçlarla karşılaşmaktadır. Dalma erozyon yüksek sertlikte, keskin köşeli, iş parçası kalınlığı fazla olan, çapı küçük olan delikler (0-1mm), iyi yüzey kalitesi hedeflenen parçalar için uygun bir imalat yöntemidir. Bunlara ilave olarak karmaşık şekilli parçalar erkek bakır veya pirinç formları işlenerek üretimi yapılabilmektedir.

## 1.1. Süper Alaşımlar

Ana yapısı Demir, Kobalt (Co) veya Nikelden (Ni) oluşur, yüksek miktarda Krom (Cr), düşük oranda da Tungsten (W), Alüminyum (Al), Molibden (Mo), ve Titanyum (Ti) içeren alaşımlar süper alaşımlardır [1].

### 1.1.1. Süper Alaşımların Özellikleri

Yüksek sıcaklık altında ileri derecede dayanıma sahiptirler. Isıl dirençleri yüksektir, fazla sıcaklığın olduğu durumlarda oksidasyon ve korozyon dayanımı fazladır. Üstün Kopma ve sürtünme dayanımına sahiptirler. Yüksek miktarlarda krom içerirler [1].

**Tablo 1.1. Süper Alaşımlar [1]**

SÜPER ALAŞIMLAR					
NİKEL ESASLI		DEMİR-NİKEL ESASLI		KOBALT ESASLI	
Dövme	Döküm	Dövme	Döküm	Dövme	Döküm
Inconel(600,601, 617,625,702,706, 718,721,X-750)	Inconel(713C, 738)	Incoloy(800,801, 802,907,909,925)		Haynes(25,188)	V-36
Hastelloy(W,B, C-276)	M 252	Haynes 556		Stellite B	X-40
Pyromet 860	Hastelloy X	A-286		S-816	MAR-M918
Nimonic(75,80A, 90,95,100,115)	Udimet 500	V-57			
Udimet(500,520, 630,700)	Rene(80,100)				
Waspaloy	MAR-M 246				

### 1.1.2. Süper Alaşımların Kullanım Yerleri

Gaz türbinlerinde kullanılmak için 1900'lü yıllarda geliştirilmiştir. Yeni denemde sanayide birçok alanda kullanılarak geniş bir alana yayılmıştır. Süper alaşımlar Nükleer reaktörlerinde, Uzay araçlarında, Roket motorlarında, Uçak ve Gaz türbinlerinde, Termik santrallerde, Denizcilik alanında, Petrokimya endüstrisinde ve buhar güç üniteleri gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [1].

## 1.2. Inconel 718

Inconel 718, alaşımında nikel bulunan malzemeler içinde en çok tercih edilen malzemelerdendir. Aşırı derecede korozyona karşı yüksek mukavemete sahiptir. Sadece yaşlandırma yöntemi ile sertlik verilebilen Inconel 718 malzeme değişen sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilmektedir. Inconel 718 malzemenin gerilim direnci, kırılma direnci, kopma direnci çok yüksektir. Inconel 718 kalite malzemenin bir önemli özelliği de kaynak yapılabilirliği çok iyidir. Bu yüzden kaynaklı montajlarda kullanımı yaygındır. Uzay sanayisinde ve havacılıkta yaygın olarak tercih edilmektedir. Kimyasallara maruz kalan parçalar, deniz araçlarında ve alt parçalarında, nükleer reaktörlerde, roket motorunun bazı parçalarında, özel amaçla üretilmiş olan depo tanklarında, bağlantı elemanlarında, türbinlerin pervanelerinde bulunan bıçaklarda ve vanalarda Inconel 718 sıkça tercih edilmekte ve kullanılmaktadır [2].

**Tablo 1.2.** Inconel 718 süper alaşımı mekanik özellikleri [3]

Mekanik Özellikler	Oda Sıcaklığı	650°C
Çekme Dayanımı	1240 MPa	965MPa
Akma Dayanımı	1034 MPa	861 MPa
% Uzama	12	12
Elastik Modülüs	210 GPa	163 GPa
Sertlik	35,5 HRC-350HV	-

### 1.2.1. Inconel 718 Malzemenin Element Özellikleri

**Tablo 1.3.** Inconel 718 alaşımının kimyasal bileşimi [2]

Kalite	Ni	Cr	Fe	Mo	Nb+Ta	C	Mn	Si	Al
Inconel 718	%50 ile 55 arası	%17 ile 21 arası	%12 ile 24 arası	%2.8 ile 3.3 arası	%4.75 ile 5.5 arası	%0.08 max	%0.36 max	%0.35 max	%0.2 ile 0.8 arası

Tablo 1.3’de Inconel 718’in kimyasal bileşimi görülmektedir. Inconel 718’in elementleri ve bu elementlerin Inconel 718’e katkı sağladığı kimyasal özellikler aşağıda yer almaktadır.

**Nikel - (Ni):** Nikel elementi genellikle bir alaşım olarak kullanılır, yüksek dayanımlı, korozyon direnci açısından yüksek olan ve ısıl direncine sahip nikel alaşımları için temel malzemeyi oluşturan elementtir. Krom (Cr) çeliği sertleştirmek amacı ile kullanılmaktadır. Aşınma direncini iyileştirerek sertlik değerini arttırmaktadır.

**Kobalt - (Co):** Dayanımı artırırken, oksitlenme durumuna karşı korumayı da yükseltmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz kaldığında sert karbürler meydana getirerek, işleme sırasında sertliği korumaktadır.

**Alüminyum - (Al):** Dayanımı artırır ve malzemeye hafiflik katmaktadır.

**Niobyum - (Nb):** Dayanımı yüksek çeliklerde ve bazı paslanmaz çeliklerin kaynakta kullanılan çubuklarında, demir dışı alaşımlarda da kullanılır.

**Tantal - (Ta):** Korozyona karşı dayanımı artırır.

Molibden- (Mo): Yüksek Isıya ve aşınmaya karşı direnç sağlayan nikel bazlı alaşımların yapımında kullanılır. Çeliklerin sertliklerini arttırmak amacıyla molibden kullanılır, sürünme ve korozyon direncini daha iyi hale getirir. Nükleer enerji çalışmalarında, elektrikli ısıtıcıların ince tellerinde, hava taşıtlarının ve füze parçalarında yer alır. Yüksek güce sahip çeliklerin çoğunda, %8–25 arası oranında molibden bulunur.

Tungsten - (W): Yüksek sıcaklığın olduğu ortamlarda tercih edilen bir elementtir.

Mangan - (Mn): Manyetik özelliği yok eder ve daha iyi sertleştirilmesini sağlar [4].

### **1.3. Elektro Erozyon**

Elektro erozyon parçayı istenilen şekil ve ölçüde üretmek için elektrik boşalması ile oluşan ark oluşumunun kullanıldığı yöntemdir. Elektriği ileten malzemeler bu yöntem ile işlenebilir. Bu yöntemde talaş kaldırma takım (elektrot) ile işlenecek parça arasında oluşan ark kıvılcımlarının etkisi ile gerçekleşir. İş parçası ve takımın temas etmediği sadece kıvılcımlar ve ergime yoluyla talaş kaldırıp parça erozyona tabi tutularak parça üzerinde çukurlar oluşturulur. Takım ile işlenen parça arasında minimum mesafe 0.0125 mm ile 0.05 mm arasında olmalıdır. Bu mesafe ile elektrik arkı oluşması mümkündür. 8000 C° - 12000 C° aralığında değişen sıcaklığın sebep olduğu bu yöntemde ark tıkanmasını engellemek için talaşlar dielektrik sıvı ile uzaklaştırılır. Dolaşım hızıyla bağlantılı olan dielektrik sıvının performansı, dolaşım pompası kullanımı veya benzeri yöntemlerle artırılabilir. Takım olarak bakır ve pirinç elektrotlar katot (-), iş parçası ise anot (+) olarak tanımlanır [5].

#### **1.3.1. Elektro Erozyonla Talaş Almanın Avantajları**

- Sertliği arttırılmış çelik malzemeler ve dayanımı fazla metaller elektro erozyon ile işlenebilmesi mümkündür.
- Kalıplarda erkek ve dişi parçaların birbiri ile uyumlu olması gibi durumlarda, şekillerin ve ölçülerin birbirini tamamlaması gibi durumlarda iyi sonuçlar elde edilir.
- İmal edilen parçanın iyi tutunma yüzeyi elde etmesini ve parçanın tüm yüzeyinde aynı yüzey kalitesi oluşmasını sağlar [6].

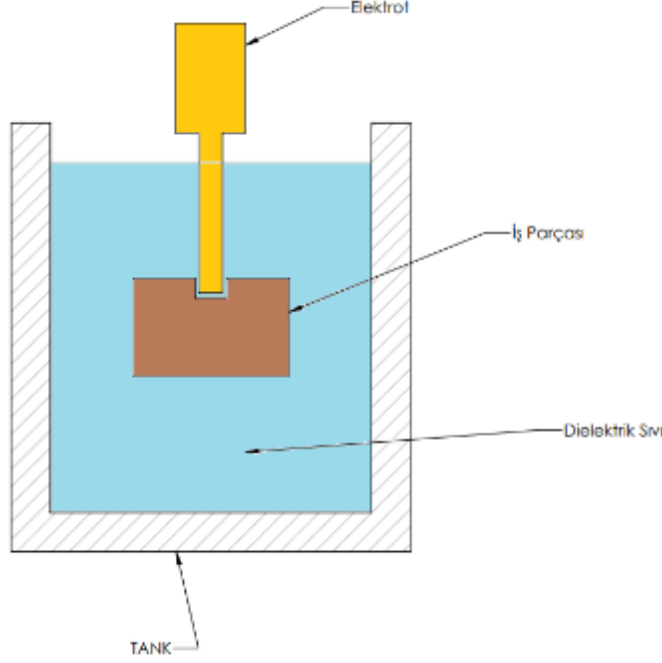
### **1.3.2. Elektro Erozyon İşlemenin Dezavantajları**

Elektro erozyon tezgâhının imalatçılar tarafından en büyük eksikliği, diğer tezgâhlara göre daha yavaş işleme yapmasıdır. Bu eksi durumu gidermek için işlenecek parçayı seri bir şekilde aparatlarla üretmek tercih edilebilir. Tezgâhın ilk ayarı yapıldıktan sonra operatör tezgâha başka işlem yapmaz ve boşa çıkar. Çalışan boş kaldığı süre esnasında başka işler veya başka tezgâhlara ayar yapabilir. Tezgâhta yanlış giden bir durum olduğunda alarma geçer ve operatörü uyarır. İş gücünü minimuma düşürerek bu sorun azaltılmış olur.

Bu tezgâhların diğer olumsuz durumu da elektrotların hazırlanmasıdır. Elektrot hazırlamak için diğer tezgâhlara ihtiyaç duyulur. Onlardan aldığı destekle daha iyi sonuçlar elde eder [6].

### **1.3.3. Dalma Erozyon**

Dielektirik sıvı içinde yer alan parçadan talaş kaldırmak için takım sıvısının içine daldırılır. Aşındıkça sayısal kontrolü takımı ileri iter. Tel erozyona göre farkı, aynı ark süresinde daha fazla malzeme aşındırılması amaçlanmıştır. Dalma erozyonda en önemli nokta iş parçası ile takımın temas etmeden sadece elektrik ark yöntemiyle parçanın işlenmesidir. Diğer imalat yöntemlerinde işleme esnasında eksenlerin görmediği yüzeye dalma erozyon ile daha rahat girilerek işleme gerçekleşir. Aynı şekilde tel erozyonda olduğu gibi küçük çaplı (0,2-1 mm) uzun deliklerin delinmesinde de dalma erozyon yöntemi tercih edilir. Şekil 1.1’de dalma erozyonun şematik gösterimi temsili olarak gösterilmiştir [2].



Şekil 1.1. Dalma erozyon şeması

#### 1.4. Elektrotlar (Takımlar)

Elektrotlar elektrik iletkenliğine sahip malzemelerden yapılırlar. Elektro erozyon işlemlerinde talaşlı imalattaki kesici takımlar görevini elektriği ileten elektrotlar yapmaktadır. Elektrotlar imal edilecek parçanın şekline göre özel olarak imal edilir.

##### 1.4.1. Elektrotların Özellikleri

- Elektriği ve ısıyı iyi iletirler.
- Maliyeti düşük ve imalatı kolay olmalıdır.
- Aşınma oranı az olmalıdır.
- Yüksek sıcaklıklarda erimemesi gerekir.

##### 1.4.2. Elektrot Malzemeleri

İmalatta kullanılacak elektrotlar işlenecek parçanın malzemesine, imal edilecek şeklin detaylarına, hassasiyetine ve bitmiş yüzeyinin kalitesine göre değişiklik gösterir. Elektrot olarak en yaygın olarak kullanılan malzemeler: grafit, bakır, pirinç, bakır tungsten alaşımlarıdır [7].

#### 1.4.2.1. Grafit Elektrot

Grafitler yaygın olarak elik işlemede kullanılır. Buyk parçacıklı grafit, küçük parçacıklı grafitte kıyasla daha ucuzdur. İri parçacıklı grafit Elektro erozyon yönteminin kaba işlemlerinin büyük bölümünü kapsarken daha hassas olması gereken işlerde küçük parçacıklı grafit tercih edilir. İri parçacıklı grafit daha gözenekli olduğu için daha fazla przl yüzey oluşur. Hassas İstenecek parçalarda ince tanecikli grafit kullanılır. Şekil 1.2’de grafit malzemeden üretilmiş elektrotların görselleri yer almaktadır [7].



Şekil 1.2. Grafit elektrot [7]

#### 1.4.2.2. Bakır Elektrot

Bakır malzemeden üretilir. Hassas yüzey elde etmek istediğimiz durumlarda kullanılır. Bu elektrotlar Şekli karmaşık olan parçaları daha kolay bir Şekilde imal edebilmektedir. Şekil 1.3’de bakır malzemeden üretilmiş elektrotun görseli yer almaktadır [7].



**Şekil 1.3.** Bakır Elektrot [6]

## **1.5. Dielektrik Sıvı**

Dalma erozyon ile işlemede dielektrik sıvısı çok önemli bir yere sahiptir. Parçalar imal edilirken maliyet, kalite ve imal edilebilirlik gibi konularda avantaj sağlar. İşleme yapılırken çıkan talaş ve tozların atılmasını ve elektriğin iletilmesi gibi konularda büyük avantaj sağlar.

### **1.5.1. Dielektrik Sıvının Görevleri**

- Elektrik boşalmasını belli bir alanda sınırlar.
- Elektrik boşalımı sırasında ortaya çıkan ısıyı atar.
- İşleme yapılırken çıkan atıkları uzaklaştırır.
- İstenilen voltaja ulaşmaya kadar yalıtkan özellik sağlar.
- Kıvılcımların iletimini kolaylaştırır.
- Elektrot ve işlenen parçanın ısınmasını önler.
- İşlenen parçanın oksitlenmesini önler.
- Kıvılcımların küçük bir alanda kalmasını sağlar.



### 1.5.2. Dielektrik Sıvının En Önemli Özellikleri

Dielektrik sıvılarının başlıca özellikleri dielektrik direnci, viskozitesi, ısıl iletkenliği, ısı kapasitesidir. Dielektrik direncinin arttığı durumlarda elektrik boşalımının azaldığı ve bu nedenle işleme boşluklarından yüksek akımlar geçebilmektedir. Viskozite değeri azaldıkça sıvıda daha iyi akabilir ve bu sayede daha iyi yüzey kalitesi elde edilir. Isı iletkenliği artığında fazla enerji uzaklaştırmak kolaylaşır, böylece parçamız ısıl hasarı daha az olur. Elektro erozyon ile işlemede deiyonize sıvı kullanıldığında daha az madde ortaya çıkar. Bu durumda çalışanların daha az maddeye maruz kalmasını sağlayarak çalışanları korur.

### 1.6. SEM Görüntüleme



Şekil 1.4. Cihaz: QUANTA 400F Field Emission SEM [8]

Taramalı elektron mikroskobu olarak bilinen SEM (Scanning Electron Microscope), Tarama yöntemi ile görüntü elde edilen bu yöntemde odaklı elektron demeti kullanılır. Elektron atom etkileşimi sonucunda parça yüzeyinde kompozisyon ve topografi hakkında farklı sinyaller üretilerek bilgilere ulaşılır. 1 Nanometreden daha yüksek çözünürlüğe ulaşmanın en iyi yolu SEM görüntülemesidir. SEM cihazları yüksek vakumda, iletken ve kuru yüzeyleri incelemek için kullanılır. Fakat nemli koşullarda, düşük vakumda, düşükten yüksek sıcaklıklara değişen durumlarda çalışabilen özel cihazlar da bulunmaktadır. Şekil 1.4'de elektron mikroskobunun örnek resmi yer almaktadır [8].

### **1.7. Yüzey Pürüzlülüğü**

İmalat aşamasında işlenen malzemenin yüzeyinde şekil ve dalgalanmalara pürüzlülük denir. Pürüzlülük profilmetre denilen bir cihaz ile ölçülür. Birimi  $\mu\text{m}$  olarak bulunur. Yüzey pürüzlülüğü teknik resimlerde farklı Semboller ile gösterir. Güncel gösterimi Ra (ortalama yüzey pürüzlülüğü) olarak kabul edilmiştir [9].

Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da Inconel 718 malzemenin yüzey pürüzlülüğü ölçümü esnasında görseli yer almaktadır.



**Şekil 1.5.** Inconel 718 malzemenin yüzey pürüzlülüğü ölçümü



Şekil 1.6. Yüzey pürüzlülüğü cihazı

## 1.8. Yapay Zekâ

İnsanlar çeşitli yollarla insan aklını ve zekâsı üstünde araştırmalar yapmışlardır. İnsan beynini taklit ederek benzerini oluşturmak için çalışmalar yapmışlardır. Geçmişten günümüze kadar büyük bir yol alınmıştır.

İnsan beyni, genetik yoldan gelen birçok duyguyu doğal güdülerinin yanı sıra çevresel etkenlerin etkisi ile geliştirmektedir. İnsan zekâsı sabit değildir. Bunu tam aksine sürekli gelişir ve kapasitesi artar. İnsanların doğumundan itibaren farklı zekâ yapıları mevcuttur. Zekâ sabit kalmaz zamanla öğrenimlerin artması ile gelişim göstermektedir. İlk kez karşılaşılan bir duruma karşı gösterilen tepki ve analiz etme durumu zekâmız yardımı ile gerçekleşir. Zekâ yazılım veya tümeleşik yongalarla taklit edilebilmektedir [10].

### **1.8.1. Bulanık Mantığın Gelişimi ve Tarihi**

Bulanık mantık 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Dr. Lotfi Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Dr. Zadeh, bilgisayarların doğal dili anlaması üzerinde çalışmıştır. Doğal dilin 0 ve 1 ile kolay bir şekilde tanımlanamayacağını savunmuştur. Bulanık mantık da 0 ve 1 durumları (ve, veya) olarak algılanır. Bunun yanı sıra birçok gerçek durumu da içinde barındırır [11].

### **1.8.2. Bulanık Mantık Çalışma Prensipleri**

Bulanık mantığın çalışma şekli insan beyninin çalışma şekline yakınlık gösterir. Elde edilen veriler biriktirilir. Gerçek değerler ile bir araya getirilir ve gerekli karşılaştırmalarla sonuç elde edilir. Diğer yapay zekâ sistemlerinde de buna benzer uygulamalar yer almaktadır [11].

### **1.8.3. Bulanık Mantık Uygulamaları**

Bulanık mantık, gerçek değeri bulabilmek için giren ihtimallerin dereceleri üzerinde çalışmaktadır. Bulanık mantık ticari işlerde ve basit çözümlere ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanılır. Doğru akıl yürütmeyebilir, fakat kabul edilebilir mantık yürütebilir. Bulanık mantık, ayrıca mühendislikteki belirsizlikle uğraşılırken yardımcı olur [11].

### **1.8.4. Bulanık Mantık Sistemlerinin Avantajları**

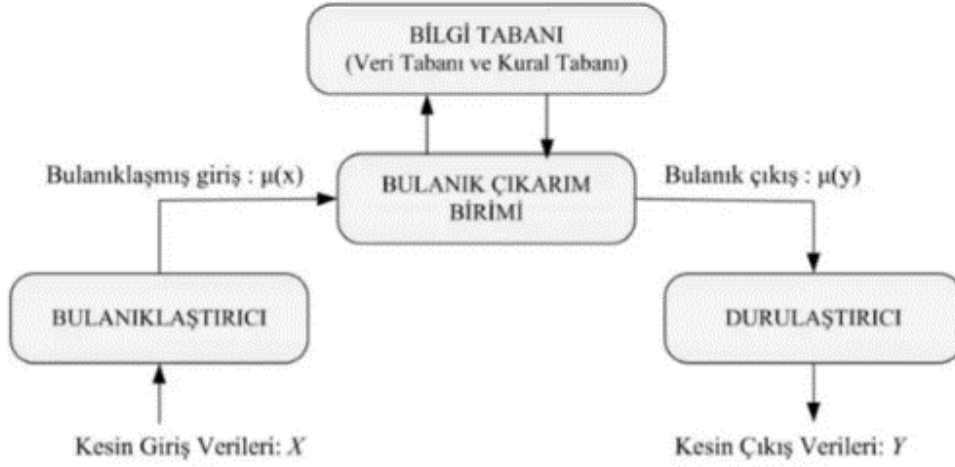
- Akıl yürütme çalışmalarında matematiksel ifadeler basit bir şekilde kullanılır.
- Bulanık mantık esnektir. Sistemi değiştirmek için kurallar eklenir veya silinir.
- Giriş değerlerinin kesin olması şart değildir, bozuk bilgilerde olabilir.
- Bulanık mantık sisteminin hazırlanması ve anlaması kolaydır [11].

### **1.8.5. Bulanık Mantık Sistemlerinin Dezavantajları**

- Kesin ve sistematik bir yaklaşım yöntemi yoktur.
- Yalnız basit olduğu durumlarda anlaması daha kolaydır.
- Kesin bir şekilde doğruluk istenmediği sorularda kullanılabilir [11].

### 1.8.6. Bulanık Sistem

Tablo 1.4. Bulanık sistem [12]



Tablo 1.4’de Bilgilerin bulanık sistemden geçerek hazırlanma aşamaları, ok yönünde ilerleyerek yapılır. Başlangıç bilgilerinin (X) girişi yapılarak, bulanık sisteme giriş yapmış oluruz. Giriş verilerine herhangi bir işlem yapmak zorunda değiliz. Dilsel değişkenleri ve buna bağlı olarak; bulanık kümeleri ve üyelik fonksiyonlarını oluşturmalıyız. Şekildeki adımlar, sistemin bulanık mantık kuramıyla tanımladıktan sonrasında ifade etmektedir.

- **Bulanıklaştırıcı:** Hazırlanan sisteme sade haliyle verilen değerleri, üyelik fonksiyonu yardımıyla, bulanık değerlere (0 ile 1) dönüşmesini sağlayan birimdir. Her giriş değerinin, bulanık kümelere olan üyelik derecesini hesaplar.
- **Bulanık Çıkarım Birimi:** Verilerin bulunduğu ortam ile birlikte çalışmaktadır. Gelen bulanık değerlerden sonuç çıkarır. Sonuçların nasıl çıkarılacağı bilgisi bilgi tabanında tutulmaktadır.
- **Bilgi Tabanı:** Bulanık kümeler arasındaki ilişkilerin tutulduğu yerdir. Gelecek verilere göre hangi çıkarımların yapılacağıyla ilgili kuralları içimde barındırır.
- **Durulaştırıcı:** Verilerin çıkarım yapılmış hali bu aşamaya kadar bulanık değer aralığında gelmektedir. Fakat ihtiyaç duyulan çıkış bilgileri farklı bir aralıkta olmalıdır. Bu aşamada gelen değerler, istediğimiz bir aralığa göre ölçeklendirmeyi sağlar [12].

### **1.8.7. Durulaştırma Yöntemleri**

Literatürde önerilen birçok durulaştırma yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanları ağırlık merkezi, ağırlıklı ortalama ve alan merkezidir.

#### **1.8.7.1. Ağırlık Merkezi**

Bu yöntem Mamdani çıkarım yönteminde tercih edilir. En fazla kullanılan durulaştırma sistemlerinden bir tanesidir. Oluşturulan Kuralların yardımı ile elde edilen üyelik değerlerinin, çıkış kümelerinin üstündeki kestiği alanların toplanması ile hesaplanır. Elde edilen değer, durulaşmış çıkış değeridir [13].

#### **1.8.7.2. Ağırlıklı Ortalama**

Simetrik üyelik fonksiyonuna sahip çıkış kümelerinde uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde tüm kurallardan elde edilen üyelik değeri, bu değer in çıkış kümesi üzerinde kestiği alanla çarpılır. Çarpımların toplamı; bütün kurallardan elde edilen üyelik değerlerinin toplamına oranı ağırlıklı ortalamayı oluşturmaktadır [13].

#### **1.8.7.3. Alan Merkezi**

Çıkış kümelerinin üstündeki kesişim alanı, en büyük üyelik değerini verir. Ortaya çıkan değere alan merkezi denilmektedir. Ağırlıklı ortalamayla benzerlik gösterir. Bu yöntemde alan hesaplamaya gerek yoktur [13].

## 1.9. Literatür Araştırması

**Tablo 1.5.** Literatür taraması

	Yazarlar	Ham Malzeme Cinsi	Kesim ölçüleri	Parametreler				Elektrot
				Ton	Tof	Servo	x	
TEZ	Yusuf ışık	Inconel 718	Ø8 ve 5x5 mm kare form	Ton	Tof	Servo	x	Bakır
1 [14]	Mustafa AY ve ark.	M303 extra plastik kalıp çeliği	10x10x10 mm	Tabla ilerleme hızı (SF)	Vurum süresi (µs)	Vurum ara süresi(µs)	x	Pirinç
2 [15]	Aykut AKBULUT ve ark.	Titanyum alaşımı Ti-6Al-4V	Delik çapı Ø500-400-300 µm	Deşarj akımı (I)	Akım uygulanma (Ton)	Bekletme süresi (Toff)	x	Pirinç, bakır, grafit
3 [16]	M. Ali OKKA ve ark.	Inconel 718 ve Ti-6Al-4V	Delik çapı 0,4 ile 3 mm arasında kör delik	Current (A)	Ton (µs)	Toff (µs)	Capacitance (µs)	Bakır ve pirinç
4 [17]	Oğuz ERDEM ve ark.	Ti6Al4V ve Inconel 718	Delik çapı 2 mm	Boşalım akımı (I)	Vurum süresi (µs)	Bekletme süresi (µs)	x	Pirinç
5 [18]	Gülcan ORHAN. ve ark.	1040 Çelik	60x60x10 mm	Boşalım akımı (I)	Vurum süresi (µs)	Kutuplaşma	Bekleme süresi	Bakır - krom toz metal
6 [19]	Yakup YILDIZ ve ark.	C-122 Bakır	Ø3x300 mm	Akım (A)	Açık vurum süresi (µs)	Kapalı vurum süresi (µs)	x	Berilyum-Bakır Alaşımı
7 [20]	Anıl KUMAR ve ark.	Inconel 718	65x25x4 mm	Peak current	Açık vurum süresi	Duty cycle	Gap voltage	Bakır
8 [21]	Ali KALYON ve ark.	Al-6082	15X15 mm	Vurum süresi	Bekleme süreleri	Boşalım akımı	x	Pirinç
9 [22]	Chen ve ark.	Ti-6Al-4V	x	İşleme hızının	Malzeme kaldırma oranı	x	x	Bakır
10 [23]	Jilani ve ark.	düşük karbon çeliği	x	Saf su	%25 musluk suyu-%75 saf su	Musluk suyu	x	Bakır ve pirinç
11 [24]	Syed ve Palaniyandi	W300 kalıp çeliği	x	Darbe süresi	Proses performansı	Malzeme kaldırma oranı (MRR)	Tepe akımı	Bakırdır
12 [25]	Medellin ve ark.	D2 kalıp çeliği	x	Deiyonize su	Deiyonize su, %75 musluk suyu-%25 deiyonize su	%50 musluk suyu-%50 deiyonize su	Musluk suyu	Bronz ve pirinç

Tablo 1.5'te mevcut dalma erozyon cihazları kullanılarak çalışılan malzemeler ve işlem kalitesi için kullanılan parametreler gösterilmiştir. Ayrıca kullanılan cihazlarda işlem için seçilen elektrot çeşitlerine bakıldığında ağırlıklı olarak pirinç, bakır ve grafit tercih edildiği görülmektedir. Parçaların işleme parametresi olarak dalma erozyon için tabla ilerleme hızı, vurum süresi, Ton ve Tof parametrelerinin kullanıldığı literatürde mevcuttur.



Mustafa AY ve ark. Inconel 718 malzeme üstünde çalışmalar yapmıştır. Inconel 718 malzeme kriyojenik sıcaklıklarda yüksek performans da gerilme ve darbe mukavemeti sergiler. Inconel 718 malzemeye farklı kesme hızlarında (100-220 rpm) ve üç farklı soğutma yöntemi (MQL, kuru kesim ve CO2) kullanılarak işlenmiş ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler RSM, Taguchi ve ANOVA yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörlerin etkileşimi de grafik kullanarak gösterilmiştir [14].

Aykut AKBULUT ve ark. yapmış oldukları çalışmada ark kapalı kalma süresi (Tof), ark açık kalma süresi (Ton) ve akım (I) gibi işleme parametrelerinin performans parametreleri üzerindeki etkileri üzerinde çalışmıştır. Yüksek basınçta elektrotun içine pompalanan soğutucu için deiyonize su kullanılmıştır. İşleme parametrelerinin etkisi ile oluşan yüzey pürüzlülüğü (Ra), talaş kaldırma oranı (MRR), ve elektrot aşınma oranı (EWR) gibi parametreler seçilmiştir. Deney tasarımında Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Regresyon matematiksel modeli geliştirilmiş ve Anova ile varyans analizi yapılmıştır. Deneysel sonuçlarında, 500 µm pirinç elektrotun daha iyi MRR'ye sahip olduğunu görülmüştür [15].

M. Ali OKKA ve ark. yaptıkları çalışmada Inconel 718 ve Ti-6Al-4V malzemelerinin elektriksel erozyon ile hızlı delik delme işlemleri deneysel incelenmesi yapılmıştır. Deneyde iki tür elektrot kullanılmıştır (pirinç ve bakır). İçi oyuk tek delikli silindirik dönel elektrot, yüksek basınçla pompalanan deiyonize su kullanılmış ve elektrot dönme hızı sabit tutulmuştur. Deney sonucunda iş parçası işleme hızı değerleri pirinç elektrotunda her iki alaşım için bakır elektrota göre daha yüksek olduğu görülmüştür [16].

Oğuz ERDEM ve ark. yaptıkları deneysel çalışmada elektro erozyon ile delik delmede ortası delik döner bir elektrot içerisinde geçirilen silikon yağının işleme performansı (iş parçası işleme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey topografyası) üstünde çalışmalar yapmıştır. Silikon yağının işleme esnasında yoğun bir elektrik alan içerisinde olması nedeniyle, farklı oranlarda toz katkılarına sahip silikon yağı karışımlarının farklı elektrik alanları altındaki davranışları incelenmiştir [17].

Orhan GÜLCAN ve ark. yaptıkları çalışmada Cu-Cr toz metal elektrotların üretim parametrelerinden karıştırma oranı, sıkıştırma basıncı ve sinterleme sıcaklığı gibi parametreler değiştirilerek, elektro erozyon işleme yanında yüzey kaplaması da yapılabileceği gösterilmiştir. Uygun karıştırma oranı değerlerinde, Cu-Cr toz metal

elektrotlar, elektrolitik Cu elektrottan daha yüksek İş parçası işleme hızı değerlerine sahip olduğu görülmüştür [18].

Yakup YILDIZ ve ark. yaptıkları çalışmada berilyum-bakır alaşımı, soğuk işlem için  $-150^{\circ}$  F değerinde ve kriyojenik işlem için yaklaşık  $-300^{\circ}$  F ısı vermiştir. Bu soğuk ve kriyojenik işlemlerin, elektro deşarjlı işlemede berilyum - bakır iş parçalarının işlenebilirliği üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlarda soğuk ve kriyojenik işlem tabii tutulmuş iş parçalarının malzeme kaldırma oranında yaklaşık %20 - 30 artış olduğu görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü, Elektrot aşınma hızı ve ortalama beyaz tabaka kalınlığındaki değişimler aykırı bulunmuştur [19].

Anıl KUMAR ve ark. Inconel 718 ve ICNI-5510-718 alaşımlar üzerinde çalışmışlardır. Alaşımlar, vakumlu eritme yöntemi ile işlenmiştir. Çalışma bu Nikel bazlı süper alaşımların işleme ve karakterizasyon özelliklerini sunmaktadır [20].

Ali KALYON ve ark. yapmış oldukları çalışmada Alüminyum 6082 alaşımının işlenebilirliğini dalma erozyon tezgâhında pirinç elektrot ile incelemişlerdir. İşleme parametresi olarak vurum süresi, boşalım akımı ve bekleme süreleri kullanmıştır. Deney sonucunda ortalama yüzey pürüzlülüğü, iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızı incelenmiştir. Taguhci tekniği ve Varyans analizi yapılmıştır. Deney sonucunda iş parçası işleme hızı, ortalama yüzey pürüzlülüğü ve elektrot aşınma hızı üzerinde en etkili parametrenin boşalım akımı olduğu görülmüştür [21].

Chen ve ark. (1999), yapmış oldukları çalışmada bakır elektrot ile titanyum alaşımli Ti-6Al-4V malzemesini elektro erozyon ile işlenmesini incelemişlerdir. Dielektrik sıvı olarak gazyağı ve deiyonize su kullanmışlardır. Deiyonize su ile yapılan çalışmalar gazyağı kullanılarak yapılan çalışmaya göre elektrot aşınma oranının düşük olduğu ve iş parçası işleme hızının yüksek olduğunu görülmüştür [22].

Jilani ve Pandey (1984), elektro erozyon ile yapmış oldukları çalışmada pirinç ve bakır elektron kullanmışlardır. Musluk suyu, %25 musluk suyu - %75 saf su ve saf su gibi üç farklı sıvı kullanmışlardır. Akımın düşükken musluk suyunun olduğu durumlarda daha iyi işleme performansı olduğu görülmüştür [23].

Syed ve Palaniyandi (2012), elektro erozyon ile yaptıkları çalışmada W300 çeliğinin bakır elektrotlarla işlenmesini incelemişlerdir. Dielektrik sıvısı olarak saf su kullanmışlardır. Dielektrik sıvısının içine alüminyum tozları karıştırarak deneyler yapmışlardır. Alüminyum karıştırılarak yapılan deneyler sadece saf suyla yapılan

deneylere göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü, daha fazla iş parçası işleme hızı ve daha az beyaz katman kalınlığı elde edildiği görülmüştür [24].

Medellin ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada D2 kalıp çeliğini elektro erozyon ile işlemlerini incelemişlerdir. Elektrot olarak bronz ve pirinç malzeme kullanılmıştır. 4 farklı deiyonize sıvı (musluk suyu, deiyonize su, %75 musluk suyu - %25 deiyonize su, %50 musluk suyu - %50 deiyonize su) kullanarak deneyler yapıldığı görülmüştür. Deneyin sonucunda musluk suyu veya %75 musluk suyu - %25 deiyonize su karışımının olduğu durumlarda deiyonize suya göre daha yüksek iş parçası işleme hızı ve daha düşük elektrot aşınma oranı elde edildiği görülmüştür [25].

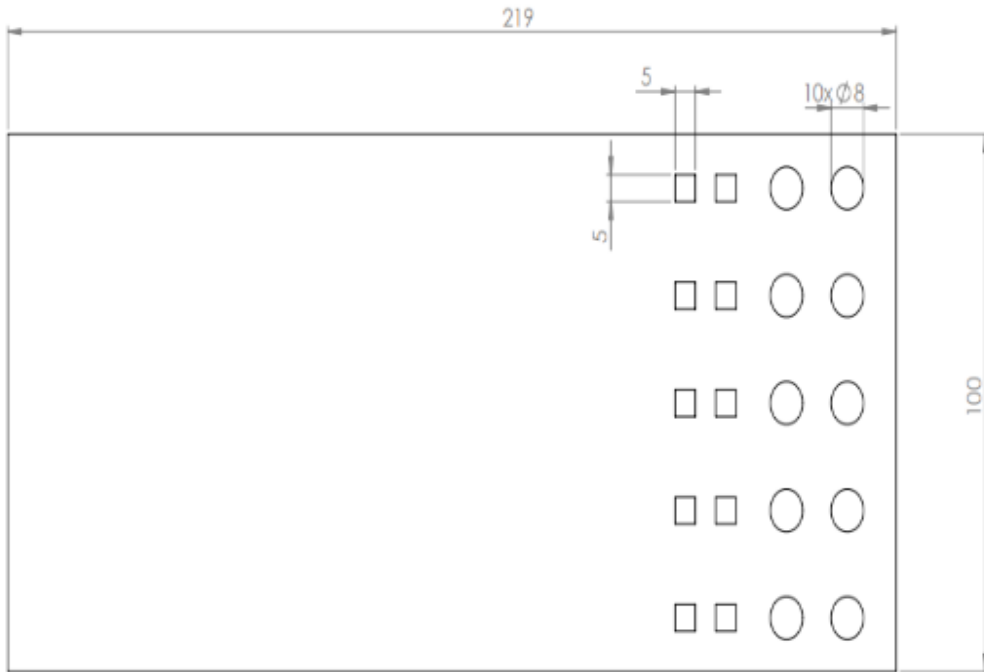


## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

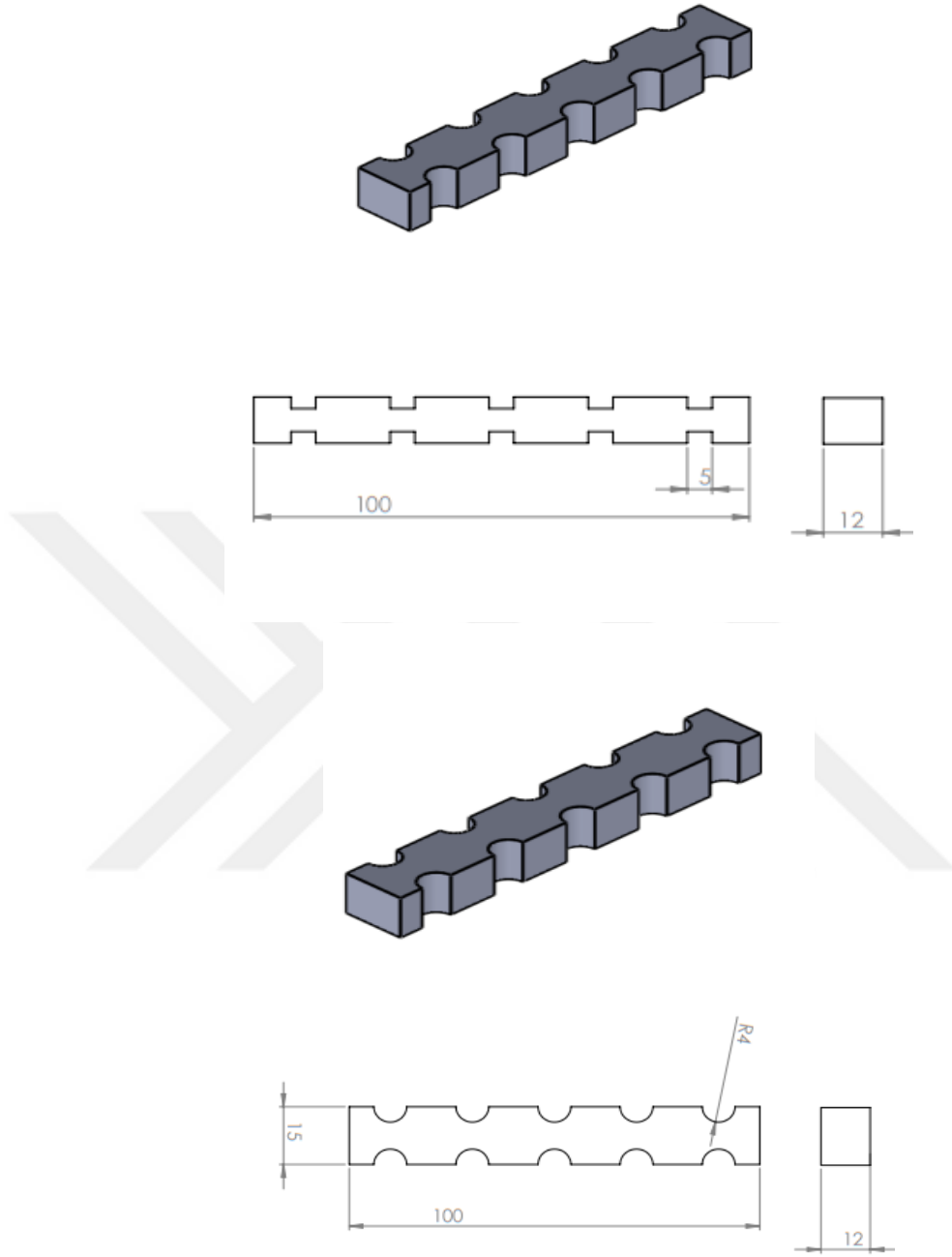
Bu çalışma, Inconel 718 malzemenin dalma erozyon ile kare ve silindirik geometrili delik formu işlemleri yapılarak, işleme parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri ve en iyi yüzey kalitesine ulaşmak amaçlanmıştır.

### 2.1. Numunelerin Hazırlanması

Deneyde kullanılmak üzere Inconel 718 malzeme temin edilmiştir. Malzeme plaka halinde 12x100x219 mm ebatlarında kesilmiştir. Yapılan işleme sonrası malzeme işleme formlarının ortasından kesilerek hazır hale getirilmiştir. Yapılan çalışmada Inconel malzemenin işleme öncesi hazırlanan şematik gösterimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Şekil 2.2’de kare ve silindirik form için işleme sonrası SEM görüntüleme için hazırlanan numunenin şematik gösterimi yer almaktadır.



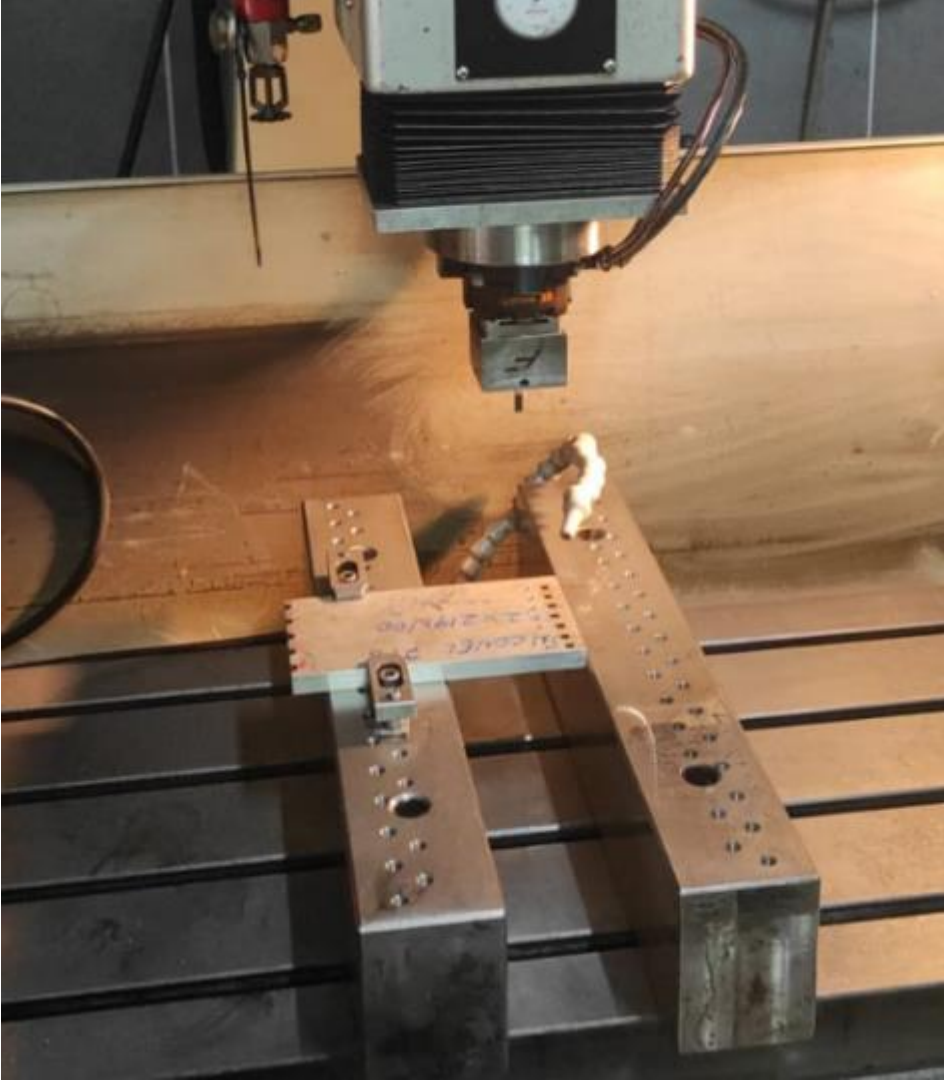
Şekil 2.1. Inconel 718 numunenin şematik gösterimi



**Şekil 2.2.** Kare ve Silindir form işlenen numunenin şematik görünümü

## 2.2. Deneyin Yapılışı

12x100x219 mm ebatlarında hazırlanan numuneye dik işlem tezgâhında, 4 mm çapında ön delik delme işlemi yapıldıktan sonra dalma erozyon tezgâhında belirlenen parametrelerde 8 mm çapında delik delme ve 5x5 mm ölçüsünde kare form oluşturma işlemi yapılmıştır. İşlenen geometrilerin kesitleri alınarak SEM görüntülemeye hazır hale getirilmiştir. Şekil 2.3’de dalma erozyon işlemi yapılma esnasındaki örnek bir resmi yer almaktadır.



**Şekil 2.3.** Inconel 718 malzemenin dalma erozyon ile kare form açma işlemi



**Şekil 2.4.** Inconel 718 malzemenin dalma erozyon ile delik delme işlemi

Şekil 2.4'de dalma erozyon tezgâhında 8 mm çapında delme işleminin görseli yer almaktadır.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. SEM Görüntüleme Sonuçları

Dalma erozyon Inconel 718 işlemlerinde EDM parametrelerinden Ton ve Tof'un Servo'ya oranla daha etkili olduğu görülmektedir. Ton'daki artış mikro çatlak oluşumunu arttırmıştır. Tof'un artışı çatlak oluşumunu etkilemezken çatlak boyutunu azaltma yönündedir. Dalma erozyon yüzeyi yayvan ve düzgün bir dağılıma sahip olduğu gözlemlenmektedir. Tablo 3.1'de işleme yapılan parçalara uygulanan işleme parametreleri yer almaktadır.

**Tablo 3.1.** Dalma Erozyon İşleme Parametreleri

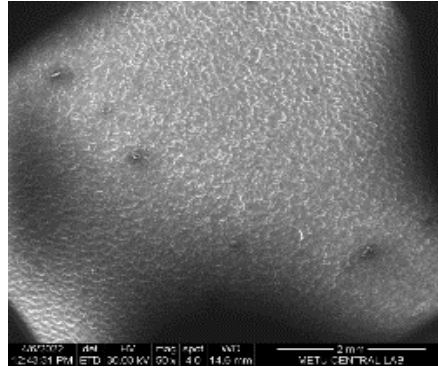
	<b>T on</b> (µs)	<b>T of</b> (µs)	<b>Servo</b> (V)
<b>1</b>	99	48	50
<b>2</b>	200	48	50
<b>3</b>	99	24	50
<b>4</b>	200	24	50
<b>5</b>	99	48	60
<b>6</b>	200	48	60
<b>7</b>	99	48	70
<b>8</b>	200	48	70
<b>9</b>	99	24	60
<b>10</b>	200	24	60

#### 3.1.1. Silindirik Form İşlemen Inconel Malzemelerin SEM Görüntüleri

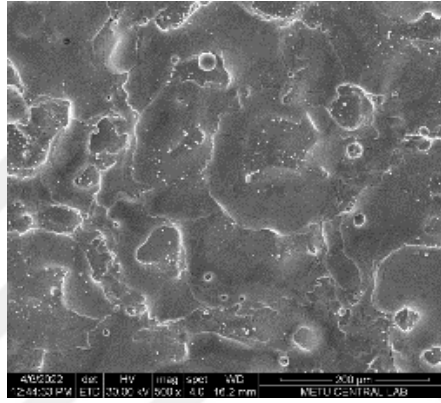
Tablo 3.2'de dalma erozyonda 8 mm çapında delinen, Tablo 3.3'de 5x5mm kare formunda işlenen Inconel 718 malzemelerin SEM'de 50x, 500x ve 5000x büyütülerek elde edilmiş görselleri yer almaktadır.



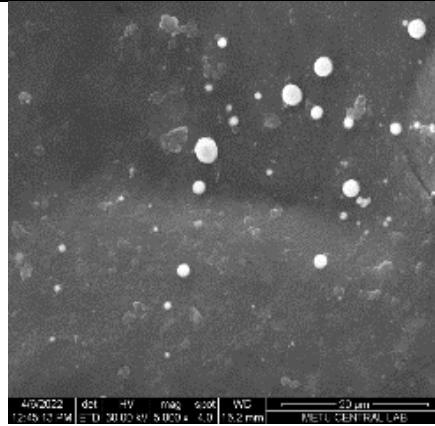
**Tablo 3.2.** Silindirik form işleme Inconel 718 malzemelerin SEM görüntüleri



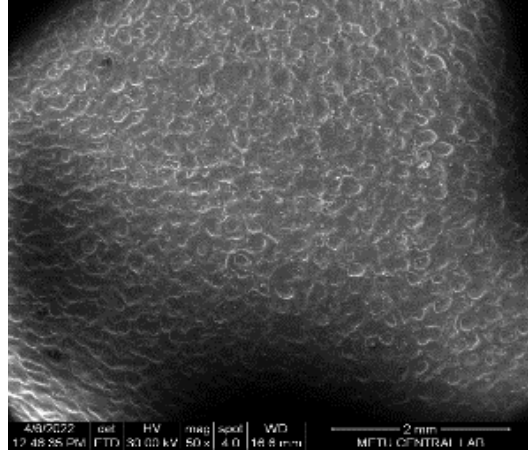
**Şekil 3.1.** Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü



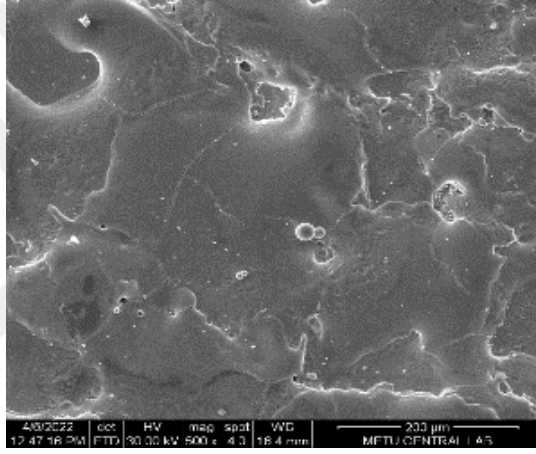
**Şekil 3.2.** Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü



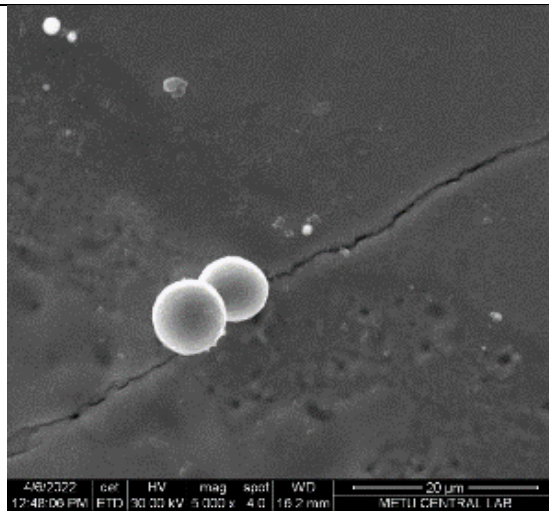
**Şekil 3.3.** Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü



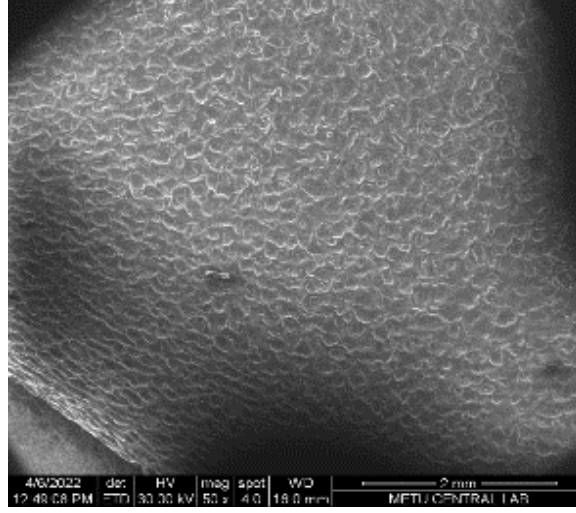
**Şekil 3.4.** Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü



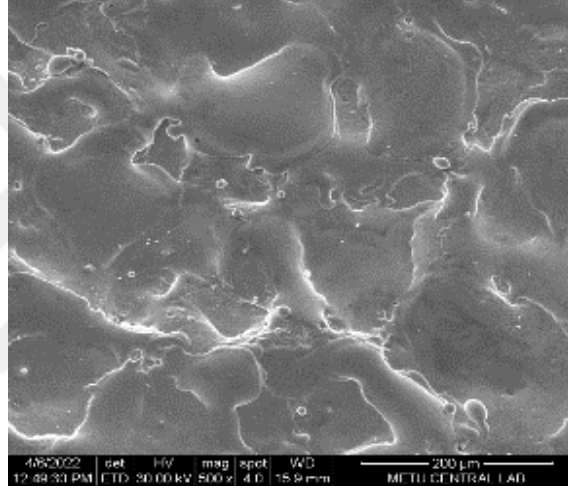
**Şekil 3.5.** Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü



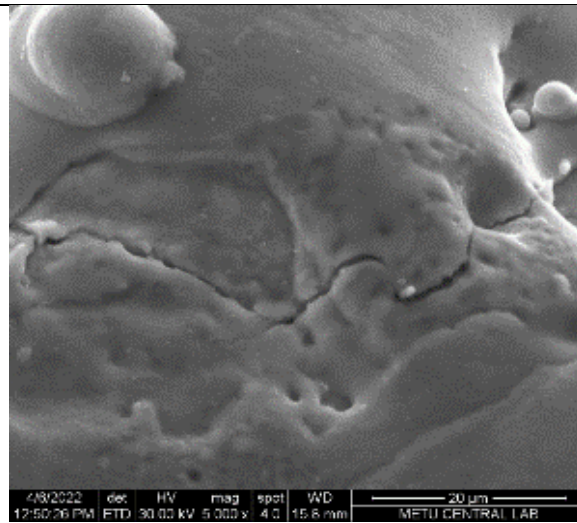
**Şekil 3.6** Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü



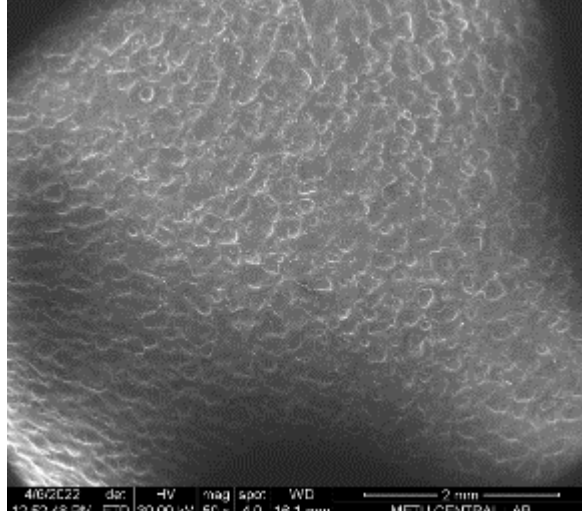
**Şekil 3.7** Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü



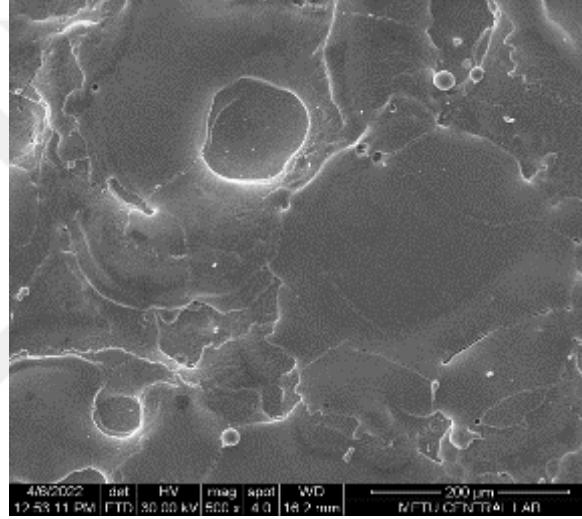
**Şekil 3.8.** Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü



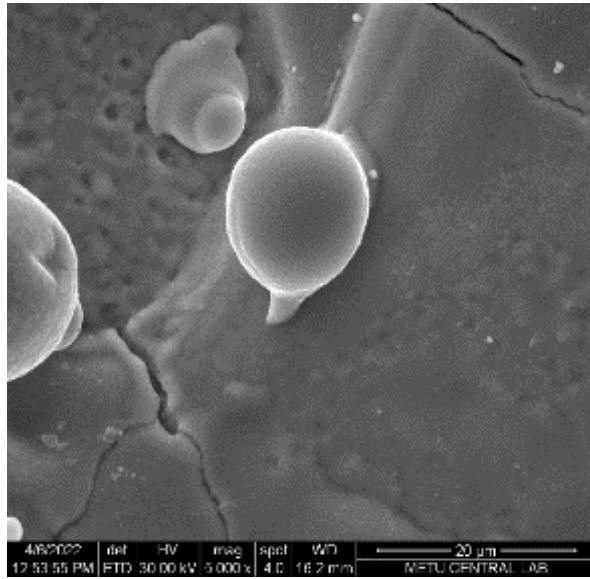
**Şekil 3.9** Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü



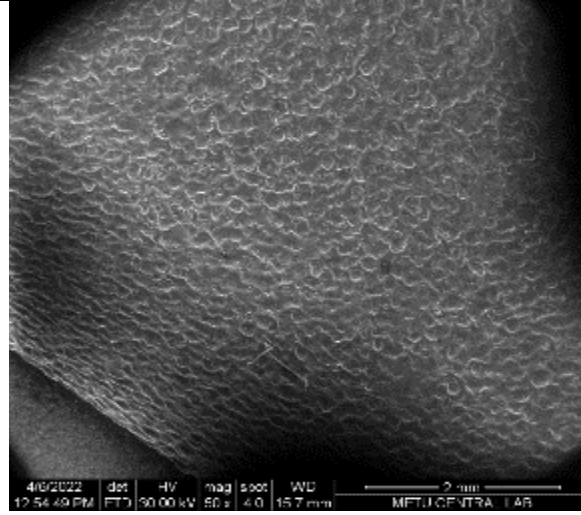
**Şekil 3.10** Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü



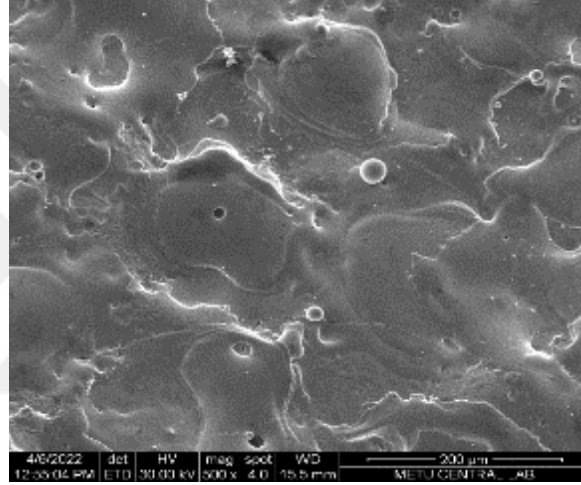
**Şekil 3.11** Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü



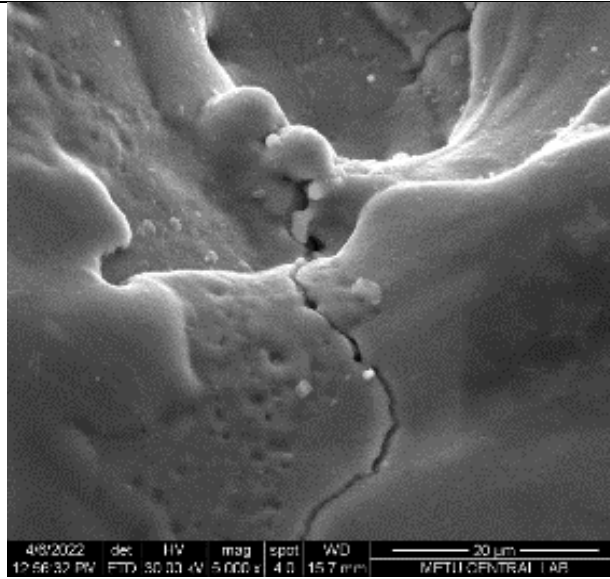
**Şekil 3.12.** Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü



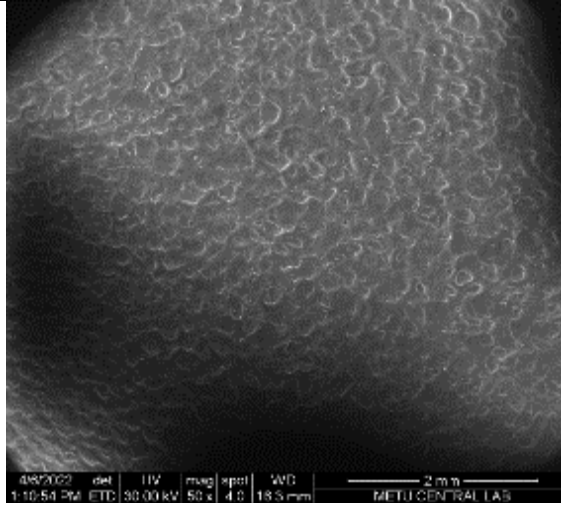
**Şekil 3.13** Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü



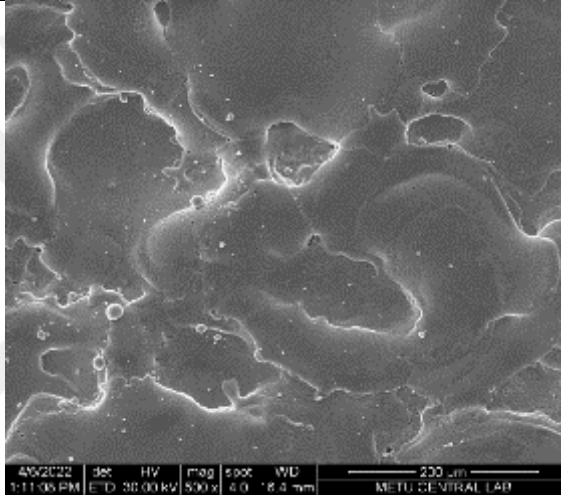
**Şekil 3.14.** Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü



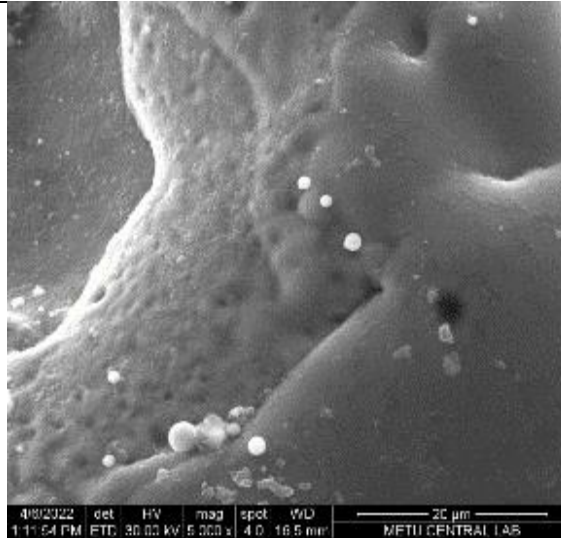
**Şekil 3.15.** Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü



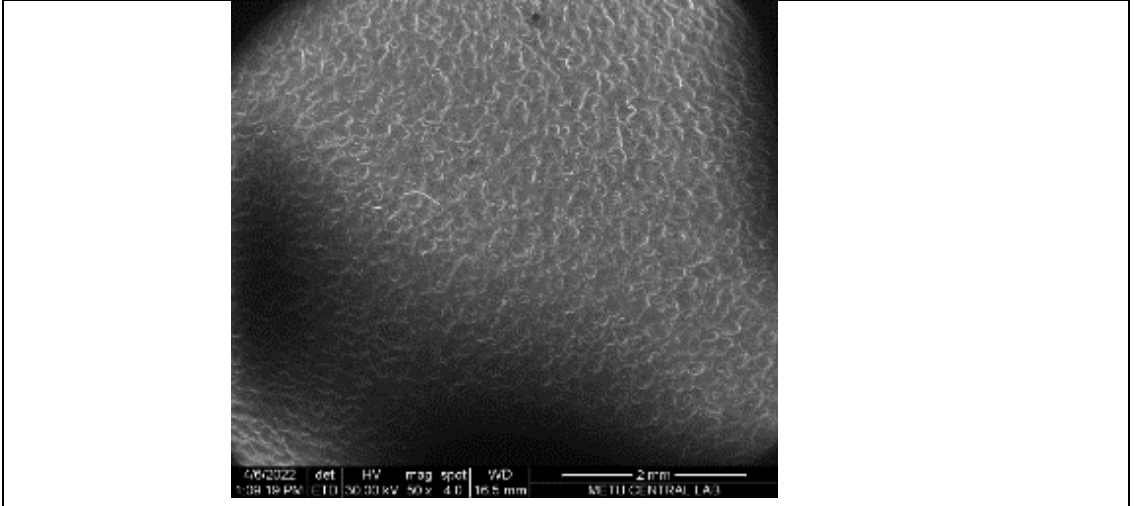
Şekil 3.16 Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü



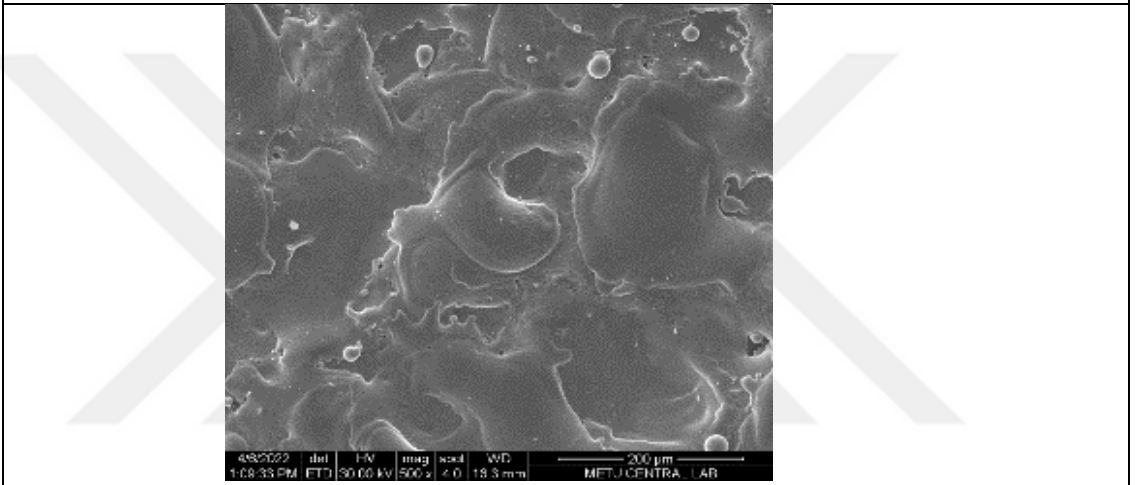
Şekil 3.17. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü



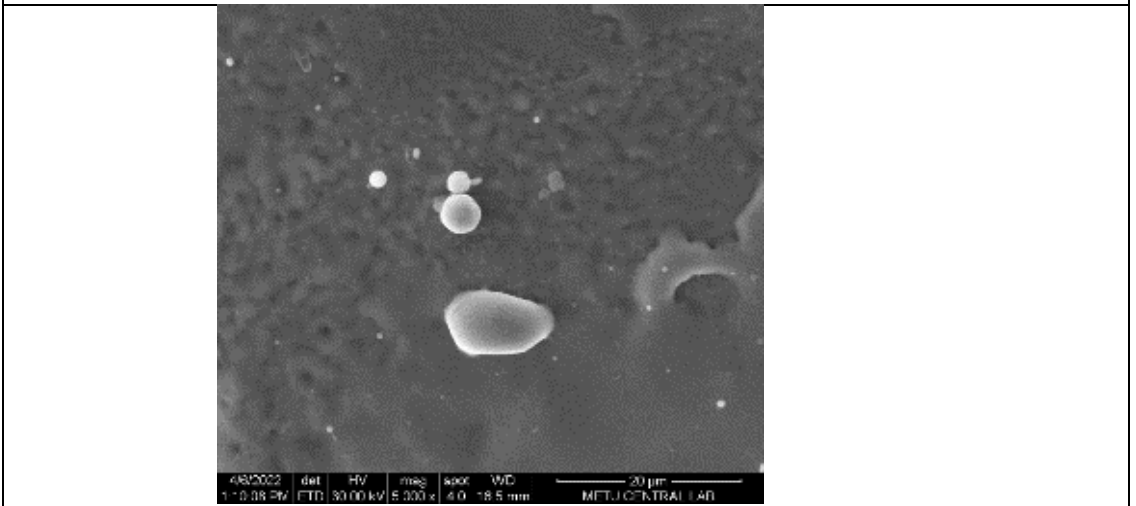
Şekil 3.18. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü



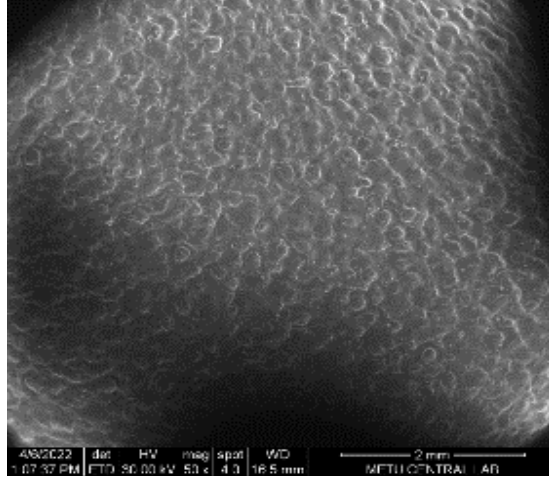
Şekil 3.19. Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 50x yakınlştırılmış görüntü



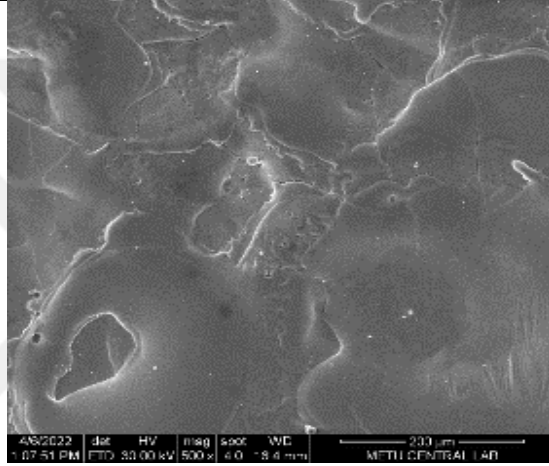
Şekil 3.20 Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 500x yakınlştırılmış görüntü



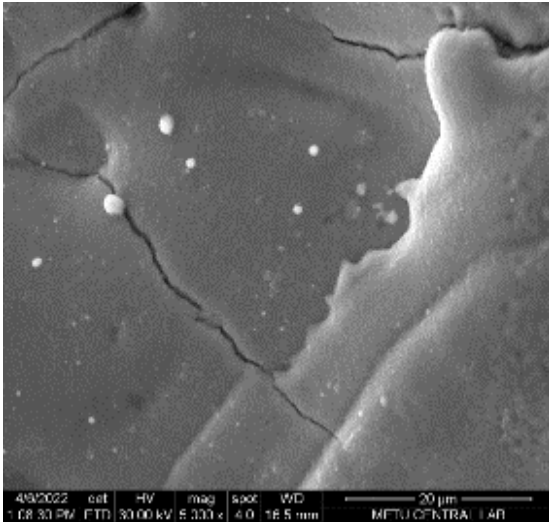
Şekil 3.21. Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 5000x yakınlştırılmış görüntü



Şekil 3.22. Ton:200 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü

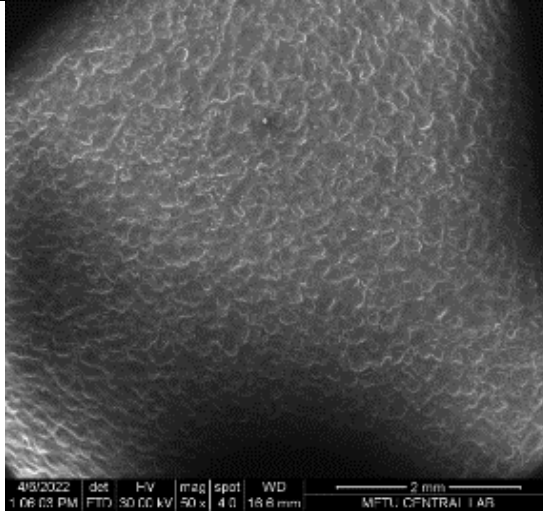


Şekil 3.23 Ton:200 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü

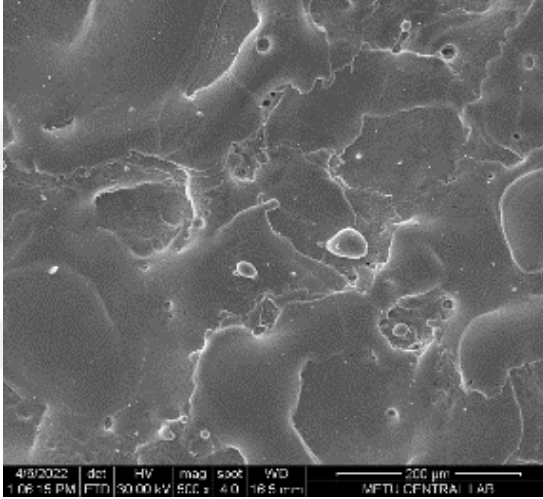


Şekil 3.24. Ton:200 / Tof:48 / Servo:70 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü

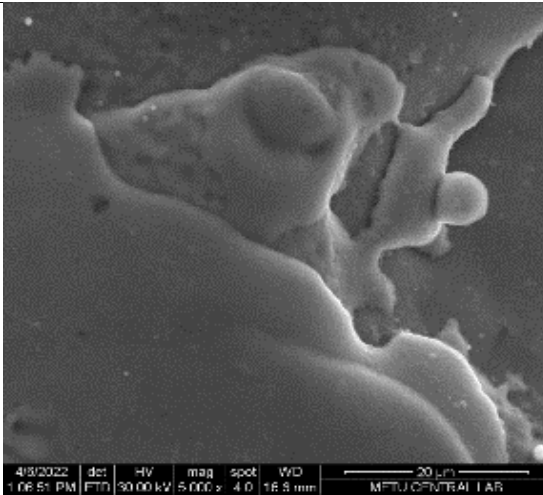




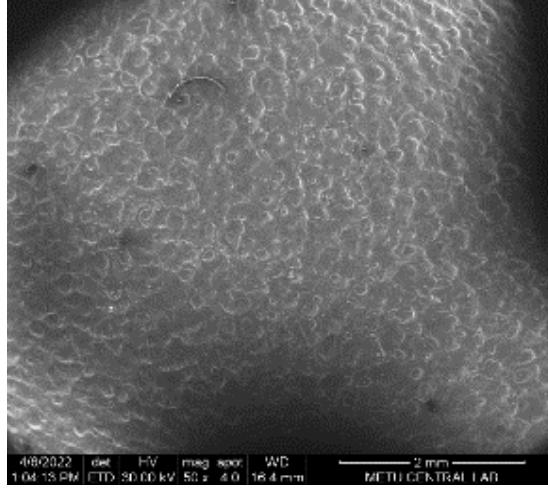
**Şekil 3.25.** Ton:99 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü



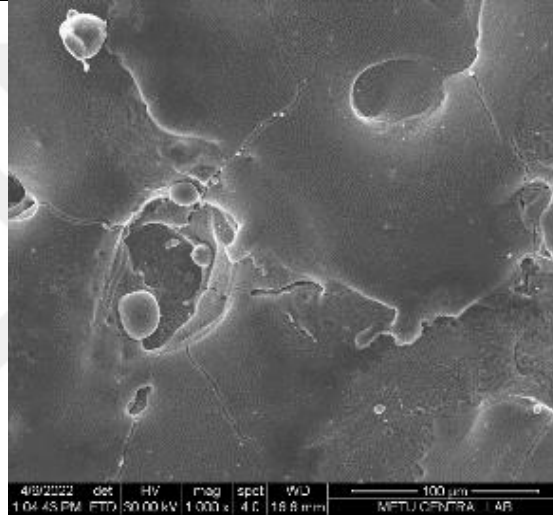
**Şekil 3.26.** Ton:99 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü



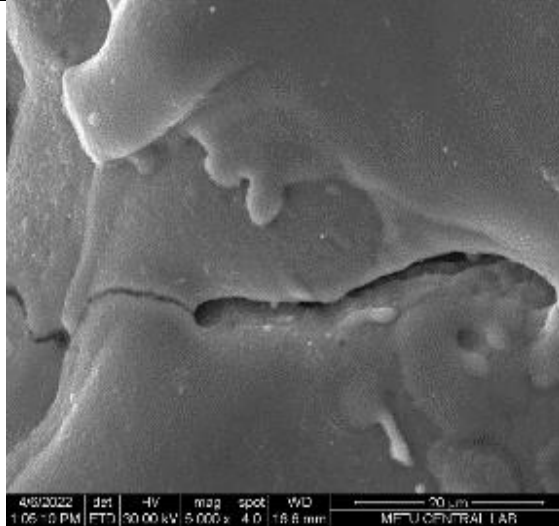
**Şekil 3.27** Ton:99 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü



Şekil 3.28. Ton:200 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 50x yakınlaştırılmış görüntü



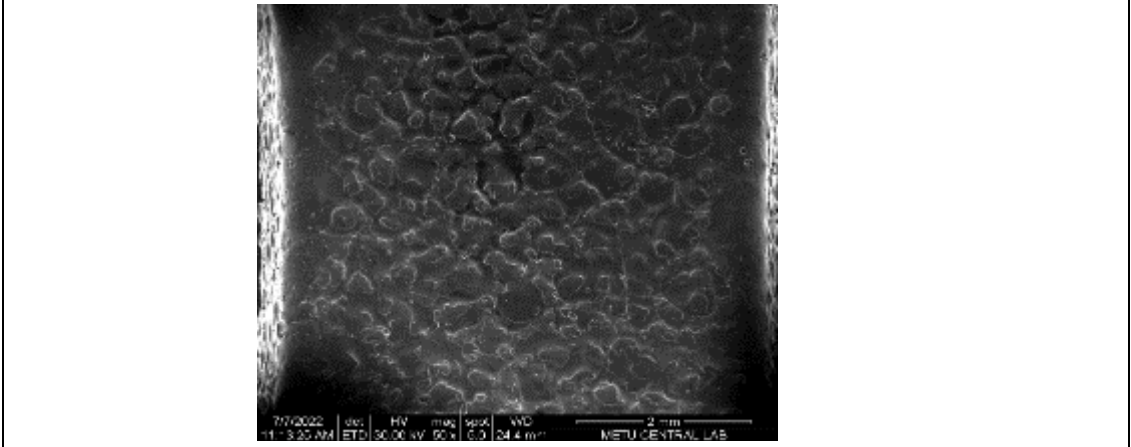
Şekil 3.29 Ton:200 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 500x yakınlaştırılmış görüntü



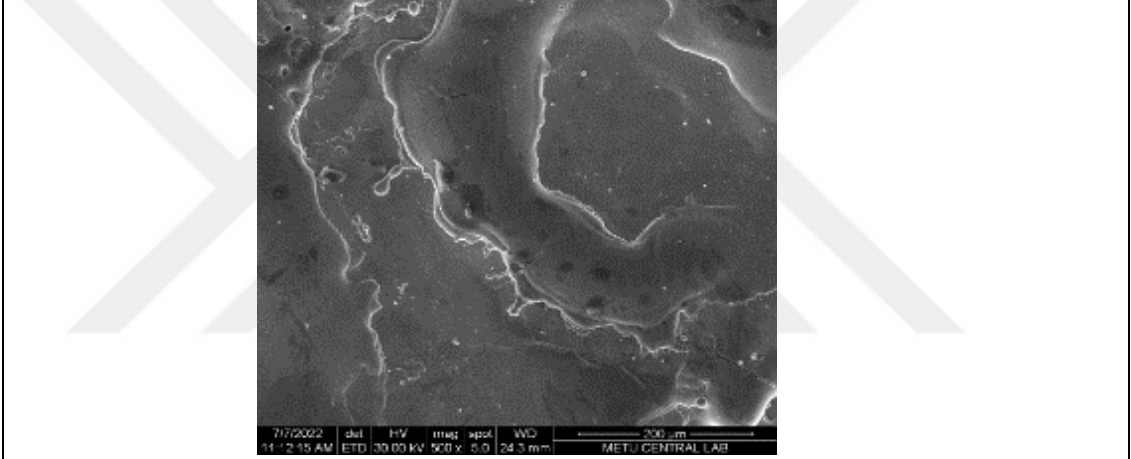
Şekil 3.30 Ton:200 / Tof:24 / Servo:60 iken deliğe 5000x yakınlaştırılmış görüntü

### 3.1.2. Kare Form İşlenmiş Inconel 718 Malzemelerin SEM Görüntüleri

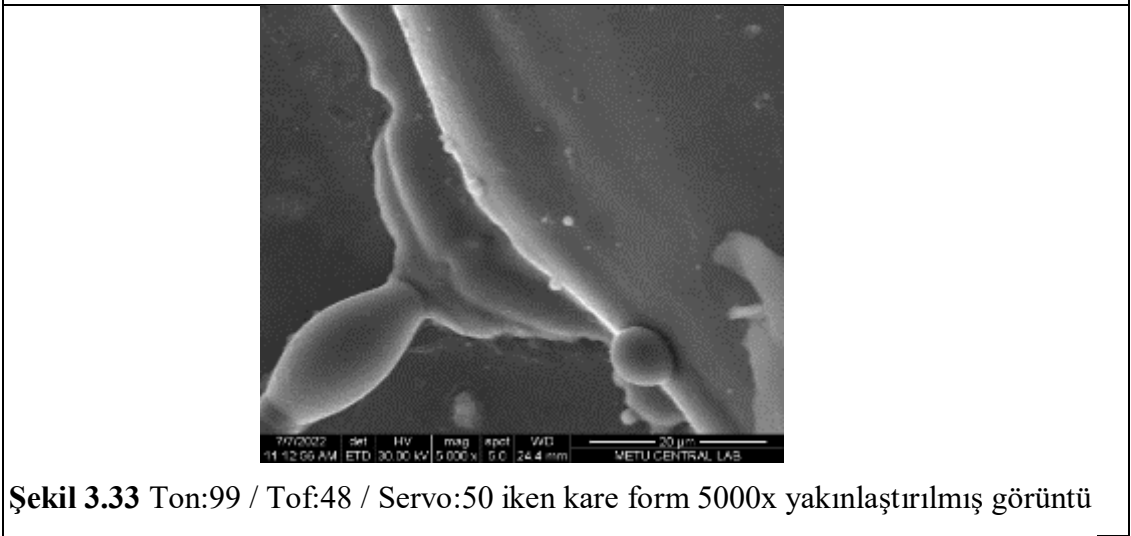
**Tablo 3.3.** Kare form işlenmiş Inconel 718 malzemelerin SEM görüntüleri



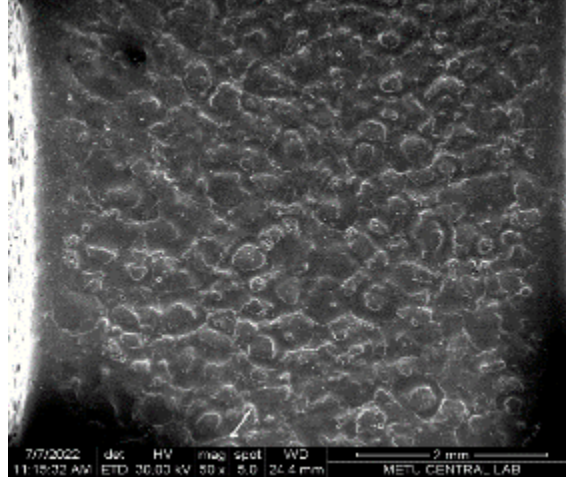
**Şekil 3.31.** Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü



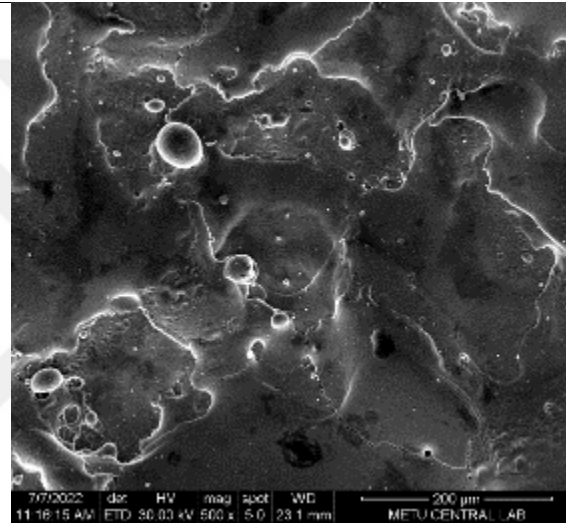
**Şekil 3.32** Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü



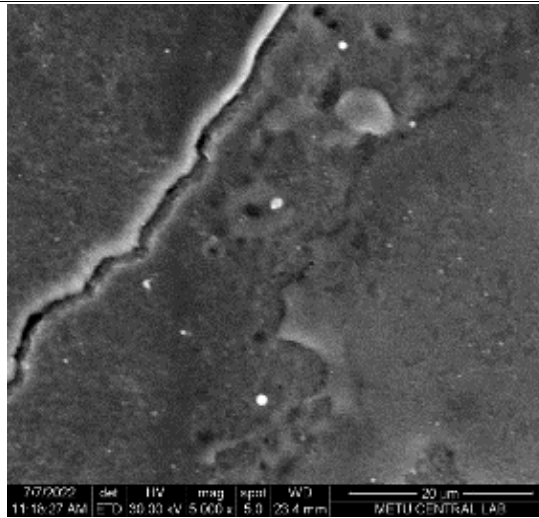
**Şekil 3.33** Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü



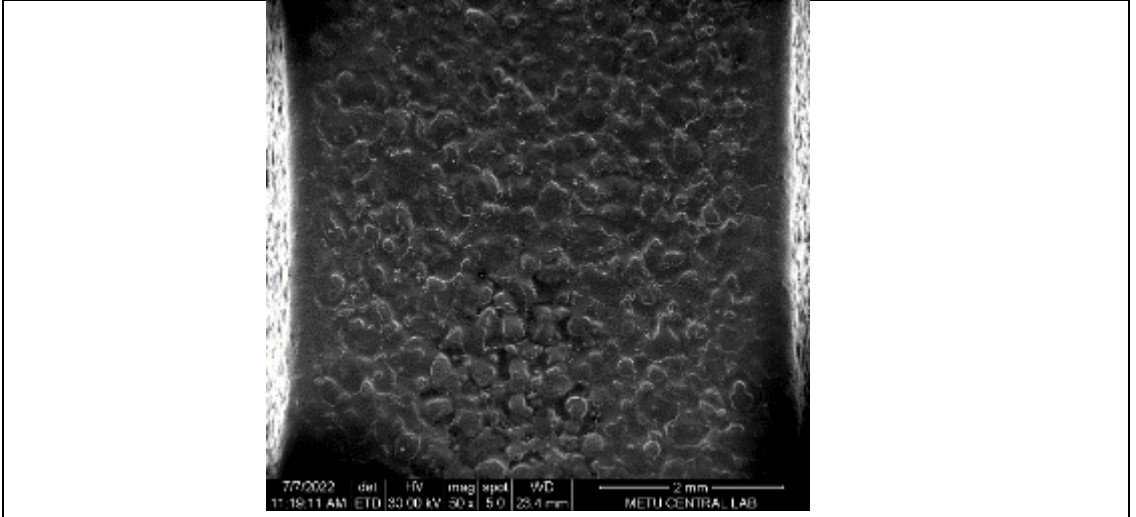
Şekil 3.34 Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü



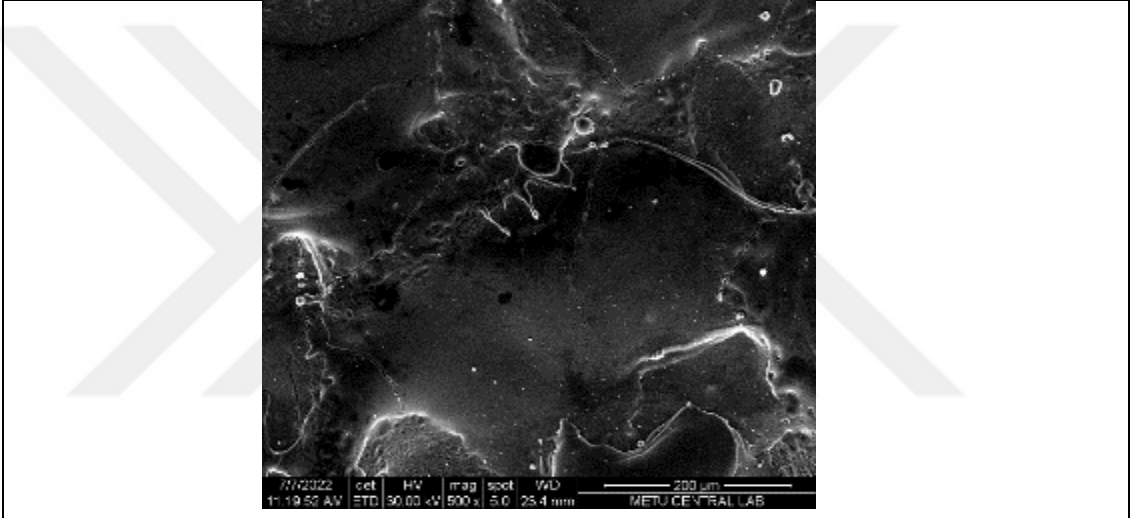
Şekil 3.35. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü



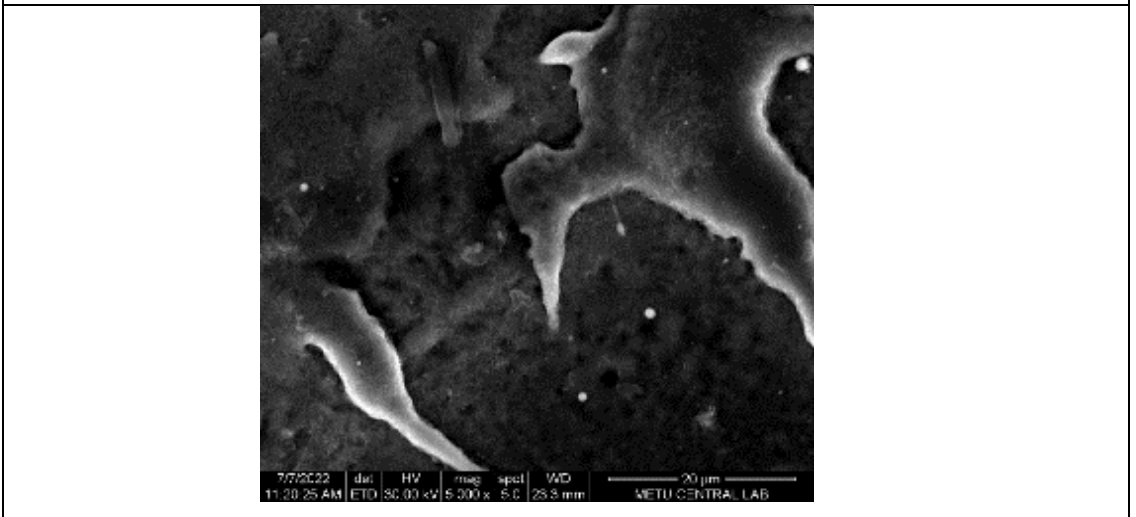
Şekil 3.36. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü



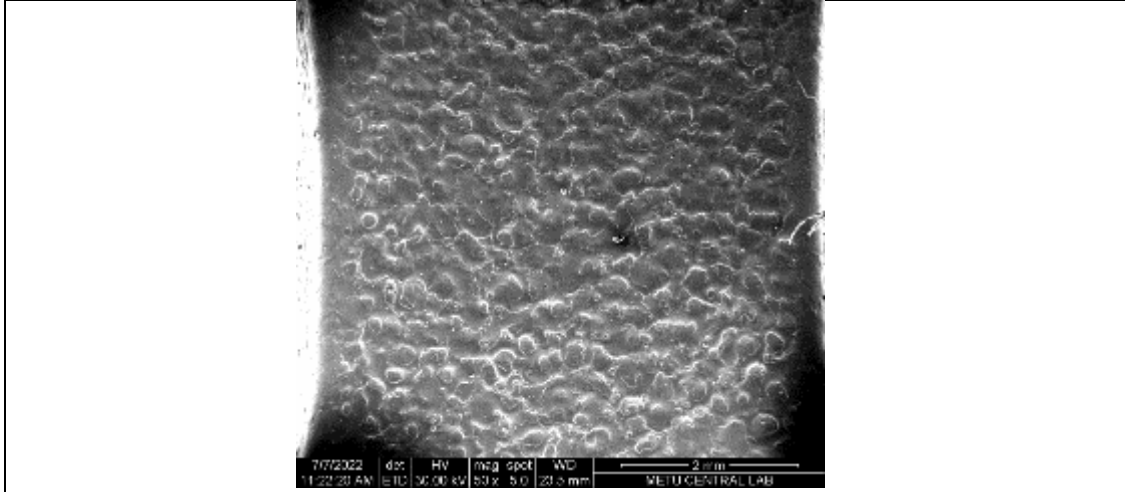
Şekil 3.37. Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü



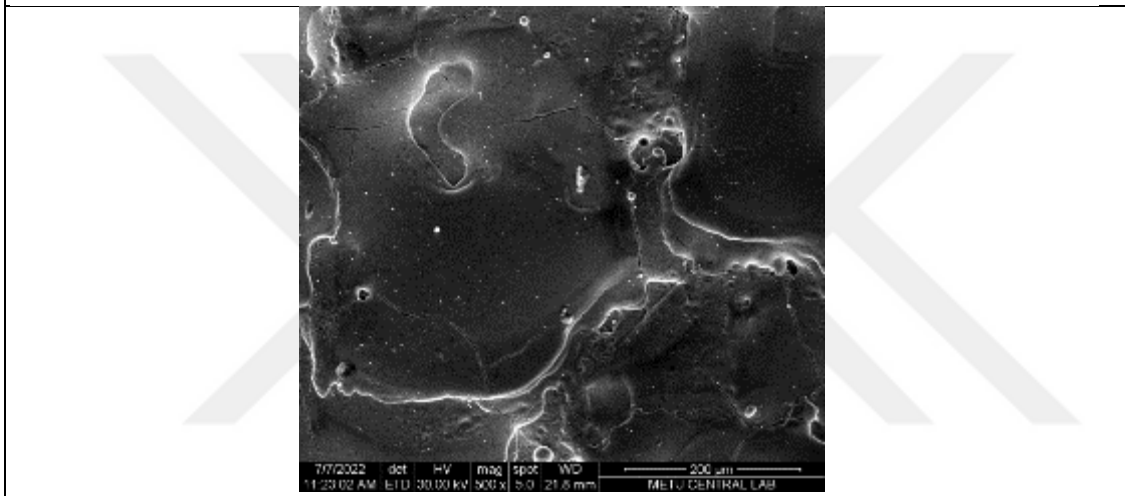
Şekil 3.38. Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü



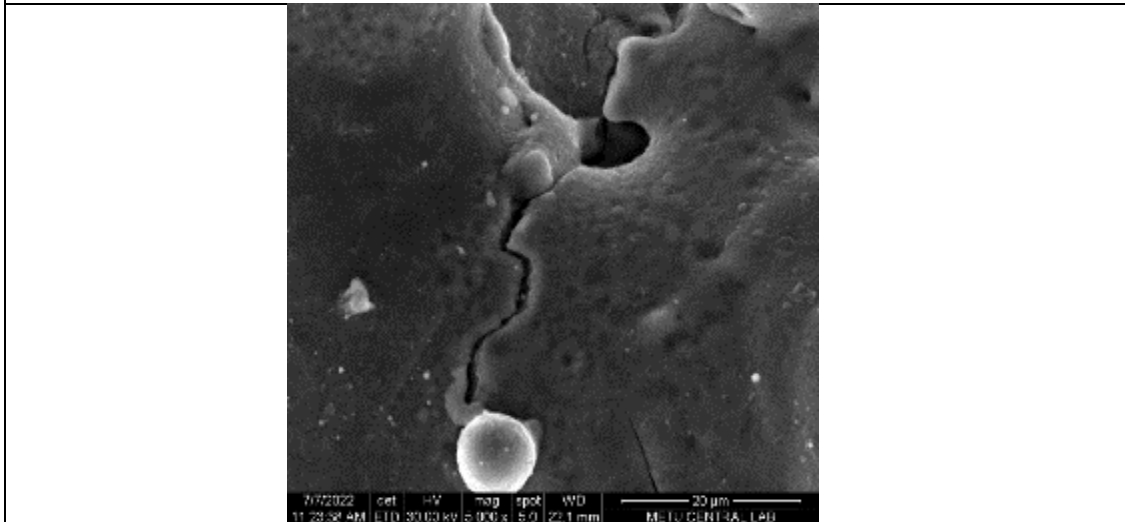
Şekil 3.39. Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü



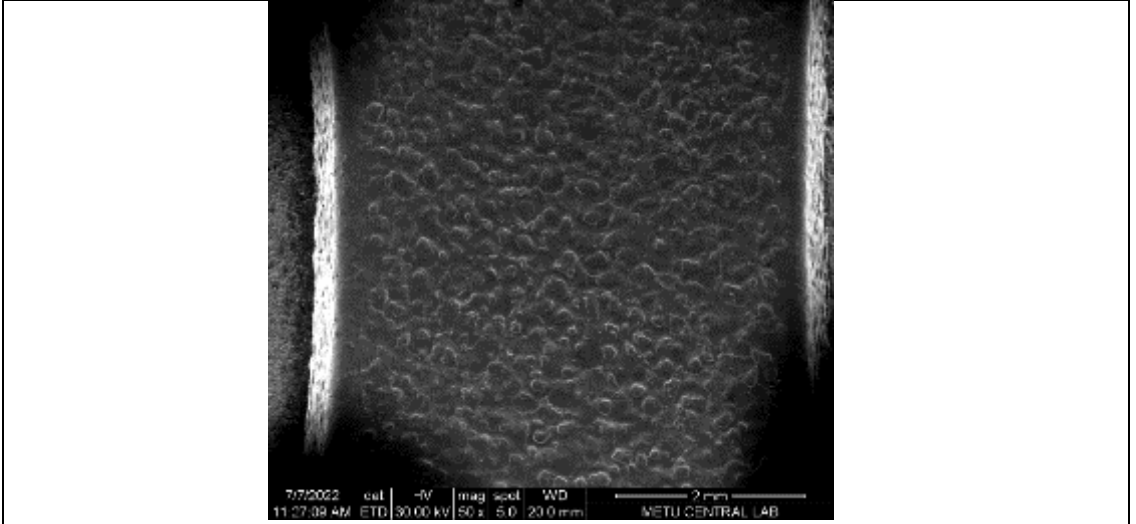
Şekil 3.40. Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü



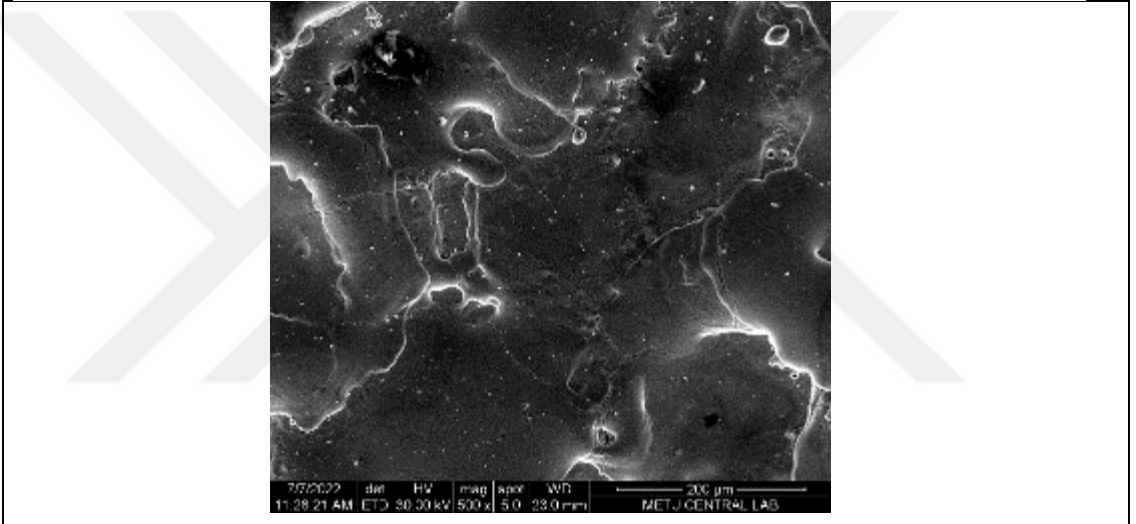
Şekil 3.41. Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü



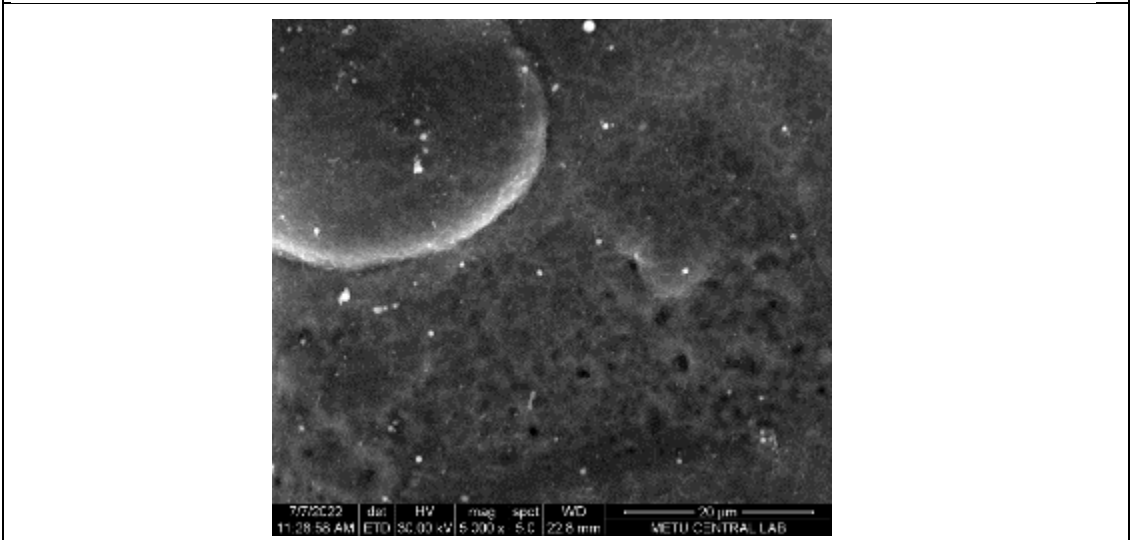
Şekil 3.42. Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü



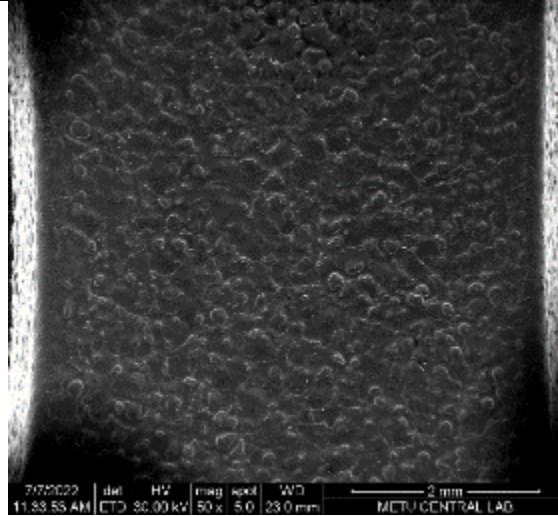
Şekil 3.43. Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü



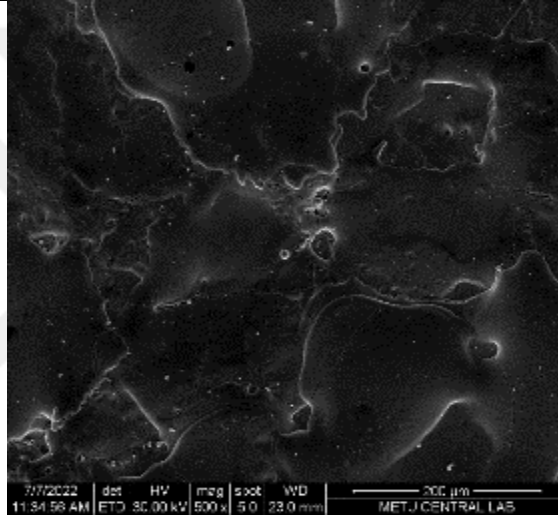
Şekil 3.44. Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü



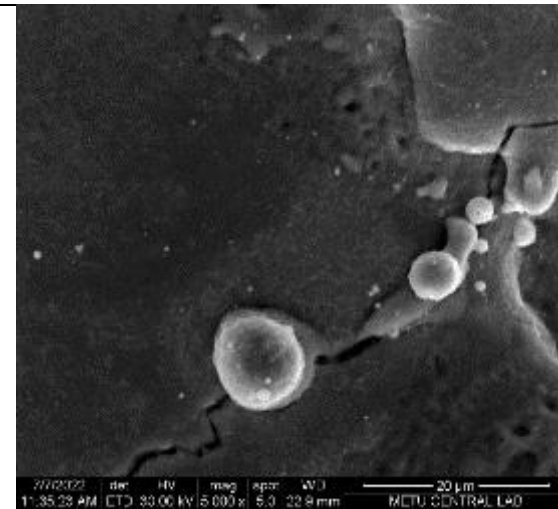
Şekil 3.45. Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü



Şekil 3.46. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü

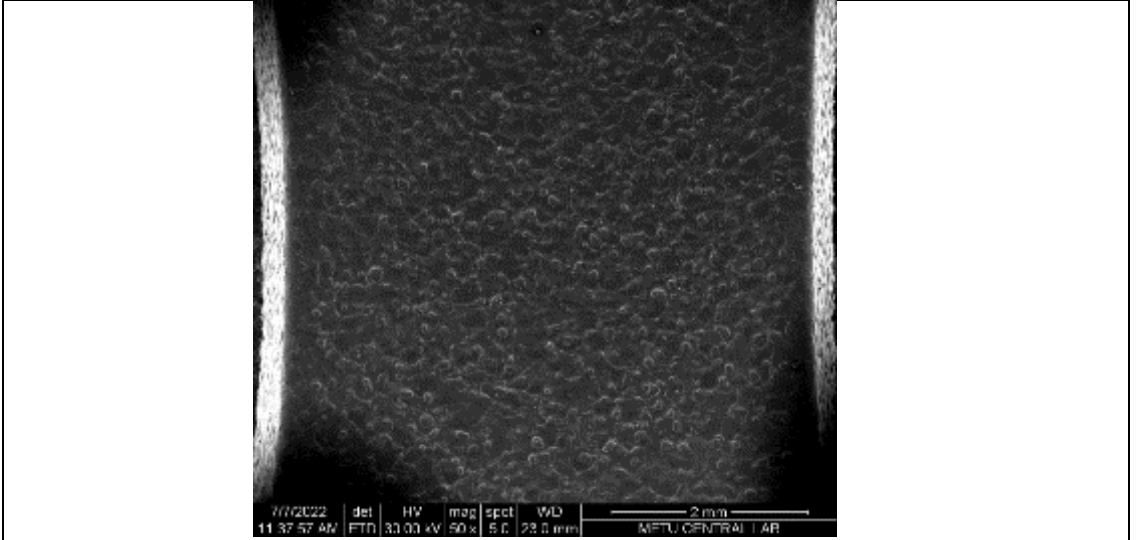


Şekil 3.47. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü

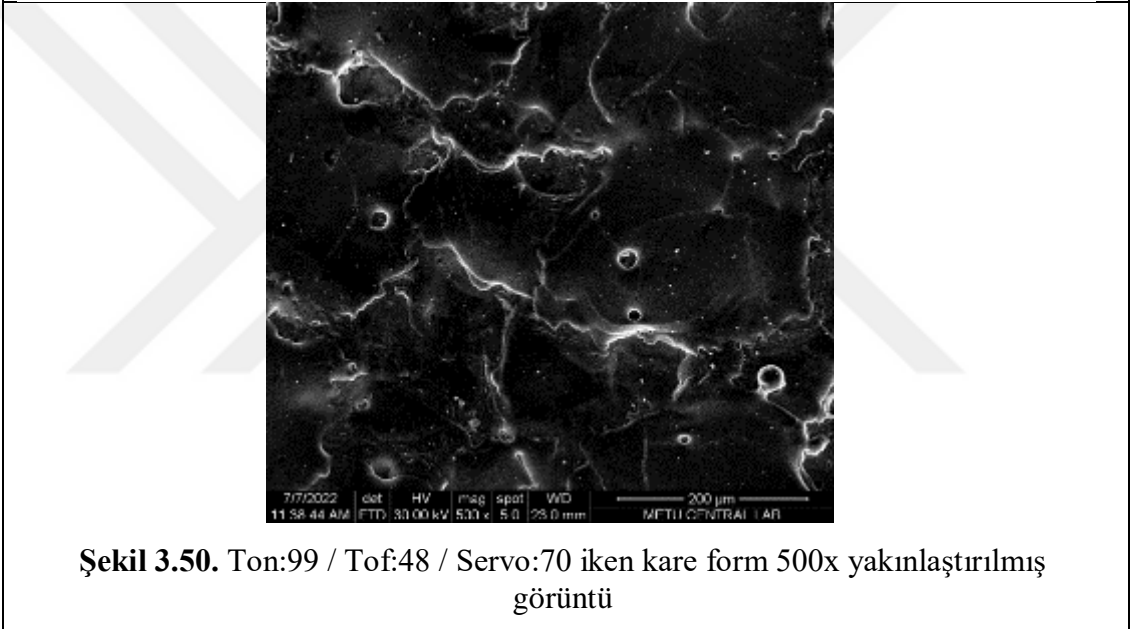


Şekil 3.48. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü

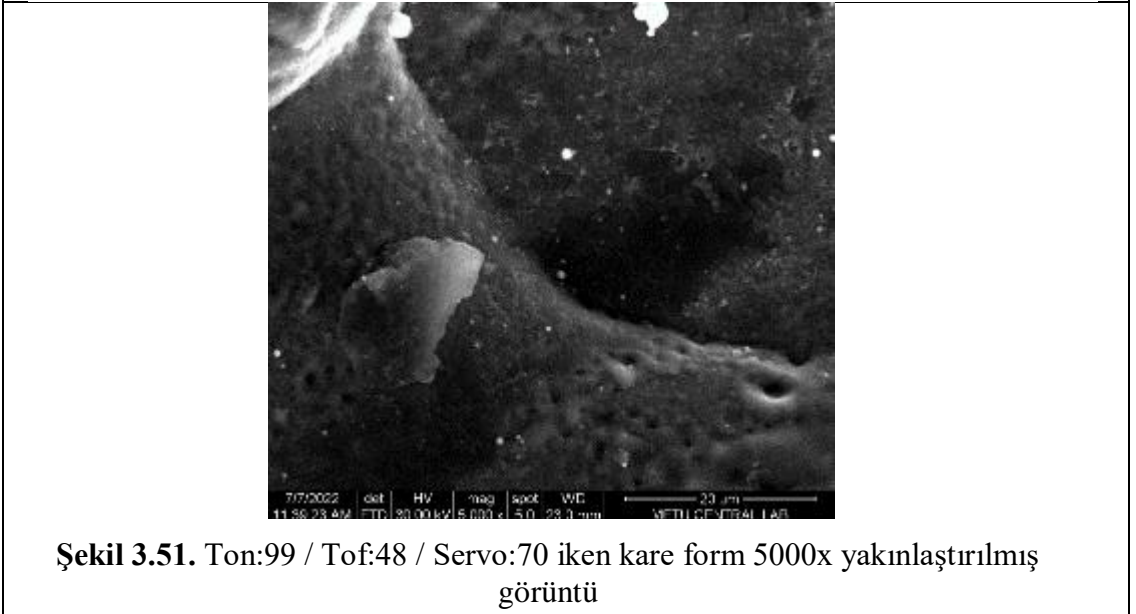




Şekil 3.49. Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken kare form 50x yakınlaştırılmış görüntü



Şekil 3.50. Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken kare form 500x yakınlaştırılmış görüntü

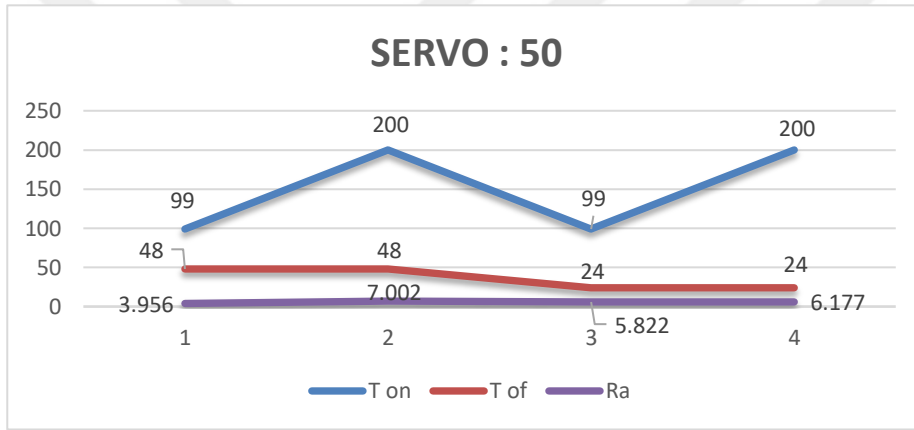


Şekil 3.51. Ton:99 / Tof:48 / Servo:70 iken kare form 5000x yakınlaştırılmış görüntü

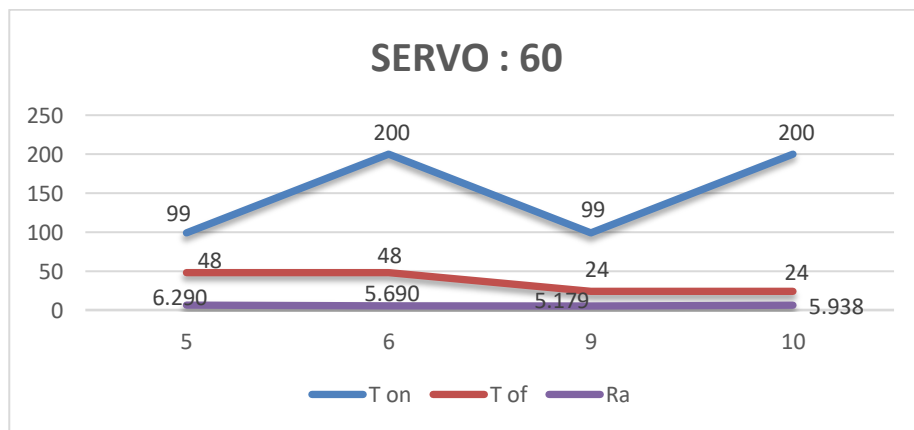
### 3.1.3. Değişen Parametrelerin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Tablo 3.4. Dalma erozyonda işleme parametreleri ve yüzey pürüzlülüğü değeri

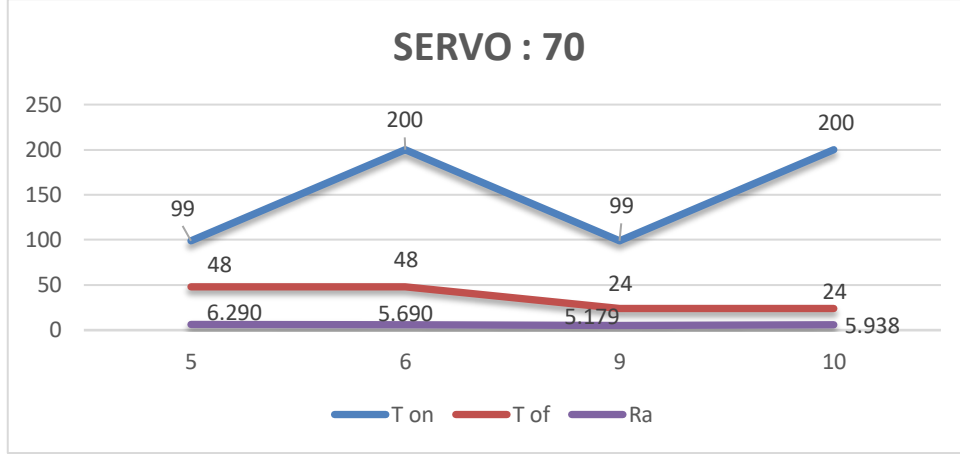
	T on (μs)	T of (μs)	Servo (V)	Ra (Silindir)	Ra (KARE)
1	99	48	50	3,956	7.025
2	200	48	50	7,002	7.155
3	99	24	50	5,822	5.185
4	200	24	50	6,177	6.124
5	99	48	60	6,290	4.949
6	200	48	60	5,690	5.029
7	99	48	70	5,038	4.706
8	200	48	70	6,571	-
9	99	24	60	5,179	-
10	200	24	60	5,938	-



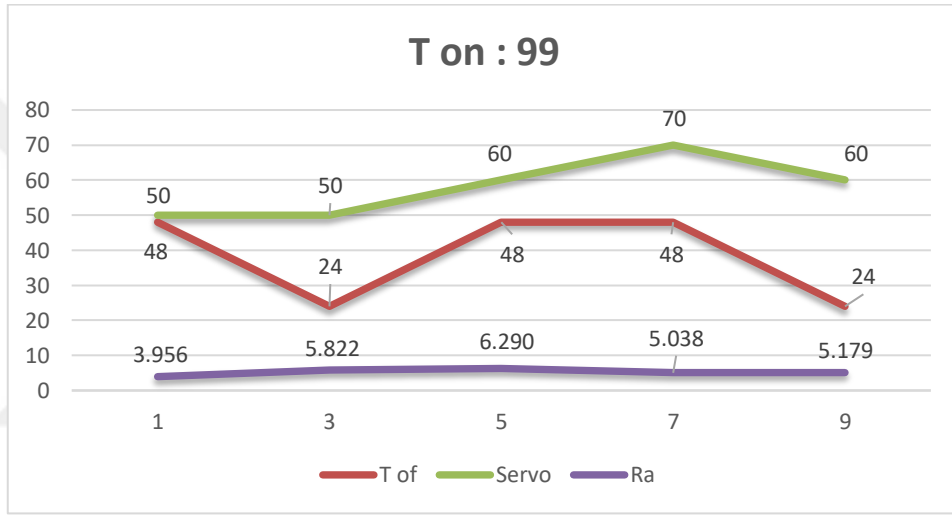
Şekil 3.52. Servo 50 iken Ton, Tof, Ra değerlerinin değişim grafiği



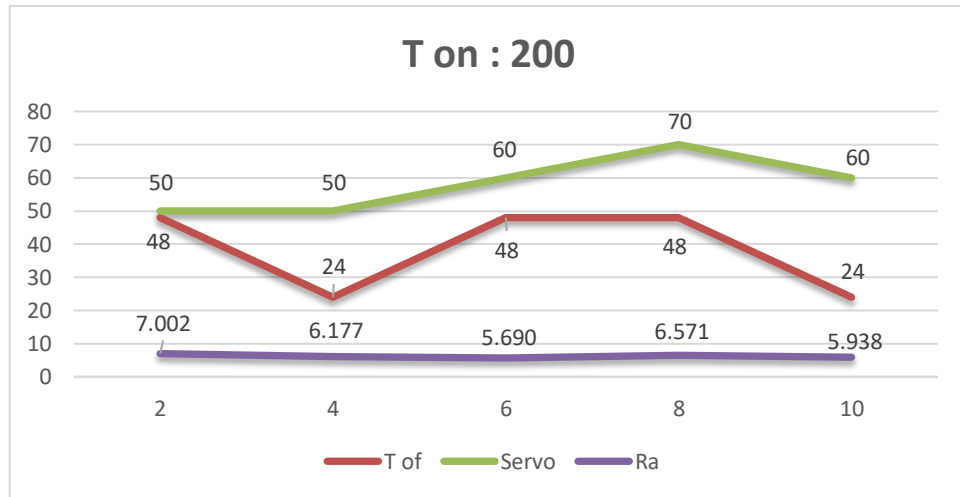
Şekil 3.53. Servo 60 iken Ton, Tof, Ra değerlerinin değişim grafiği



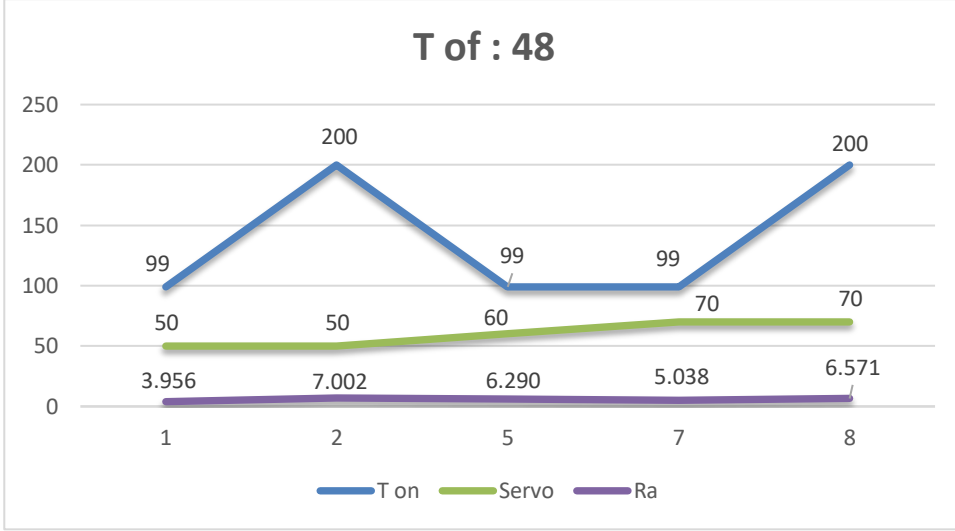
Şekil 3.54. Servo 70 iken Ton, Tof, Ra değerlerinin değişim grafiği



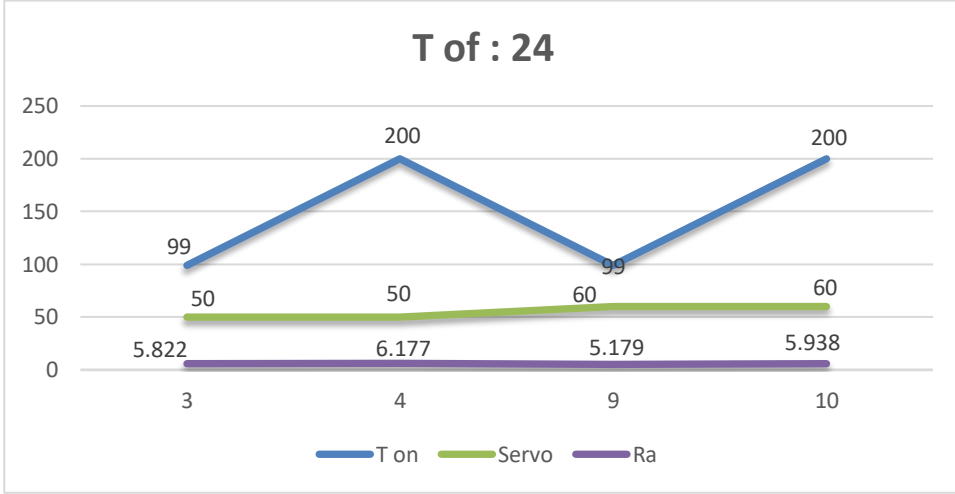
Şekil 3.55. Ton 99 iken Servo, Tof, Ra değerlerinin değişim grafiği



Şekil 3.56. Ton 200 iken Servo, Tof, Ra değerlerinin değişim grafiği



**Şekil 3.57.** Tof 48 iken Servo, Ton, Ra değerlerinin değişim grafiği



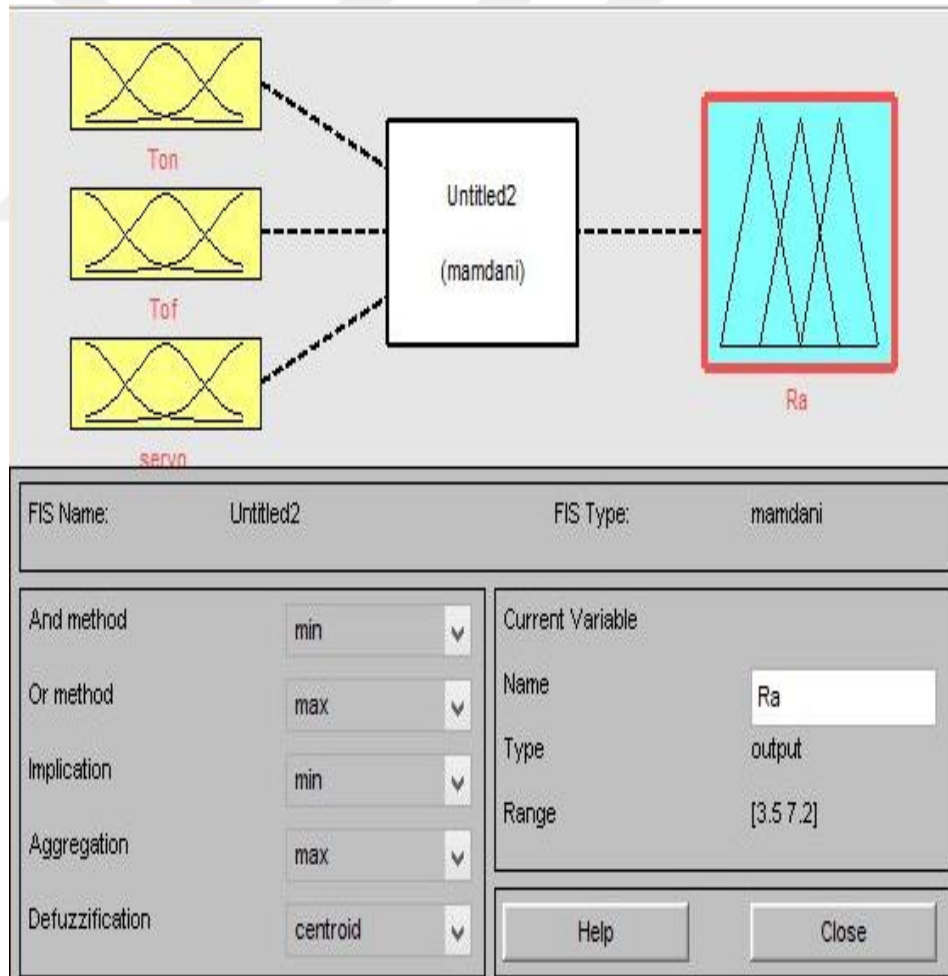
**Şekil 3.58.** Tof 24 iken Servo, Ton, Ra değerlerinin değişim grafiği

Şekil 3.57'deki grafiği incelediğimizde en iyi ve en kötü yüzey pürüzlülüğünün Tof'un 48, Ton ve Servo'nun değiştiği durumlarda görülmüştür.

## 4. YAPAY ZEKÂ

### 4.1. Bulanık Mantık Modeli

Bulanık mantık modeli için üç girişli ve tek çıkışlı bir sistem seçilmiştir. Bu sistemi Matlab programında Fuzzy Logic kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. Çıkarım mekanizması için Mandami yaklaşımı tercih edilmiştir. Girdi değeri olarak Tof, Ton ve Servo değerleri kullanılmıştır. Böylece üç farklı üyelik değerimiz seçilmiş ve bunları üçgen üyelik fonksiyonu kullanarak giriş değerleri tanımlanmıştır. Tek çıkış değeri olarak Ra alınmıştır. Ra için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak tanımlanmıştır. Bulanık mantık modeli şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Matlab programında bulanık mantık model

## 4.2. Bulanık Kümelerin Oluşturulması

Tablo 4.1’de Tof, Ton ve Servo için üyelik dereceleri gösterilmiştir. Belirlediğimiz giriş ve çıkış değerleri için, dilsel değerleri belirten bulanık kümeleri aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

- Ton: Düşük (D) ve Yüksek (Y)
- Tof: Düşük (D) ve Yüksek (Y)
- Servo: Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y)
- Ra: Çok Düşük (ÇD), Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y), Çok Yüksek (ÇY), Çok Çok Yüksek (ÇÇY)

**Tablo 4.1.** Tof, Ton ve Servo için üyelik dereceleri

T on ( $\mu$ s)		T of ( $\mu$ s)	Servo (V)	Üyelik Dereceleri
50-170		20-40	50-60	Düşük (D)
-		-	50-70	Orta (O)
120-250		30-60	60-70	Yüksek (Y)

Tablo 4.1’de verilen aralıklar deneysel çalışma yaparken kullandığımız işleme parametreleri ve çıkan sonuçlar göz önüne alınarak ayarlanmıştır. Örneğin Servo değeri için 50, 60 ve 70 şeklinde üç farklı değerde işleme yapılmıştır. Girdi değerlerimiz ile üç farklı durum elde edebileceğimizi düşünerek düşük, orta ve yüksek diye üç farklı aralıkta üyelik derecesi olarak tanımlama yapılmıştır.

**Tablo 4.2.** Yüzey pürüzlülüğü üyelik dereceleri

Ra (Yüzey Pürüzlülüğü)	Üyelik dereceleri
3.5-4.5	Çok Düşük (ÇD)
3.5-5.2	Orta (O)
4.5-5.5	Düşük(D)
5-6	Yüksek(Y)
5.5-6.5	Çok Yüksek(ÇY)
6-7.2	Çok Çok Yüksek(ÇÇY)

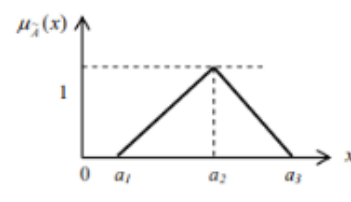
Yüzey pürüzlülüğü Çok Düşük (ÇD), Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y), Çok Yüksek (ÇY), Çok Çok Yüksek (ÇÇY) olarak 6 dilsel ifadeye dönüştürülmüştür. Tablo 4.2’de Ra için oluşturulan üyelik derecelerinin aralıkları verilmiştir. Ra değerimiz çıktığı değeri olduğu için aralıkları daha dar tutarak elde edeceğimiz sonuçları gerçeğe daha yakın olmasını sağlamak amaçlanmıştır. Verilen aralıklar ve karşılığı olan üyelik derecesi yapmış olduğumuz deneysel çalışmada ortaya çıkan sonuçlar baz alınarak verilmiştir. Örneğin elde edilen sonuçlar en yüksek değerimiz 7.002’dir. Tablo 9’da görüldüğü gibi 6 - 7.2 aralığındaki değerlere ÇÇY üyelik derecesi verilmiştir.

### 4.3. Üyelik Fonksiyonu

Yapılan diğer çalışmalarda üyelik fonksiyon türleri fonksiyon şeklinde yapılmıştır, farklı kaynaklar incelendiğinde de geometrik anlamda benzerlikleri üstünde çalışılmıştır. Pratik de en çok kullanılanları; üçgen, yamuk ve Gaussal üyelik fonksiyonlarıdır. Çalışmamıza en uygun olduğunu düşündüğüm üçgen üyelik derecesi aşağıda anlatılmıştır. Diğer üyelik fonksiyonlarından farkını anlatabilmek için yamuk üyelik fonksiyonu bilgileri aşağıda anlatılmaktadır.

### 4.3.1. Üçgen Üyelik Fonksiyonu

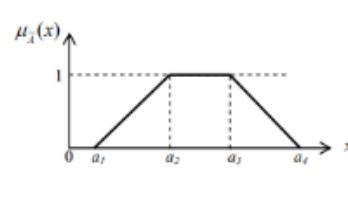
Üçgen üyelik fonksiyonları üç farklı parametre ile tanımlanmaktadır. Şekil 4.2'deki gibi a2 fonksiyonu gerçek değerini gösterirken a1 ve a3 arasındaki değerler destekleyici değerlerdir. Üçgen üyelik fonksiyonu şekli ve hesaplaması aşağıda görüldüğü gibidir [13].

$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \text{ veya } x > a_3 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & , a_2 \leq x \leq a_3 \end{cases}$$


Şekil 4.2. Üçgen üyelik fonksiyonu [13]

### 4.3.2. Yamuk Üyelik Fonksiyonu

Yamuk üyelik fonksiyonları dört farklı parametre ile tanımlanmaktadır. Şekil 4.3'deki gibi a2-a3 aralığı gerçek değerini gösterirken a1 - a2 ve a3 - a4 arasındaki değerler fonksiyonu destekleyici değerlerdir. Yamuk üyelik fonksiyonu şekli ve hesaplaması aşağıda görüldüğü gibidir [13].

$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3, a_4) = \begin{cases} 0 & , x < a_1 \text{ veya } x > a_4 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & , a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & , a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} & , a_3 \leq x \leq a_4 \end{cases}$$


Şekil 4.3. Yamuk üyelik fonksiyonu [13]

## 4.4. Bulanık Çıkarım Yöntemleri

Bulanık mantıkta çalışma yaparken kullanabileceğimiz pek çok çıkarım yöntemi mevcuttur. Bütün yöntemler birbirine benzer görevi yapar. Bu görev belirlenen kurallar yardımı ile yeni bilgi çıkarmaktır. Birbirleri arasındaki farklar kullanılacak yöntemi seçmede etkin rol oynamaktadır. Üzerinde çalışılan problemin verimliliği, karışık olması gibi durumlar göz önüne alınarak çıkarım yöntemi belirlenir. En çok tercih edilen çıkarım yöntemleri; Mamdani çıkarımı ve Sugeno çıkarımıdır.



Bu yöntemlerden farklı olarak; Tsukamoto çıkarımı ve Larsen çıkarımı yöntemleri de bulunmaktadır. Ancak literatürde en sık kullanılan ve en çok bilinen çıkarım yöntemleri oldukları için Mamdani ve Sugeno yöntemleri incelenmiştir. Çıkarım yönteminin ismi onu geliştiren kişinin soyadını almaktadır [13].

#### 4.4.1. Mamdani Çıkarımı

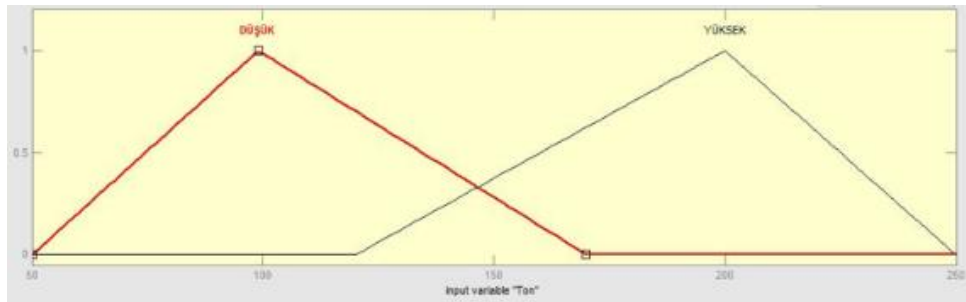
İlk kez İbrahim Mamdani bu konuda çalışma yapmıştır. Diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha fazla kullanılmıştır. Bunun en önemli sebebi bu çıkarımının insanların anlamasının daha kolay ve yorumlanabilir olmasıdır [13].

#### 4.4.2. Sugeno Çıkarımı

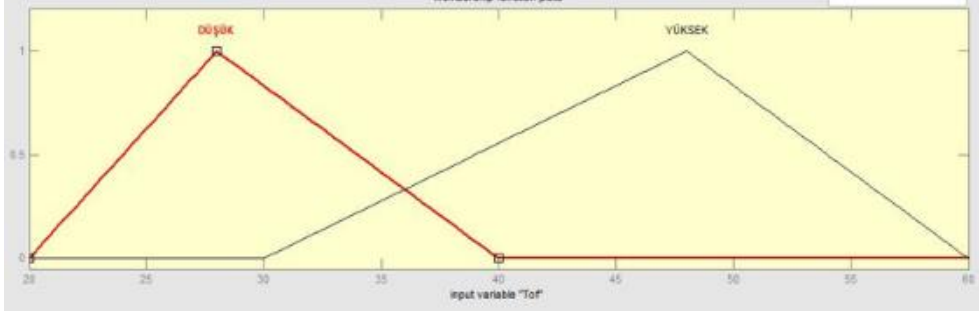
Kontrol problemlerinde daha fazla tercih edilir. Bu yöntemin Mamdani yönteminden en büyük farkı Sugeno çıkarımının çıkış değerlerini fonksiyon olarak vermesidir. Fonksiyonlar sayesinde durulaştırma yapılariken hesaplamalar oldukça basit hale gelmektedir [13].

### 4.5. Üyelik Fonksiyonlarının Oluşturulması

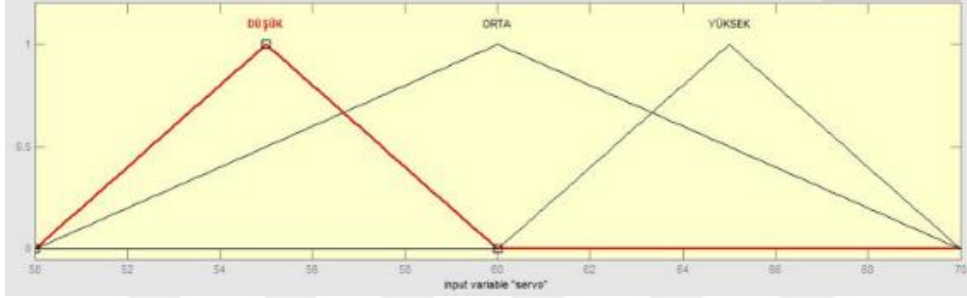
Belirtilen bulanık kümeler için üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır, aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.



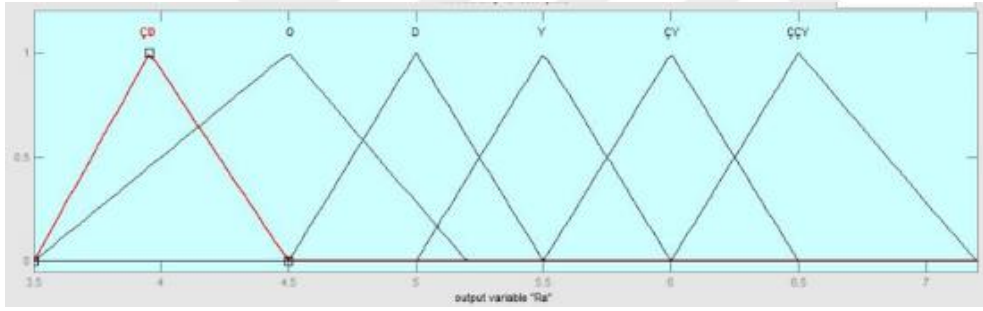
**Şekil 4.4.** Ton için belirlenmiş üçgen üyelik fonksiyonu



**Şekil 4.5.** Tof için belirlenmiş üçgen üyelik fonksiyonu



**Şekil 4.6.** Servo için belirlenmiş üçgen üyelik fonksiyonu



**Şekil 4.7.** Ra için belirlenmiş üçgen üyelik fonksiyonu

Dilsel değerler için aralıkların belirlenmesi deneme yöntemi ile belirlenmiştir. Değerlerimiz belli bir aralıkla attığı için ve sabit olarak devam etmediği için üçgen üyelik yöntemi kullanılmıştır. Üçgen üyelik yönteminde başlangıç değeri, kendi değerimiz ve aralığın son değeri gibi bilgiler girilmektedir yapmak istediğimiz çalışmada da tam olarak böyle bir aralık hedeflenerek Fuzzy Logic sistemi uygulanmak istendiği için üçgen üyelik fonksiyonu tercih edilmiştir.

#### **4.6. Kuralların Oluşturulması**

Giriş parametrelerine karşılık olarak Ra tahmini için girilen kurallar aşağıdaki şekil 4.8'de verilmiştir. Kurallar yazılırken (AND) bulanık operatörü kullanılmıştır.

1. If (Ton is düşük) and (Tof is yüksek) and (servo is düşük) then (Ra is 1) (1)  
2. If (Ton is yüksek) and (Tof is yüksek) and (servo is düşük) then (Ra is 2) (1)  
3. If (Ton is düşük) and (Tof is düşük) and (servo is düşük) then (Ra is 3) (1)  
4. If (Ton is yüksek) and (Tof is düşük) and (servo is düşük) then (Ra is 4) (1)  
5. If (Ton is düşük) and (Tof is yüksek) and (servo is orta) then (Ra is 5) (1)  
6. If (Ton is yüksek) and (Tof is yüksek) and (servo is orta) then (Ra is 6) (1)  
7. If (Ton is düşük) and (Tof is yüksek) and (servo is yüksek) then (Ra is 7) (1)  
8. If (Ton is yüksek) and (Tof is yüksek) and (servo is yüksek) then (Ra is 8) (1)  
9. If (Ton is düşük) and (Tof is düşük) and (servo is orta) then (Ra is 9) (1)  
10. If (Ton is yüksek) and (Tof is düşük) and (servo is orta) then (Ra is 10) (1)

If Ton is and Tof is and servo is Then Ra is

düşük yüksek none düşük yüksek none düşük orta yüksek none 10 1 2 3 4 5

not  not  not  not

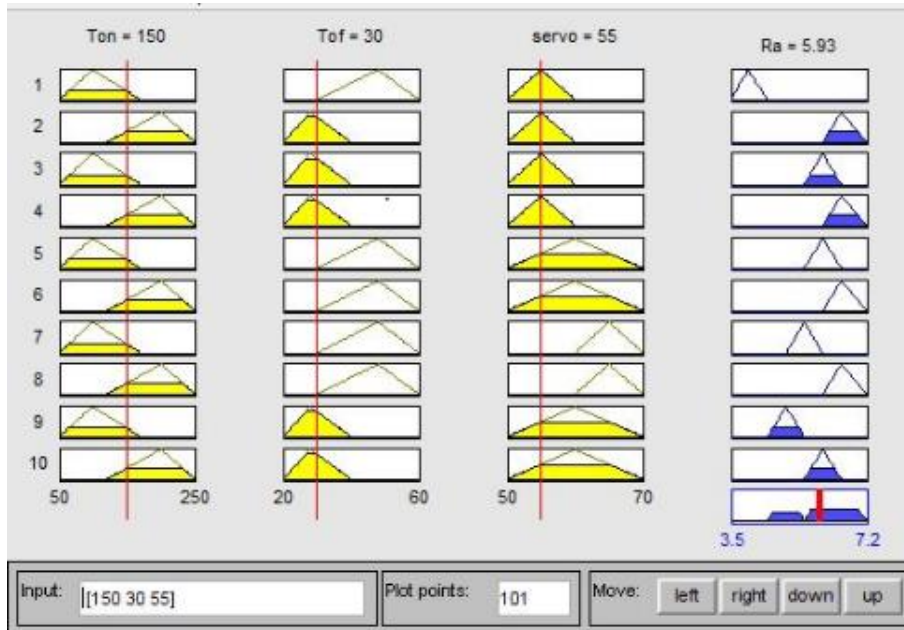
Connection:  or  and Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

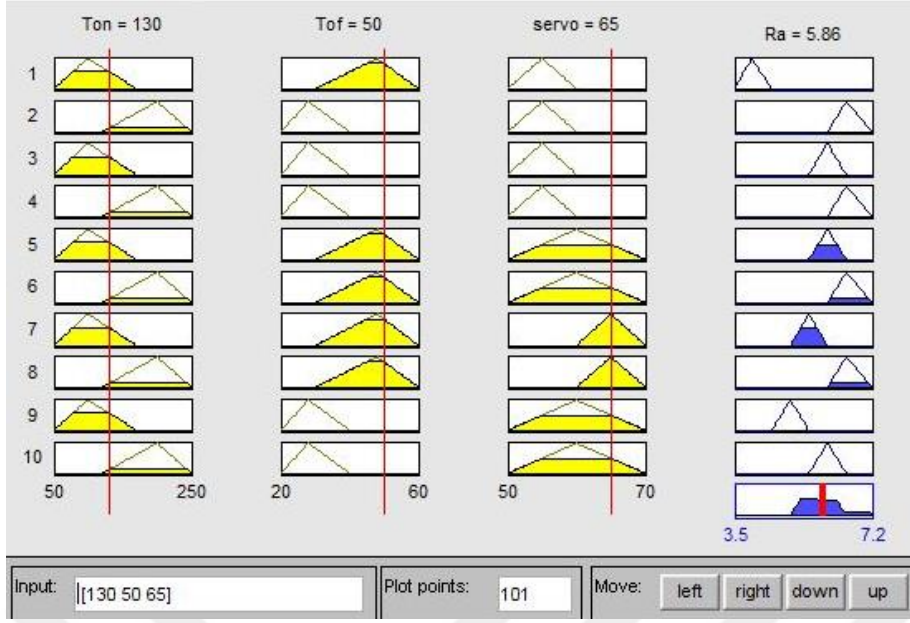
Şekil 4.8. Ra tahmini için girilen kurallar

#### 4.7. Durulaştırma

Durulaştırma için alan merkezi yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle her bir kuraldan gelen çıkış değeri için; Şekil 4.9’da gösterilen, üyelik fonksiyonlarını ağırlık merkezine göre çıkış değeri hesaplatılmıştır. Üç farklı hesaplatma örneği aşağıda yer almaktadır.

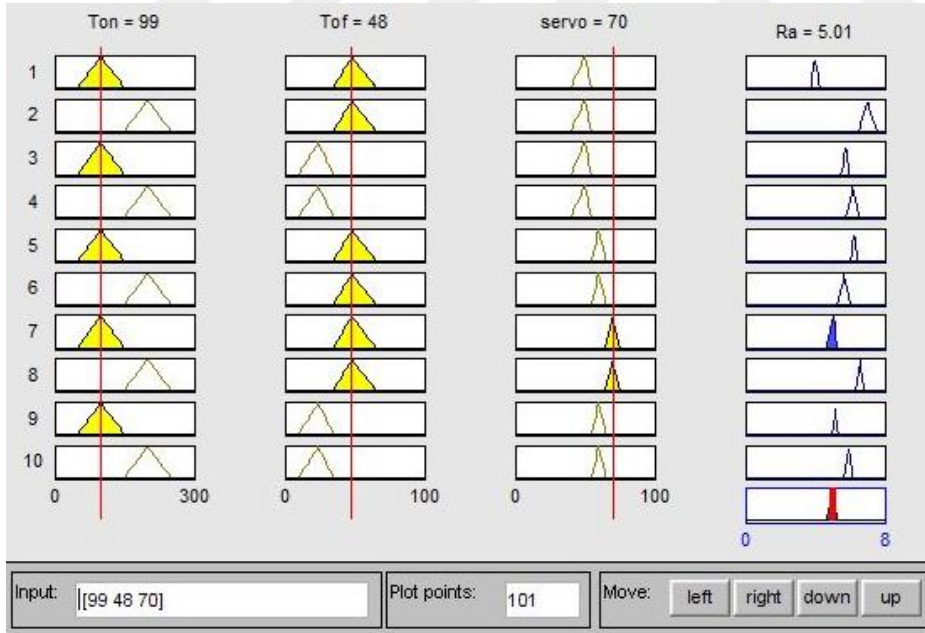


Şekil 4.9. Ton : 150 Tof : 30 Servo : 55 olduğu durumda Ra : 5.93 çıkmaktadır.



**Şekil 4.10.** Ton : 130 Tof : 50 Servo : 65 olduğu durumda Ra : 5.86 çıkmaktadır.

Girdi değerlerimiz Ton : 99 Tof : 48 Servo : 70 olan deneyimizde Ra değeri 5.08 bulunmuştu. Fuzzy Logic ile yapmış olduğumuz çalışmada aşağıdaki Şekil 4.1’de Ra değeri 5.01 bulunarak çok yakın bir değer elde ettiğimizi görmekteyiz.



**Şekil 4.11.** Ton : 99 Tof : 48 Servo : 70 olduğu durumda Ra : 5.01 çıkmaktadır.

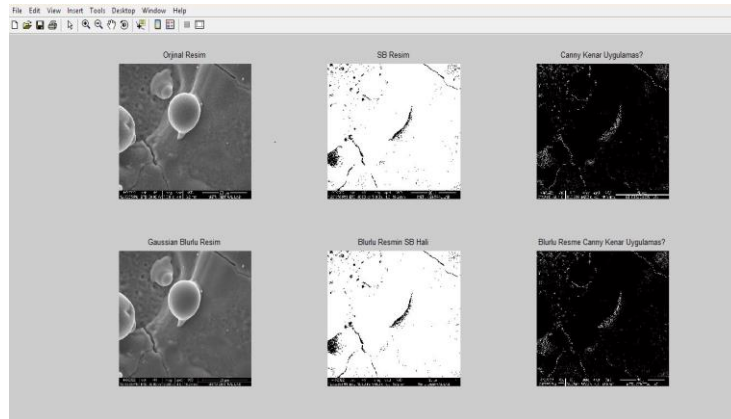
Bulanık mantık ile bir optimizasyon problemini çözümlene yaptık. Çıkan sonuçlara baktığımızda deneyde yaptığımız ölçüm sonuçlarına birebir aynı değerler çıkmasa da yakın değerler elde ederek çalışmamızın doğruluğunu göstermiş olduk.

## 5. GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE KRATER ve ÇATLAK TAYİNİ

Canny kenar uygulaması ile istenilen resimdeki nesnelereki çatlaklar tespit edilebilir, belirginleştirilebilir ve özellikleri belirlenebilir. Kenar belirleme algoritmaları temel olarak, görsel üzerindeki piksellerin renk değerlerinin birbirlerinden farklılaşması ile belirlenir.

Aşağıdaki şekillerde Matlab uygulaması yardımıyla yazılan kodlar yardımı ile orijinal resimlerin siyah beyaza çevrilmiş, Canny kenar uygulaması bulunmaktadır. Ardından, aynı orijinal resme Gaussian filtre kullanılarak blur işlemi gerçekleştirilmiş ve blurlu resmin siyah beyaza çevrilmesi ve ardından Canny kenar uygulaması bulunmaktadır. Orijinal resme Canny kenar yaklaşımında, tüm kenarları bulmayı amaçlanmıştır. Ama bunun yanı sıra desenleri de kullanılmıştır. Resim bulanıklaştıktan sonra kalıcılığındaysa, desenler biraz daha azalmış ve ilk uygulama ile aralarında oluşan bazı yerlerdeki desenleri değiştirmiş, kopmalar ya da tamamlamalar vermiştir. Canny diğer kenar öğeleri aralarındaki en detay veren öğelerdir. Desenleri en çok belli eden de bu uygulamadır.

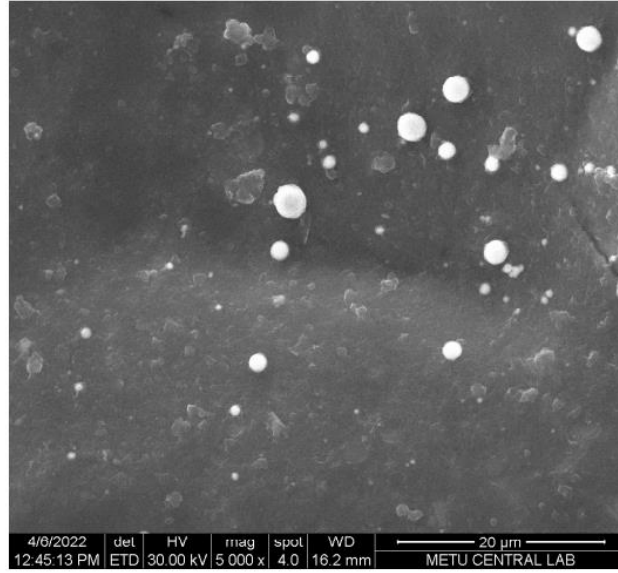
Şekil 5.1'de Matlab programında görüntü işleme yapılan resmin örnek çıktıları verilmiştir. Görseller incelendiğinde orijinal resmin dışında 5 farklı görüntü elde edilmiştir.



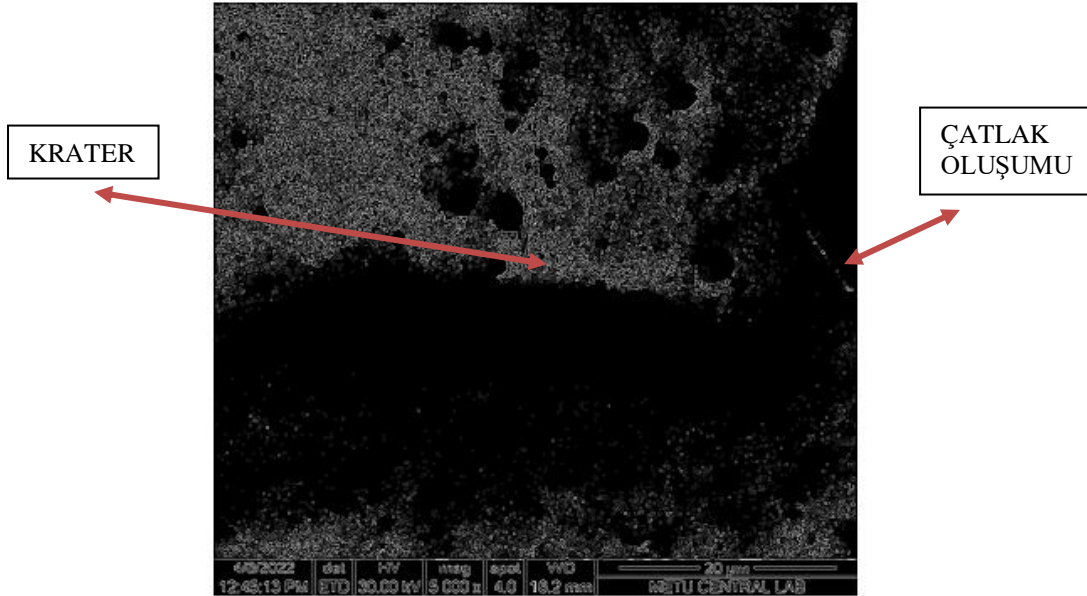
Şekil 5.1. Matlab programında görüntü işleme yapılan resmin örnek çıktıları.

Şekil 5.2, Şekil 5.4, Şekil 5.6, Şekil 5.9, Şekil 5.12' de 5000x yakınlaştırılmış SEM görüntüleri verilmiştir.

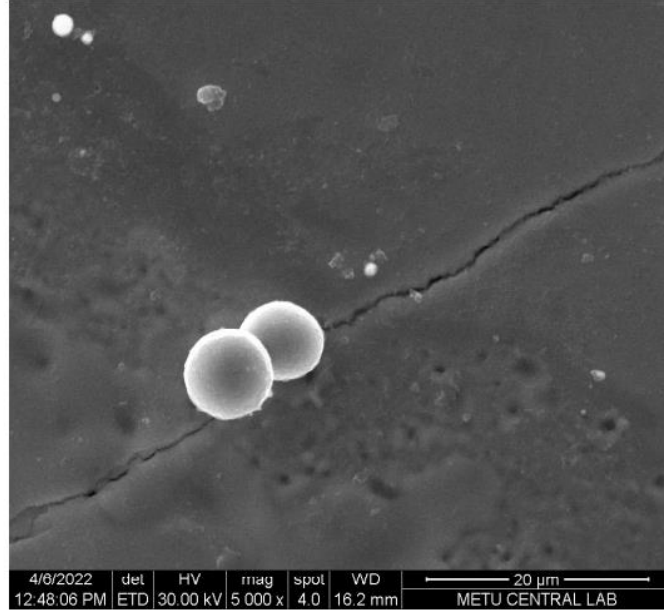
Şekil 5.3, Şekil 5.5, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.13'de 5000x yakınlaştırılmış olan şekillerin Canny kenar yöntemi ile elde edilen görselleri yer almaktadır. Bu görsellerde çatlak, eriyikler ve kraterler gösterilmiştir.



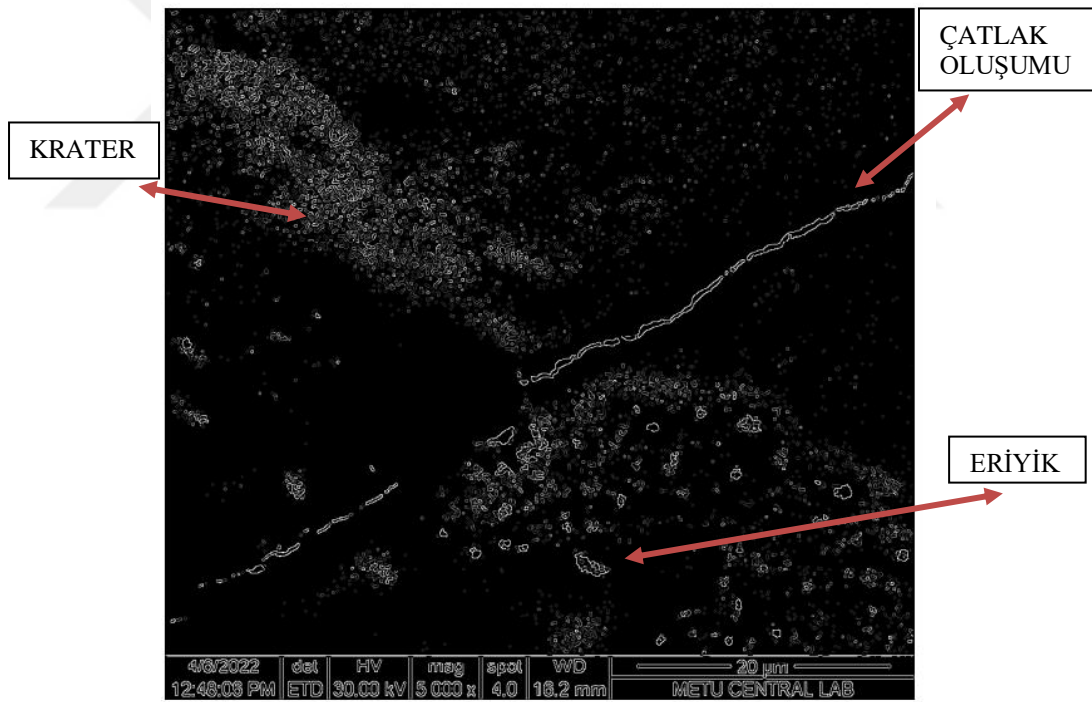
Şekil 5.2. Ton:99 / Tof:48 / Servo:50 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü



Şekil 5.3. Şekil 5.2 'nin Canny kenar uygulaması ile çatlak ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli.

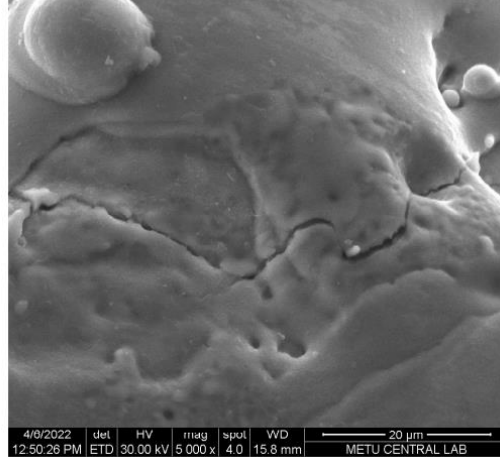


Şekil 5.4. Ton:200 / Tof:48 / Servo:50 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü

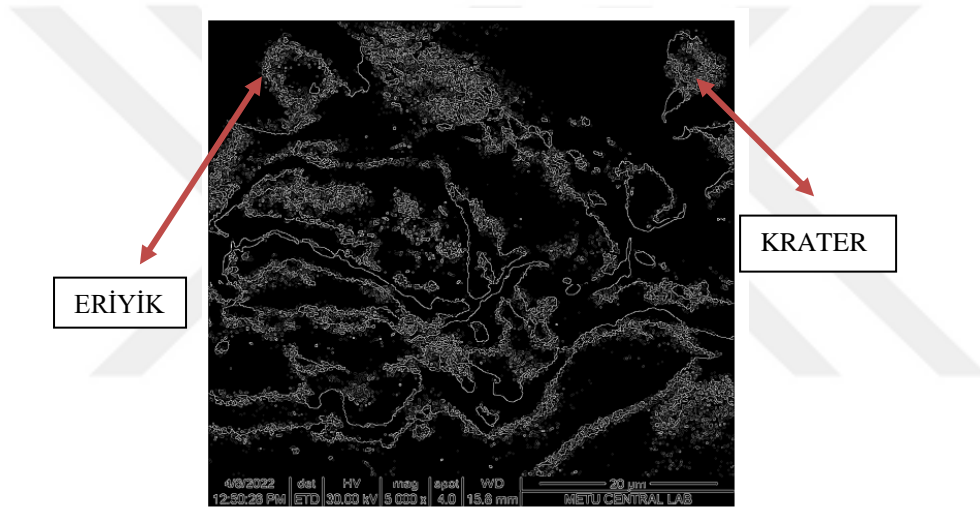


Şekil 5.5. Şekil 5.4 'ün Canny kenar uygulaması ile çatlak eriyik ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli

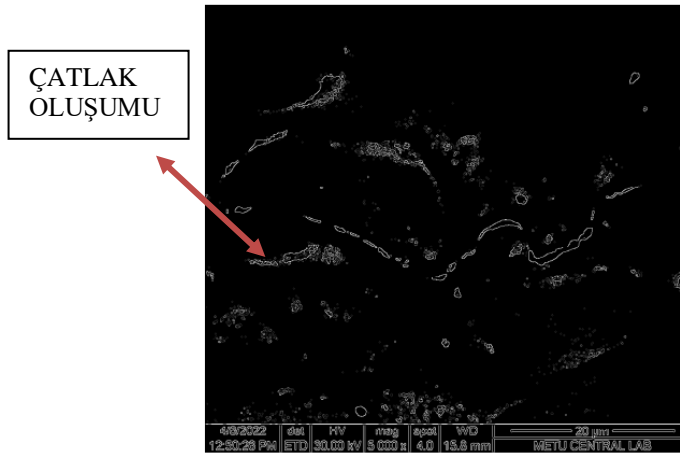
Şekil 5.7 ve şekil 5.8'de siyah beyaza döndürme değerinde değişiklikler yapılarak çatlaklar daha belirgin hale getirilmiştir. Orijinal resim ile Şekil 5.7 ve 5.8 karşılaştırıldığında resimde krater veya çatlak oluşumu olmayan bölgelerde renk değerlerinden kaynaklı adacıklar ortaya çıkmıştır. Deneme yanılma yöntemi kullanılarak yapılan renk ayarıyla bu adacıklar kenar görüntüsünde filtrelenmiştir.



Şekil 5.6. Ton:99 / Tof:24 / Servo:50 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü



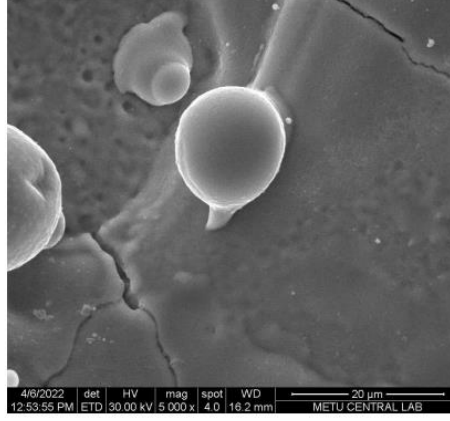
Şekil 5.7. Şekil 5.6 'nin Canny kenar uygulaması ile eriyik ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli.



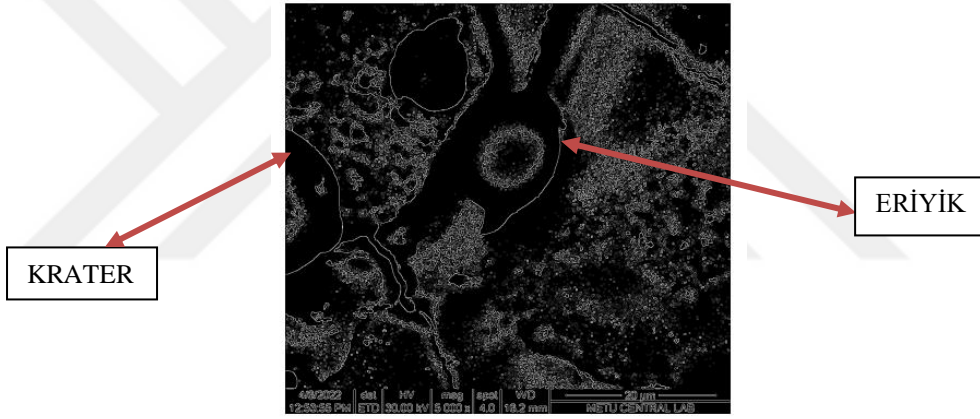
Şekil 5.8. Şekil 5.6 'nin Canny kenar uygulaması ile çatlakların belirginleştirilmiş görseli.



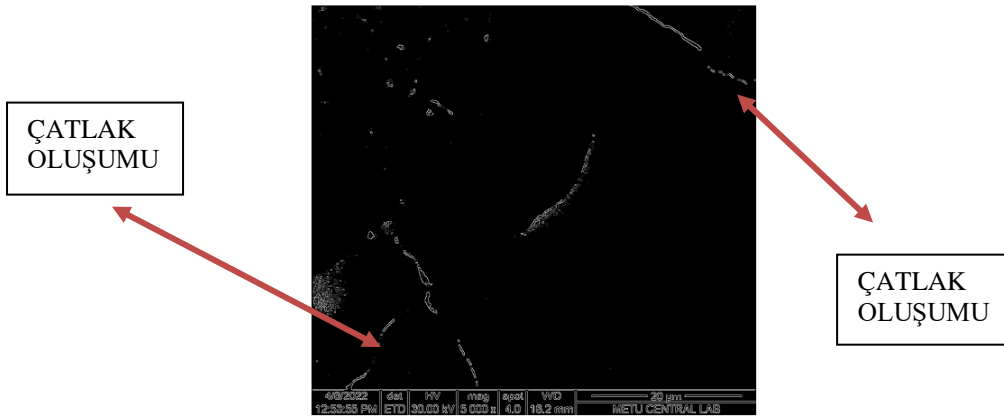
Şekil 5.10 ve şekil 5.11’de siyah beyaza döndürme değerinde değişiklikler yapılarak çatlaklar daha belirgin hale getirilmiştir.



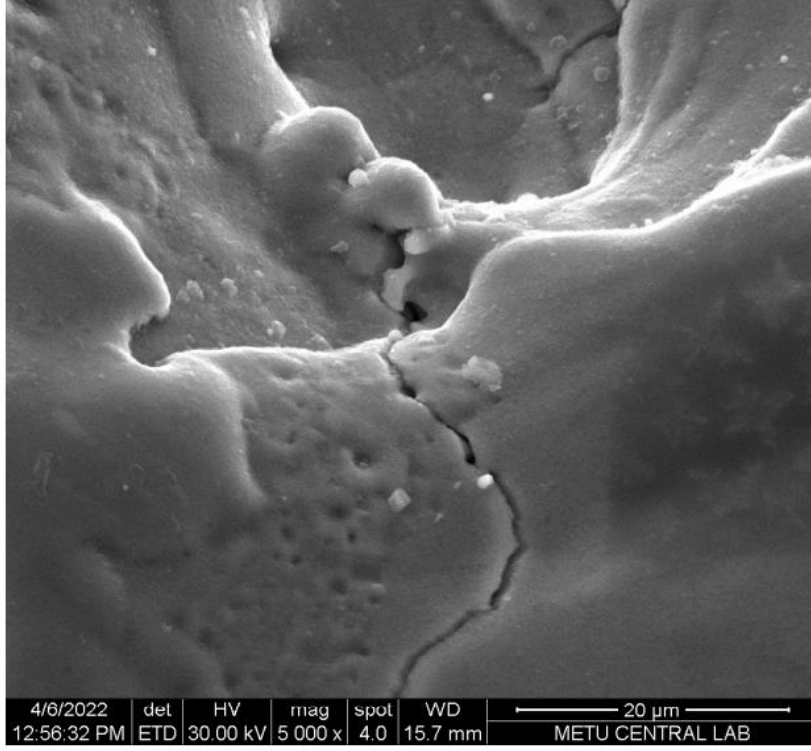
Şekil 5.9. Ton:200 / Tof:24 / Servo:50 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü



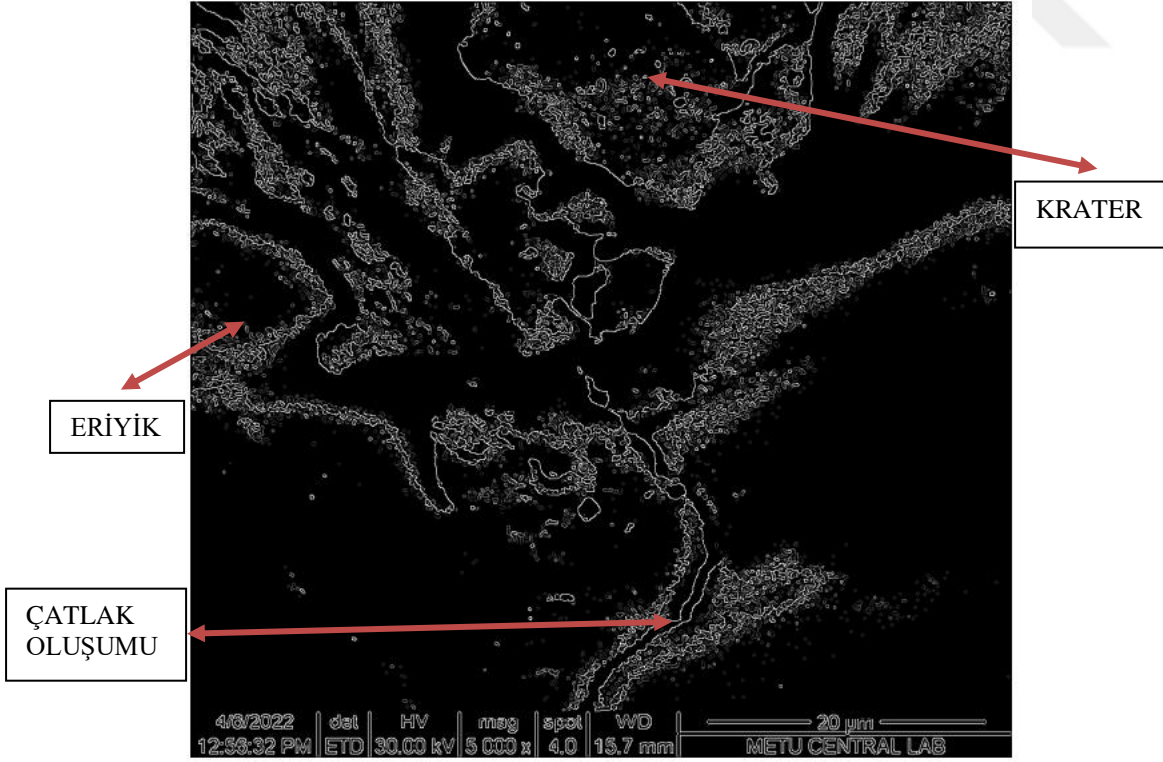
Şekil 5.10. Şekil 5.9 ‘nin Canny kenar uygulaması ile eriyik ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli



Şekil 5.11. Şekil 5.9 ‘nin Canny kenar uygulaması ile çatlakların belirginleştirilmiş görseli.



Şekil 5.12. Ton:99 / Tof:48 / Servo:60 iken silindirik formun 5000x yakınlaştırılmış görüntüsü



Şekil 5.13. Şekil 5.12 'nin Canny kenar uygulaması ile çatlak, eriyik ve kraterlerin belirginleştirilmiş görseli

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

1. Bu çalışmada farklı işleme parametrelerinde ve iki farklı formda dalma erozyon işleme yapılmıştır. Servo, Ton ve Tof değişken parametre olarak belirlenmiştir. Elektrot olarak bakır elektrot kullanılmıştır. İşlemler neticesinde yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve SEM görüntüleme de mikro yapıları incelenmiştir. Buna ait sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.
2. Inconel 718 malzemenin dalma erozyonda işlenmesi sırasında Ton değerinin yüksek olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü değeri yüksek çıkmaktadır.
3. Dalma erozyon işlemi sonrasında yüzey pürüzlülük değeri incelendiğinde en iyi değer Servo 50, Ton:99 ve Tof: 48 olduğu durumda görülmüştür.
4. Dalma erozyon ile Inconel 718 malzeme için işleme sonucunda elde edilen SEM görüntüleri incelemesinde silindirik veya kare kesitli bir geometrinin işlenmesinin yüzey kalitesi bakımından bazı farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Silindirik geometri ile işlemede küresel buble oluşumunun kare kesitli elektrota göre daha fazla olduğu ve yine silindirik kesitli elektrot ile işlenen yüzeyde mikro çatlak oluşumunun kare kesitli elektrota göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.
5. Dalma erozyon Inconel 718 işlemlerinde dalma erozyon parametrelerinden Ton ve Tof'un Servo'ya oranla daha etkili olduğu görülmektedir.
6. Ton'daki artış mikro çatlak oluşumunu artırırken, Tof'un artışı çatlak oluşumunu etkilemezken çatlak boyutunu azaltma yönündedir.
7. SEM görüntüleri incelendiğinde voltaj arttıkça kraterlerde azalma görülmüş olup kraterlerden kenarlara doğru çatlak artışı izlenmiştir.
8. Bekleme süresi arttıkça soğumadan kaynaklı çatlaklar oluşmuştur
9. Akımla beraber krater, eriyik ve çatlak sayısı artmıştır

10. Tüm malzemelerin yüzeylerinde krater, çatlak, eriyik, küresel parçacıklar görülmüştür.
11. Malzeme termal yük altında aşınmaya maruz kalmıştır.

## **6.2. Öneriler**

1. Inconel 718 malzemenin dalma erozyon işleminde Ton parametresinin düşük Tof parametresinin biraz daha yüksek olması önerilmektedir.
2. Görüntü işlemin otomatik tanınmasında farklı değerler verilerek görüntü daha belirgin hale getirilebilir ve çatlak ve krater oluşumları gözlemlenebilir.
3. Bulanık mantık yönteminde test ve eğitme sayılarının artırılarak yeniden kullanılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Teknovak (2021). Süper Alaşım Nedir? Nerelerde Kullanılır?  
<https://www.teknovak.com/super-alasim-nedir-nerelerde-kullanilir/> Erişim Tarihi: 11.12.2022.
- [2] Birçelik (2022). Inconel 718.  
<https://bircelik.com/tr/kategori/Inconel-718/> Erişim Tarihi: 15.08.2022.
- [3] İnanır, Z. (2012). Yüksek çalışma sıcaklıklarının Inconel 718 alaşımının yapısal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Uzunonat, Y. (2012). TIG kaynağı uygulanmış Inconel 718 malzemenin darbe dayanımının incelenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [5] Wikipedia (2022). Elektroerozyon.  
<https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektroerozyon/> Erişim Tarihi: 16.08.2022.
- [6] Makine Eğitimi (2022). Elektroerozyonun dezavantajları.  
<https://www.makinaegitimi.com/elektro-erozyon-isleminin-avantajlari-ve-dezavantajlari/> Erişim Tarihi: 11.12.2022.
- [7] SKC Karbon (2019). Dalma Erozyon Elektrot Uygulamaları.  
<https://www.skckarbon.com.tr/TR/4-sektorler/257-dalma-erozyon-elektrot-uygulamalari/> Erişim Tarihi: 11.12.2022.
- [8] Wikipedia (2019). Taramalı elektron mikroskobu.  
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Taramali% C4% B1\\_elektron\\_mikroskobu/](https://tr.wikipedia.org/wiki/Taramali_elektron_mikroskobu/) Erişim Tarihi: 16.08.2022.
- [9] Makine Eğitimi (2022). Teknik Resimde Yüzey Pürüzlülüğü.  
<https://www.makinaegitimi.com/teknik-resimde-yuzey-puruzlulugu/> Erişim Tarihi: 22.08.2022.
- [10] Elmas, Ç. (2003). Bulanık Mantık Denetleyiciler (0. baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- [11] Digital Report (2020). Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) nedir?  
<https://digitalreport.com.tr/bulanik-mantik-fuzzy-logic-nedir-nasil-calisir-tarihi-uygulamalari-24179/> Erişim Tarihi: 22.08.2022.
- [12] Ataşoğlu A. (2019). Bulanık Mantık, Bulanık Kurallar ve Çıkarım.  
[https://ahmetatasoglu98.medium.com/bulan%C4%B1k-mant%C4%B1k-3-bulan%C4%B1k-kurallar-ve-%C3%A7%C4%B1kar%C4%B1m-8f9d411080c,](https://ahmetatasoglu98.medium.com/bulan%C4%B1k-mant%C4%B1k-3-bulan%C4%B1k-kurallar-ve-%C3%A7%C4%B1kar%C4%B1m-8f9d411080c) Erişim Tarihi: 22.08.2022.

- [13] Ataşoğlu A. (2019). Bulanık Mantık, Bulanık Sistem Uygulaması. <https://ahmetatasoglu98.medium.com/bulan%C4%B1k-mant%C4%B1k-4-bulan%C4%B1k-sistem-uygulamas%C4%B1-f346d35af51/> Erişim Tarihi: 22.08.2022.
- [14] Aydoğdu, D. (2010). Tel erozyonda kesme parametrelerinin parçanın boyut ölçüsüne etkilerinin deneysel incelenmesi. *Makine Teknolojileri Dergisi* 7(13), 31-44.
- [15] Göv, K. (2017). Havacılık ve uzay malzemelerinde soğutma sıvısının elektro erozyonla delinen deliklerin performans parametrelerine etkisinin deneysel incelenmesi. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 32(1), 293-301.
- [16] Okka, M. A. ve Yılmaz, O. (2009). Uzay ve havacılık malzemelerinde elektriksel erozyon ile hızlı deli delme performansının deneysel incelenmesi. 5. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi. Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep, Türkiye, 17-18 Ekim.
- [17] Erdem, O. ve Coğun, C. (2016). Toz katkılı ve ısıtılmış dielektriğin elektro erozyon ile işlemede (EEİ) delik delme performansı üzerine etkisi. *Mimarlık Fakültesi Dergisi* 31(3), 531-544.
- [18] Gülcan, O. ve Uslan, İ. (2015). Elektro erozyon ile işlemede Cu-Cr T/M elektrot kullanımının işleme performansına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 30(3), 0.
- [19] Yıldız, Y. (2010). Soğuk ve kriyojenik işlemlerle bakır elektrot ve berilyum-bakır alaşımını iş parçalarının elektro erozyon işleme performansına etkileri. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [20] Beri, N. ve Maheshwari, S. (2014). Surface quality modification using powder metallurgy processed CuW electrode during electric discharge machining of Inconel 718. *Procedia Materials Science*, 5, 2629-2634.
- [21] Kalyon A. (2019). Alüminyum 6082 alaşımının pirinç elektrot ile işlenebilirliğinin optimizasyonu. *ECJSE*, 6(1), 118-130.
- [22] Chen, S. L. Yan, B. H. (1999). Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, 87, 107-111.
- [23] Jilani, S. T. ve Pandey, P. C. (1984). Experimental investigations into the performance of water as dielectric in EDM. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, 24, 31-43.
- [24] Syed, K. H. ve Palaniyandi, K. (2012). Performance of electrical discharge machining using aluminium powder suspended distilled water. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 36, 195-207.
- [25] Medellin, H. I. ve Lange, D. F. (2009). "Experimental study on electrodischarge machining in water of D2 tool steel using two different electrode materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture*, 223(11), 1423- 1430.

## ÖZGEÇMİŞ

