



## Dalma ve Tel Erozyon İle İşlenen Geometrilere İşleme Parametrelerinde Oluşan Yüzeylerin Deneysel Olarak İncelenmesi

### Holes Drilled by Electro Erosion and Wire Erosion Experimental Investigation of Surfaces Formed by Changing Cutting Parameters

Oğuzhan Can<sup>1</sup> , Yusuf Işık<sup>2</sup> , M. Taylan Daş<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 71450 Yahşihan, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 16/08/2022

Kabul / Accepted: 02/12/2022

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2023

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2023

#### Öz

BBu çalışma, Inconel 718 ve Ti-6Al-4V malzemelerine tel erozyon ve dalma erozyon ile kare ve silindirik geometri delik formu işlemleri yapılarak, EDM (Electrical discharge machining) parametrelerinin yüzey kalitesine etkileri ve en iyi yüzey kalitesine ulaşmak amaçlanmıştır. Havacılık endüstrisinde kullanım alanları artmakta olan Inconel 718 ve Ti-6Al-4V malzemelerin tok ve sert özelliklerinden dolayı talaşlı imalat ile üretim sürecinde takım sarfiyatının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca talaşlı imalat sonrası elde edilen yüzey kalitesi, elektro erozyon ile elde edilen yüzeyden daha kötü olduğu için dalma erozyon ve tel erozyon gibi alışılmamış imalat yöntemleri bu çalışmada tercih edilmiştir. Değişken dalma erozyon parametreleri olarak; darbe süresi (Ton), bekleme süresi (Toff) ve servo – kontrol voltajı, sabit olarak servo ilerleme hızı alınmıştır. Değişken tel erozyon parametreleri olarak SF (kesim hızı), sabit parametreler olarak MAO (Mikroark Oksidasyon), WP (Su Basıncı), tel çapı alınmıştır. Deneysel tel erozyon için 0.25 mm çapında pirinç tel kullanılmıştır. Dalma erozyonda 8 mm çapında bakır elektrot kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarında numunelerin yüzeyleri SEM (Tarama Elektron Mikroskop) mikroskopunda incelenmiştir. Sonuç olarak, farklı özelliklere sahip malzemelerde tel erozyon ve dalma erozyon işlemleri sonucunda oluşan yüzeylerdeki değişimler işlem parametrelerine bağlı olarak değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Dalma Erozyon, Elektro Erozyon, Ti-6Al-4V, Inconel 718,”

#### Abstract

In this study, it is aimed to reach the best surface in surface quality by testing different parameters by performing wire erosion, plunge erosion, hole drilling and square forming processes on Inconel 718 and Ti-6Al-4V materials. Due to the fact that Inconel 718 and Ti-6Al-4V materials, which are increasingly used in the aviation industry, are tough and hard materials, machining also causes in the production process and more tool consumption. In addition, since the surface quality of machining is worse than electro-erosion, unconventional manufacturing methods such as plunge erosion and wire erosion have been preferred. As a variable; pulse duration (Ton) and dwell time (Toff) and servo-control voltage, constant table advance speed, wire tension. SF (cut rate), MAO (Microarc future), WP(water prediction) as the wire can resist erosion, and wire diameter were taken. In the experiments, 0.25mm diameter brass wire was used for wire erosion. Copper material of 8mm diameter was used in plunge erosion. As a result of the experiments, the microstructures of the samples were examined under SEM (Scanning Electron Microscope) microscopes and their microstructures were examined. As a result, it has been observed that microstructure changes in materials with different properties as a result of wire erosion and plunge erosion processes change depending on the process parameters

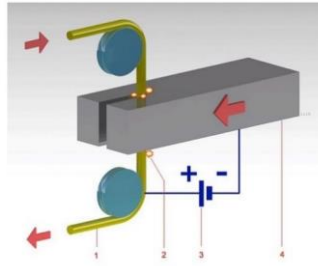
#### Key Words

“Electro Erosion, Wire Erosion, Ti-6Al-4V, Inconel 718 ”

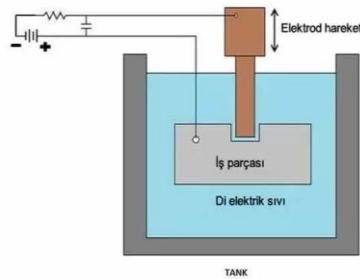
## 1. Giriş

Savunma ve havacılık alanında çalışmaların artmasıyla beraber ortaya çıkan yeni malzemeler ve bunları işlemede geleneksel imalat yöntemlerinden olan talaşlı imalat yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu yeni malzemelerden olan Inconel 718 ve Ti-6Al-4V malzemeler aynı şekilde talaşlı imalatta üretimi zor malzemelerdir. Bu çalışma, özellikleri farklı talaşlı imalat ile işlenmesi zor Inconel 718 ve titanyum alaşımli Ti-6Al-4V malzemeleri kullanılarak, değişik kesme parametrelerinde tel erozyon ve dalma erozyon tezgahlarında işleme yapılarak malzeme yüzeyinde meydana gelen değişimi incelenerek en iyi yüzey elde edilmesi amacıyla yapılmıştır.

Elektro erozyon yönteminde; gerilim, vuruş akımı, vuruş süresi, vuruş ara süresi, tabla hızı, dielektrik sıvı basıncı, tel çapı, tel ilerleme hızı, servo – kontrol voltajı, SF (kesim hızı), MAO (Mikroark oksidasyon), WP (su basıncı), tel çapı ve elektrot malzeme özellikleri gibi işlem parametreleri yüzey kalitesini ve mikro yapısını değiştirmektedir. Böylece, işlem parametrelerinin seçimi yüzey kalitesinin belirlenmesinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Yanlış parametre seçiminde, tel kopmaları ve bakır elektrot aşınmaları gibi işlem kararlılığını etkileyen olumsuz sonuçlarla karşılaşılmaktadır. Tel erozyon ve dalma erozyonda yüksek sertlikte, keskin köşeli (tel çapı kadar yarıçapa sahip köşeler), iş parçası kalınlığı fazla olan, çapı küçük olan delikler (0-1mm), iyi yüzey kalitesi hedeflenen parçalar için uygun bir imalat yöntemidir. Dalma erozyonlarda bunlara ilave olarak karmaşık şekilli parçalar erkek bakır veya pirinç formları işlenerek üretimi yapılabilir. Ay ve Aydoğdu. (Ay, M., Aydoğdu, D., 2010) yaptıkları çalışmada tel erozyonda işlemede parametrelerin değiştirilerek parçaların ebatlarındaki değişimin analizlerle yapıldığından bahsedilmiştir. Bu bahsedilen analizler ile numuneler üzerindeki korelasyon katsayısının elde edildiği ve değeri gözlemlenmiştir. Aynı zamanda bu analizler ile parçanın boyutsal değişiminde en etkili olanın itme süresi olduğunu vurgulamıştır. Tosun ve ark.(Tosun, N., Coğun, C., 2002) yaptıkları çalışmada farklı parametreler deneyerek ilerleme hızının tel erozyon ile işlemede nasıl değişkenlik gösterdiğini gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucunda bozulan yüzey pürüzlülüğü artan ilerleme hızı ile ilişkili olduğu görülmüştür. Çaydaş (Çaydaş, Ulaş. 2008) yaptığı çalışmada tel erozyon yöntemiyle işleme üzerine yaptıkları çalışmada vuruş süresi, gerilim, dielektrik sıvı dolaşımı ve tel ilerleme hızı gibi değişen parametrelerle alüminyum malzeme işlenerek yüzeyi incelenmiştir. Nihat Tosun ve ark., (Tosun, N., Coğun, C., 2002) yaptıkları çalışmada WEDM (Wire Electrical Discharge Machining) 'de darbe süresi, tel hızı, açık devre gerilimiyle, dielektrik yıkama basıncının iş parçası yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel olarak artan darbe süresi, açık devre gerilimi ve tel hızının yüzey pürüzlülüğü Ra değerini arttırdığı, artan dielektrik akışkan basıncının ise yüzey pürüzlülüğü Ra değerini düşürdüğü verilmiştir.



Şekil 1. Tel erozyon şeması (Elektroerozyon,2022)



Şekil 2. Dalma erozyon şeması (Makinaegitim,2022)

Yukarıda Şekil.1’de tel erozyon da işlemenin takım, iş parçası ve tel ilerleme yönü şematik olarak gösterimi mevcuttur. Şekil.2 de ise dalma erozyonda dielektrik sıvıya daldırılan iş parçası ve elektrot hareketi gösterilmektedir.

## 2. Literatür

Tablo 1’de 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 Toff parametrelerinin kullanıldığı literatürde mevcuttur.

**Tablo 1.** Dalma erozyon literatür taraması

	Yazarlar	Ham Malzeme Cinsi	Kesim ölçüleri	İşleme Yöntemi		Parametreler			Elektrot
1	Ay, M., Aydoğdu, D., (2010)	M303 extra plastik kalıp çeliği	10x10x1 0	Dalma erozyon	Tabla ilerleme hızı (SF)(mm/dak)	Vurum süresi (µs)	Vurum ara süresi(µs)	x	Pirinç
2	Göv, K., (2017).	Inconel 718, Titanyum alaşımı Ti-6Al-4V	Delik çapı Ø500-400-300 µm	Dalma erozyon	Deşarj akımı (I)	Akım uygulanma (Ton)	Bekletme süresi (Toff)	x	Pirinç, bakır, grafit
3	Okka, M.A., Yılmaz, O., (2009)	Inconel 718 ve Ti-6Al-4V	Delik çapı 0,4 ile 3 mm arasında kör delik	Dalma erozyon	Current (A)	Ton (µs)	Toff (µs)	Capacitance (µs)	Bakır ve pirinç
4	Oğuz E. ve ark.(2016)	Ti6Al4V ve IN718	Delik çapı 2 mm	Dalma erozyon	Boşalım akımı (I)	Vurum süresi ( µs)	Bekletme süresi (µs)	x	Pirinç
5	Gülecan O. ve ark. (2015)	SAE 1040 Çelik	60x60x1 0 mm	Dalma erozyon	Boşalım akımı (I)	Vurum süresi (µs)	Kutuplaşma	Bekleme süresi	Bakır - krom toz metal
6	Yıldız Y. (2010)	C-122 Bakır	Ø3x300 mm	Dalma erozyon	Akım (A)	Açık vurum süresi (µs)	Kapalı vurum süresi (µs)	x	Berilyum-Bakır Alaşımı
7	Anil Kumar ve ark.(2014)	Inconel 718	65x25x4 mm	Dalma erozyon	Peak current	Açık vurum süresi	Duty cycle	Gap voltage	Bakır
8	Sharanjit S. ve Arvind B.(2011)	x	10-6-10-4 mm <sup>3</sup>	Dalma erozyon	Peak current	Açık vurum süresi	Kapalı vurum süresi	Voltage	x
9	Joudivand S. ve ark.(2015)	AISI H13 Çelik	10x15x8 mm	Dalma erozyon	Akım (A)	Açık vurum süresi (µs)	Kapalı vurum süresi	Gapvoltage	Grafit

Tablo 2’de mevcut tel erozyon cihazları kullanılarak çalışılan malzemeler ve işlem kalitesi için kullanılan parametreler gösterilmiştir. Ayrıca kullanılan cihazlarda işlem için seçilen tel elektrot çeşitlerine bakıldığında ağırlıklı olarak pirinç ve bakır tercih edildiği görülmektedir. Parçaların işleme parametresi olarak tel erozyon için Deşarj akımı(I), Tel İlerleme Hızı (m/dak), akım (A) parametrelerinin kullanıldığı literatürde mevcuttur.

**Tablo 2.** Tel erozyon literatür taraması

	Yazarlar	Ham Malzeme Cinsi	Kesim ölçüleri	İşleme Yöntemi	Parametreler				Tel çeşidi
1	Tosun, N., Coğun, C., (2002)	4140 Çelik	Delik çapı 0.25 mm	Tel erozyon	Deşarj akımı (I)	Vurum süresi (µs)	Gerilim (V)	Tel İlerleme Hızı (m/dak)	Pirinç
2	Çaydaş, Ulaş(2008).	Alüminyum Alaşımı	4, 8, 16 mm	Tel erozyon	Dielektrik Sıvı Sirkülasyon Basıncı (kg/cm2)	Vurum süresi (µs)	Gerilim (V)	Tel İlerleme Hızı (m/dak)	Pirinç
3	Gürbüz H. Ve Ark. (2019)	Takım çeliği ve EN 1.4301 paslanmaz çelik	10x10x2 5 mm	Tel erozyon	Akım (A)	Vurum süresi (Ton) (µs)	Vurum ara süresi (µs)	Gerilim	Bakır, Pirinç, Çinko kaplı pirinç
4	Özek, C., Özel, C., (2003)	Ç8620 Çeliği	Tel Çapı 0.05- 0.4 mm	Tel erozyon	Akım (A)	Gerilim	x	x	Pirinç, Molib, Tungsten
5	Kuş, A. , Motorcu, A.R., (2017)	Waspaloy süper alaşım	Ø 36,6 mm x 200 mm	Tel erozyon	Akım (A)	Vurum süresi (µs)	İki vurum arası geçen süre	Açık devre gerilimi	Farklı teller
6	Kuş, A. , Motorcu, A., (2016)	Karma kompozit Al-B4C/Gr	200 µm	Tel erozyon	İlerleme hızı(m/min)	Açık vurum süresi (µs)	Kapalı vurum süresi (µs)	x	Alumix 123
7	Yazar, M. , Özdemir, A., (2010).	1040 Çelik, 1035 Çelik, 1045 Çelik	Genişlik 5 mm	Tel erozyon	Diş Sayısı (Z)	Elipsin değeri (mm)	Elipsin b değeri (mm)	a/b Oranı	x
8	Çaydaş, U. , Haşçalık, A., (2004)	AISI D5 Takım çeliği	20 mm2, 40 mm2, 80 mm2	Tel erozyon	Gerilim (V)	Vurum akımı	Vurum ara süresi (µs)	Tel gerilmesi	Pirinç, Molibden, Tungsten
9	Yurtkuran, E. Ve Ark.(2011)	Al-14.9Si-2.4Cu-0.55Mg	40 x 20 x 10 mm	Tel erozyon	Vurum süresi (µs)	Vurum ara süresi (µs)	Akım (I)	Gerilim (V)	Alüminyum
10	Tosun N. Ve Ark.(2002)	SAE 4140 Çelik	Kalınlık 10 mm	Tel erozyon	Vurum süresi (µs)	Open Circuit Voltage	Wirespeed	Dielectric flushing pressure	Pirinç
11	Özerkan, H. B., (2019)	SAE 1040 Çelik	Uzunluk 46 mm	Tel erozyon	Vurum süresi (µs)	Powder type	Powder concentration	x	Bakır
12	Vineet S. Ve Pulak P. (2014)	M2 Yüksek Hızlı Çelik	15x15x1 5 mm Delik çapı 7 mm	Tel erozyon	Discharge current	Açık vurum süresi	Duty cycle	Gap voltage	Bakır
13	Jia TAO Ve Ark.(2008)	Al6061	Kalınlık 1.27 mm	Tel erozyon	Thetension	Wirespeed	Open circuit	Gap voltage	Pirinç
14	L. Li. Ve Ark(2013)	Inconel 718	x	Tel erozyon	Peak current	Açık vurum süresi (µs)	Pulse current (A)	x	Cu-Si-C

### 3. Malzeme ve yöntem

#### 3.1. Malzeme

Deneyisel çalışmada, farklı özelliklere sahip Inconel 718 ve titanyum alaşımlı Ti-6Al-4V malzemeler iş parçası olarak kullanılmıştır. 25 mm çapında 10 mm kalınlığında Ti-6Al-4V malzeme ve 12x100x219 mm ebatlarında Inconel 718 plaka kesilerek numuneler hazırlanmıştır.

### 3.2. Ti-6Al-4V

Yüzeyi parlak, sert ve paslanmaya karşı dayanımlı olan titanyum alaşımlarından Ti-6Al-4V malzeme bu deneysel çalışmada kullanılmıştır. Titanyum genel olarak atom numarası 22 ve sembolü Ti olan kimyasal bir elementtir. Dayanımı yüksek, hafif, korozyona karşı oldukça dayanıklı ve parlak grimsi bir geçiş metalidir. Alüminyum, molibden, vanadyum gibi elementlerle alaşım yapabilir. Bu mukavemeti yüksek, hafif alaşımlar, jet motorları, uzay araçları, askeri, kimyasal ve gıda gibi birçok alanda yaygın kullanılmaktadır. Toksik özelliği olmayan titanyum hiçbir mikro organizma ile reaksiyona girmez. Bu nedenle vücut içi ve dışı sağlık alanında geniş bir kullanım alanına sahiptir. (Fıratkocortodonti, 2022)

**Tablo 3.** Ti-6Al-4V malzemenin kimyasal bileşimi (Bircelik,2022)

Kalite	Al	V	C	Fe	O	N	H	Ti
Ti-6Al-4V	%5.5 ile 6.5 arası	%3.5 ile 4.5 arası	%0.08 max	%0.25 max	%0.13 max	%0.05 max	%0.012 max	Kalan tüm miktar

### 3.3. 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 malzeme değişen sıcaklıklarda mekanik özelliklerini koruyabilmektedir. Inconel 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. Kimyasallarla temas eden parçalarda, denizcilik araçlarında ve parçalarında, nükleer reaktör parçalarında, roket motor parçalarında, çok özel amaçlar için üretilen depo tanklarında, bağlantı elemanlarında, vanalarda ve türbin pervane bıçaklarında Inconel 718 sıkça tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. (Bircelik,2022)

**Tablo 4.** Inconel 718 alaşımının kimyasal bileşimi, (Bircelik,2022)

Kalite	Ni	Cr	Fe	Mo	Nb+Ta	C	Mn	Si	Al
Ti-6Al-4V	%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

### 3.4. 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 kıvılcıklarının etkisi ile gerçekleşir. İş parçası ve takımın temas etmediği sadece kıvılcıklar 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](#) hızına bağlı olan dielektrik sıvının performansı, dolaşım [pompa](#)sı kullanımı veya benzeri yöntemlerle artırılabilir.

Takım olarak bakır ve pirinç elektrot katot (-), iş parçası ise anot (+) olarak tanımlanır. Ancak [alüminyum](#) elektrotlar, çelik elektrotlar, çelik [işlemede](#) kullanılan bakır- [tungsten](#) elektrotlar ile kaba işlem için kullanılan [grafit](#) elektrotlar bu genellemenin dışındadır. Bu elektrotlar (+) yüklü, ters kutuplu takımlar olarak kullanılabilir. (SEM,2022)

### 3.5. Tel erozyon

Tel erozyonda takım olarak farklı çaplarda bakır, grafit, pirinç, sert metal tel elektrot kullanılır. Bobin tarafından sarılı olan bu tel parça işlemesi boyunca, aşındıkça ileri doğru itilir. Tel kopması durumunda üretim durdurularak tel bağlanır ve işleme kaldığı yerden devam edilir. Telin avantajı takım değiştirme gereksinimi olmadan farklı iş parçalarının da işlenebilmesidir. Sertliği yüksek olan titanyum karbür, tungsten, kalıp çeliği gibi malzemelerin kesiminde kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak küçük çaplı dairesel delik işlemlerinde ve özellikle köşe yarıçapı istenmeyen keskin köşelerin kesiminde tercih edilir. (SEM,2022)

### 3.6. Dalma erozyon

Dielektrik 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 amaçlanmalıdır. Dalma erozyonda en önemli nokta iş parçası ile takımın temas etmeden sadece elektrik ark yöntemiyle parçanın işlenmesidir. Asıl kullanım amacı diğer imalat yöntemlerinde işlenmesi için eksenlerin görmediği yüzeye işlenen bakır ile rahatlıkla girilebilir. Aynı şekilde tel erozyonda olduğu gibi küçük çaplı (0,2-1 mm) uzun deliklerin delinmesinde de dalma erozyon yöntemi tercih edilir. (SEM,2022)

### 3.7. SEM görüntüleme

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. Elektron demeti raster tarama ile yüzeyi tarar ve demetin konumu, algılanan sinyalle eşleştirilerek görsel oluşturulur. 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, çok düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklıklara değişen koşullarda çalışabilen özelleşmiş cihazlar da vardır.

SEM'de görüntü oluşturmak için genelde elektron demeti tarafından uyarılan numune atomlarının yaydığı ikincil elektronlardan (SE) yararlanır. Numunenin farklı bölgelerinden ayrılan ikincil elektronların sayısındaki değişim ilk olarak demetin yüzeye buluşma açısına, yani yüzeyin topografisine bağlıdır. İkincil elektronlar ile birlikte geri saçılan elektronlar, karakteristik elektron demeti, X-ışınları, numune akımı ve iletilen elektronlarla da numuneden farklı sinyaller elde edilerek uygun kompozisyon ve topografi analizleri yapılır.

Kullanılacak numune atomlarının en dış yörüngesindeki elektronları ile enerjisi yüksek demet elektronlarının elastik olmayan birleşimi ile düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Numune yüzeyi hakkında bilgi taşıyan bu elektronlar Auger spektroskopisinin çalışma prensibini oluşturur. Yine yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde birikir. Bu elektronlar ikincil elektron olarak tanımlanır. İkincil elektronlar numune odasında bulunan sintilatörde birikerek ikincil elektron görüntüsü sinyaline çevrilir. İkincil elektronlar numune yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde tercih edilir. (SEM,2022)

## 4. Deneysel Çalışma

### 4.1. Numunelerin hazırlanması ve deneyin yapılışı

Inconel 718 alaşımlı malzemeden hazırlanan numuneler öncelikli olarak 12x100x219 mm ebatlarında hazırlanmıştır. İş parçasına dik işlem tezgahında, 5 mm çapında ön delik delme işlemi yapıldıktan sonra dalma erozyon tezgahında belirlenen parametrelerde 8 mm çapında delik delme ve 5x5 mm ölçüsünde kare form oluşturma işlemi yapılmıştır. İşlenen geometriler işleme merkezinde kesilerek 10x12x15 ebatlarında ortadan bölünmüş şekilde ayrı numuneler haline getirilmiştir. İşleme merkezinde kesilen yüzeyler polisaj işlemi ile düzgün bir yüzey oluşana kadar parlatmaya tabi tutulmuştur.

Şekil.3'de Inconel malzemeye ön delik delme işlemi, Şekil 4'de dalma erozyon tezgahında delik delme işlemi, Şekil.5'de ise kare form işleme işleminin görseli yer almaktadır.



Şekil 3. Inconel 718 alaşımlı malzemeye ön delik delme işlemi



Şekil 4. Inconel 718 alaşımlı malzemenin dalma erozyon ile delik delme işlemi



Şekil 5. Inconel 718 alaşımlı malzemenin dalma erozyon ile kare form işleme

#### 4.2. Numunelerin hazırlanması ve deneyin yapılışı

Titanyum alaşımlı Ti-6Al-4V malzemeler 25 mm çapında millerden 10 mm boyunda kesilerek iş parçaları hazırlanmıştır. Yüzeyler polisaj işlemi görerek temiz ve parlak bir yüzey elde edilmiştir. Numuneler ön delik delme sonrası tel erozyon tezgahında her numuneye 2 adet 10 mm çapında delik ve 4x4 mm ebatlarında kare form işlenmiştir. Son olarak delinen delikler ortadan ikiye bölünerek yüzey inceleme numuneleri oluşturulmuştur. Şekil 7 ve 8’de ön işlem ve delme işlemi tamamlanmış numune sırasıyla gösterilmiştir.

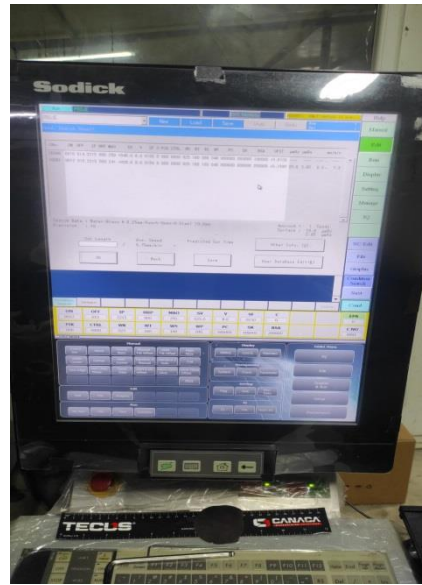
Şekil 6’da hızlı delik delme işlemi ile titanyum malzemeye ön delik delme işleminin görseli bulunmaktadır. Şekil 7’de titanyum malzemeye tel erozyon ile delinmiş deliklerin görseli bulunmaktadır. Şekil 8’ de ise tel erozyon tezgahının işleme sırasında kontrol panelinin görseli bulunmaktadır.



Şekil 6. Ti-6Al-4V malzemeye ön delik delme



Şekil 7. Ti-6Al-4V malzemeye tel erozyonda delik delme

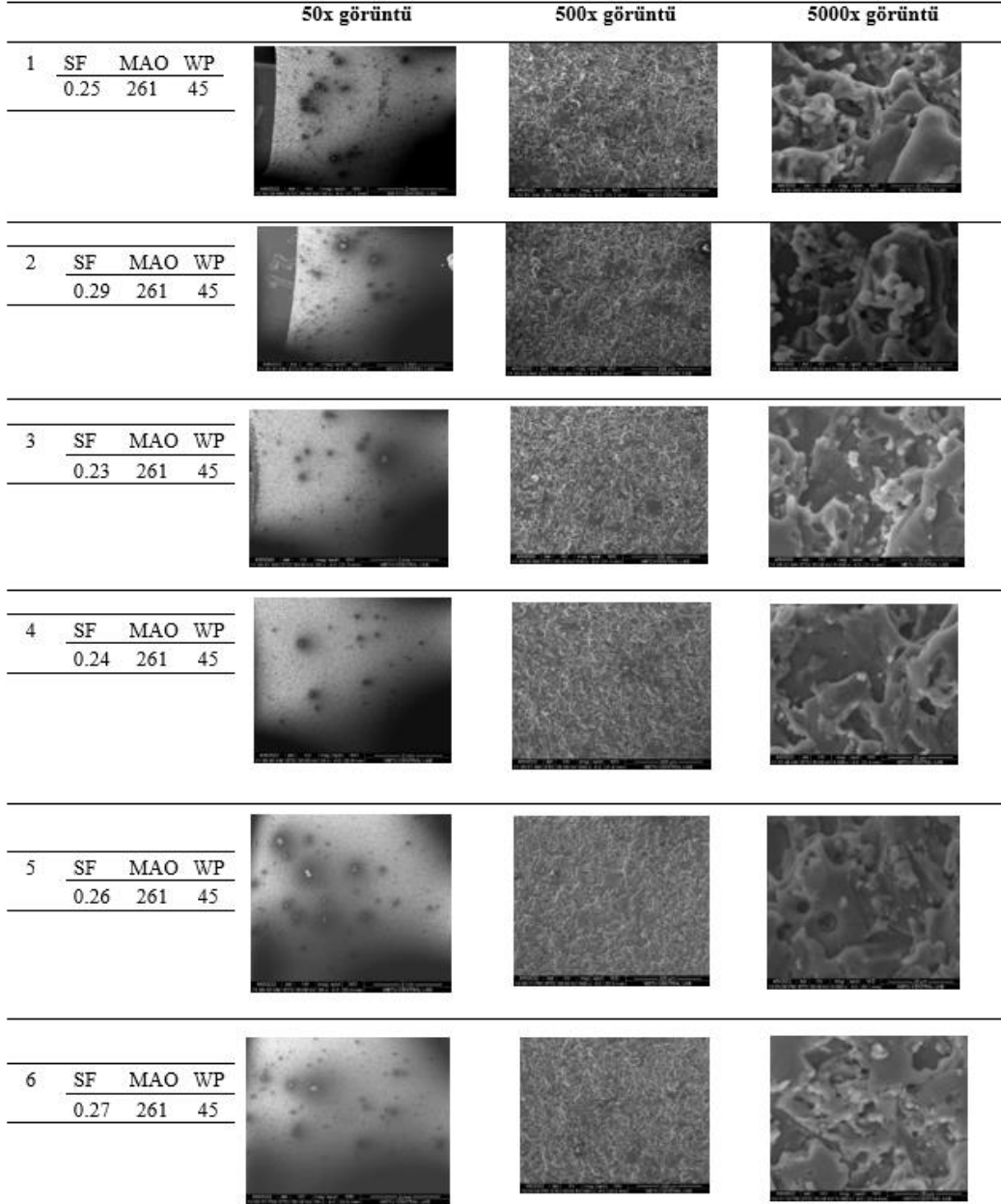


Şekil 8. Tel erozyon tezgahının kontrol paneli

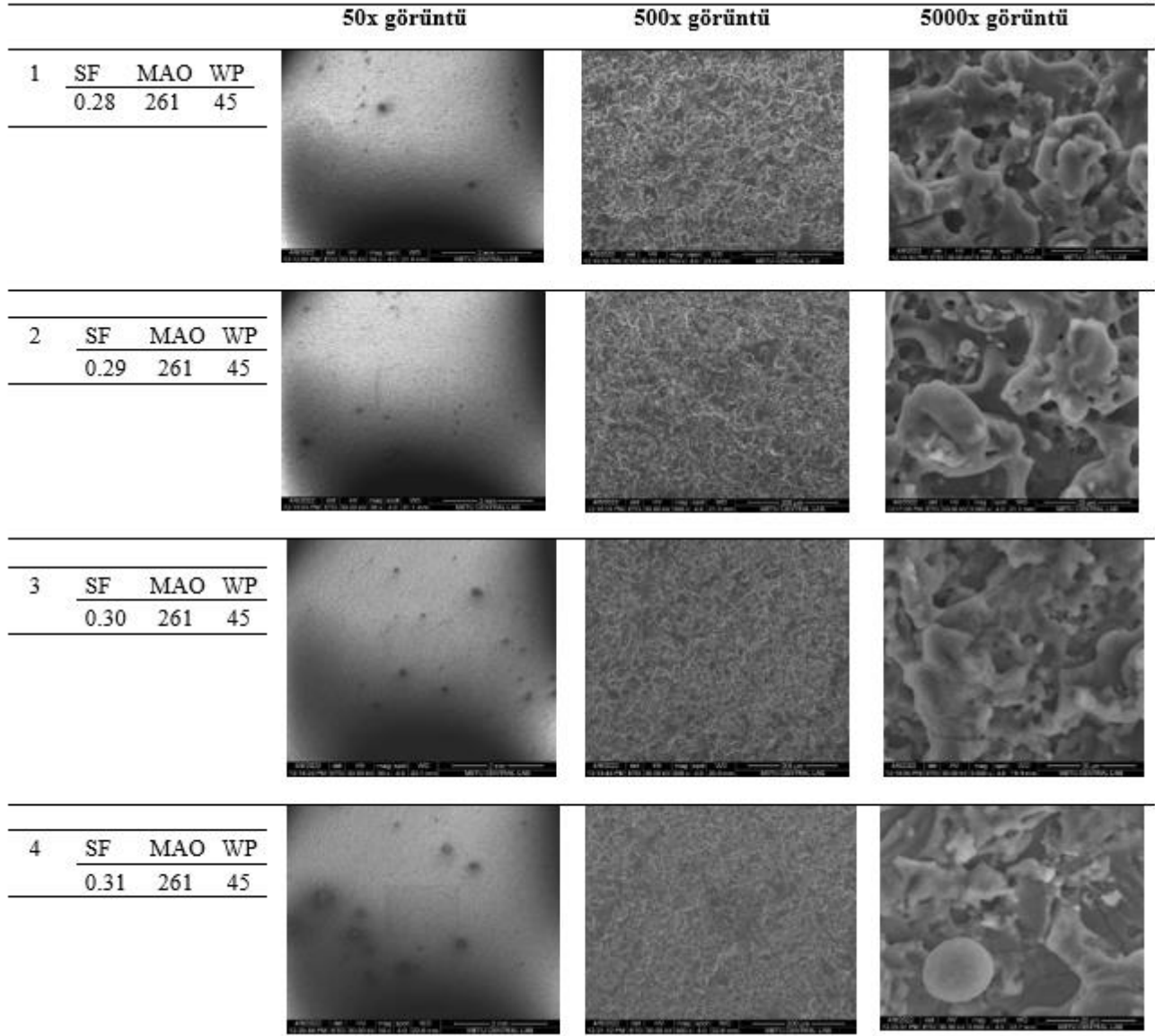


### 4.3. Numunelerin SEM görüntüleri

10 mm çapında delinen Ti-6Al-4V malzemelerin SEM görüntüleri tel erozyon tezgahı ile işlenen ve SEM görüntüleri (Şekil 9. ve Şekil 10) alınan Ti-6Al-4V malzeme için dairesel ve kare kesitli işlemlerde yüzey kalitesi bakımından bir farklılık görülmektedir. Burada tel erozyon prosesinin geometriden bağımsız proses parametreleri ve iş parçası malzeme parametrelerinin etkin olduğu anlaşılmaktadır. Tel erozyon işlem parametreleri SF, MAO ve WP'nin farklı değerleri ile yapılan deneysel çalışmada tel erozyon yüzeylerinde SF değerinin artışıyla mikro çatlak oluşumunun arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca artan SF değeri ile iş parçası yüzeyinde oluşan beyaz katmanın daha küresel formlar aldığı görülmektedir.



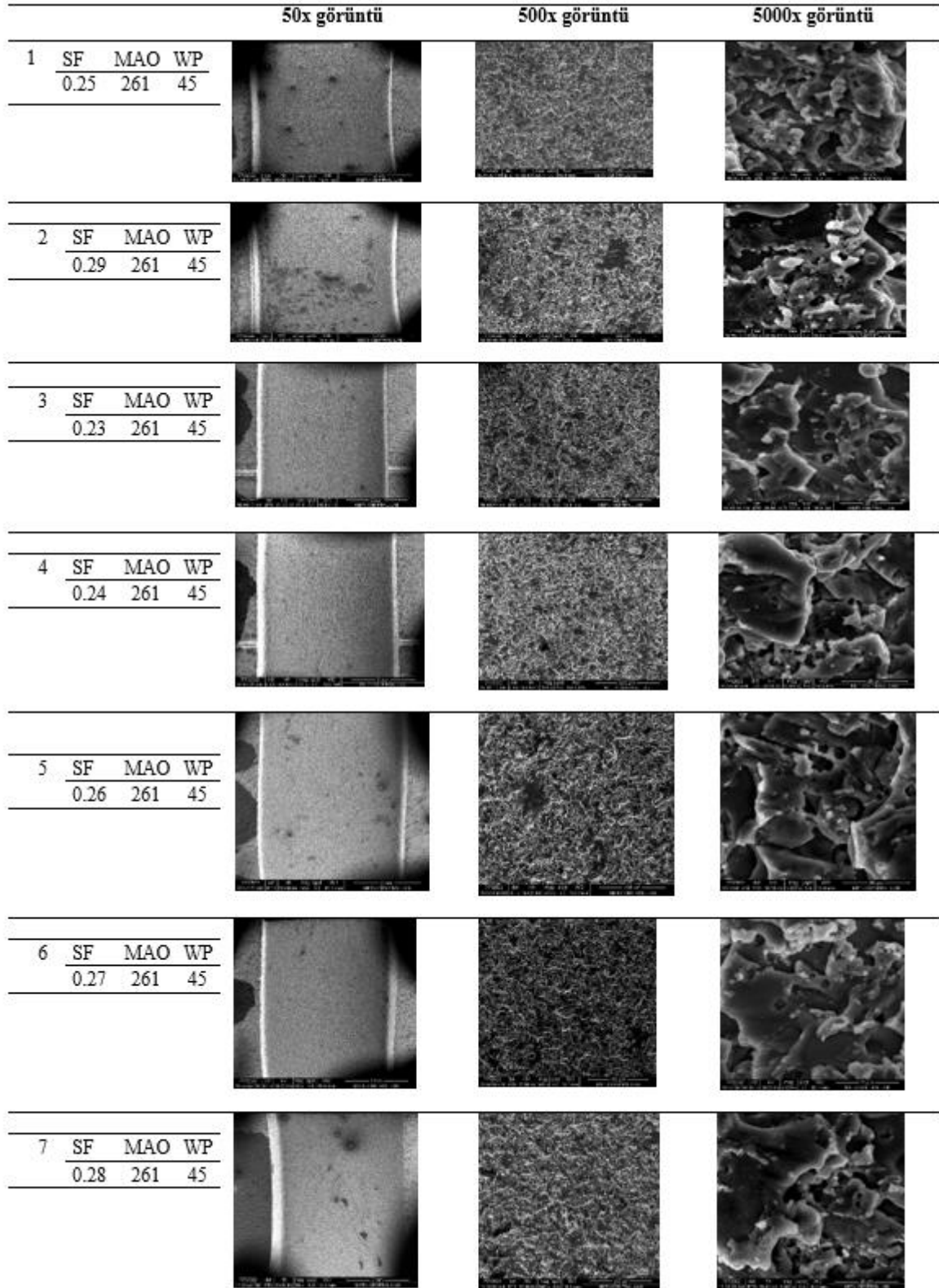
Şekil 9. Tel erozyon ile 8 mm çapında delinen işleme yüzeyi Ti-6Al-4V



Şekil 10. Tel erozyon ile 5x5 mm kare form işleme yüzeyi Ti-6Al-4V

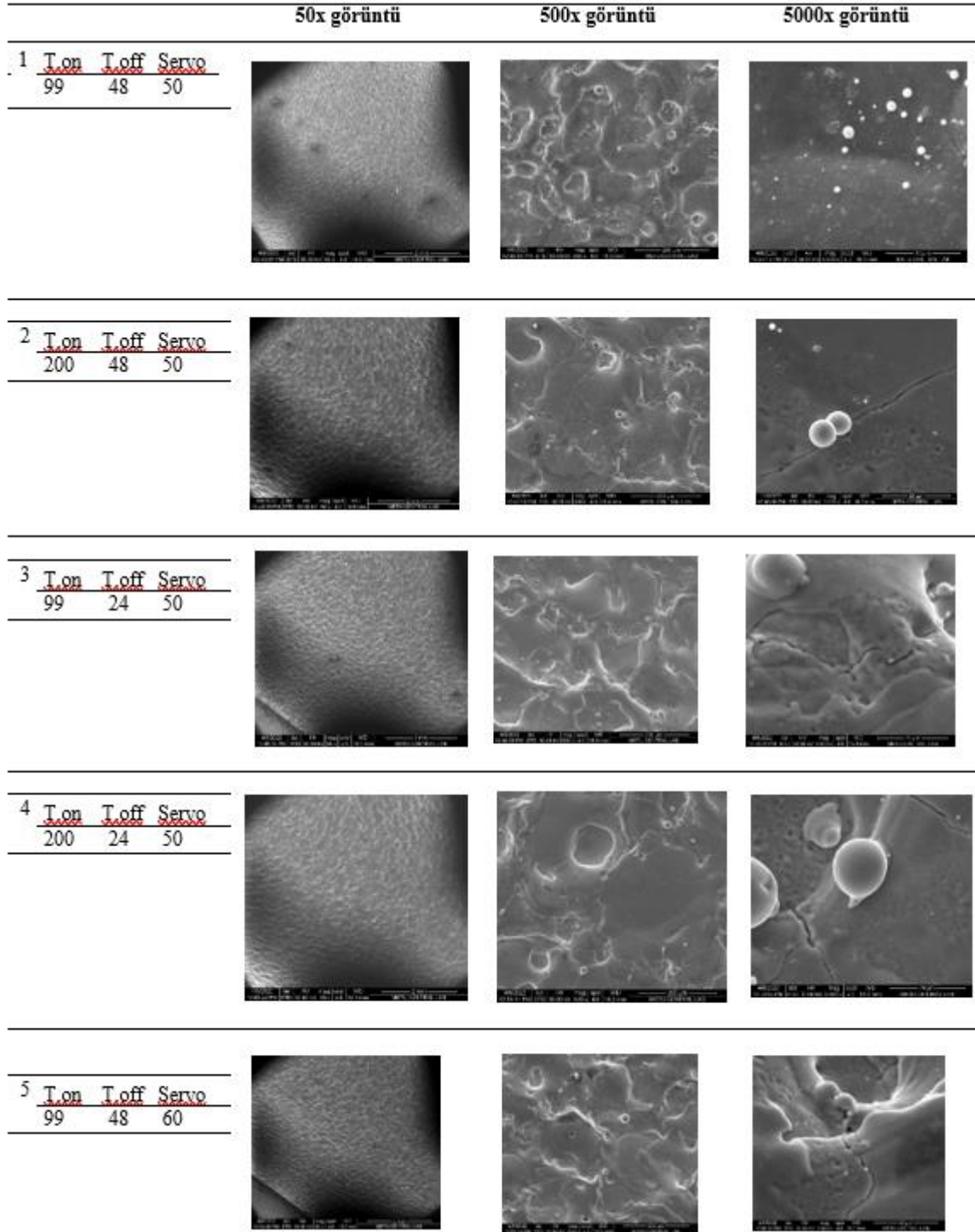
Şekil 9, 10, 11, 12 ve 13' de tel ve dalma erozyonda işlenen Titanyum ve Inconel malzemelerin SEM'de 50x, 500x ve 5000x büyütülerek elde edilmiş görselleri yer almaktadır.

Tel erozyon ve dalma erozyon işleminde Inconel 718 ve Ti-6Al-4V malzemelerinin 8 mm çapında işlenen delik (Şekil 9 ve Şekil 12) ve 5x5 mm kare form (Şekil 10 ve Şekil 11) için SEM görüntüleri incelenmiş ve yüzey kalitesinin işleme geometrisiyle ilişkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. SF değerinin artmasıyla yüzeyde az da olsa mikro çatlak oluşumunun arttığı gözlemlenmiştir. Yine SF değerinin artmasıyla yüzey daha yayvan hale gelmiş ve beyaz katmanda oluşan baloncukların büyüdüğü ve yüzeye yayıldığı gözlemlenmiştir.



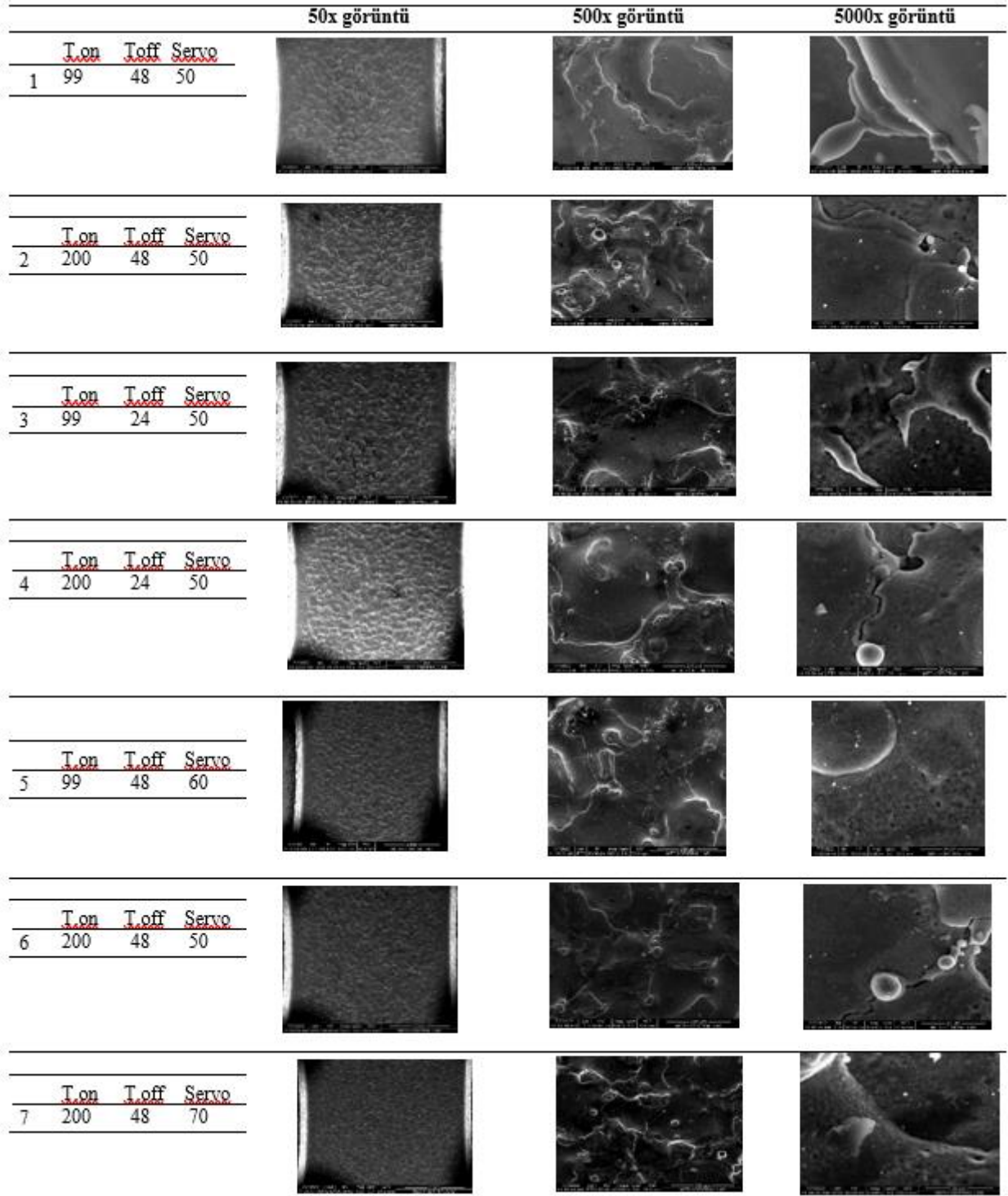
Şekil 11. Dalma erozyon ile 4x4 mm kare delik işleme yüzeyi Inconel 718

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 geometrili elektrot ile işlemede küresel baloncuk oluşumunun kare kesitli elektrotta göre daha fazla olduğu ve yine silindirik kesitli elektrot ile işlenen yüzeyde mikro çatlak oluşumunun kare kesitli elektrotta göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 12. Dalma erozyon ile 8 mm delik işleme yüzeyi Inconel 718

Dalma erozyon Inconel 718 işlemlerinde EDM (Electrical discharge machining) parametrelerinden Ton ve Toff'un Servo'ya oranla daha etkili olduğu görülmektedir. Ton'daki artış mikro çatlak oluşumunu arttırırken, Toff'un artışı çatlak oluşumunu etkilemezken çatlak boyutunu azaltma yönündedir. Dalma erozyon yüzeyi tel erozyon yüzeyine oranla çok daha yayvan ve düzgün bir dağılıma sahip olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 13. Dalma erozyon ile 5x5 mm kare form işleme yüzeyi Inconel 718

## 5.Sonuçlar

Deneysel olarak çalışılan, Ti-6Al-4V ve Inconel 718 malzemelerinin dalma ve tel erozyon işleme davranışlarının yüzey inceleme sonuçları şu şekildedir;

- Geleneksel yöntemler ile işlenmesi zor her iki malzeme de tel ve dalma erozyon yöntemleri ile işlenebilmiştir.
- Üstün özellikli malzemeler olarak bilinen Ti-6Al-4V ve Inconel 718 malzemelerinin EDM işleme sırasında oluşan yüzey hatalarının azaltılması için uygun EDM parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.
- Ti-6Al-4V malzeme için yüzey kalitesinin uygun ve çatlakların azaltılması için SF değerinin düşürülmesi önerilmektedir.
- Aynı şekilde Inconel 718 malzemenin tel erozyon performansının artırılması için SF değerinin düşük seçilmesi önerilmektedir.
- Dalma erozyon parametreleri bakımından Ton ve Toff'un Servo'ya oranla daha etkin bir parametre olduğu tespit edilmiştir.
- Inconel 718 malzemenin dalma erozyon işleminde Ton parametresinin düşük Toff parametresinin biraz daha yüksek olması önerilmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası 2019-054.

## Referanslar

Ay, M., Aydoğdu, D., (2010) " Tel erozyonda kesme parametrelerinin parçanın boyut ölçüsüne etkilerinin deneysel incelenmesi" Makine Teknolojileri Dergisi Cilt: 7, No: 13, (31-44)

Beri, N. , Maheshwari, S. , Sharma, C. , Kumar, A., (2014) "Surface Quality Modification Using Powder Metallurgy Processed CuW Electrode During Electric Discharge Machining of Inconel 718" Procedia Materials Science 5:2629-2634

Bircelik,2022, <https://bircelik.com/tr/kategori/Inconel-718> (15.08.2022)

Bircelik,2022, <https://bircelik.com/tr/kategori/titanyum-grade-5> (15.08.2022)

Çaydaş, U. , Hasçalık, A., (2004) "Tel Erozyon Yönteminde İşlem Parametrelerinin Malzemenin Mikroyapı ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi" Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Çaydaş, Ulaş(2008). Ti6Al4V alaşımının elektro erozyon ve elektro kimyasal işleme yöntemleriyle işlenebilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, 2008.

Elektroerozyon,2022 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektroerozyon> (16.08.2022)

Erdem, O., Coğun, C., Ultekin, L., Ozerkan, H.B., Uslan, İ., (2016) "Toz katkılı ve ısıtılmış dielektriğin elektro erozyon ile işlemede (EEİ) delk delme performansı üzerine etkisi" Mimarlık Fakültesi Dergisi 31,3,531-544

Fıratkocortodonti, 2022, <https://firatkocortodonti.com/titanyum-nedir> (15.08.2022)

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

Gülcan, O. , Uslan, İ. , Usta, Y. , Coğun, C., (2015) "Elektro Erozyon İle İşlemede Cu-Cr T/M Elektrot Kullanımının İşleme Performansına Etkisi" Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 30, 3

Gürbüz, H., Baday, Ş., Hamarat, İ., (2019) " Cnc tel elektro erozyon tezgâhında işleme hızı üzerine elektrot malzemesinin, soğutma tipinin ve iş parçası malzemesinin etkisinin araştırılması " Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi , Cilt: 24, Sayı :1

Joudivand Sarand, M. H. , Shabgard, M. R., (2015) "Investigation of the effect of thermal diffusivity coefficient of tool material on electrode-tool wear in the EDM process" Archives of Civil and Mechanical Engineering volume 15, pages806–821

Kuş, A. , Motorcu, A.R., (2017) "Nikel esaslı waspalo alloy alaşımının tel erozyon yöntemiyle işlenmesinde taguchi metodu ile yüzey pürüzlülüğü için optimum kesme parametrelerinin tahmini " Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 32, 1, 0-0

Kuş, A. , Motorcu, A., (2016) “Wire Electrical Discharge Machining of a Hybrid Composite: Evaluation of Kerf Width and Surface Roughness” Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 21, 1, 243-258

Li, L., Guo, Y.B., Wei, X.T., Li, W., (2013) " Surface integrity characteristics in wire-EDM of Inconel 718 at different discharge energy " Sciverse Science Direct, 6,220-225

Makinaegitim,2022 <https://www.makinaegitimi.com/elektro-erozyon-nedir> (16.08.2022)

Okka, M.A., Yılmaz, O., (2009) "Uzay ve Havacılık Malzemelerinde Elektriksel Erozyon ile Hızlı Deli Delme Performansının Deneysel İncelenmesi" 5.Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi Cilt: 51, Sayı: 608

Özek, C., Özel, C., (2003) “Tel erozyon tezgahında Ç8620 dişli çeliğinin kesilme davranışlarının araştırılması” Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 5,2,47-52

Özerkan, H. B., (2019) "Experimental fatigue life determination of thermo-diffusion surface boronized of AISI 1040 steel " Journal of Mechanical Science and Technology, Cilt: 33, Sayı:10 ,(4957-4962)

SEM,2022 [https://tr.wikipedia.org/wiki/Taramal%C4%B1\\_elektron\\_mikroskobu](https://tr.wikipedia.org/wiki/Taramal%C4%B1_elektron_mikroskobu) (16.08.2022)

Singh, S. , Bhardwaj, A.,(2011) “Review to EDM by Using Water and Powder-Mixed Dielectric Fluid” Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering 10(02):199-230

Srivastava, Vineet, and Pulak M. Pandey.(2014) "Statistical modeling and material removal mechanism of electrical discharge machining process with cryogenically cooled electrode." Procedia Materials Science 5 (2014): 2004-2013.

Tao, J., Shih, A.J. and Ni, J., 2008. Near-dry EDM milling of mirror-like surface finish. International Journal of Electrical Machining, 13(1), pp.29-33.

Tosun, N. , Coğun, C., (2002) “Tel erozyonda kesme parametrelerinin ilerleme hızına etkisi” Dizin Dergisi 43, 515, 16-20

Tosun, N., Coğun, C., (2002), " Tel erozyonda işleme parametrelerinin teldeki aşınma krater boyutlarına etkisinin istatistiksel incelenmesi " Makina Tasarım ve İmalat Dergisi Cilt: 4, Sayı: 3, (127-133)

Yazar, M. , Özdemir, A., (2010) “Eliptik Düz Dişlilerin Bilgisayar Destekli Tasarımı ve CNC Tel Erozyon ile İmalatı” Politeknik Dergisi 13, 4, 245-253

Yıldız, Yakup. Soğuk ve kriyojenik işlemlerle bakır elektrot ve berilyum-bakır alaşımı iş parçalarının elektro erozyon işleme performansına etkileri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2010.

Yurtkuran, E. , Sur, G. , Gürün, H. , Çinici, H. , Polat, R., (2011) “Alüminyum Esaslı T/M Malzemelerin Tel Elektro Erozyon Tezgahında İşlenebilirliklerinin Araştırılması” Konferans: 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'11)