

**PASLANMAZ ÇELİĞİNİN
ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE
İŞLEM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

**2019
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

OYA ARAT

**PASLANMAZ ÇELİĞİNİN
ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE
İŞLEM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

OYA ARAT

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Eylül 2019**

Oya ARAT tarafından hazırlanan “PASLANMAZ ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Öğr. Gör. Dr. Hacı Bekir ÖZERKAN

İkinci Danışman, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 26/09/2019

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Murat SARIKAYA (SNÜ)

Üye : Prof. Dr. Mustafa GÜNAY (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nafiz YAŞAR (KBÜ)

...../...../2019

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Oya ARAT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PASLANMAZ ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

Oya ARAT

Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

Eylül 2019, 42 sayfa

Bu çalışmada, AISI 430 paslanmaz çelik malzemenin elektro erozyon ile işleme yöntemiyle işlenebilirliği araştırılmıştır. EEİ deneylerinde takım malzemesi olarak bakır elektrot kullanılmış olup, dielektrik sıvısı olarak gaz yağı tercih edilmiştir. Deneyler sırasında üç farklı parametre değişken olarak seçilmiş olup, bu parametreler; boşalım akımı, ark süresi ve ark aralığıdır. İşleme parametrelerinin iş parçası işleme hızı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH) ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne (Ra) olan etkileri incelenmiştir. Taguchi'nin L9 ortogonal dizisi uygulanarak deneyler yapılmıştır. Taguchi metodolojisine göre işleme parametrelerinin optimum seviyeleri belirlenmiştir.

DeneySEL sonuçlara göre iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı ve yüzey pürüzlülüğü boşalım akımının artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Ark süresinin artması ile İİH ve EAH değerleri artarken, elektrot aşınmasının azaldığı tespit

edilmiştir. Herbir işleme çıktısı için optimum işleme parametrelerinin farklı seviyelerde olduğu belirlenmiştir. İş parçası işleme hızı için optimum işleme parametreleri, akım, ark süresi ve ark aralığı için sırasıyla 25 A, 400 μ s ve 50 μ s olarak bulunmuştur. EAH için optimum işleme parametreleri, akım için 6 A, ark süresi için 400 μ s, ark aralığı için ise 200 μ s olarak bulunmuştur. Yüzey pürüzlülüğü için optimum işleme parametreleri, akım, ark süresi ve ark aralığı için sırasıyla 6 A, 12 μ s, ve 200 μ s olarak belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : AISI 430, elektro erozyon ile işleme, iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı, yüzey pürüzlülüğü, optimizasyon.

Bilim Kodu : 914.1.140

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

OPTIMIZATION OF MACHINING PARAMETERS IN ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF STAINLESS STEEL

Oya ARAT

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

September 2019, 42 pages

In this study, the machinability of AISI 430 stainless steel material by electrical discharge machining method was investigated. Copper electrode was used as tool material and gas oil was preferred as dielectric liquid. During the experiments, three different parameters were selected as variables; discharge current, pulse on time and pulse off time. The effects of machining parameters on material removal rate (MRR), electrode wear rate (EWR) and average surface roughness (Ra) were investigated. The experiments were performed by applying Taguchi's L9 orthogonal array. Optimum levels of processing parameters were determined according to Taguchi methodology.

According to the experimental results, material removal rate, electrode wear rate and surface roughness increased with increasing discharge current. It was found that while the increase in pulse on time increases the MRR and EWR values, electrode

wear decreases.

It was determined that the optimum machining parameters for each machining output were at different levels. The optimum machining parameters for the material removal rate were found to be 25 A, 400 μs and 50 μs for current, pulse on time and pulse off time, respectively. Optimum machining parameters for EWR were 6 A for current, 400 μs for pulse on time and 200 μs for pulse off time. Optimum machining parameters for surface roughness were 6 A, 12 μs , and 200 μs for current, pulse on time and pulse off time, respectively.

Key Word : AISI 430, electrical discharge machining, material removal rate, electrode wear rate, surface roughness, optimization.

Science Code : 914.1.140

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Mustafa GÜNAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylein yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Öğr. Gör. Ramazan ÇAKIROĞLU ve Karabük Üniversitesi Yenice Meslek Yüksekokulu Dr. Öğretim Üyesi Nafiz YAŞAR'a teşekkür ederim.

Yönlendirmeler ve desteklerinden dolayı Sinop Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Murat SARIKAYA'ya teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımcı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	9
ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME.....	9
3.1. ELEKTRO EROZYON ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	10
3.2. ELEKTRO EROZYONUN SINIFLANDIRILMASI.....	11
3.2.1. Dalma Erozyonu	11
3.2.1.1. Dalma Erozyonu Avantajları	12
3.2.1.2. Dalma Erozyonu Dezavantajları	12
3.3. ELEKTRO EROZYON İŞLEM PARAMETRELERİ.....	12
3.3.1. Elektriksel Parametreler.....	12
3.3.2. Elektriksel Olmayan Parametreler	13
3.4. ELEKTRO EROZYON PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ.....	14
3.4.1. İş Parçası İşlem Hızı	14
3.4.2. Elektrot Aşınma Hızı	15

	<u>Sayfa</u>
3.4.3. Aşınma Oranı.....	15
3.4.4. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	15
BÖLÜM 4	16
MATERYAL VE YÖNTEM	16
4.1. İŞ PARÇASI VE TAKIM (ELEKTROT).....	16
4.2. ELEKTRO EROZYON TEZGÂHI	17
4.3. DENEY TASARIMI VE ANALİZİ.....	20
BÖLÜM 5	23
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	23
5.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN İŞ PARÇASI İŞLEME HIZINA ETKİSİ	28
5.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN ELEKTROT AŞINMA HIZINA ETKİSİ	29
5.3. İŞLEME PARAMETRELERİNİN İŞ PARÇASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ	32
BÖLÜM 6	36
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	36
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Elektro erozyon çalışma prensibi.....	11
Şekil 4.1. Deney numuneleri, a-İş parçası, b-Elektrot	16
Şekil 4.2. Elektro erozyon tezgâhı	18
Şekil 4.3. Tezgah kontrol panosu.....	18
Şekil 4.4. İş parçasının dielektrik sıvı ile ıslatılması.....	19
Şekil 4.5. Aşınma ölçüm cihazı	22
Şekil 5.1. İşleme parametrelerinin İİH'ye etkisi.	27
Şekil 5.2. İİH için sinyal/gürültü oranı	28
Şekil 5.3. İşleme parametrelerinin EAH'ye etkisi	30
Şekil 5.4. EAH için sinyal/gürültü oranı.....	31
Şekil 5.5. İşleme parametrelerinin Ra'ya etkisi	33
Şekil 5.6. Ra için sinyal/gürültü oranı.....	34

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Faktörler ve seviyeleri.....	21
Çizelge 4.2. Deneylerde uygulanan Taguchi L ₉ deney tasarımı	21
Çizelge 4.3. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve özellikleri	22
Çizelge 5.1. Deney ve analiz sonuçları	23
Çizelge 5.2. Deney sonucundan elde edilen takımların ve numunelerin görünümü..	24
Çizelge 5.3. İİH için ANOVA sonuçları	29
Çizelge 5.4. EAH için ANOVA sonuçları	32
Çizelge 5.5. R _a için ANOVA sonuçları	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

İİH	: İş parçası işleme hızı (g/dk)
EAH	: Elektrot aşınma hızı (g/dk)
Ra	: Ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
BA	: Bağlı aşınma (%)
Ti	: Titanyum
V	: Voltaj (V)
Ton	: Ark süresi (μs)
Toff	: Ark aralığı (μs)
I	: Akım (A)
η	: İş faktörü
Cu	: Bakır

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
MRR	: Material Removal Rate
EDM	: Electrical Discharge Machining
ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
EWR	: Electrode Wear Rate
EAH	: Elektrot Aşınma Hızı
EEİ	: Elektro Erozyon ile İşleme
İİH	: İşparçası İşleme Hızı
HRC	: Rocwell C Sertliği
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	: Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
SQ	: Surface Quality (Yüzey Kalitesi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüz imalat sanayinde geleneksel olmayan imalat yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Alışılmış ya da geleneksel imalat yöntemlerinde; parça ile takım arasındaki fiziksel temas ile gözle görülür, makro boyutta talaş kaldırılarak şekillendirme gerçekleştirilmesi çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde üretilmesi planlanan parçalarda çeşitli takım tezgâhları ve takımlar arasından seçim yapılır. Ayrıca temas sırasında oluşan kuvvetler, sıcaklık ve sürtünme takım aşınması veya tırlama gibi problemler doğurur. Bu yüzden geleneksel üretim yöntemlerinde tecrübeli bir teknik ekip tarafından imalatın gerçekleştirilmesi gerekir. Yakın tarihteki teknolojik gelişmelerle, üretim yöntemlerindeki çeşitli kısıtlamalar ve maliyetler göz önüne alınarak geleneksel imalat yöntemleri geliştirilmiştir. Bu durum, takım (elektrot) ve malzemenin kullanıldığı alışılmamış imalat yöntemlerinde geçerli değildir.

Geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden olan ve en yaygın kullanım alanına sahip tekniklerden birisi elektriksel kıvılcımla aşındırma yöntemi olan elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemidir. Bu yöntem, dielektrik sıvı içerisine daldırılmış elektrot ve iş parçası arasında elektriksel boşalıklar ile malzeme kaldırılması prensibine dayanan termoelektriksel bir yöntemdir. Takım ve iş parçası arasında herhangi bir fiziksel temas yoktur [1].

Genellikle frezeleme ve tornalama gibi üretim yöntemleriyle şekillendirilen karmaşık şekilli malzemelerden üretim sürecinde ekonomik olarak uygun değildir. Elektro erozyon yöntemi, hassasiyeti yüksek olan karmaşık şekilli malzemeleri şekillendirmek için ekonomik bir yöntemdir [1]. Elektro erozyon tezgâhında, kontrollü bir şekilde malzemedeki kıvılcımların etkisiyle çok küçük partiküller kopartılarak malzemenin şekillendirilme işlemi gerçekleştirilir. Klasik olan

tezgâhların aksine, elektriksel iletken olmak şartıyla sertleştirilmiş parçalar ve sert maden uçlar kolaylıkla işlenebilir. Bu özellik, elektro erozyon tezgâhı için önemli özelliktir ve elektro erozyon tezgâhının çalışma sahasını genişletmektedir. Elektro erozyon tezgâhındaki diğer önemli bir özellik, tezgâhta elektrot iş parçası arasındaki fiziksel dokunuş olmadığından kesme kuvveti meydana gelmez [2].

Bu çalışmanın amacı, AISI 430 paslanmaz çeliğinin; gaz yağı (dielektrik sıvı) ortamında bakır elektrot kullanılarak, üç farklı boşalım akımı, ark süresi ve ark aralığına bağlı olarak, elektro erozyon ile işlenmesi sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve talaş kaldırma oranı için işleme parametrelerinin optimizasyonunu gerçekleştirmek ve sonuçları incelemektir.

Hazırlanan bu çalışma, genel itibarıyla 6 kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birinci bölüm “Giriş” olup, burada çalışmanın kısaca özeti verilmiştir. İkinci bölümde, bu çalışma ile ilgili geniş bir literatür taraması anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, elektro erozyon üretim yöntemi tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde, yapılan deneysel çalışmalarla ilgili bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde, deney sonrası elde edilen veriler ve kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Son bölüm olan altıncı bölümde ise deney sonuçları hakkında analizler yapılmış ve yapılan deneyler, amacına uygun bir biçimde yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Geçmiş yıllardan günümüze elektro erozyon tezgâhı kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, araştırmacılar genellikle iletken iş parçalarını kullanarak parçanın işlenmesine etki eden parametrelerin işleme performansına etkisini araştırmışlardır. Ayrıca EEİ'de kullanılan parametreleri değiştirerek ve gerekli analizleri gerçekleştirerek iş parçası işleme hızı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH) ve işlenmiş yüzey kalitesi gibi sonuçları sunmuşlardır [2].

Ramirez ve Franco, elektro erozyon tezgâhında AISI 316 paslanmaz çeliğini işleyerek; hem akım yoğunluğunun hem de işleme derinliğinin, yüzey kalitesine ve üretim süresine önemli etkide bulunduğunu belirtmiştir [3].

Rajmohan vd., EEİ ile AISI 304 paslanmaz çeliğini işlemiştir. Paslanmaz çeliğin ark süresi, ark aralığı, gerilim ve akım gibi elektriksel parametrelerin malzeme kaldırma oranı üzerindeki etkisini hakkındaki deneysel çalışmasında, L9 ortogonal dizi kullanılmış ve varyans analizi ile işleme performansı grafikleri oluşturularak sonuçları analiz etmişlerdir [4].

Annamalai vd., AISI 4340 çeliğinin elektro erozyon ile işlenmesinde, parametrelerinin işleme üzerindeki etkisini incelemiştir. Takım olarak bakır elektrot kullanılmıştır. Seçilen işleme parametrelerinin İİH ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemiştir. İİH ve yüzey pürüzlülüğünün; ark süresi, ark aralığı ve akım parametrelerinden etkilendiğini kanıtlamıştır. Akım değerindeki artışın İİH oranını önemli ölçüde artırdığı ve ark süresindeki artışın yine, İİH oranını arttırdığını belirtmişlerdir. Ancak ark aralığındaki artışın İİH oranını etkilemediği belirtilmiştir [5].

Kocabaş vd., DIN 1.2379 soğuk iş takım çeliğini EEİ ile işlemiştir. İşlem sırasında işleme parametrelerinin (boşalım akımı, ark süresi, ark aralığı) ve elektrot çapının işleme hızı, takım aşınma hızı, iş parçası ve elektrot yüzey pürüzlülükleri ve elektrot kenar aşınması üzerine etkilerini incelemiştir. İşleme sonucu, boşalım akımının artmasıyla birlikte iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı, yüzey pürüzlülüğü ve elektrot kenar aşınmasında artış görüldüğü ve ark süresinin artmasıyla birlikte ise işleme hızı, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve elektrot kenar aşınmasında artış olduğu vurgulanmıştır. Ark süresinin elektrot yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin az olduğu belirtilmiştir [6].

Dastagiri ve Kumar, EEİ işlemi ile ilgili olarak; akım (I), voltaj (V), ark süresi (Ton) ve iş faktörü (η) gibi etkenlerin İİH, EAH, R_a ve sertlik (HRC) üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneyler tam faktöriyel tasarım ile gerçekleştirilmiş ve akım, voltaj, vuruş süresi ve çevrim faktörü giriş parametreleri kullanılarak malzeme kaldırma oranı, yüzey pürüzlülüğü ve sertliği tahmin etmek için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Tahminsel değerler ile deney sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu nedenle, matematiksel modeli, malzemedeki kaldırma oranı ve ortalama yüzey pürüzlülüğü gibi parametreleri belirlemede kullanmışlardır [7].

Patel vd., takım olarak tungsten karbür, iş parçası olarak AISI 304 paslanmaz çeliğini kullanarak EEİ ile işlenebilirliğini araştırmıştır. İşlem parametrelerinin (boşalım akımı, ark süresi, voltaj) İİH ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Akımın yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerden biri olduğunu savunmuştur. Deneyleri, L9 dikey dizini kullanarak yapmış olup, İİH üzerinde en önemli parametrenin boşalım akımı olduğunu tespit etmiştir [8].

Unses ve Çoğun, havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan bir Ti alaşımı olan Ti6Al4V alaşımını EEİ ile işlemişlerdir. Dielektrik sıvısı olarak gaz yağı kullanmış ve içerisine belirli oranlarda grafit tozu ekleyerek, Ti6Al4V'nin EEİ performansını incelemiştir. İşleme performansı çıktıları olarak İİH, EAH, bağıl aşınma ve yüzey pürüzlülüğü gibi özellikler incelenmiştir. Deneyler sonucunda, eklenen grafit tozunun malzeme kaldırma oranını önemli ölçüde artırdığı, ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve bağıl aşınmayı azalttığı belirlenmiştir [9].

Özerkan, dielektrik sıvıya metal tozu katılmış EEİ'de, yüzey pürüzlülüğü, işparçası işleme hızı, EAH, bağlı aşınma, işparçası mikroyapısı ve işparçası yüzey sertliği gibi temel performans çıktılarının işleme parametreleri ile gösterdiği değişimi incelemiştir. Bu amaçla, prizmatik çelik işparçası, prizmatik bakır elektrot, borik asit ve grafit tozları katılmış gazyağı dielektrik kullanılarak farklı vurum sürelerinde işleme deneyleri yapılmıştır. Deneyler neticesinde, vurum süresinin ve dielektrik sıvı içine karıştırılan farklı tozların ve konsantrasyonlarının EEİ'de temel performans çıktıları üzerinde etkili olduğu görülmüştür [10].

Erden ve Temel, EEİ ile ilgili yaptıkları çalışmalarda, elektrot olarak bakır, iş parçası olarak çelik, dielektrik sıvı olarak saf su, çeşme suyu, tuzlu ve gliserinli suyu denemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre; İİH ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirildiğinde kullandıkları dielektrik sıvıların, gaz yağına göre daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir [11].

Chen ve Mahdivan, EEİ ile işlemede en iyi yüzey kalitesini bulmayı hedeflemişlerdir. Araştırmaları sonucu en uygun ark süresi ve ark aralığı ile yüksek erozyon oranının ve en iyi yüzey kalitesinin elde edileceğini görmüşlerdir [12].

Gülcan vd., yaptıkları çalışmalarda, elektrot olarak Cu-Cr toz metal (T/M) kullanarak elektro erozyon ile işlenebilirlik (EEİ) deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Seçilen elektrodun; iş parçası işleme hızı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH), işlenmiş yüzeyin ortalama ve azami yüzey pürüzlülükleri (Ra ve Rz) ve iş parçası yüzey katman kalınlıklarına etkilerini incelemişlerdir. Farklı karıştırma oranları ve sıkıştırma basınçlarıyla elde edilen Cu-Cr elektrotlar SAE 1040 çeliğinin işlenmesinde kullanılmıştır. Elektrot malzemesinin iş parçası yüzeyine bir tabak olarak bırakıldığı tespit edilmiş ve toz karışım ve sıkıştırma basıncını EEİ ile işleme verilerini etkilediği görülmüştür [13].

Ho vd., SUS430 paslanmaz çeliği, EEİ ile değişik parametrelerde işleyerek işlenebilirliğini araştırmışlardır. Halka şeklindeki bakır tungsten elektrotlara EEİ ile delme deneyleri uygulamışlardır. Ortaya çıkan termal gerilme dağılımlarını belirlemek amacıyla sayısal görüntü korelasyonu tekniğini kullanmışlardır. Ulaşılan

deney sonuçlarına göre, EEİ ile işlemenin neden olduğu maksimum termal gerilmenin delik derinliği ile orantılı olduğunu belirtmişlerdir [14].

Gopalakannan ve Senthilvelan, 316L ve 17-4 PH paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde meydana gelen boşalım akımının İİH, EAH ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İş parçaları bakır, bakır-tungsten ve grafit gibi farklı elektrot malzemeleri ile işlenmiştir. Boşalım akımının artmasıyla; İİH, elektrot aşınması, yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmiştir. Deneysel sonuçlara göre; bakır elektrot ile en yüksek talaş kaldırma oranının elde edildiği görülmüştür. Bakır tungsten elektrot ile düşük elektrot aşınmasının sağlandığı, düzgün yüzey kalitesi ve iyi bir boyutsal doğruluğun sağlandığı savunulmuştur [15].

Sharif vd., EEİ'de giriş parametrelerinin EEİ sürecinin özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, iş parçası olarak 316L paslanmaz çelik ve elektrot olarak bakır emdirilmiş grafit kullanarak deneyleri, iki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı ile gerçekleştirmişlerdir. Malzeme kaldırma oranı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) için varyans analizi (ANOVA) ve matematiksel modelleme geliştirdikleri çalışmalarında, sonuç olarak maksimum akımın tüm değişken tepkilerde en önemli etken olduğunu vurgulamışlardır [16].

Lee vd., iş parçası olarak S45C karbon çeliğinin EEİ ile işlenmesinde, deneysel değişik dielektrik sıvı püskürtme yöntemlerini ve teorik işleme simülasyonları kullanarak İİH ve takım aşınma oranını etkileyen mekanizmayı araştırmışlardır. Mono delikli içten yıkamaya sahip elektrot ile karşılaştırıldığında çok delikli içten yıkamaya sahip bir elektrot, daha yüksek akımına dayanır ve daha etkili bir yıkama işlemi ile karşılaşmış ve İİH'nin çok delikli takımlar ile elde edildiği vurgulanmıştır. Dielektrik giriş basıncı ve elektrik tipinin etkili olduğunu, takım aşınma oranının tek delikli takımlarda daha düşük olduğu belirtilmiştir [17].

Keskin vd., EEİ'de yaptığı deneylerle, takım aşınması, İİH ve yüzey pürüzlülüğü ile ilgili verileri doğru alınabilmesi için; deney süresinin sabit tutulması gerektiğini ve tersi durumda kullanılacak olan ark süresi, ark aralığı ve akım ile doğru işleme performansı çıktıklarına erişilemeyeceğini savunmuşlardır [18].

Sarıkaya ve Yılmaz, AISI 304 paslanmaz çelik üzerinde EEİ yöntemiyle mikro delikler açarak, işleme çıktılarının optimizasyonu için çeşitli istatistikel yöntemler kullanmışlardır. Boşalım akımı, dielektrik püskürtme basıncı ve elektrot dönme hızının İİH, elektrot aşınma hızı (EAH), ortalama kesme farkı (AOC) ve koniklik açısı (TA) üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Tekli ve çoklu yanıt optimizasyonu için sinyal-gürültü analizi ve tepki yüzey metodolojisi (RSM) kullanılarak optimum işleme parametreleri belirlenmiştir. Analiz sonucunda, EEİ ile mikro delme için en önemli parametrenin boşalım akımı olduğu belirlenmiştir. Bu parametrenin İİH'ni olumlu yönde etkilediği, EAH, AOC ve TA üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. 10,18 A boşalım akımı, 58,78 bar'lık dielektrik sıvı basıncı ve 100 rpm elektrot dönme hızı optimum işleme parametreleri olarak bulunmuştur [19].

König vd., EEİ ile işlemede dielektrik sıvı olarak de-iyonize su ile şeker, glikol, gliserin, polietilen glikol bileşiklerinin sudaki çözeltilerini ve Shell K-60 yağını kullanmışlardır. Gliserinli su kullanıldığında yüzey pürüzlülüğü ve işleme hızı parametrelerinin en iyi sonuçları verdiği ifade edilmiştir [20].

Srivastava ve Pandey, M2 sınıfı yüksek hız çeliğinin işlenmesinde elektrot olarak normal elektrot, kriyojenik olarak soğutmalı elektrot ve ultrasonik destekli kriyojenik olarak soğutmalı elektrotlar kullanmışlardır. Dielektrik sıvı olarak gaz yağı tercih edilmiş olup ve yapılan her deney 25 dk süre ile yapılmıştır. Yapılan deneylerde boşalım akımının artışı ile iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma hızının arttığı ve ark süresinin artmasıyla, her üç elektrot malzemesi için iş parçası yüzey pürüzlülüğünün, arttığını gözlemlemişlerdir [21].

Jose vd., Cu20W80 alaşımı elektrot malzemesini kullanarak farklı ark süresi ile yaptığı deneysel çalışmada boşalım akımı ve ark süresinin artmasıyla iş parçası işleme hızının arttığını, boşalım akımı ve ark süresi arttıkça, iş parçası yüzey pürüzlülüğünün de arttığını gözlemlemiştir [22].

Joshi ve Pande, AISI W1 takım çeliğine EEİ uygulamışlardır. Boşalım akımının arttığında, İİH ve elektrot aşınma hızının arttığı görülmüştür. İş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızının ark süresiyle arttığını ve maksimum değere ulaştığını gözlemlemişlerdir. Maksimum değere ulaştıktan sonra ark süresi daha da

arttırıldığında, iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızının azaldığını gözlemlemişlerdir [23].

Sohani vd., bakır malzemenin üçgen, kare, dikdörtgen ve dairesel şekilli takımlar ile boşalım akımı, ark aralığı, ark süresi ve takım yüzey alanı gibi işlem parametrelerinin birlikte etkisini araştırmak için yanıt yüzey metodolojisini (RSM) uygulamışlardır. Sonuçlar, daha yüksek İİH ve daha düşük EAH için en iyi takım şeklinin dairesel, ardından üçgen, dikdörtgen ve kare kesitler olduğunu ortaya koymuştur. Analizler sonucunda, iş parçası işleme hızının ark aralığı ile doğrusal bir şekilde arttığını belirlenmiştir [24].

Kruth vd., toz metalürjisi ile imal edilmiş elektrotlar kullanarak W, Co, Mo, Mn tozlarını dielektrik sıvı içerisine karıştırmışlar ve işlenen yüzeylerin pürüzlülük değerlerini ve mikro yapılarını incelemişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, W, Co, Mo ve Mn tozlarıyla daha düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği gözlenmiştir [25].

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında araştırmacılar birçok malzemenin EEİ ile işlenebilirliğini araştırdığı görülmektedir. İş parçası olarak genelde paslanmaz çelik ve takım çeliği kullanılmış olup, elektrot olarak bakır ve dielektrik işleme sıvısı olarak gaz yağı tercih edilmiştir. Girdi parametreleri ark süresi, ark aralığı ve boşalım akımı olarak seçildiğinde; ark süresinin artmasıyla iş parçası ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını gözlemlemişlerdir. Boşalım akımındaki artışın İİH ve Ra artışındaki en etkili EEİ parametresi olduğu anlaşılmıştır. Ark aralığındaki değişimlerin yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana getirdiği belirtilmiştir.

BÖLÜM 3

ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME

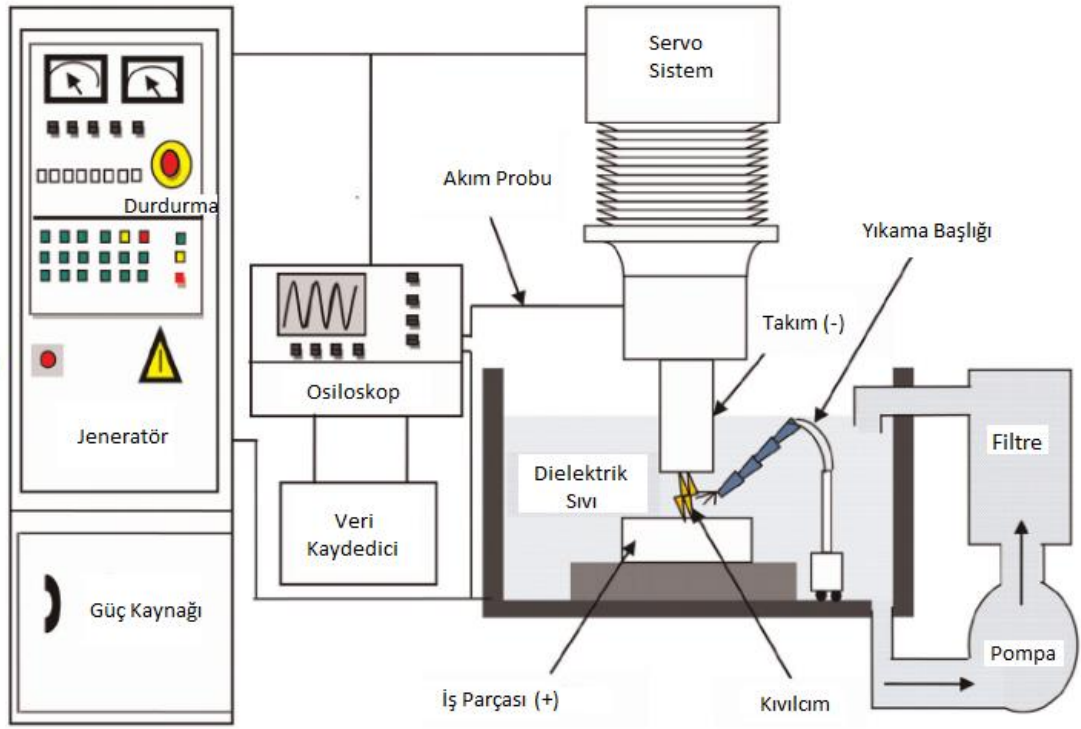
EEİ, yaygın olarak kullanılan, geleneksel olmayan malzeme işleme tekniklerinden biridir. Elektro erozyon, malzemenin bir elektrot ile bir iş parçası arasında tekrarlanan elektrik boşalım dizileri aracılığıyla meydana gelen kıvılcımın termal enerji ile iş parçasını ergiterek küçük parçacıkların kopartıldığı bir süreçtir. EEİ tekniği ile, elektriği ileten bütün malzemeler sertliğinden ve diğer mekanik özelliklerinden çok fazla etkilenmeden kolaylıkla işlenebilir. Sertleştirilmiş çeliklerde, sert metallerde ve imalatı zor olan malzemeler için oldukça uygun bir işleme yöntemidir [26].

Elektro erozyon yönteminde iş parçası genellikle pozitif kutuplanır. Bu yüzden anot adını alır ve elektrot ise negatif tarafa bağlanır, katot olarak adlandırılır. Ters durum da söz konusudur. İş parçası ile elektrot temas halinde değildir ama birbirlerine çok yakındır. Özellikle kullanılacak olan elektrot, işlenecek malzemenin özelliğine göre uygun seçilmektedir. Parça işlenmesi sırasında dielektrik sıvı kullanıldığından, kullanılacak olan sıvı uygun seçilmelidir. Genel olarak kullanılan sıvılar; gaz yağı, transformatör yağı, saf su vb. dir. Parçanın yüzey özelliği ve hassasiyeti önemli ölçüde etkilenmektedir [26].

3.1. ELEKTRO EROZYON ÇALIŞMA PRENSİBİ

Elektro erozyon ile işleme çalışma prensibi Şekil 3.1’de gösterildiği gibidir. Takım katot terminaline, iş parçası anot terminaline bağlanır. Güç kaynağı geçişleri ile potansiyel farklar uygulandıktan sonra kıvılcım formundaki 10 saniyelik aralıklarla yeterince yüksek elektriksel deşarjlar meydana gelir. Kırımına uğrayan dielektrik sıvı iyonları, pozitif iyonlara doğru ivme kazanır ve iletkenlik gösteren bir boşalma kanalı (plazma kanalı) meydana gelir. İşleme sırasında, iş parçası ile elektrot düzgün konumlandırılarak aralarında dielektrik sıvısı olacak şekilde bir çalışma boşluğu oluşturulur. Çalışma boşluğunun genişliğine ve dielektrik sıvının iletkenliğine bağlı olarak bir voltaj uygulanır, genişleyen plazma kanalı ve sıvının dielektrik direncini aşınca bir akım oluşturur. Plazma kanalındaki $T=10000\text{ K}$ ’in üzerindeki sıcaklıklar iş parçası ve elektrodun yüzeyindeki malzemenin eritme ve buharlaşma sürecini oluşturur. Akım kesilince, ergimiş malzeme, plazma kanalının kaybolmasından sonra dielektrik sıvı püskürtme uygulaması ile hızlı bir şekilde süpürülür. Tek bir boşalım, iş parçası yüzeyinde krater şeklinde bir çukur oluşturur. Boşalım zamanı, boşalım akımı veya dielektrik sıvının cinsi gibi aşınma parametrelerine bağlı olarak tipik krater çapları değişir [26].

Plazma geçidinin elektrik direncindeki ani düşüş, akım yoğunluğunun çok yüksek miktarlara ulaşmasına izin verir, bu da moleküller ile iyonlaşma artışına neden olur ve güçlü manyetik alan ($10000 - 12000^\circ\text{C}$) aralığında elektrotlar üzerinde çok yüksek bir sıcaklığa neden olur. Bu yüksek sıcaklık kıvılcımı, iş parçası ile takım arasında yeterince az miktarda metal parçacıklarının sıvılaştığı ve aşındığı sonucu ortaya çıkan yeterince baskı kuvveti oluşturur [26].



Şekil 3.1. Elektro erozyon çalışma prensibi [27].

3.2. ELEKTRO EROZYONUN SINIFLANDIRILMASI

3.2.1. Dalma Erozyonu

Genellikle en iyi bilinen elektro erozyonla işleme tekniği dalma erozyon yöntemidir. İki elektrot tezgâhlarına çalışma tezgâhı ve takım tutucusu olan makine parçaları üzerine yerleştirilir. Elektrotların elektriksel iletkenliği kontrol edilir. Elektrotlar pompa yardımıyla dielektrik sıvı içine daldırılır. Yaygın kullanılan dielektrik EEİ işleme sıvıları gaz yağı, petrofer ve transformatör yağıdır. Gerekli şekil ve boyutu elde etmek için işleme yapmak üzere NC kontrol ünitesindeki işleme parametreleri ayarlanır. Voltaj uygulanır ve uygulanan voltaj iş parçasına darbe formunda boşalma akımı başlatır. Her kıvılcım, iş parçası yüzeyinden ince bir boşlukta ergimeye ve buharlaşmaya yetecek kadardır ve boşalım rastgele gerçekleşmektedir. Bu dönemde deşarj akımı 0,5-400 A aralığında, 40-300 V uygulanan voltaj aralığında ve darbe süresi 2 ila 2000 μm arasında değişebilir. Ergitilmiş malzemenin iş parçasında birikmesini önlemek için farklı yıkama yöntemi uygulanır ve yıkama işlemi

hızlandırır. Her tezgâhta olduğu gibi elektro erozyon tezgâhının da avantajları ve dezavantajları vardır [28].

3.2.1.1. Dalma Erozyonunun Avantajları

- İşleme sonucu çapak oluşmaz.
- Bir operatör birden fazla tezgâhı çalıştırabilir.
- İstenildiği gibi kalıp boşluğu verilebilir.
- İşlemede parçanın sertliği önemli değildir.
- Karmaşık şekilleri işlemek mümkündür.
- Elektrik iletkenliği olan her malzeme işlenebilir [28].

3.2.1.2. Dalma Erozyonunun Dezavantajları

- Tüketilen enerji miktarı diğer tezgâhlara oranla fazladır.
- İş parçasının elektrik iletkenliğinin olması gerekir.
- Kaldırılan talaşı malzemedan uzaklaştırmak zordur.
- Elektrot aşınmasından dolayı şekil sapmaları oluşur [28].

3.3. ELEKTRO EROZYON İŞLEM PARAMETRELERİ

EEİ, işlem parametrelerinin sayısına bağlıdır. Bu parametreler, giriş özelliklerini değiştirerek EEİ işlemlerinin çıktı performansını etkiler. Bu yüzden parametreler dikkatli ve düzgün bir biçimde seçilmelidir. Bu kontrol parametreleri temel olarak elektriksel ve elektriksel olmayan parametreler olarak ikiye ayrılır [29].

3.3.1. Elektriksel Parametreler

Elektriksel parametreler, elektro erozyon ile işlemede en önemli parametrelerdir. Elektriksel parametreler; boşalım akımı, yüksek akım, ortalama akım, ark süresi, ark aralığı, kutuplama, kıvılcım aralığı ve yoğunluk gibi parametrelerden oluşur. Boşalım akımı; güç kaynağı devreye girdiğinde, takım ile iş parçası arasında üretilen bir akımdır. Yüksek akım; elektro erozyon tezgâhında kullanılan güç miktarı olarak

en etkili faktördür. Ortalama akım; elektro erozyon tezgâhında kullanılan her bir darbe için kullanılan mevcut bir akımdır. Ark süresi; her devir başına oluşan akımın akmasına izin verilen süredir. Ark aralığı; meydana gelen her kıvılcımın arasındaki süredir. Kutuplaşma; pozitif veya negatif olabilir. Takım pozitif kutuba bağlandığı zaman İİH daha yüksektir. Negatif (-) yüklü kutuplar hassas EEİ için pozitif (+) yüklü kutuplar kaba EEİ için tercih edilmektedir. Kıvılcım aralığı; elektro erozyon sırasında takım ve iş parçası arasında meydana gelir. Elektriksel boşluk olarak da adlandırılır. Yoğunluk; jeneratör tarafından üretilen farklı güç seviyelerine verilen addır. Açık devre gerilimi; akım boşalımı olmadığı zaman işleme aralığında görülen gerilime denir. Boşalım gücü; boşalım süresince uygulanan güce verilen addır [29].

3.3.2. Elektriksel Olmayan Parametreler

Elektrodun dönmesi, dielektrik sıvısı ve takımın yıkanması gibi elektriksel olmayan parametreler de EEİ ölçütlerini etkilemektedir. Elektriksel olmayan parametrelerden bazıları; iş parçası, elektrot, dielektrik sıvısının tipi, takım elektrodunun dönmesi vb. dir [29].

Elektrot; elektrik ileten metallere gerilim uygulandığında elektrot ismini alırlar. Genellikle iyi bir iletkenlik ve dirence bakılarak bakır (Cu), pirinç, grafit, bakır tungsten, gümüş tungsten gibi elektrot çeşitleri seçilir. Dikdörtgen, kare silindirik, dairesel gibi birçok şekil kullanılır. Seçilen elektrot kolay işlenebilir olmalıdır. Kolay bulunabilmeli ve maliyeti düşük olmalıdır. Ergime sıcaklığı yüksek olmalıdır. İş parçası ile uyumu dikkaete alınmalıdır [29].

İş parçası; kalıp malzemeleri, alaşımlar, süper alaşımlar ve kesilmesi çok zor olan titanyum alaşımları gibi elektriksel iletken birçok malzeme olarak kullanılır. Seçilen iş parçasının, elektrot ile uyumuna dikkat edilmelidir.

Dielektrik sıvısı; elektrik iletmeyen ve aşınmış parçaları yıkamak için yalıtkan bir ortam görevi görür. Tank içerisindeki takım ve iş parçasını soğutur. Petrol ürünleri olarak; transformatör yağı, gazyağı, mazot, erozyon yağı kullanılır. Ayrıca karbon tetra klorür, de-iyonize su ve bazı gazlar da dielektrik sıvısı olarak denenmiştir.

Dielektrik sıvısının doğru seçilmesi EEİ performansını önemli ölçüde etkiler. İş parçasının oksitlenmesini önler. Takım elektrodunun dönmesi; iş parçası üzerindeki merkezkaç kuvveti nedeniyle EEİ'deki İİH'yi arttırmak için kullanılır. Bu sıvının oluşturduğu basınç; elde edilecek parametreler ile ilgili önemli bir rol oynamaktadır. Dielektrik sıvı basıncının uygun seçilmesi gerekmektedir. Sıvı basıncı arttığı zaman yüzey pürüzlülüğünün arttığı bazı araştırmacılar tarafından kanıtlanmıştır. Yine bazı araştırmacılar düşük dielektrik sıvı basınçlarında uygulanan akım değerinde belirli bir azalma söz konusu olduğu zaman yüzey pürüzlülüğünde çok az bir değişme olduğunu kanıtlamışlardır. Sonuç olarak dielektrik sıvı basıncının yüzey pürüzlülüğüne etkisi olduğu görülmektedir [29].

3.4. ELEKTRO EROZYON PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

3.4.1. İş Parçası İşleme Hızı

İş parçası işleme hızı birim zamanda kaldırılan malzeme miktarını verir. İş parçasın üzerindne kaldırılan malzeme; akım, ark süresi, ark aralığı, kutuplama gibi parametrelerin değişimine bağlıdır. İİH, EEİ ile işlemeden önce ve sonra iş parçası malzemesinin ağırlık farkının işleme süresine oranıdır. Başlangıçtaki ağırlık iş parçasının işlenmeden önceki ağırlığıdır. Son ağırlık ise iş parçasının işlendikten sonraki ağırlığıdır. Bu ağırlıklar terazi yardımı ile ölçülür. EEİ, Eşitlik 3.1'e göre hesaplanmaktadır [30].

$$\text{İİH} = \frac{\text{iş parçası ilk ağırlık} - \text{iş parçası son ağırlık}}{\text{işleme süresi}} \quad (\text{g/dk}) \quad (3.1)$$

3.4.2. Elektrot Aşınma Hızı

EEİ sırasında oluşan kıvılcımlardan dolayı takımın aşınma meydana gelir. Takım yani elektrot hızı (EAH), EEİ ile işleme öncesi ve sonrası, takımın ağırlık farkının işleme süresine oranıdır ve Eşitlik 3.2'ye göre hesaplanır [30].

$$\text{EAH} = \frac{\text{takımın son ağırlığı} - \text{takımın ilk ağırlığı}}{\text{işleme süresi}} \quad (\text{g/dk}) \quad (3.2)$$

3.4.3. Aşınma Oranı

Aşınma oranı yani bağıl aşınma (BA), takım aşınma oranı ve malzeme uzaklaştırma oranının oranıdır. Takım ve iş parçası malzemesinin aynı seçilmesi bu oranı iyileştirir. Boşalım akımı ve ark süresi aşınma oranını önemli ölçüde etkiler. Düşük ergime sıcaklığına sahip olan elektrotlar, yüksek ergime sıcaklığına sahip elektrotlara göre daha fazla aşınmaktadır. Bundan dolayı düşük ergime sıcaklığındaki elektrotlarda elde edilen aşınma oranları daha yüksektir. Aşınma oranı Eşitlik 3.3'e göre hesaplanır [30].

$$BA \% = (EAH / İİH) * 100 \quad (3.3)$$

3.4.4. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), EEİ'de ürün kalitesini ve maliyetini etkileyen önemli bir faktördür. Yüzey pürüzlülüğü, yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülür. Yüzey kalitesi; termal olarak etkilenen iki katman tarafından belirlenir. Beyaz katman, açılma işlemi sırasında dielektrik akışkan tarafından hızla soğutulan erimiş metalin oluşturduğu katmandır. Isıdan etkilenen bölge, yeniden yapılanma katmanının altında kalan katmandır. Bu durum, metalin metalurjik özelliklerini değiştirmesi nedeniyle oluşur. Isıdan etkilenen bölgenin altında kalan alan ana malzemedir ve bu alan EEİ işleminden etkilenmez [30].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. İŞ PARÇASI VE TAKIM (ELEKTROT)

Elektro erozyon ile işleme deneylerinde, iş parçası olarak AISI 430 paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Elektrot olarak bakır elektrot kullanılmıştır. Deney numunelerinin boyutları; iş parçası olarak 5x15x80 mm şeklinde olup, elektrot boyutları 10x20x86 mm şeklindedir. İş parçası ve elektrot numuneleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney numuneleri; (a) iş parçası, (b) elektrot.

Elektro erozyon ile işlemede elektriksel iletkenliği olan her metal, iş parçası olarak işlenebilir. İş parçasının işlenebilirlik derecesi iş parçası malzemesinin bazı ısı-fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu özelliklerin en etkili olanları yoğunluk, ısı kapasite ve ergime sıcaklığıdır. Bu değerler işleme hızı ile ters orantılıdır.

Elektrot malzemesinde olması gereken özellikler, yüksek ısı kapasite ve yüksek ergime sıcaklığıdır. Elektrot aşınması ile bu değerler ters orantılıdır. Yüksek ergime sıcaklığı ve yüksek ısı kapasitesi olan elektrot malzemelerinin aşınma direnci yüksektir. Elektrot tercih edilirken bazı özellikler dikkate alınmalıdır. Özellikle elektriği ve ısıyı iyi iletmelidir. Maliyeti açısından düşük ve kolay bulunabilir olmalıdır.

Elektrot olarak bakır elektrot tercih edilmiştir. Bakırın elektrik iletkenliği, EEİ tezgâhlarında kullanılan diğer elektrotlara göre daha iyidir. Bu yüzden bakır elektrot tercih edilmiştir. Elektro erozyon ile işlemede kullanılan bakır elektrotlar iş parçası olarak kullanılan çelik malzemelerden daha fazla genişlemektedir. Bu yüzden elektrot seçilirken ısı genleşme göz önüne alınmalıdır. İşleme yüzey alanı küçük olan elektrotlar yüksek enerji yoğunluğundan ötürü çok fazla aşınır aşınmaktadır. İşleme işleminin başlangıcında keskin köşe ve kenarlı olan elektrotlarda köşe ve kenar aşınmasının çok hızlı olduğu yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir.

4.2. ELEKTRO EROZYON TEZGÂHI

Deneysel çalışmalar, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Takım Tezgâhları Laboratuvarı'nda bulunan FURKAN EDM M25 A tipi elektro erozyon tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Elektro erozyon klasik takım tezgâhları arasında yer alır. Karmaşık yapıdaki malzemelerin işlenmesinde önemli bir rol oynar. Özellikle kalıpların vazgeçilmez olarak kullandığı bir tezgâhtır. Elektrik iletkenliği olan her malzeme EEİ ile işlenebilir. Deneysel çalışmalar kullanılan elektro erozyon tezgâhı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Elektro erozyon tezgâhı.

Elektro erozyon tezgâhında bulunan tezgâh kontrol panosu, kullanılan parametrelerin ve tezgâha ait olan diğer güç ayarlarının yapıldığı alandır. Kontrol panosu Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tezgâh kontrol panosu.

Elektro erozyon tezgâhında dielektrik sıvı kullanılır. Dielektrik demek, elektrik iletkenliği olmayan demektir. Yani EEİ tezgâhlarında kullanılan sıvılar elektrik iletkenliği olmayan sıvılardır. İyi bir yalıtkan olmalıdır. Genellikle dielektrik sıvısı olarak saf su, gaz yağı, petrofer kullanılır. Dielektrik sıvı EEİ sırasında belirli bir voltaja ulaştığında yalıtkanlık görevini gerçekleştirir. İş parçası ve elektrot arasında oluşan kıvılcımı iletmeyi sağlar. Aynı zamanda soğutma işlemi görür. İş parçası oksitlenmesini önler. EEİ sırasında iş parçası üzerinden ayrılan parçaları uzaklaştırır.

Bu çalışmada dielektrik sıvı olarak gaz yağı tercih edilmiştir. Parçanın tezgâhta işlenmeden önce dielektrik sıvı ile yanal püskürtme yapıldığı andaki görüntüsü Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. İş parçasının dielektrik sıvı ile ıslatılması.

Elektro erozyon tezgâhında işlemlerden önce, takım ve iş parçası ayarlanmış ve bağlanmış olup takım ve iş parçasının paralelliğine dikkat edilmiştir. Numuneler doğru bir şekilde bağlandıktan sonra kontrol panosundan işleme parametreleri seçilerek gerekli parametreler olan akım, ark süresi ve ark aralığı ayarlanmıştır. Tezgâh ayar konumunda iken takımı iş parçasına yaklaştırmak için kontrol panosundan kıvılcım butonu açılmış ve takım iş parçasına yaklaşmaya başlamıştır.

Yaklaşma hızının ayarını panodan kafa hızını kullanarak artırabilir ya da azaltılmaktadır. Aynı anda mikrometre ayarı yapılmış ve ayar 0 konumuna getirilmiştir. Takım ile iş parçası birbirine değdiği zaman tezgâh ikaz alarmı çalarak takım, iş parçasından bir miktar uzaklaşmıştır. Yine işleme derinliği için mikrometre ayarı yapılarak, 0,5 mm geriye çekilerek sıvı püskürtme boruları parçanın üstüne gelecek şekilde ayarlanmış ve parçanın iyi ıslanması sağlanmıştır. Hazne dolduğu zaman sıvı seviyesi ışığı yanmaktadır. Işık yandığı zaman ayardaki düğme işlemeye getirilmiştir ve kıvılcım düğmesine basılıp, parça işlemeye hazırlanmıştır.

İşleme bittikten sonra tezgâhın hazne kolu çekilmiş olup, haznedeki dielektrik sıvı olan gaz yağı boşaltılarak hazne kapağı açılmış ve takım ile iş parçasının dikkatli bir şekilde yerinden çıkarılması sağlanmıştır ve gerekli ölçümler yapılmıştır.

4.3. DENEY TASARIMI VE ANALİZİ

Taguchi'nin L9 ortogonal dizi deney tasarımı göre deneyler planlanmış ve üç farklı faktör işlem parametresi olarak seçilmiştir. Bu parametreler; boşalım akımı (I), ark süresi (Ton), ark aralığı (Toff) dır. Her deney şartı için deneyler iki defa tekrar edilmiştir ve deneyler sonucunda elde edilen değerlerin ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. İş parçası işleme derinliği 0,5 mm olarak ayarlanmıştır. Yani 0,5 mm'deki işleme derinliğine göre deneyler yapılmıştır. İşleme derinliği yapılan bütün deneylerde sabit tutulmuştur. Uygulanan girdi parametrelerin, deney sonrası elde edilecek malzeme kaldırma oranı, elektrot aşınma hızı ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir.

Boşalım akımı olarak 6 A, 12 A ve 25 A seçilmiştir. Ark süresi olarak 12 μ s, 100 μ s ve 400 μ s ve ark aralığı olarak da 50 μ s, 100 μ s ve 200 μ s seçilmiştir. Deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Taguchi L₉ dikey dizinine göre uygulanan deney tasarımı Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Faktörler ve seviyeleri.

Faktörler	Seviye		
	1	2	3
Akım, I (A)	6	12	25
Ark süresi, Ton (μ s)	12	100	400
Ark aralığı, Toff (μ s)	50	100	200

Elektro erozyon deneyleri, Çizelge 4.2’de verilen her bir deney numarası için iki kere tekrarlı olarak yapılmıştır. Ve elde edilen sonuçların ortalamasına göre veriler elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) uygulanarak İİH, EAH ve Ra üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. ANOVA yardımı ile deney sonrası istenen verilerin üzerinde en büyük etkinin, seçilen parametrelerden hangisi olduğu bulunmaktadır. Deney tasarımı ve varyans analizi Minitab17 paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneylerde uygulanan Taguchi L₉ deney tasarımı.

Deney No	I	Ton	Toff
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Yapılan her bir deney için yüzey pürüzlülük ölçümleri Marsurf M300 tipi yüzey pürüzlülük cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde Marsurf M300 tipi ölçüm cihazında hareket uzunluğu (Lt) 1,75 mm ve dalga boyu (λ) 0,8 mm olarak ayarlanmıştır. Çizelge 3.1’de yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının özellikleri gösterilmiştir [31].

Çizelge 4.3. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ve özellikleri [31].

	Tarama ucu	2 μm
	Temas hızı	0,5 mm/s
	Kalibrasyon İşlevi	Dinamik
	Ölçüm aralığı	350, 180, 90 μm
	Lt	1,75, 5,6, 17,5 mm
	λ	0,25, 0,8, 2,5 mm
	Ölçüm kuvveti	0,7 mN

İş parçaları, işleme öncesi ve sonrası temizlenip kurutulduktan sonra 0,005 gr hassasiyete sahip HANA marka terazi ile tartılmıştır. Kullanılan terazi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Her iş parçası için bulunan hacimsel fark işleme süresine bölünerek iş parçası işleme hızı değeri hesaplanmıştır. Aynı şekilde elektrotlar işleme öncesi ve sonrası temizlenip kurutulduktan sonra tartılmıştır. Aradaki hacimsel fark yoğunluk değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir elektrot için elde edilen hacimsel fark işleme süresine bölünerek elektrot aşınma hızı belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Aşınma ölçüm cihazı.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA


Deneyleerde kullanılan parametreler ve istenen verilerle birlikte deney ve analiz sonuçları, Taguchi yöntemine göre hesaplanarak Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney ve analiz sonuçları.

Akım (I)	Ark Süresi (T _{on})	Ark Aralığı (T _{off})	İİH	EAH	Ra	S/G (İİH)	S/G (EAH)	S/G (Ra)
6	12	50	0,0053	0,0027	3,319	-10,4201	51,3727	-10,4201
6	100	100	0,0106	0,0015	4,498	-13,0604	56,4782	-13,0604
6	400	200	0,0144	0,0003	5,556	-14,8952	70,4576	-14,8952
12	12	100	0,0137	0,0055	4,154	-12,3693	45,1927	-12,3693
12	100	200	0,0621	0,0021	7,493	-17,4931	53,5556	-17,4931
12	400	50	0,2184	0,0009	9,602	-19,6472	60,9151	-19,6472
25	12	200	0,0449	0,0226	5,867	-15,3683	32,9178	-15,3683
25	100	50	0,6071	0,0144	9,956	-19,9617	36,8328	-19,9617
25	400	100	0,8533	0,0025	13,980	-22,9101	52,0412	-22,9101

Deney sonucundan elde edilen takımların ve numunelerin görünümü Çizelge 5.2’deki gibidir.


Çizelge 5.2. Deney sonucundan elde edilen takımların ve numunelerin görünümü.

Akım (I)	Ark Süresi (μ s)	Ark Aralığı (μ s)	Takım ve İş parçası (Elektrot ve paslanmaz çelik)
6	12	50	
6	100	100	


Çizelge 5.2. (devam ediyor).

6	400	200		
12	12	100		
12	100	200		

Çizelge 5.2. (devam ediyor).

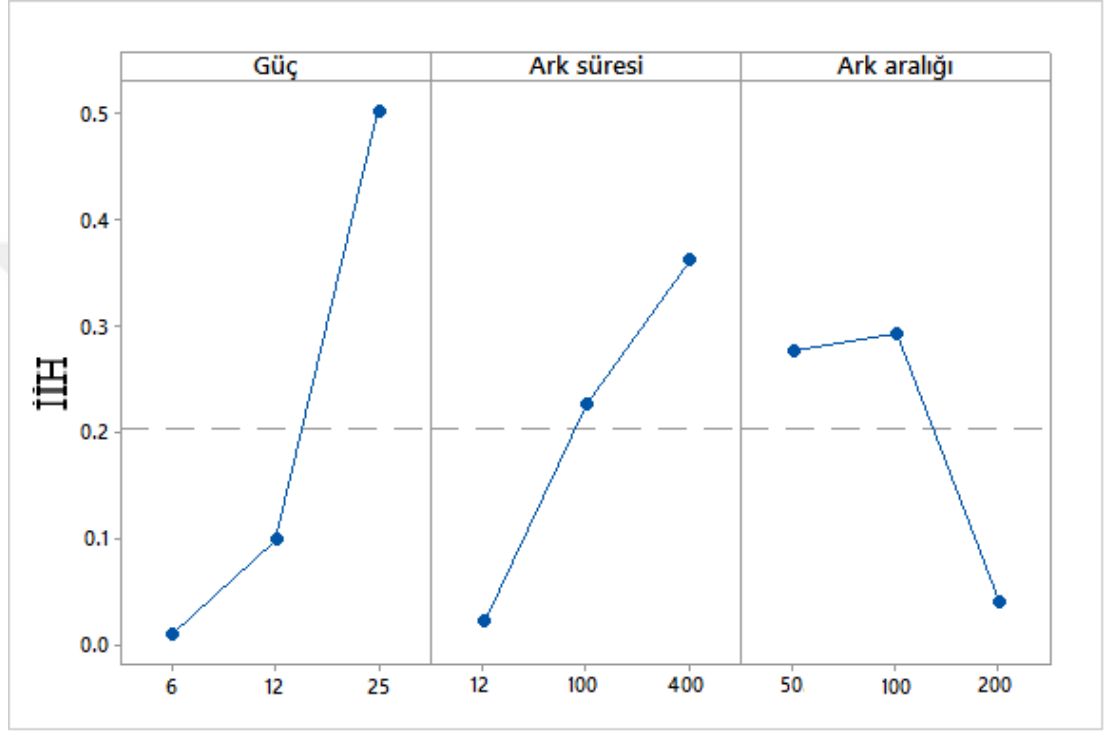
12	400	50		
25	12	200		
25	100	50		

Çizelge 5.2. (devam ediyor).

25	400	100	
----	-----	-----	--

5.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN İŞ PARÇASI İŞLEME HIZINA ETKİSİ

AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, işleme parametrelerinin İİH üzerindeki etkisi Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



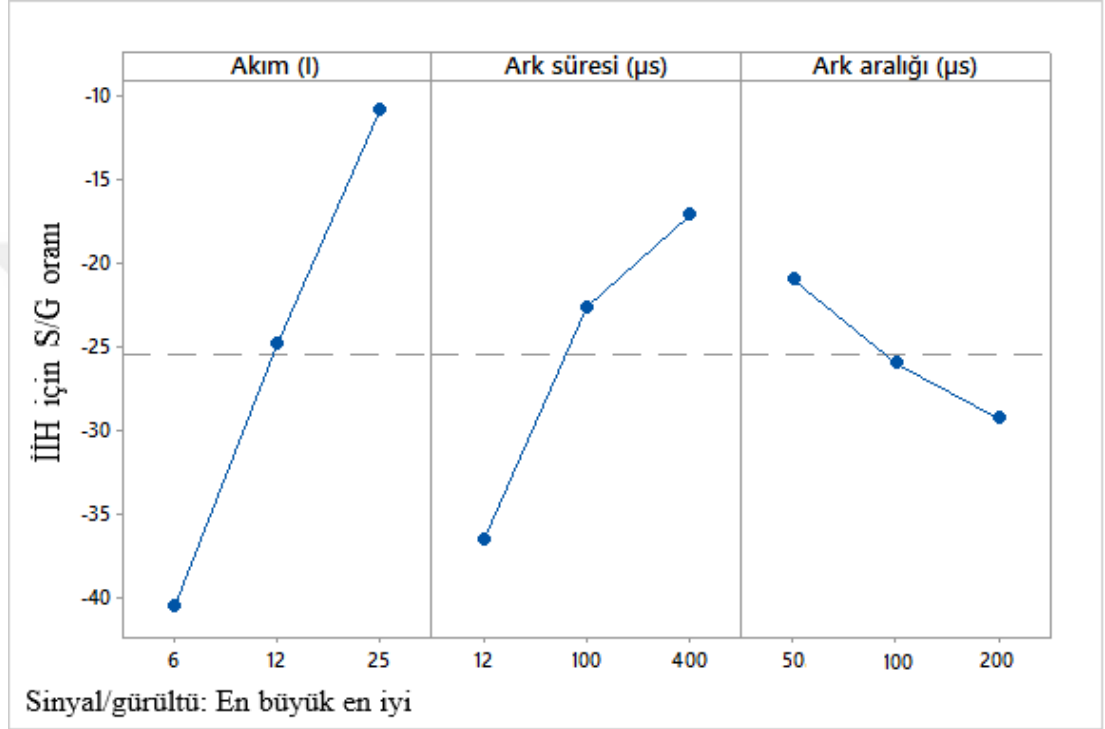
Şekil 5.1. İşleme parametrelerinin İİH’ye etkisi.

Buna göre, boşalım akımı arttıkça İİH oranının arttığı görülmektedir. Daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip kıvılcımlar, iş parçasına düşerek daha fazla miktarda malzeme ergitme ve buharlaştırma yapmaktadır. Böylelikle birim zamanda iş parçasından daha fazla hacim boşaltılarak İİH'nin artmasına sebebiyet vermektedir.

Ark süresi, kıvılcım boşalmasının başlamasıyla kıvılcımın sona ermesi arasında geçen süre olup, ark süresi arttırıldığında yine İİH'nin arttığı görülmektedir. Bunun en önemli sebebi her bir kıvılcım boşalımının daha uzun süreli oluşmasıdır. İİH için ark süresi en küçük değer olarak 12 μ s, en büyük değer olarak da 400 μ s seçilmiştir. İki kıvılcım boşalması arasındaki minimum süre olan ark aralığının artışı; akım birincil seviyeden ikincil seviyeye çıkarıldığında İİH’de bir miktar

azalma görülmektedir. Ark aralığı olarak seçilen en küçük değer 50 μ s, en büyük değer ise 200 μ s'dir.

AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, işleme parametrelerine göre talaş kaldırma hızı için sinyal / gürültü oranı grafiği Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. İİH için sinyal/gürültü oranı.

Taguchi'nin Sinyal/Gürültü (S/G) analizinde ulaşılmak istenen hedefe göre üç farklı analiz metodu mevcuttur. Bunlar; “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi”, “nominal en iyi” dir. S/G analizinde sinyal istenen değerleri temsil ederken, gürültü ise istenmeyen değerleri temsil eder. Dolayısıyla, S/G oranının en büyük olduğu değer bize optimum parametre kombinasyonunu vermektedir.

Grafiğe göre İİH için S/G oranı en büyük en iyi (en yüksek değer) seçilmiştir. Çünkü EEİ işlemlerinde İİH'nin daima en yüksek olması istenmektedir. Şekil 5.2'de görüldüğü üzere, S/G değerinin en yüksek olduğu parametre tasarımı; akım için 25 A, ark süresi için 400 μ s ve ark aralığı için 50 μ s'dir.

AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, işleme parametrelerine göre talaş kaldırma hızı için oluşturulan ANOVA tablosu Çizelge 5.3'te verilmiştir.

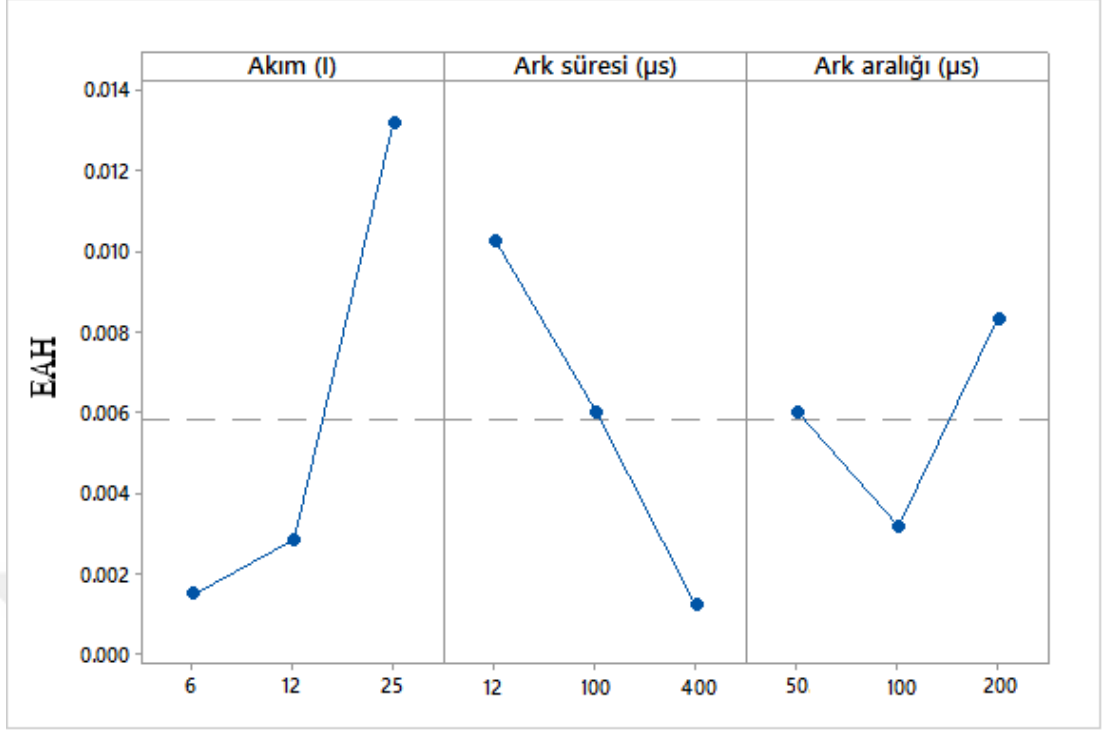
Çizelge 5.3. İİH için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F Değeri	P Değeri	Etki (%)
I (A)	2	0,41245	0,20622	5,89	0,145	52,96
Ton (μ s)	2	0,17659	0,08829	2,52	0,284	22,67
Toff (μ s)	2	0,11970	0,05985	1,71	0,369	15,37
Hata	2	0,07004	0,03502			8,9
Toplam	8	0,77878				100,00

Çizelge 5.3'e bakıldığında, İİH üzerinde en fazla öneme sahip değişken %52,96 değeri ile boşalım akımıdır. İİH üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %22,67 değeri ile ark süresidir. Ark aralığının etkisi %15,37 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak ark aralığı İİH en az etkiye sahip olan parametredir.

5.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN ELEKTROT AŞINMA HIZINA ETKİSİ

AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, işleme parametrelerine göre elektrot aşınma hızına etkileri Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



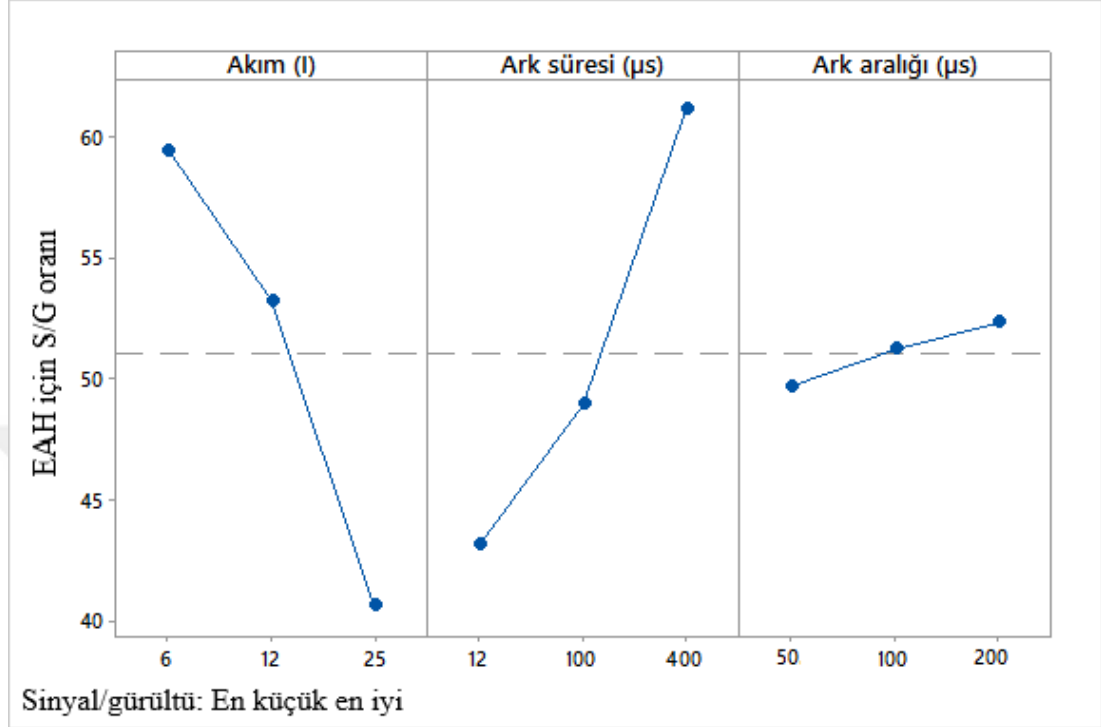
Şekil 5.3. İşleme parametrelerinin EAH'ye etkisi.

Buna göre boşalım akımı bir miktar arttırıldığında, yani akım birincil seviyeden ikincil seviyeye çıkarıldığında, EAH oranının arttığı görülmektedir. Boşalım akımı daha da arttırıldığında yani akım ikincil seviyeden üçüncül seviyeye çıkarıldığında, EAH oranında daha da fazla artış görülmektedir. Kıvılcım plazma boşalım kanalı ile takımdan ayrılıp iş parçasına doğru yönelirken takımdan ayrıldığı noktada bir miktar malzemeyi de ergiterek dielektrik sıvı içerisine karışmasını sağlar. Böylelikle iş parçası malzemesine göre çok az da olsa malzeme takımdan kopmuş olur ve takım aşınması gerçekleşir.

Ark süresi birincil seviyeden ikincil seviyeye çıkarıldığında EAH'de azalma olduğu görülmekte olup, ikincil seviyeden üçüncül seviyeye çıkarıldığında doğrusal bir azalma görülmektedir.

Ark aralığı birincil seviyeden ikincil seviyeye çıkarıldığında EAH'de bir miktar azalma görülmekte olup, yine ark aralığı ikincil seviyeden üçüncül seviyeye çıkarıldığında EAH'de artış görülmektedir.

AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, işleme parametrelerine göre elektrot aşınma hızı için S/G oranı etkileri Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. EAH için sinyal/gürültü oranı.

Grafiğe göre EAH için en küçük en iyi (en küçük değer) seçilmiştir. Çünkü EEİ işlemlerinde elektrot aşınma hızınının minimum olması istenir. Grafiğe göre EAH için en uygun parametre seviyesi, akım olarak 6A, ark süresi olarak 400 µs, ark aralığı olarak ise 200 µs belirlenmiştir.

AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, elektrot aşınma hızı için oluşturulan ANOVA tablosu Çizelge 5.4'te verilmiştir.

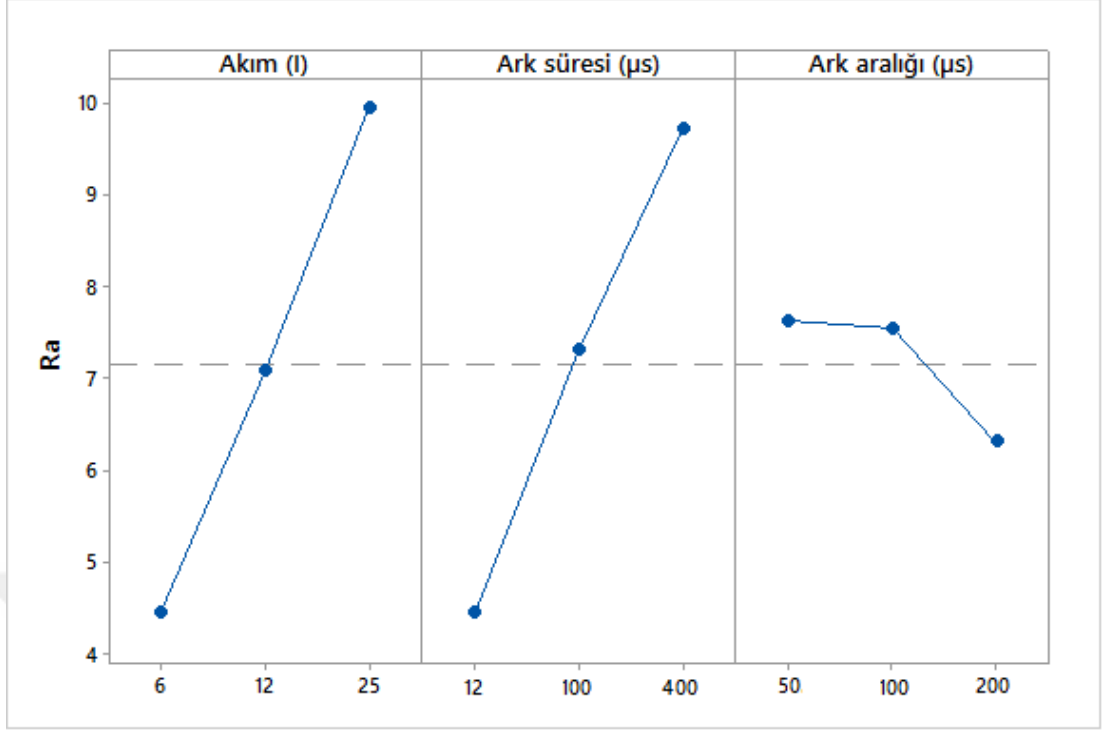
Çizelge 5.4. EAH için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F Değeri	P Değeri	Etki (%)
I (A)	2	0,000245	0,000122	4,38	0,186	52,91
Ton (μ s)	2	0,000123	0,000061	2,19	0,313	26,56
Toff (μ s)	2	0,000040	0,000020	0,72	0,582	8,64
Hata	2	0,000056	0,000028			11,89
Toplam	8	0,000463				100,00

Çizelge 5.4'e bakıldığında, EAH için en fazla öneme sahip değişken %52,91 değeri ile boşalım akımı olarak bulunmuştur. EAH üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %26,56 değeri ile ark süresidir. Ark aralığının etkisi %8,64 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak ark aralığı İİH'ye etkisi en az olan parametre seçilmiştir.

5.3. İŞLEME PARAMETRELERİNİN İŞ PARÇASI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

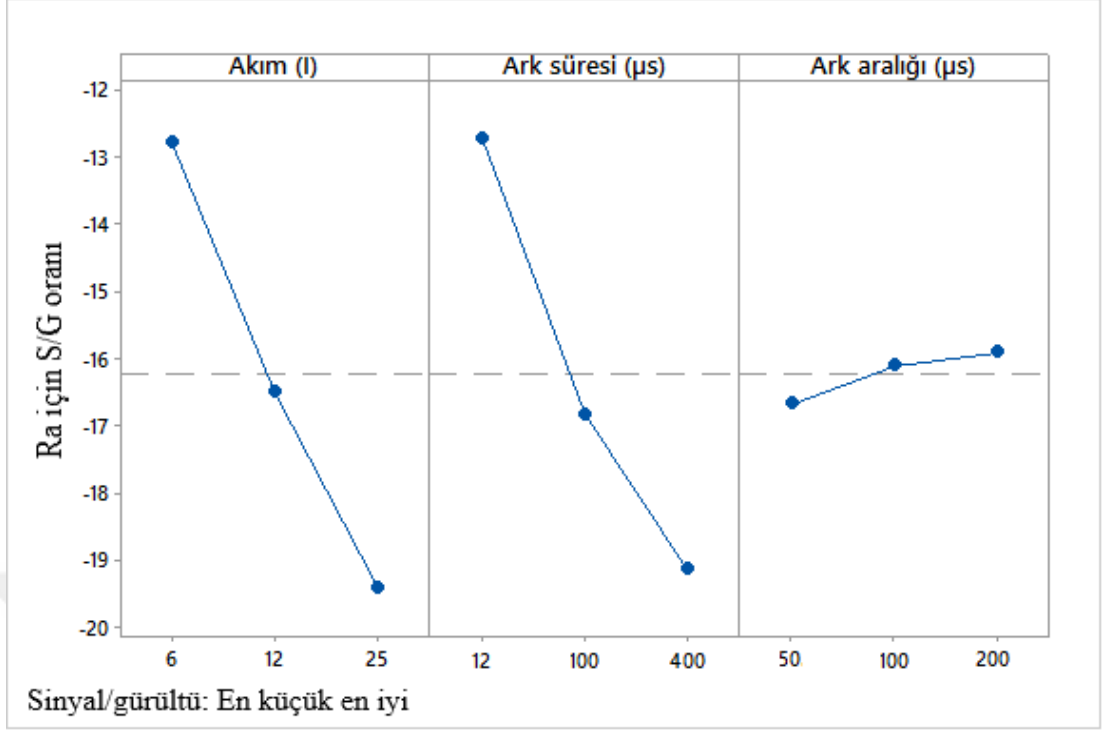
AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5. İşleme parametrelerinin Ra'ya etkisi.

Boşalım akımını bir miktar arttıkça Ra değerinin doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. Ark süresi arttırıldığında yine Ra'nın doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. Ark aralığının artışında akım birincil seviyeden ikincil seviyeye çıkarıldığında Ra'da bir miktar azalma görülmekte olup, akım ikincil seviyeden üçüncül seviyeye çıkarıldığında Ra değerindeki azalma miktarı daha fazla olmuştur.

AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, işleme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğü için S/G oranı Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. R_a için sinyal / gürültü oranı.

Grafiğe göre R_a için en küçük en iyi (en küçük değer) seçilmiştir. Çünkü EEİ ile elde edilen parçaların yüzey pürüzlülüğünün minimum seviyede olması arzu edilir. Buna göre R_a için en uygun parametre seviyesi; akım olarak 6 A, ark süresi olarak 12 μ s, ark aralığı olarak 200 μ s bulunmuştur.

AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde, işleme parametrelerine göre yüzey pürüzlülüğü için oluşturulan ANOVA tablosu Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Ra için ANOVA sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F Değeri	P Değeri	Etki (%)
I (A)	2	45,016	22,508	8,16	0,109	47,12
Ton (μ s)	2	41,708	20,854	7,56	0,117	43,66
Toff (μ s)	2	3,284	1,642	0,60	0,627	3,43
Hata	2	5,516	2,758			5,79
Toplam	8	95,524				100,00

Çizelge 5.5'e bakıldığında, Ra üzerinde en fazla öneme sahip değişken %47,12 değeri ile boşalım akımı olarak bulunmuştur. Ra üzerinde ikinci derecede öneme sahip değişken ise %43,66 değeri ile ark süresidir. Buna göre boşalım akımı ve ark süresi değerlerinin Ra'ya etkisi çok yakın olarak bulunmuştur. Ark aralığının etkisi %3,43 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak ark aralığındaki değişimin İİH'ye etkisi yok denecek kadar az olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada AISI 430 paslanmaz çeliğin EEİ ile işlenmesinde işleme parametrelerinin performans göstergeleri (İİH, EAH, Ra) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney tasarımı ve optimizasyon işlemlerinde Taguchi metodolojisi uygulanmıştır. Sonuçlar ortalama etki grafikleri ile yorumlanmıştır. Ayrıca S/G analizi ile optimum parametre tasarımları elde edilmiştir. Son olarak ANOVA ile işleme (girdi) parametrelerinin çıkış parametreleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiş olup, ileride yapılabilecek çalışmalar için bazı önerilerde bulunulmuştur.

- Akım değeri arttıkça İİH, EAH ve Ra değerleri belirli bir oranda artış göstermiştir. Akım değerindeki değişimin özellikle İİH için önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir.
- Ark süresi arttıkça boşalma akımının etkisi daha uzun süre devam ettiği için maksimum İİH'ye ulaşıldıktan sonra bile yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Diğer yandan, ark aralığının İİH için az etkili olduğu görülmüştür.
- Ark süresi arttırıldığında (12 μ s'den 400 μ s'ye çıkarıldığında), grafiklerden görülebileceği gibi EAH'nin doğrusal bir şekilde azaldığı belirlenmiştir.
- İİH değerlerine uygulanan ANOVA sonuçlarına göre, İİH üzerinde en fazla öneme sahip parametre %52,96 değeri ile boşalım akımı olarak bulunmuştur.
- İİH için optimum işleme parametreleri, akım için 25 A, ark süresi için 400 μ s ve ark aralığı için 50 μ s olarak bulunmuştur.

- EAH verilerine uygulanan ANOVA sonuçlarına göre, EAH üzerinde en fazla öneme sahip parametre %52,91 değeri ile boşalım akımı olarak bulunmuştur.
- EAH için optimum işleme parametreleri, akım olarak 6 A, ark süresi olarak 400 μ s, ark aralığı olarak ise 200 μ s'dir.
- Ra değerlerine uygulanan ANOVA sonuçlarına göre, Ra üzerinde en önemli parametre % 47,12 değeri ile boşalım akımı olarak belirlenmiştir.
- Ra için optimum işleme parametreleri, akım için 6 A, ark süresi için 12 μ s, ark aralığı için 200 μ s olarak belirlenmiştir.
- İİH, EAH ve Ra değerlerine göre çoklu optimizasyon yöntemleri uygulanarak işleme parametrelerinin en uygun değerleri bulunabilir.
- Aynı işleme parametre ve seviyeleri kullanılarak dielektrik sıvı türüne göre işleme çıktıları analiz edilebilir.
- Yüzey pürüzlülüğü için yapılan literatürdeki araştırmalarda olduğu gibi akım ve ark süresindeki artışın önemli olduğu görülmüştür. Bu parametrelere göre değişen yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak EEİ üretilen parçaların yorulma dayanımı değişimi üzerine araştırmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Ho, K.H. and Newman S.T., “State of Art Electrical Discharge Machining (EDM)”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 1287–1300 (2003).
2. Özgedik A., “Elektro erozyon ile İşlemede İş parçasına Uygulanan Titreşimlerin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 52-55 (2009).
3. Mascaraque-Ramirez, C. and Franco, P., “Experimental study of surface finish during electro-discharge machining of stainless steel”, *Procedia Engineering*, 132: 679-685 (2015).
4. Rajmohan T., Prabhu R., Subba Rao, G., Palanikumar K., “Optimization of machining parameters in electrical discharge machining (EDM) of 304 stainless steel”, *Procedia Material Science*, 38: 1030-1036 (2012).
5. Annamalai, N., “Investigation and modeling of electrical discharge machining process parameters for AISI 430 steel”, *International Journal of Engineering and Technology*, 0975-4024 (2013).
6. Kocabaş, Ş., “Elektroerozyon ile işlemede işlem parametrelerini malzeme giderilmesi ve yüzey kalitesine etkilerinin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 90-100, 174 (2013).
7. Dastagiri, M., Hemantha Kumar, A., “Experimental investigation of EDM parameters on stainless steel&En41b”, *Procedia Engineering*, 97: 1551-1564 (2014).
8. Patel, N. K., “Parametric optimization of process parameters for EDM stainless steel 304”, *National Institute of Technology Rourkela*, India, 29-40 (2014).
9. Unses, E. ve Çoğun, C., “Improvement of Electric Discharge Machining (EDM) Performance of Ti-6Al-4V Alloy with Added Graphite Powder to Dielectric”, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 61 (6): 409-418 (2015).
10. Özerkan, H. B., “Elektro erozyon ile işlemede toz karışumlu dielektrik sıvının performansına etkisinin deneysel incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-60 (2000).

11. Erden, A. and Temel, D., "Investigation on the use of Water as a Dielectric Liquid in Electric Discharge Machining," *Proceedings of the 22nd Machine Tool Design and Research Conference*, Manchester, UK, p.437-440 (1981).
12. Chen, Y. and Mahdavian, S.M, "Parametric study into erosion wear in a computer numerical controlled electro-discharge machining process", *Wear*, 236 (1-2): 350-354 (1999).
13. Gülcan, O., Uslan, İ., Usta, Y. and Çoğun, C., "Effect of Use of Cu-Cr P/M Electrodes on Machining Performance of Electric Discharge Machining", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3): 381-394 (2015).
14. Ho, C.C., Chang, Y.J., Hsu, J.C., Kuo, C.L, Huang, F.C., "Experimental investigation of thermal strain caused by electrical discharge machining on stainless steel SUS430", *Sensors and Materials*, 29: 1615-1623 (2017).
15. Gopalakannan, S. and Senthilvelan, T., "Effect of electrode materials on electric discharge machining of 316 L and 17-4 PH stainless steel", *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11: 685-690 (2012).
16. Safian Sharif, Wahaizad Safiei, A. F. Mansor, M. H. M. Isa and R. M. Saad, "Experimental study of electrical discharge machine (die sinkig) on stainless steel 316L using design of experiment", *Proceida Manufacturing*, 2, 147-152 (2015).
17. Lee, S. H. and Li, X.P., "Study of the effect of machining parameters on the machining characteristics in electrical discharge machining of tungsten carbide", *Journal of Materials Processing Technology*, 155 (3): 344-358.
18. Keskin, Y., Halkacı, H.S., Kizil, M., "An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surface roughness in electrical discharge machining (EDM)", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28 (11-12): 1118-1121 (2006).
19. Sarıkaya, M. ve Yılmaz, V., "Optimization and predictive modeling using S/N, RSM, RA and ANNs for micro-electrical discharge drilling of AISI 304 stainless steel", *Neural Computing and Applications*, 30 (5): 1503-1517 (2018).
20. König, W. and Jörres, L., "Aqueous solutions of organic compounds as dielectrics for EDM sinking", *CIRP Annals*, 36 (1): 105-109 (1987).
21. Srivastava, V. and Pandey, P. M., "Effect of process parameters on the performance of EDM process with ultrasonic assisted cryogenically cooled electrode", *Journal of Manufacturing Processes*, 14: 393-402 (2012).
22. Jose, Marafona, J., Wykes, C., "A new method of optimizing material removal rate using EDM with copper-tungsten electrodes", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 40 (2): 153-164 (2000).

23. Joshi, S.N. and Pande, S.S., "Development of an intelligent process model for EDM", *Int J Manuf Technol*, 45:300-317 (2009).
24. Sohani, M. S., Gaitonde, V. N., Siddeswarappa, B. and Deshpande, A. S., "Investigations into the effect of tool shapes with size factor consideration in sink electrical discharge machining (EDM) process", *Int J Adv Manuf Technol*, 45: 1131-1145 (2009).
25. Kruth J.P., Froyen L., Stevens L., Dejonghe P., "Inprocess Alloying of the White Layer of a Workpiece Machined by Die-sinking EDM", *International Journal of Electrical Machining*, 3 (2): 33-38 (1998).
26. Salman, Ö., "Dalma erozyon işlemlerinde yüzey pürüzlülük parametrelerinin genetik programlama ile belirlenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 4-36 (2005).
27. İnternet: Electro Discharge Machining, https://www.researchgate.net/figure/Typical-experimental-setup-for-EDM-process_fig6_275253527 (2016).
28. Özgedik, A. ve Çoğun, C., "Elektro-erozyon ile işleme performansının işleme parametreleri ile değişimi", *3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Ankara, c.2, 305-316 (2003)
29. Abbas, N. M., Solomon, D. G., Bahari., M. F., "A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM)", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47:1214-1228 (2007).
30. Yılmaz, V. Dilipak, H., Özdemir, M., "AISI 1040 Çeliğinin Elektro Erozyon ile İşleme Yöntemiyle Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Temel Performans Çıktıları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Tasarım ve Teknoloji*, 3 (1): 417-426 (1995).

ÖZGEÇMİŞ

Oya ARAT 1993 yılında İstanbul'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Sinop Gerze'de tamamladı. Şehit Nurullah Saraç Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2017 yılında Bozkurt Doğalgaz'da göreve başladı. Şuan Tesko Mühendislik'te aynı görevine devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : 19 Mayıs Mah. Gençlik Cad. Hüseyin Mızraklı Apt. No:71/3

Gerze / SİNOP

Tel : (545) 849 9357

E-posta : oyaarat57@gmail.com