



**MIRRAX KALIP ÇELİĞİNİN ELEKTRO
EROZYON YÖNTEMİ İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Batuhan ERMAN

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ali KALYON**

**MIRRAX KALIP ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON YÖNTEMİ İLE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Batuhan ERMAN

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ali KALYON**

**KARABÜK
Aralık 2021**

Batuhan ERMAN tarafından hazırlanan “MIRRAX KALIP ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON YÖNTEMİ İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ali KALYON

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 09/12/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç.Dr. Yakup KAYA (KBÜ)

Üye : Doç.Dr. Ali KALYON (YÜ)

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Muhammed ELİTAŞ (BŞEÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu çalışmadaki 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.”

Batuhan ERMAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MIRRAX KALIP ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON YÖNTEMİ İLE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Batuhan ERMAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ali KALYON

Aralık 2021, 39 sayfa

Bu çalışmada, MIRRAX kalıp çeliğinin elektro erozyon ile işleme (EEİ) metoduyla işlenebilirliği araştırılmıştır. EEİ deneylerinde takım malzemesi olarak bakır elektrot kullanılmış olup, dielektrik ortam sıvısı olarak kerosen kullanılmıştır. Deneyler sırasında dört farklı parametre değişken olarak seçilmiş olup, bu parametreler; elektrot tipi, boşalım akımı, vuruş süresi ve bekleme süresidir. İşleme parametrelerinin iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı ve ortalama yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri incelenmiştir. Taguchi L27 ortogonal dizisi uygulanarak deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına ANOVA analizi uygulanarak işleme parametrelerinin işlem çıktıları üzerindeki etki seviyeleri belirlenmiştir.

Deney sonuçlarına göre iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı ve yüzey pürüzlülüğü boşalım akımının artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Vuruş süresinin

artması ile iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızı değerlerini artırdığı belirlenmiştir. Boşalım akımının iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Mirrax, elektro erozyon ile işleme, iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı, yüzey pürüzlülüğü, Taguchi, optimizasyon

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF MIRRAX MOLD STEEL BY ELECTRO-EROSION METHOD

Batuhan ERMAN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Manufacturing Engineering

Thesis Advisor:

Asst. Prof. Ali KALYON

December 2021, 39 pages

In this study, the machinability of MIRRAX mold steel by electro-erosion machining method was investigated. In the electro erosion experiments, copper electrode was used as the tool material, and kerosene was used as the dielectric medium fluid. Four different parameters were chosen as variables during the experiments, these parameters are; electrode type, discharge current, pulse on time and pulse off time. The effects of machining parameters on material removal rate, electrode wear rate and average surface roughness were investigated. Experiments were carried out by applying the Taguchi L27 orthogonal array. By applying ANOVA analysis to the experimental results, the effect levels of the processing parameters on the process outputs were determined.

According to the experimental results, material removal rate, electrode wear rate and surface roughness increased with the increase of discharge current. It was determined

that with the increase of pulse on time, the material removal rate and electrode wear rate increased. It was determined that discharge current is the most effective parameter on material removal rate, electrode wear rate and surface roughness.

Key Word : Mirrax, electro erosion, material removal rate, electrode wear rate, surface roughness, Taguchi, optimization

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez sürecimde, tez konumu belirlememde ve tez çalışmalarım süresince engin bilgi ve birikimini bana aktaran, ilgi, alaka ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Ali KALYON'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca yaptığım uygulamalar için laboratuvar ve teknik malzemelerini kullanmamda bana yardımcı olan Teknoloji Fakültesi Dekanlığı'na ve İmalat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca desteklerini her an hissettiğim, maddi ve manevi anlamda yanımda olan, hayallerimin peşinden gitmemde en büyük destekçim sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3	6
ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME TEKNOLOJİSİ	6
3.1. ELEKTRO EROZYON TEZGAHI ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	7
3.2. ELEKTRO EROZYONUN SINIFLANDIRILMASI	8
3.2.1. Dalma Erozyonu	8
3.2.1.1 Dalma Erozyonunun Avantajları	8
3.2.1.2 Dalma Erozyonunun Dezavantajları	9
3.2.2. Tel Erozyonu	9
3.2.3. Delik Delme.....	10
3.3. ELEKTRO EROZYONUN İŞLEME PARAMETRELERİ	10
3.3.1. Elektriksel Parametreler.....	10
3.3.1.1 Vurum Süresi ve Vurum Ara Süresi	11
3.3.1.2 Vurum Çevrim Süresi	12
3.3.1.3 Boşalım Çevrim Süresi	12

	<u>Sayfa</u>
3.3.1.4 Boşalım Gerilimi.....	12
3.3.1.5 Boşalım Akımı.....	12
3.3.1.6 Boşalım Süresi	12
3.3.1.7 Gecikme Süresi	13
3.3.1.8 Açık Devre Gerilimi	13
3.3.1.9 Boşalım Gücü.....	13
3.3.1.10 Vurum Enerjisi.....	13
3.3.1.11 Vurum Frekansı	13
3.3.1.12 Elektrot Boşluğu	13
3.3.2. Elektriksel Olmayan Parametreler	14
3.3.2.1 İş Parçası	14
3.3.2.2 Elektrot.....	14
3.3.2.3 Dielektrik Sıvı.....	15
3.4. ELEKTRO EROZYON İŞLEME PARAMETRELERİ	15
3.4.1. İş Parçası İşleme Hızı	15
3.4.2. Elektrot Aşınma Hızı	15
3.4.3. Aşınma Oranı.....	16
3.4.4. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	16
BÖLÜM 4	17
MATERYAL VE YÖNTEM	17
4.1. ELEKTRO EROZYON TEZGAHI	17
4.2. ELEKTROT	18
4.3. İŞ PARÇASI MALZEMESİ	20
4.4. DİELEKTRİK SIVISI	20
4.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI.....	21
4.6. HASSAS TERAZİ	23
4.7. DENEY TASARIMI VE ANALİZİ.....	23
BÖLÜM 5	26
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	26
5.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ	27
5.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN İİH ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.....	29

	<u>Sayfa</u>
5.3. İŞLEME PARAMETRELERİNİN EAH ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	31
BÖLÜM 6	33
SONUÇLAR	33
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. EEİ yönteminin genel yapısı	8
Şekil 3.2. Gerilim kontrollü vurum jeneratöründe “gerilim-akım” dalga biçimi .	11
Şekil 3.3. Elektrot kutuplama türleri: pozitif kutuplama, negatif kutuplama	14
Şekil 4.1. Elektro erozyon tezgahı.....	17
Şekil 4.2. Tezgah kontrol paneli	18
Şekil 4.3. Deneysel çalışmada kullanılan elektrotlar.....	18
Şekil 4.4. İş parçası malzemesi.....	20
Şekil 4.5. Yanal püskürtme yöntemi ile dielektrik sıvı ile ıslatılması.....	21
Şekil 4.6. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı.....	21
Şekil 4.7. Ölçüm standı.....	22
Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü	22
Şekil 4.9. İş parçası ve elektrot tartım işlemi	23
Şekil 4.10. Zımpara ve polisaj makinesi	24
Şekil 4.11. Üniversal freze tezgahı.....	25
Şekil 4.12. Deneylerden sonra iş parçaları ve elektrotlar	25
Şekil 5.1. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları	27
Şekil 5.2. İİH için S/N oranları.....	29
Şekil 5.3. EAH için S/N oranları	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. CuNi ₂ SiCr mekanik ve fiziksel özellikler.	19
Çizelge 4.2. CuCoNiBe mekanik ve fiziksel özellikler.....	19
Çizelge 4.3. CuCrZr mekanik ve fiziksel özellikler	19
Çizelge 4.4. İş parçası malzemesi kimyasal bileşimi	20
Çizelge 4.5. Faktörler ve seviyeleri.....	24
Çizelge 5.1. Deneysel ve analiz çalışma sonuçları.....	26
Çizelge 5.2. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA analizi sonuçları	29
Çizelge 5.3. İİH ANOVA analizi sonuçları	30
Çizelge 5.4. EAH ANOVA analizi sonuçları.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

İİH	: iş parçası işleme hızı (g/dk)
EAH	: elektrot aşınma hızı (g/dk)
Ra	: ortalama yüzey pürüzlülüğü (μm)
Ba	: bağıl aşınma (%)
fp	: vurum frekansı
ie	: boşalım akımı (A)
Pe	: boşalım gücü (W)
td	: gecikme süresi (μs)
te	: boşalım süresi (μs)
ti	: vurum süresi (μs)
to	: vurum ara (bekleme) süresi (μs)
ue	: boşalım gerilimi (V)
uj	: açık devre gerilimi (V)
CuCoNiBe	: cupro CNB
CuCrZr	: cupro Max
CuNi2SiCr	: cupro NSS
Ton	: ark süresi (μs)
Toff	: ark aralığı (μs)

KISALTMALAR

ANOVA	: Analysis of Variance (Varyans Analizi)
EEİ	: Elektro Erozyon İle İşleme
İİH	: İş Parçası İşleme Hızı
EAH	: Elektrot Aşınma Hızı
S/N	: Signal/Noise (işaret/gürültü)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde imalat sanayisinde alışılmamış imalat yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel ya da alışılmamış imalat yöntemlerinde; iş parçası ile kesici takım arasındaki fiziksel temas ile göz ile görülür, makro boyutlarda talaş kaldırılarak yapılan şekillendirme işlemleri çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle üretilmesi düşünülen parçalarda birçok takım tezgâhı ve kesici takım içerisinden seçim yapılır. Üstelik temas esnasında oluşan kuvvetler, sürtünme ve sıcaklık, tırlama veya kesici takım aşınması gibi sorunlar doğurur. Bu nedenle geleneksel imalat yöntemlerinde imalatın, teknik tecrübesi yüksek bir ekip ile yapılması gerekir. Yakın tarihte yaşanan teknolojik gelişmeler ile, imalat yöntemlerindeki maliyetler ve çeşitli kısıtlamalar hesaba katılarak geleneksel imalat yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu husus, takım (elektrot) ve malzemenin kullanıldığı geleneksel olmayan imalat yöntemlerinde geçerli değildir.

Alışılmamış imalat yöntemleri arasında kullanım alanı olarak en yaygın tekniklerden biri elektriksel kıvılcım ile aşındırma yöntemi olan elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemidir. Bu yöntem, dielektrik sıvı içerisine daldırılmış elektriksel iletken elektrot ve elektriksel iletken iş parçası arasında meydana gelen elektriksel boşalımlar yardımıyla iş parçasının aşındırılması ilkesine dayanır. Takım ve iş parçası arasında 10-500 µm boşluk vardır, herhangi bir fiziksel temas yoktur [1].

Karmaşık geometriye sahip malzemelerin üretim sürecinde çoğunlukla tornalama ve frezeleme gibi üretim yöntemlerinin kullanılması ekonomik olarak çok uygun değildir. Yüksek hassasiyetli ve karmaşık geometriye sahip malzemeleri şekillendirmek için elektro erozyon yöntemi ekonomik bir yöntemdir [1].

Elektro erozyon tezgâhında, kontrollü bir şekilde kıvılcımların etkisiyle malzemeden çok küçük partiküller kopartılarak malzemenin şekillendirilme işlemi gerçekleştirilir. EEİ'nin işleme performansının iş parçası mekanik özelliklerinden bağımsız olması, iş parçası ile elektrotun birbirine temas etmemesi nedeniyle herhangi bir kesme kuvvetinin söz konusu olmaması en önemli üstünlüğüdür. Yüksek mukavemetli, sert, kırılğan ve yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemeler kolaylıkla işlenebilir. Bu özellik elektro erozyon tezgahının çalışma sahasını genişletmektedir [2].

Bu tez çalışmasında Mirrax plastik kalıp çeliğinin; bakır elektrot kullanılarak kerosen (dielektrik sıvı) ortamında, üç farklı boşalım akımı, vurum süresi ve bekleme süresinde işlenebilirlik performansının değerlendirilmiştir. EEİ'den sonra elde edilen deneysel sonuçlar incelenerek yüzey pürüzlülüğü, iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızı için ANOVA analizi yapılmıştır ve deney sonuçları grafikler yardımıyla yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Elektro erozyon tezgahıyla yapılan çalışmalar geçmişten günümüze doğru araştırıldığında, araştırmacılar çoğunlukla iletken özelliği yüksek elektrotlar kullanılarak, iş parçasının işlenmesine tesir eden parametrelerin işleme performansına etkisini araştırmışlardır. EEİ sırasında uygulanan parametreleri ve sonuçlarını analiz ederek yüzey pürüzlülüğü, iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma hızı gibi işleme çıktılarının iyileştirilmesi için çalışmalarda bulunmuşlardır [2].

Kocabaş vd., EEİ ile DIN 1.279 soğuk iş takım çeliğinin işlenebilirliğini elektro erozyon yöntemi ile incelemişlerdir. Boşalım akımı, ark süresi, bekleme süresi değerlerinin elektrot aşınma hızı, işleme hızı, elektrot ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü, elektrot kenar aşınmasına olan etkisini araştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde boşalım akımının yükselmesiyle beraber İİH, EAH, yüzey pürüzlülüğü ve elektrot kenar aşınmasında artış görülmüş ve aynı şekilde ark süresinin yükselmesi sonucu işleme hızı, iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve elektrot kenar aşınmasında da artış olduğu gözlemlenmiştir. Ark süresinin elektrot yüzey pürüzlülüğüne çok fazla etkisi olmadığı aktarılmıştır [3]. Gopalakannan ve Senthilvelan çalışmalarında 17-4 PH ve 316L paslanmaz çeliğin EEİ tekniği ile işleyerek İİH, EAH ve yüzey pürüzlülüğü gibi performans çıktılarını değerlendirmişlerdir. Deneylerinde elektrot malzemesi olarak grafit, bakır, tungsten-bakır kullanmışlardır. İİH, EAH ve yüzey pürüzlülüğü, boşalım akımının yükselmesiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; talaş kaldırma oranının en yüksek bakır elektrot ile elde edildiğini belirtmişlerdir. Aşınmanın en düşük olduğu, düşük yüzey pürüzlülük değerlerine ulaşılan ve ölçüsel tamlığı en iyi sağlayan elektrotun tungsten-bakır elektrot olduğu ifade edilmiştir [4]. Lee vd., iş parçası malzemesi olarak seçtikleri S45C karbon çeliğinin EEİ’inde dielektrik sıvı püskürtme yöntemlerini deneyerek ve teorik işleme

similasyonlarını uygulayarak İİH ve takım aşınma oranını etkileyen mekanizmayı araştırmışlardır. Tek delikli ile çok delikli içten püskürtme kanallarına sahip elektrot kıyaslandığında çok delikli içten püskürtme özelliğine sahip bir elektrodun, daha yüksek akıma dayandığı ve daha etkili bir temizleme işlemi yaptığı ve İİH'nın çok delikli elektrot ile daha hızlı olduğu ortaya konulmuştur. Tek delikli takımlarda ise daha düşük takım aşınma oranının olduğu aktarılmıştır [5]. Jose vd., çalışmalarında Cu20W80 alaşımını elektrot malzemesi kullanarak değişik ark sürelerinde yapmış olduğu deneysel çalışmada boşalım akımı ve ark süresinin artmasıyla beraber İİH'nın arttığını, boşalım akımı ve ark süresi arttığında ise iş parçası yüzey pürüzlülüğünün de arttığını tespit etmişlerdir [6]. Hourmand ve arkadaşları, Al-Mg₂Si metal matrisli kompozit malzemesinin EEİ'sinde İİH, EAH ve yüzey pürüzlülüğü performansını incelemek için çalışmalar yapmışlardır. Deney sonuçlarını değişken analizi (ANOVA) yaparak İİH ve EAH değerleri için matematiksel bağlantılar ortaya koymuşlardır. Yapılan mikroyapı incelemesinde boşalım akımı ve vurum süresinin, yüzey pürüzlülüğüne direkt olarak etki eden parametreler olduğunu saptamışlardır [7]. Sharif vd., elektro erozyon ile işlemede giriş parametrelerinin işleme sürecinin özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında, iş parçası olarak 316L paslanmaz çelik ve elektrot olarak bakır emdirilmiş grafit kullanarak deneyleri, iki seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı ile gerçekleştirmişlerdir. İş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı, yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi ve matematiksel modelleme geliştirdikleri çalışmalarında, sonuç olarak maksimum akımın değişken tüm tepkilerde en önemli etken olduğunu vurgulamışlardır [8]. Dastagiri ve Kumar, elektro erozyon ile işleme yöntemiyle ilgili olarak; voltaj (V), akım (I), ark süresi (Ton) ve iş faktörü gibi etkenlerin İİH, EAH, Ra ve sertlik (HRC) üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Tam faktöriyel tasarım ile gerçekleştirilen deneylerde voltaj, akım, vurum süresi ve çevrim faktörü giriş parametreleri kullanılarak yüzey pürüzlülüğü, malzeme kaldırma oranı ve sertliği tahmin etmek için matematiksel model geliştirmişlerdir. Deney sonuçları ile tahmin edilen değerler birbirine çok yakın çıkmıştır. Oluşturdukları matematiksel modeli, İİH ve ortalama yüzey pürüzlülüğü gibi parametreleri belirlemede kullanmışlardır [9].

Sohani vd., üçgen, kare, dikdörtgen ve dairesel geometrili elektrotlar ile boşalım akımı, ark süresi, ark aralığı ve takım yüzey alanı gibi işlem parametrelerinin etkilerini

araştırmak için yanıt yüzey metodolojisini kullanmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, daha düşük EAH ve daha yüksek İİH için en iyi takım şeklinin sırasıyla dairesel, üçgen, dikdörtgen ve kare kesitler olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan analizlerin ışığında, iş parçası işleme hızının, ark aralığı ile doğru orantılı bir şekilde arttığı belirlenmiştir [10]. Srivastava ve Pandey, M2 sınıfı yüksek hız çeliğinin işlenmesinde normal bir elektrot, kriyojenik olarak soğutmalı elektrot ve ultrasonik destekli kriyojenik olarak soğutmalı çeşitli elektrotlar kullanmışlardır. 25 dk süre ile yapılan deneylerde dielektrik sıvı olarak gaz yağı tercih edilmiştir. Deneylerde boşalım akımının artışı ile İİH ve EAH'nın arttığı ve ark süresinin artmasıyla, her üç elektrot malzemesi için iş parçası yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirlemişlerdir [11]. Erden ve Temel, EEİ ile ilgili yaptıkları araştırmalarda, bakır elektrot, çelik iş parçası, dielektrik sıvı olarak saf su, çeşme suyu, tuzlu ve gliserinli suyu denemişlerdir. Sonuçlara göre; İİH ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinde kullandıkları dielektrik sıvıların, gaz yağına göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [12]. Patel vd., elektrot olarak tungsten karbür, iş parçası olarak AISI 304 paslanmaz çeliğini kullanarak elektro erozyon ile işlenebilirliğini araştırmışlardır. İşlem parametrelerinin İİH ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerden birinin akım olduğunu ifade etmişlerdir. İİH üzerinde en önemli parametrenin boşalım akımı olduğunu gözlemlemişlerdir [13].

BÖLÜM 3

ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME TEKNOLOJİSİ

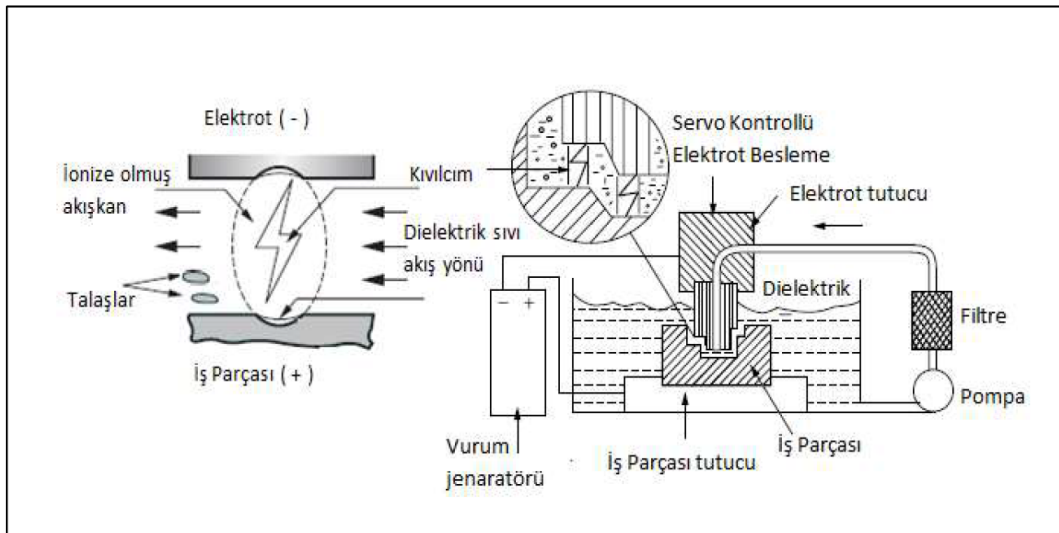
EEİ, geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanlardan bir tanesidir. Elektro erozyon, bir iş parçası ile bir elektrotun arasında tekrar edilen elektrik boşalım dizileri yardımıyla ortaya çıkan kıvılcımın, elektro termal enerji ile iş parçasını ergiterek, iş parçasından parçacıkların koparıldığı bir işlemdir. EEİ tekniği, malzemenin sertliği ve mekanik özelliklerinden çok fazla etkilenmediği için, elektrik iletkenliği olan tüm malzemeler rahatlıkla işlenebilir. İmalatı zor olan parçalar, sert metaller ve sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesi için oldukça uygun bir yöntemdir [14].

Elektro erozyon yönteminde iş parçasının anot adını alması, genellikle pozitif olarak kutuplandırıldığı içindir. Genellikle negatif tarafa elektrot bağlandığı için katot olarak isimlendirilir. Fakat çelik ve alüminyum elektrotlar, çeliğin işlenmesinde kullanılan tungsten-bakır elektrotları ve kaba işlem için kullanılan grafit elektrotlar bu kuralın dışındadır. Elektrot seçimi, işlenecek olan malzemenin özelliklerine uygun olarak seçilmektedir. Elektrot (takım) ile parça arasında 0,0125mm ile 0,5 mm'lik bir ark aralığı ve bu aralıkta dielektrik bir sıvı bulunur. Dielektrik sıvı, soğutma fonksiyonunun yanı sıra, yüzeyden kaldırılan çok küçük malzeme parçacıklarını aralık arasından uzaklaştırır. İşleme sırasında kullanılacak olan dielektrik sıvı uygun olarak seçilmelidir. Yaygın şekilde kullanılan dielektrik sıvılar; gaz yağı, kerosen, saf su, gliserinli su, transformatör yağı vb. dir. Dielektrik sıvının cinsi, iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü oldukça etkilemektedir [14].

3.1. ELEKTRO EROZYON TEZGAHI ÇALIŞMA PRENSİBİ

Klasik bir EEİ sistemi iş parçası, elektrot, dielektrik sıvı, dielektrik sıvı tankı, filtre, sirkülasyon pompası, servo kontrollü elektrot besleme mekanizması, vurum jeneratörü, iş parçası bağlama aparatı ve elektrot takım tutucusundan meydana gelmektedir. Elektrot besleme ünitesi servo kontrollüdür, iş parçası ile elektrot arasında oluşan aktif elektriksel boşalımın olduğu esnada işleme aralığının değişkenliğini önleyerek sabit kalmasını sağlar. İşleme sırasında iş parçasından çıkan talaşlar ise, dielektrik sıvı püskürtülerek ortamdan ayrıştırılır ve dielektrik sıvı sirkülasyon ünitesi yardımıyla dielektrik sıvı talaşlardan filtrelenerek arındırıldıktan sonra tekrar işlemenin yapıldığı bölgeye püskürtülür. Şekil 3.1’de klasik EEİ yönteminin genel yapısı şematik olarak gösterilmektedir [15].

EEİ yöntemi ile elektriği iletme özelliği olan malzemeler, sertliklerinden tamamen bağımsız olarak ısı(termal) enerji yardımıyla başarı bir şekilde işlenmektedir. Elektro erozyon ile işleme yöntemi, kalıp üretimi, tıbbi ekipman üretimi, otomotiv sanayisinde, havacılık ve uzay endüstrisinde oldukça aktif olarak kullanılmaktadır. Elektrot ile iş parçası işleme sırasında birbirine temas etmemesi sayesinde mekanik gerilmeler ve işleme sırasında oluşabilecek titreşim gibi problemlerin oluşma ihtimalini ortadan kaldırır [1,16].



Şekil 3.1. EEİ yönteminin genel yapısı [17].

3.2. ELEKTRO EROZYONUN SINIFLANDIRILMASI

3.2.1. Dalma Erozyonu

Dalma erozyon yöntemi, en yaygın olarak kullanılan elektro erozyon ile işleme tekniğidir. İş parçası tezgahın bağlama aparatına, elektrot ise takım tutucu vasıtasıyla tezgaha bağlanır. İş parçası ve elektrodun elektriksel iletkenliği kontrol edilir. İş parçası ve elektrot pompa yardımıyla dielektrik sıvı içerisinde daldırılır. EEİ işleme için kullanılan dielektrik sıvılardan yaygın olanları; gaz yağı, petrofer ve transformatör yağlarıdır. İstenilen şekli ve boyutu ortaya çıkarabilmek için işleme yapmak üzere NC kontrol ünitesindeki işleme parametreleri ayarlanır. Voltaj uygulanmaya başlar ve uygulanan voltaj iş parçası üzerinde darbe şeklinde boşalma akımı başlatır. Her kıvılcım, iş parçasının yüzeyinden ince bir boşlukta buharlaşmaya ve ergimeye yetecek kadardır ve rastgele bir boşalım gerçekleşmektedir. Bu dönemde deşarj akımı 0,5-400 A aralığında, uygulanan voltaj aralığı 40-300 V ve darbe süresi 2-2000 µm arasında değişiklik gösterebilir. Ergiyen malzemenin iş parçası üzerinde toplanmasını önlemek için çeşitli yıkama yöntemleri uygulanır ve bu yıkama işlemleri hızlandırılır. Tüm tezgahların avantajları ve dezavantajları olduğu gibi elektro erozyon tezgahının da avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır [18].

3.2.1.1. Dalma Erozyonunun Avantajları

- İşleme sonucunda iş parçasında çapak oluşumu gözlenmez.
- Bir operatör birden fazla tezgâhı çalıştırabilir.
- İstenilen kalıp boşluğu rahatlıkla oluşturulabilir.
- İş parçasının sertliği, işleme için önemli değildir.
- Karmaşık geometrili boşaltmalar yapılabilir.
- Malzemenin işlenebilmesi için elektrik iletkenliği olması yeterlidir [19].

3.2.1.2. Dalma Erozyonunun Dezavantajları

- Enerji tüketim miktarı başka tezgahlara kıyasla daha fazladır.
- Yalnızca elektrik iletkenliği olan malzemeler işlenebilir.
- İşleme sonucu ortaya çıkan talaşı, malzeme üzerinden uzaklaştırmak zordur.
- Elektrotta meydana gelen aşınmalardan kaynaklı olarak iş parçasında şekil sapmaları oluşabilir [19].

3.2.2. Tel Erozyonu

Tel erozyon ile işleme yöntemi kısaca, elektrik iletkenliği bulunan bir malzemenin üzerinde yüksek yoğunlukta elektrik akımı geçirilen bir tel yardımıyla yapılan kesme işlemidir. Bu işlem makinalarda, farklı elektriksel kutuplara elektrot yerleştirilir, kesilecek olan iş parçasına yaklaştığı esnada elektriksel boşalımları yardımıyla yüksek bir ısı meydana getirmekte ve kısmi metal ergimesi ile parçacık yok edilerek değişiklik sağlanmaktadır. Talaş kaldırma hızı, her arkın geçtiği süreye göre ve arkın enerji miktarına göre değişiklik göstermektedir. İşlemin ilk bölümünde, iş parçasının biçimi bir koordinat yüzeyi içerisinde, çizimdeki her bir elemana nokta, daire ve çizgi numaraları isimlendirilerek şekillendirilmektedir. İşlemin ikinci bölümünde ise kesme yolu yardımıyla esas şekli meydana gelmektedir. Kesme işlemi başlatıldığında tel kesme yolunu takip ederek kesme işlemi bitirilmektedir. Tel erozyon tezgahlarında kullanılan telin çapı 0,1-0,4 mm arasında değişiklik gösterir ve pirinç, tungsten ve molibden tel elektrotlar yoğun olarak kullanılmaktadır. Elektrot tel çapı aynı zamanda parçanın kesim esnasında dönüşlerde bıraktığı yarıçap ölçüsünü de ortaya çıkarmaktadır. Tel erozyon tezgahının genel kuralı tel elektrot (+), tabla ise (-) kutuplanmalıdır. Tel elektrotun parçaya yaklaşması sonucu ortaya çıkan ark ile kesme işlemi gerçekleşmektedir. Ark esnasında oluşan ısı yaklaşık 8000°C-12000°C civarındadır.

3.2.3. Delik Delme

Çok yüksek hızda, elektrik iletkenliği olan bir malzemeye delik açmak için elektrot tüpü kullanılır. Delik çapı 0,3-3,0 mm arasında olabilir. Bu işlem özellikle hızlı, doğrultusu önemli, küçük ve derin delik delme işlemleri için geliştirilmiştir. Havacılık, enerji, otomotiv ve kalıpcılık sektörlerinde delik işleme operasyonları için yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Elektrik iletkenliği olan malzemelere hızlı delik delme tezgahıyla çapı 0,3-3,0mm aralığında 400 mm derinliğe kadar delik açabilmek bu yöntem ile gerçekleştirilebilmektedir.

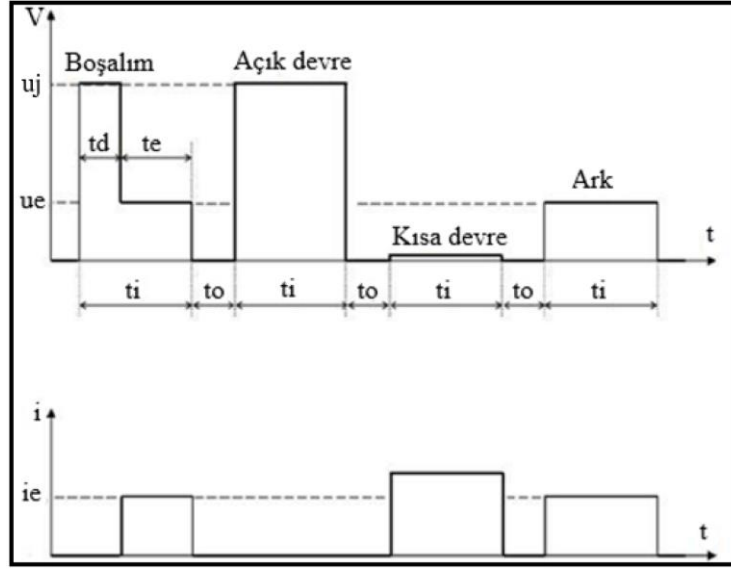
3.3. ELEKTRO EROZYON İŞLEM PARAMETRELERİ

Elektro erozyon ile işleme yöntemiyle iş parçasının minimum sürede ve istenilen kalitede işlenebilmesi, işleme parametrelerine bağlıdır. Çok sayıda olan bu parametreler, işlemeyi doğrudan etkilemektedir. Bu sebepten dolayı parametrelerin doğru seçilebilmesi için ne işe yaradıklarının anlaşılması gerekmektedir. Temel olarak elektriksel ve elektriksel olmayan parametreler olmak üzere kontrol parametreleri ikiye ayrılır.

3.3.1. Elektriksel Parametreler

Elektriksel parametreler başlıca, boşalım akımı, boşalım gerilimi, vurum ara süresi, vurum süresi, elektrot boşluğu ve kutuplamadır.

Şekil 3.4'te akım " $i(t)$ " ve gerilim " $u(t)$ " değişimleri gösterilmektedir. Bunlar işleme aralığında elektriksel boşalımdaki tipik değişimleri ifade etmektedir [20].



Şekil 3.2. Gerilim kontrollü vurum jeneratöründe “gerilim-akım” dalga biçimi [20].

3.3.1.1. Vurum Süresi (t_i) ve Vurum Ara (bekleme) Süresi (t_o)

İş parçası ile elektrot arasındaki işleme mesafesinde, voltajın uygulandığı ilk an ile boşalmanın bitiş anı arasındaki sürenin toplamı vurum süresidir. Art arda oluşan iki boşalmanın arasında kalan süre de vurum ara süresidir. Bu süreler mikro saniye cinsinde belirtilir [21].

İş parçasının işlenmesi vurum süresi boyunca gerçekleştiği için, bu parametreler ve saniye başına devir sayısı (frekans) oldukça önemlidir. İİH, vurum süresi boyunca uygulanan enerji miktarına bağlıdır. Vurum süresi uzatıldıkça, iş parçasından uzaklaştırılan malzeme miktarı da artacaktır. Ancak vurum süresinin artmasıyla, işleme yüzeyinde oluşan kraterlerin genişliği ve derinliği de artacaktır. Bu da yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olacaktır. Vurum süresinin artması daha fazla ısının iş parçasına geçmesini sağlar ve ısıdan etkilenen bölge daha derin olur. Bu nedenle aşırı vurum süresi iş parçasına zarar verebilir. Optimum vurum süresi aşıldığında ise malzeme kaldırma hızı düşmeye başlar [22].

Vurum ara süresi işleme hızını doğrudan etkiler, vurum ara süresinin daha az olması işleme çalışmasının hızlı gerçekleşmesini sağlar. Ancak, ara süre çok az olursa, iş parçasından kaldırılan malzemenin püskürtülen dielektrik sıvı ile tam olarak temizle-

nememesine sebep olur ve dielektrik sıvı deiyonize olmaz. Bu, bir sonraki boşalımların kararsızlığına neden olur. Kararsız boşalımlar ise düzensiz döngü ve işleme süresinin uzamasına sebep olur. Aynı noktada devamlı olarak kıvılcım oluşmaması için vurum ara süresinin deiyonizasyon süresinden daha büyük olması gerekir [22,23].

3.3.1.2. Vurum Çevrim Süresi

Vurum süresi ile vurum bekleme süresinin toplamı, vurum çevrim süresidir.[21].

3.3.1.3. Boşalım Çevrim Süresi

Vurum süresinin, vurum çevrim süresine göre yüzdesidir [22].

$$\text{Boşalım çevrim süresi (\%)} = \frac{\text{vurum süresi } (\mu\text{s})}{\text{Vurum çevrim süresi } (\mu\text{s})} \times 100 \quad (3.1)$$

3.3.1.4. Boşalım Gerilimi (ue)

Boşalımın devam ettiği süre boyunca, elektrot ve iş parçası arasındaki işleme aralığında ölçülen gerilimdir [22].

3.3.1.5. Boşalım Akımı (ie)

Boşalım süresince işleme aralığından geçen akıma boşalım akımı denir. EEI'de en önemli işleme parametresi olarak kabul edilir. Her vurum süresi boyunca boşalım akımı, önceden belirlenmiş olan seviyeye gelene kadar artış gösterir. Geniş yüzey alanlarının işlenmesi sırasında ve kaba işlemlerde yüksek boşalım akımı uygulanır [22].

3.3.1.6. Boşalım Süresi (te)

Gerilim uygulandıktan sonra işleme aralığı boyunca akımın boşaldığı süredir [21].

3.3.1.7. Gecikme Süresi (td)

Boşalımdan önce dielektrik sıvının iyonlaşması için geçen süredir [21].

3.3.1.8. Açık Devre Gerilimi (ui)

Boşalım yapılmazken işleme aralığında olan gerilimdir [22].

3.3.1.9. Boşalım Gücü (Pe)

Bir boşalım süresince uygulanan güçtür [21].

3.3.1.10. Vurum Enerjisi (We)

Boşalım süresince işleme aralığına uygulanan enerjidir [21].

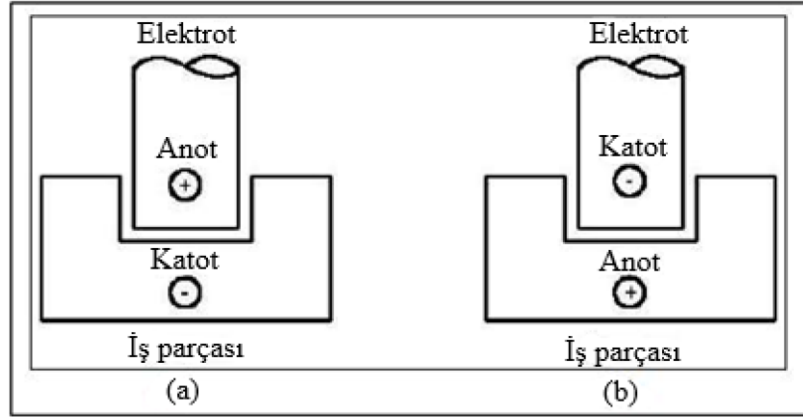
3.3.1.11. Vurum Frekansı (fp)

Vurum jeneratörünün iş parçası ile elektrot arasına birim zamanda uyguladığı vurum sayısıdır [21].

3.3.1.12. Elektrot Boşluğu

İş parçası ile elektrot arası mesafenin ayarlanan seviyede tutulmasıdır. EEİ için en önemli gerekliliklerdendir. Bu aralık çok ufak değerlerde olduğundan dolayı kontrol edilmesi mümkün değildir. Bu yüzden servo kontrol denilen mekanizma ile aralığın kontrolü yapılır. Aralığın gerçek değeri sürekli ölçülerek ayarlanan aralık değeriyle karşılaştırılır. Karşılaştırmaya göre servo mekanizması, gerçekleşen değeri ayarlanan değere yaklaştıracak şekilde elektrodu hareket ettirir [22].

Kutuplama genel olarak deneyler ile belirlenir ve elektroda göre kıvılcımın akış yönünü belirler. İşlemenin hızını etkileyen önemli bir parametredir. Elektrot pozitif yada negatif kutuplanabilir [24].



Şekil 3.3. Elektrot kutuplama türleri: (a) pozitif kutuplama, (b) negatif kutuplama.

3.3.2. Elektriksel Olmayan Parametreler

Dielektrik sıvısı, elektrotun hareketi ve takımın temizlenmesi gibi unsurlar EEİ parametrelerinin kalitesine etki etmektedir. İş parçası, dielektrik sıvısının kalitesi, elektrot ve takım elektrotunun hareketi elektriksel olmayan parametrelerden bazılarıdır [25].

3.3.2.1. İş Parçası

Titanyum alaşımları, süper alaşımlar ve kalıp malzemeleri gibi elektriksel iletkenliği bulunan malzemeler iş parçası olarak tercih edilmektedir. Fakat burada önemli olan nokta, seçilen iş parçası ile elektrotun birbirleri arasındaki uyumdur.

3.3.2.2. Elektrot

İletken metaller üzerlerine gerilim uygulandığında elektrot adını almaktadır. Genelde direnç ve iletkenlik baz alınarak bakır tungsten, pirinç, bakır ve gümüş tungsten gibi elektrotlar tercih edilmektedir. Kare, silindirik ve dikdörtgen gibi farklı şekillerde elektrotlar kullanılmaktadır. Elektrot seçiminde maliyet ve temin edilebilirliğe dikkat edilmelidir. Ayrıca ergime sıcaklığı yüksek olmalı ve iş parçası ile uyumu da göz ardı edilmemelidir [25].

3.3.2.3. Dielektrik Sıvı

Dielektrik sıvıları elektrik iletmezler, iş parçası üzerinde biriken aşınmış malzemeyi temizlemek amacıyla yalıtkan ortam oluşturmaktadır. Ayrıca iş parçası ile takımın soğumasını sağlamaktadır. Dielektrik sıvısı olarak; mazot, gazyağı, transformatör yağı, kerosen ve erozyon yağı vb. yağlar tercih edilmektedir.

3.4. ELEKTRO EROZYONUN PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

3.4.1. İş Parçası İşleme Hızı

İş parçası işleme hızı, iş parçasından birim zamanda kaldırılan malzeme miktarını verir. İş parçası üzerinden kaldırılan malzeme; güç seviyesi, ark süresi, bekleme süresi gibi parametrelere göre değişkenlik gösterir. İİH, iş parçası EEİ işlenmeden önce ve işlendikten sonra arasında oluşan ağırlık farkının, işleme süresine oranlanmasıyla bulunur. İş parçası işlenmeden önce tartılarak başlangıçtaki ağırlık bulunur. İş parçası işlendikten sonra ise tekrar tartılarak son ağırlığa ulaşılır. Bu ağırlıklar hassas terazi kullanılarak ölçülür. İİH, Eşitlik 3.1'e göre hesaplanmaktadır [26].

$$\text{İİH} = \frac{\text{iş parçası ilk ağırlık} - \text{iş parçası son ağırlık}}{\text{işleme süresi}} \quad (\text{g/dak}) \quad (3.2)$$

3.4.2. Elektrot Aşınma Hızı

EEİ yapılırken ortaya çıkan kıvılcımların etkisiyle elektrotta aşınma gerçekleşir. Elektrot aşınma hızı (EAH), EEİ işlenmeden önce ve işlendikten sonra arasında oluşan ağırlık farkının, işleme süresine oranlanmasıyla bulunur. Eşitlik 3.2'ye göre hesaplanmaktadır [26].

$$\text{EAH} = \frac{\text{takımın ilk ağırlığı} - \text{takımın son ağırlığı}}{\text{işleme süresi}} \quad (\text{g/dak}) \quad (3.3)$$

3.4.3. Aşınma Oranı

Takım aşınma oranı ile malzeme aşınma oranının birbirine oranlanması ile aşınma oranı yani bağıl aşınma (BA) bulunur. İş parçası ve elektrotun aynı malzemeden olması bu oranı yükseltir. Boşalım akımı ve ark süresi aşınma oranını etkileyen önemli parametrelerdir. Ergime derecesi düşük malzemeye sahip olan elektrotlar, ergime derecesi yüksek olan elektrotlara göre daha fazla aşınmaktadır. Aşınma oranı Eşitlik 3.3'e göre hesaplanmaktadır. [26].

$$BA\% = \frac{EAH}{\dot{ii}H} \times 100 \quad (3.4)$$

3.4.4. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü

Bir parçanın yüzey morfolojisi özellikleri, bu parçanın kullanılacağı alana uygun olarak istenen beklentileri karşılayabilmesi için gereklidir. İmalat sanayisinde parçanın yüzey pürüzlülüğü, ölçüsel olarak tamlığı oldukça önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü, yüzey pürüzlülük cihazları kullanılarak ölçülür. Yüzey kalitesi; termal olarak iki katman tarafından belirlenir. Açılma işlemi esnasında dielektrik akışkan tarafından hızlı bir şekilde soğuması sağlanan erimiş metalin ortaya çıkardığı katmana beyaz katman denir. Bu katman, metalin metalürjik özelliklerinin değişmesi sonucu oluşur. Isıdan etkilenmiş olan bölgenin altında bulunan ana malzeme, EEİ işleminden etkilenmez [30]. İş parçasının oksitlenmesini önlemek ve EEİ performansını arttırmak için dielektrik sıvısının seçimi de önemlidir. Ayrıca dielektrik sıvı basıncının yüksek olması bazı araştırmalarda yüzey pürüzlülüğünün az da olsa olumsuz etkilendiğini, düşük basınçlarda ise yüzey pürüzlülüğünde olumlu yönde çok az bir değişme olduğunu kanıtlamışlardır. Yapılan araştırmalar sonucu dielektrik sıvı basıncının yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmektedir [25].

Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), örnekleme uzunluğu (L) içerisinde bulunan profil ortalama çizgisinden sapmaların (h_x) mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasının alınması ile hesaplanmaktadır [27].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. ELEKTRO EROZYON TEZGAHI

Deneysel çalışmalarda, Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan "FURKAN EDM M25 A" tipi elektro erozyon tezgâhı kullanılmıştır.

Elektro erozyon klasik takım tezgâhları arasında yer alır. Karmaşık geometrili iş parçalarının işlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Özellikle kalıpcılık sektöründe vazgeçilmez bir tezgâhtır. Elektrik iletkenliğine sahip tüm malzemeler elektro erozyon tezgahı ile işlenebilir. Deneysel çalışmaların yapıldığı elektro erozyon tezgâhı Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Elektro erozyon tezgahı

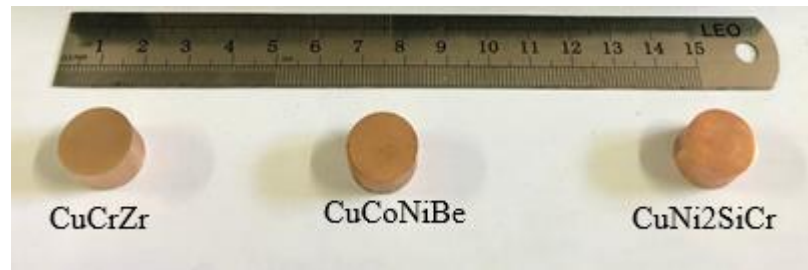
Elektro erozyon tezgahında bulunan kontrol paneli, deneysel çalışmalarda kullanılacak tüm parametrelerin değiştirilebildiği ve ayarlarının yapıldığı kısımdır. Bu kontrol paneli Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Tezgah kontrol paneli.

4.2. ELEKTROT

Elektrot olarak CuCrZr (Cupro Max), CuCoNiBe (Cupro CNB), CuNi₂SiCr (Cupro NSS) sert bakır alaşımı elektrotlar kullanılmıştır. Deneyde kullanılan elektrot ölçüleri ise Ø15x10mm ölçülerindedir. Elektrot numuneleri Şekil 4.3’te, mekanik ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3’de verilmektedir.



Şekil 4.3. Deneysel çalışmada kullanılan elektrotlar.

Çizelge 4.1. CuNi2SiCr (Cupro NSS) mekanik ve fiziksel özellikler.

Mekanik Özellikler		
Sertlik	HB	190-230
Çekme Mukavemet	N/mm ²	600-800
Akma Mukavemet	N/mm ²	500-600
Uzama L:5D	%	Eki.15
Elastisite Modülü (20°C)	Gpa	140
Fiziksel Özellikler		
Elektrik İletkenliği	MS/mm	22-27
Isıl Genleşme Katsayısı (273-573 K)	10 ⁻⁶ /K	17
Isıl İletkenlik (20°C)	(W/m.K)	190-230
Yoğunluk	(g.cm ³)	8.8

Çizelge 4.2. CuCoNiBe (Cupro CNB) mekanik ve fiziksel özellikler.

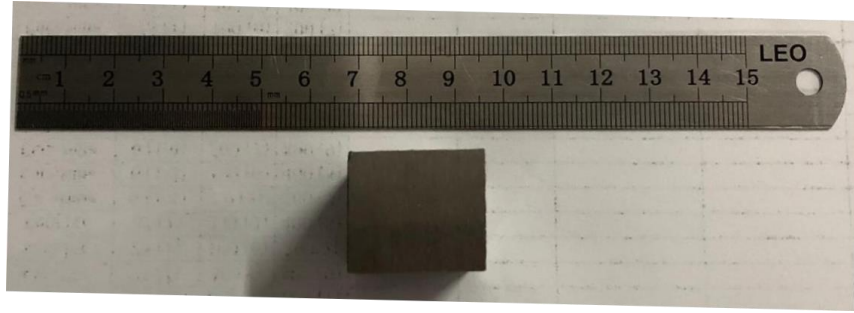
Mekanik Özellikler		
Sertlik	HB	230-260
Çekme Mukavemet	N/mm ²	700-900
Akma Mukavemet	N/mm ²	600-700
Uzama L:5D	%	Eki.15
Elastisite Modülü (20°C)	Gpa	130
Fiziksel Özellikler		
Elektrik İletkenliği	MS/mm	25-30
Isıl Genleşme Katsayısı (273-573 K)	10 ⁻⁶ /K	17
Isıl İletkenlik (20°C)	(W/m.K)	200-230
Yoğunluk	(g.cm ³)	8.75

Çizelge 4.3. CuCrZr (Cupro Max) mekanik ve fiziksel özellikler.

Mekanik Özellikler		
Sertlik	HB	135-170
Çekme Mukavemet	N/mm ²	400-500
Akma Mukavemet	N/mm ²	320-410
Uzama L:5D	%	18
Elastisite Modülü (20°C)	Gpa	122
Fiziksel Özellikler		
Elektrik İletkenliği	MS/mm	45
Isıl Genleşme Katsayısı (273-573 K)	10 ⁻⁶ /K	17
Isıl İletkenlik (20°C)	(W/m.K)	320
Yoğunluk	(g.cm ³)	8.9

4.3. İŞ PARÇASI MALZEMESİ

Elektro erozyon ile işleme deneylerinde, iş parçası olarak Mirrax plastik kalıp çeliği malzeme kullanılmıştır. Deneyde kullanılan iş parçası ölçüleri 30x25x20mm ebatlarındadır. İş parçası numunesi Şekil 4.4’de, iş parçası kimyasal bileşimi ise Çizelge 4.4’de verilmektedir.



Şekil 4.4. İş parçası malzemesi.

Çizelge 4.4. İş parçası malzemesi kimyasal bileşimi.

Element	% Ağırlık
Karbon	0,25
Krom	13,3
Vanadyum	0,35
Silikon	0,35
Molibden	0,35
Manganez	0,55
Nikel	1,35

4.4. DİELEKTRİK SIVI

Elektro erozyon tezgahlarında işleme yalıtkan bir ortam içerisinde gerçekleşir. Bu amaçla elektrik iletkenliği olmayan dielektrik sıvılar kullanılır. EEİ sırasında dielektrik sıvı belirli bir noktadan sonra plazma kanalı oluşturur ve iş parçası ile elektrot arasında oluşan kıvılcımın iletimini gerçekleştirir. İş parçasından kaldırılan malzemenin işleme bölgesinden uzaklaştırılmasını sağlar, soğutma sıvısı görevi görür ve iş parçasında meydana gelebilecek oksitlenmeyi önler.

Yapılan deneysel çalışmalarda kerosen dielektrik sıvısı kullanılmıştır. Deneysel dielektrik sıvı yanal püskürtme yöntemiyle uygulanmıştır. Şekil 4.5’de işleme sırasında dielektrik sıvının yanal püskürtülmesi gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Yanal püskürtme yöntemiyle iş parçasının dielektrik sıvı ile ıslatılması.

4.5. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK ÖLÇÜM CİHAZI

Deneysel çalışmalarda yapılan yüzey pürüzlülük ölçümleri “Mitutoyo SJ 210” cihazıyla yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinin yapıldığı cihaz Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Ölçüm probunun üzerinde bulunan ölçüm iğnesi, probun 0,5 mm dışında yer alarak, derinliği 0,5 mm ye kadar olan kanalların yüzey pürüzlülük ölçümlerinin kolaylıkla yapılmasına imkan tanır.



Şekil 4.6. Yüzey pürüzlülük ölçme cihazı.

Daha rijit ölçüm yapabilmek için ölçüm cihazı Mitutoyo Heavy Duty Column Stand üzerine bağlanarak ölçümler yapılmıştır. Ölçüm cihazının bağlandığı ölçüm standı Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Deneylerde yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçüm metodu Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Ölçüm standı.



Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçümü.

4.6. HASSAS TERAZİ

İşleme öncesinde ve sonrasında temizlenip kurutulan iş parçaları 0,001 gr hassasiyetinde olan KERN PFB 200-3 terazisi ile tartılmıştır. Kullanılan terazi şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. İş parçası ve elektrot tartım işlemi.

4.7. DENEY TASARIMI VE ANALİZİ

Taguchi'nin L27 ortogonal dizi deney tasarımına göre deneyler planlanmış ve dört farklı işlem parametresi seçilmiştir. Bu parametreler; elektrot tipi, boşalım akımı (I), ark süresi (Ton), ark aralığı (Toff) dir. İş parçası işleme süresi bütün deney şartlarında sabit 30 dk olarak ayarlanmıştır. Uygulanan girdi parametrelerinin, deneyden sonra elde edilecek yüzey pürüzlülüğü, iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızına olan etkisi incelenmiştir.

Boşalım akımı olarak 6 A, 12 A ve 25 A seçilmiştir. Ark süresi olarak 50 μ s, 100 μ s ve 200 μ s ve bekleme süresi olarak da 200 μ s, 400 μ s ve 800 μ s seçilmiştir. Deneylerde kullanılan faktörler ve seviyeleri Çizelge 4.5’de verilmektedir.

Çizelge 4.5. Faktörler ve seviyeleri.

Faktörler	Değişken	Seviye		
		1	2	3
Elektrot	A	CuCoNiBe	CuNi2SiCr	CuCrZr
Akım, I (A)	B	6	12	25
Vurum süresi, Ton (μ s)	C	50	100	200
Bekleme süresi, Toff (μ s)	D	200	400	800

Deneysel sonuçlara %95 güven aralığında varyans analizi (ANOVA) uygulanarak Ra, İİH ve EAH üzerinde değişkenlerin etki seviyeleri belirlenmiştir. Deney tasarımı ve varyans analizi Minitab17 paket programı ile gerçekleştirilmiştir.

EEİ işleme yapılmadan önce ve sonra, iş parçaları ve elektrotlar hassas terazi ile tartılmıştır. İşleme yapıldıktan sonra iş parçaları ve elektrotlar temizlenip tekrar tartılmıştır. Kullanılan elektrotlar ile birden çok işleme yapıldığı için her kullanımda Şekil 4.10'da gösterilen "Metkon forcipol 2V" marka zımpara ve polisaj makinesi yardımıyla zımparalanıp tekrar parlatıldıktan sonra işlemeye uygun hale getirilmiştir.



Şekil 4.10. Zımpara ve polisaj makinesi.

Yüksek işleme derinliğine ulaşan iş parçalarının yüzey pürüzlülüğünün ölçülebilmesi için Şekil 4.11'de gösterilen şekilde geleneksel freze tezgahı kullanılarak ölçüm cihazının iş parçası işleme yüzeyine yanaşabilmesi için bir tarafından talaş kaldırılmıştır.



Şekil 4.11. Üniversal freze tezgahı.

Yapılan deneylerden sonra iş parçalarının ve elektrotların son hali Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Deneylerden sonra iş parçaları ve elektrotlar.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Taguchi L27 deney seti kullanılarak gerçekleştirilen çalışma sonucunda elde edilen deney sonuçları ve analizleri Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

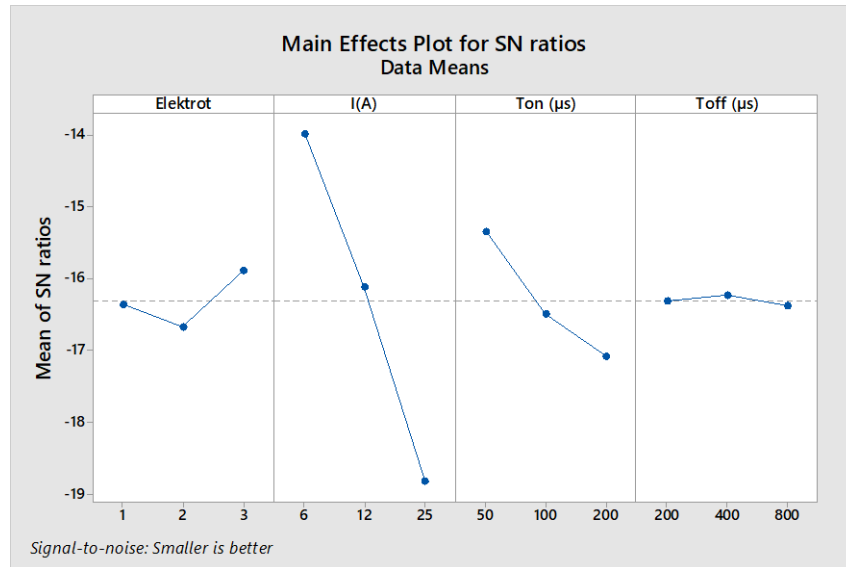
Çizelge 5.1. Deneysel ve analiz çalışma sonuçları.

Deney Sıra	Değişkenler	Ra	İİH (mg/dak)	EAH (mg/dak)	S/N Ra	S/N İİH	S/N EAH
1	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	4,433	2,321	10,535	-12,934	7,3135	-20,4527
2	A ₁ B ₁ C ₂ D ₂	5,134	4,119	14,229	-14,2091	12,2958	-23,0635
3	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	5,415	5,024	15,498	-14,672	14,021	-23,8055
4	A ₁ B ₂ C ₁ D ₂	5,799	8,4	19,833	-15,2671	18,4856	-25,9478
5	A ₁ B ₂ C ₂ D ₃	6,768	9,718	28,767	-16,6092	19,7515	-29,1779
6	A ₁ B ₂ C ₃ D ₁	7,187	11,276	43,026	-17,131	21,0431	-32,6746
7	A ₁ B ₃ C ₁ D ₃	8,002	18,498	85,903	-18,064	25,3425	-38,6802
8	A ₁ B ₃ C ₂ D ₁	8,789	26,06	134,718	-18,8788	28,3195	-42,5885
9	A ₁ B ₃ C ₃ D ₂	9,477	35,903	171,433	-19,5334	31,1026	-44,6819
10	A ₂ B ₁ C ₁ D ₁	4,725	2,969	13,067	-13,488	9,4522	-22,3235
11	A ₂ B ₁ C ₂ D ₂	5,285	3,674	17,867	-14,4609	11,3028	-25,041
12	A ₂ B ₁ C ₃ D ₃	5,673	4,527	15,356	-15,0763	13,1162	-23,7256
13	A ₂ B ₂ C ₁ D ₂	5,997	9,71	25,467	-15,5587	19,7444	-28,1196
14	A ₂ B ₂ C ₂ D ₃	6,82	12,655	34,793	-16,6757	22,0452	-30,8298
15	A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	7,229	15,92	58,285	-17,1816	24,0389	-35,3111
16	A ₂ B ₃ C ₁ D ₃	8,06	24,533	114,119	-18,1267	27,795	-41,1472
17	A ₂ B ₃ C ₂ D ₁	9,308	33,241	161,024	-19,3771	30,4335	-44,1378
18	A ₂ B ₃ C ₃ D ₂	10,08	42,886	209,532	-20,0692	32,6463	-46,425
19	A ₃ B ₁ C ₁ D ₁	4,271	1,825	9,133	-12,6106	5,22526	-19,2123
20	A ₃ B ₁ C ₂ D ₂	4,966	2,273	12,438	-13,9201	7,13199	-21,895
21	A ₃ B ₁ C ₃ D ₃	5,347	3,769	14,566	-14,5622	11,5245	-23,2668
22	A ₃ B ₂ C ₁ D ₂	5,134	5,563	18,262	-14,2091	14,9062	-25,231
23	A ₃ B ₂ C ₂ D ₃	6,14	6,021	25,863	-15,7634	15,5934	-28,2536
24	A ₃ B ₂ C ₃ D ₁	6,768	8,635	32,198	-16,6092	18,7252	-30,1566
25	A ₃ B ₃ C ₁ D ₃	7,792	13,849	82,043	-17,833	22,8284	-38,2808
26	A ₃ B ₃ C ₂ D ₁	8,498	18,159	112,849	-18,5863	25,1818	-41,05
27	A ₃ B ₃ C ₃ D ₂	8,789	24,276	150,685	-18,8788	27,7035	-43,5614

Çizelge 5.1’de Taguchi L27 orthogonal deney düzenine göre yapılmış deneysel çalışmaya ait sonuçlar görülmektedir. Deneysel çalışma sonucunda yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüş, iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızı değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.1 incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değeri, en düşük iş parçası işleme hızı ve en düşük elektrot aşınma hızı sırasıyla 4,271 μm , 9,133 mg/dak ve 1,825 mg/dak olarak CuCrZr elektrot ile yapılan deneylerde elde edilmiştir. En yüksek pürüzlülük değeri, en yüksek iş parçası işleme hızı ve en yüksek elektrot aşınma hızı sırasıyla 10,080 μm , 209.532 mg/dak ve 42,886 mg/dak olarak CuNi2SiCr elektrot ile yapılan çalışmalarda elde edilmiştir.

5.1. İŞLEME PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜĞÜNE ETKİSİ

Şekil 5.1’de Mirrax çeliğinin elektro erozyon tezgahında farklı işleme parametreleri kullanılarak işlenmesinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Yüzey pürüzlülüğü için S/N oranları.

Şekil 5.1 incelendiğinde elektrot tipi, akım, vurum süresi ve bekleme süresinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri görülmektedir. Üç farklı elektrot kullanılan bu çalışmada, elektrot tipinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin düşük olduğu görülmektedir. Diğer elektrotlara kıyasla CuCrZr elektrot ile işlemede daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edildiği görülmektedir.

Deneysel çalışmada kullanılan boşalım akımı seviyeleri (6-12-25 A) yüzey pürüzlülüğü değerlerini yüksek derecede etkilediği görülmektedir. En düşük seviye olan 6 A boşalım akımı seviyesinde daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edilirken, artan boşalım akımı seviyesi yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir. Boşalım akımı arttıkça işleme bölgesine uygulanan enerji miktarı da artmaktadır [28]. Bu durum işleme bölgesinden daha fazla malzemenin ergimesine ve buharlaşmasına neden olmaktadır. EEİ metodunda elektrottan yüzeye gelen arklar düzensiz şekilde iş parçasına vurular yapmaktadır. Boşalım akımının artması yüzeyde oluşan krater ve baloncukların boyutlarını da arttırmaktadır. Bu durum işleme sonrası oluşan yüzeyi olumsuz etkilemekte ve ortalama yüzey pürüzlülük değerini arttırmaktadır [29,30].

Vurum süresi değerleri olan (50-100-200 μ s) yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiğinde düşük vurum süresi değerinin yüzey pürüzlülüğünü olumlu, artan vurum süresi değeri yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemektedir. Vurum süresi elektrottan iş parçasına gerçekleşen boşalım akım aralığıdır. Vurum süresinin artması iş parçasının yüzeyine daha fazla ısı enerjisinin transfer edilmesine neden olmaktadır. Bu durum artan vurum sürelerinde yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır [31,32]

Bekleme süresi deney çalışmada 200-400-800 μ s seviyelerinde kullanılmış olup, Şekil 5.1 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin zayıf olduğu görülmektedir. Çok düşük bir seviyede 400 μ s değerinin diğer seviyelere oranla yüzey pürüzlülüğünü olumlu etkilediği görülmektedir.

Çizelge 5.2’de işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin ANOVA analizi sonucu gösterilmektedir.

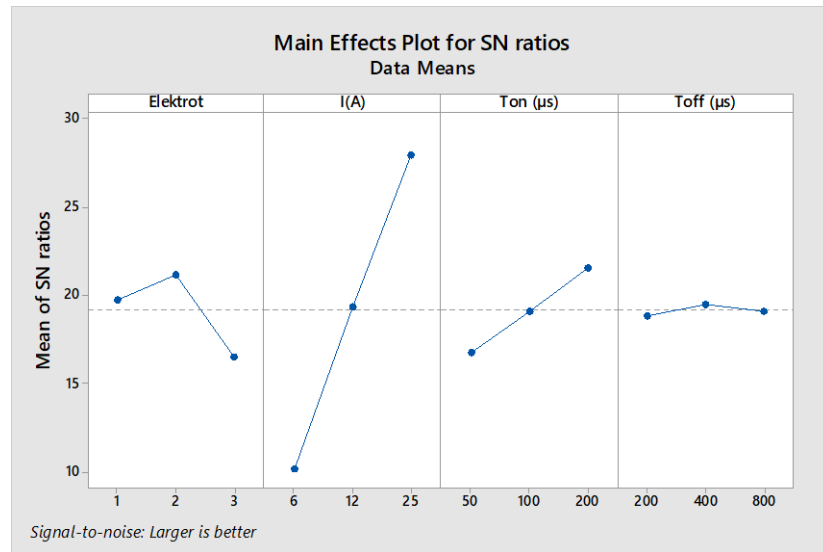
Çizelge 5.2. Yüzey pürüzlülüğü için ANOVA analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F Değeri	P Değeri	Etki (%)
Elektrot	2	1,687	0,8435	21,55	0	2,275112
I (A)	2	63,8128	31,9064	815,2	0	86,05884
Ton (μ s)	2	7,8669	3,9335	100,5	0	10,60941
Toff(μ s)	2	0,079	0,0395	1,01	0,384	0,106541
Hata	18	0,7045	0,0391			0,950099
Toplam	26	74,1502				100

Çizelge 5.2 incelendiğinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili işleme parametresinin boşalım akımı olduğu görülmektedir. Bekleme süresinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisinin düşük seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Üç farklı elektrot ile Mirrax çeliğinin elektro erozyon ile işleme tekniği kullanılarak işlenmesinde sırasıyla işleme parametrelerinin etki seviyeleri %2,27 elektrot tipi, %86,05 boşalım akımı, %10,6 vurum süresi ve %0,1 bekleme süresi olduğu hesaplanmıştır.

5.2. İŞLEME PARAMETRELERİNİN İİH ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Şekil 5.2’de Mirrax çeliğinin farklı işleme parametreleri kullanılarak işlenmesinin iş parçası işleme hızı üzerindeki etkileri gösterilmektedir.



Şekil 5.2. İİH için S/N oranları.

Şekil 5.2 incelendiğinde CuNi₂SiCr tip elektrot ile yapılan deneysel çalışmalarda iş parçası işleme hızının daha yüksek değerlerde elde edildiği görülmektedir. CuCoNiBe elektrot ile CuCrZr elektrota oranla daha iyi iş parçası işleme hızı elde edildiği görülmektedir.

İş parçası işleme hızının Şekil 5.2’den boşalım akım değerinin yükselmesiyle doğru orantılı olarak yükseldiği görülmektedir. Düşük boşalım akım değerlerinde iş parçası işleme hızının düştüğü, yüksek boşalım değerlerinde arttığı görülmektedir. Vurum süresinin 50 µs den 200 µs artmasıyla beraber iş parçası işleme hızının arttığı görülmektedir. Boşalım akımının artması yüzeye uygulana ark şiddetini de artırmaktadır, krater ve çukurların daha derin olmasını sağlamaktadır. Krater ve çukurlardan ayrılan büyük parçacıklar dielektrik sıvının yardımı ile işleme bölgesinden uzaklaşarak işlemenin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu durum İİH yükselmesini sağlar. Ayrıca iş parçası yüzeyine uygulanan boşalımların daha uzun süreli olması, ergitilen ve buharlaştırılan malzeme miktarını da arttırmaktadır [33,34].

Şekil 5.2 incelendiğinde bekleme süresinin iş parçası işleme hızı üzerinde etki seviyesinin düşük olduğu görülmektedir. Bekleme süresinin işleme parametreleri arasında işleme performansı üzerindeki en düşük etkiye sahip parametre olduğu görülmektedir. İşleme parametrelerinin işlem performansı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması için Çizelge 5.3’te ANOVA analizi ile etki seviyeleri sayısal olarak değerlendirilebilmektedir.

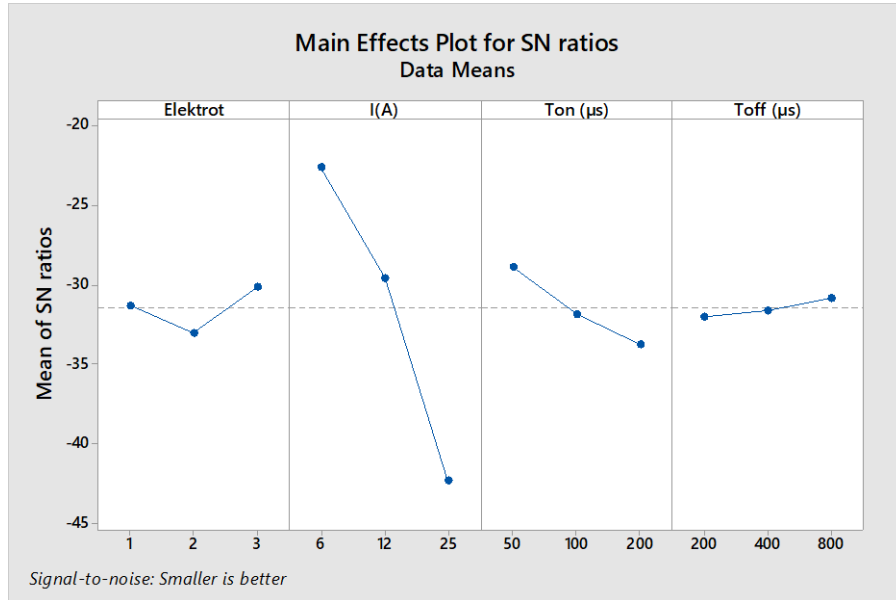
Çizelge 5.3. İİH ANOVA analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F Değeri	P Değeri	Etki (%)
Elektrot	2	241,36	120,68	8,97	0,002	7,24072
I (A)	2	2535,41	1267,7	94,19	0	76,06146
Ton (µs)	2	232,67	116,33	8,64	0,002	6,980023
Toff(µs)	2	81,65	40,83	3,03	0,073	2,449473
Hata	18	242,27	13,46			7,26802
Toplam	26	3333,37				100

Çizelge 5.3'te İİH için ANOVA sonuçları gösterilmektedir. ANOVA analizi sonucuna göre Elektrot tipinin İİH etkisi %7,24 boşalım akımının iş parçası işleme hızı üzerindeki etkisi %76,06 vurum süresinin İİH üzerindeki etkisi %2,44 ve bekleme süresinin İİH üzerindeki etkisi 2,44 olarak hesaplanmıştır. ANOVA analizi sonucuna göre İİH üzerindeki en etkili parametre boşalım akımı, en düşük etkiye sahip parametrenin bekleme süresi olduğu görülmektedir.

5.3. İŞLEME PARAMETRELERİNİN EAH ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Şekil 5.3'te Mirrax çeliğinin elektro erozyon ile işleme sonrası işleme parametrelerinin elektrot aşınma hızına etkileri gösterilmektedir.



Şekil 5.3. EAH için S/N oranları.

Şekil 5.3 incelendiğinde elektrot aşınma hızı en yüksek CuNi2SiCr elektrot ile yapılan deneylerde elde edilmiştir. En düşük elektrot aşınma hızı değerlerinin ise CuCrZr elektrot ile elde edildiği görülmektedir. Boşalım akımının artması ile beraber elektrot aşınma hızının arttığı görülmektedir. 6 A boşalım akımı değerinde elektrot aşınma hızı düşük iken, 25 A boşalım akım değerinde ise elektrot aşınma hızının arttığı görülmektedir. EEİ işlemlerinde iş parçası ve elektrot çifti arasında oluşan kıvılcımlar sadece iş parçasından değil aynı şekilde elektrotta belirli bir hacmi eritir ve buharlaşmasına sebep olur. Elektrotta gerçekleşen aşınma, elektrot malzeme cinsine,

kullanılan boşalım akımı enerjisi seviyesine bağlıdır. Genel olarak elektrot erime sıcaklığı ne kadar yüksek ise aşınma oranı o kadar düşük olmaktadır [35,36].

Şekil 5.4'te vurum süresine bağlı olarak 50 μ s'de elektrot aşınma hızı düşük seviyelerde elde edilirken 200 μ s seviyelerinde vurum süresinin artışına bağlı olarak elektrot aşınma hızı da artmaktadır. Bekleme süresinin artmasıyla beraber elektrot aşınma hızının azaldığı, bekleme süresinin kısalmasının elektrot aşınma hızını arttırdığı görülmektedir [37,38].

Çizelge 5.4'te ANOVA analizi sonrası hesaplanan işleme parametrelerinin işlenebilirlik performansı üzerindeki etkileri gösterilmektedir.

Çizelge 5.4. EAH ANOVA analizi sonuçları.

Faktör	Serbestlik Derecesi (SD)	Kareler Toplamı (KT)	Kareler Ortalaması (KO)	F Değeri	P Değeri	Etki (%)
Elektrot	2	2103	1051,3	4,62	0,024	2,250185
I (A)	2	78212	39106,2	171,99	0	83,68589
Ton (μ s)	2	6132	3065,9	13,48	0	6,561166
Toff(μ s)	2	2919	1459,5	6,42	0,008	3,123295
Hata	18	4093	227,4			4,379461
Toplam	26	93459				100

Çizelge 5.4. incelendiğinde elektrot aşınma hızı üzerinde en düşük etkiye sahip parametrenin elektrot tipi olduğu görülmektedir. Boşalım akımının elektrot aşınma hızı üzerinde en etkili parametre olduğu görülmektedir. Elektrot tipinin elektrot aşınma hızı üzerindeki etkisi %2,25 boşalım akımının elektrot aşınma hızı üzerindeki etkisini %83,68 vurum süresinin elektrot aşınma hızı üzerindeki etkisi %6,56 ve bekleme süresinin elektrot aşınma hızı üzerindeki etkisi %3,12 olarak hesaplanmıştır.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada Mirrax çeliğinin EEİ yöntemi kullanılarak işlenebilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Taguchi deney seti kullanılarak işleme parametrelerinin işlem çıktıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. İşleme performansı göstergeleri olarak Ra, İİH, EAH değerleri incelenmiştir. S/G analizi ile parametrelerin işlenebilirliğe olan etkileri değerlendirilmiştir. ANOVA analizi kullanılarak işleme parametrelerinin işlem çıktılarının üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. En yüksek İİH, EAH ve yüzey pürüzlülük değerleri $A_2B_3C_3D_2$ deney şartında elde edilmiştir. Bu deney şartı CuNi₂SiCr elektrot kullanılarak, 25 A boşalım akımı, 200 µs vurum süresi ve 400 µs bekleme süresi değerleri kullanılmıştır.
2. En düşük İİH, EAH ve yüzey pürüzlülük değerleri $A_3B_1C_1D_1$ deney şartında, CuCrZr elektrotun kullanıldığı, 6 A boşalım akımı, 50 µs vurum süresi ve 200 µs bekleme süresi değerinde elde edilmiştir.
3. Üç farklı elektrot kullanılan bu çalışmada (CuCoNiBe, CuNi₂SiCr, CuCrZr) elektrot tipinin özellikle EAH ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin zayıf olduğu görülmüştür. CuNi₂SiCr elektrot ile daha yüksek İİH değerleri hesaplanmıştır.
4. Boşalım akımı İİH, EAH ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olduğu belirlenmiştir. Boşalım akımının artması EAH ve yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilerken, İİH olumlu olarak etkilediği belirlenmiştir.

5. Vurum süresinin artması İHH hızını olumlu olarak, EAH ve yüzey pürüzlülük değerlerini olumsuz olarak etkilediği belirlenmiştir.
6. Bekleme süresinin İİH, EAH ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bekleme süresinin artması işleme bölgesinin ark sonrası oluşan parçacıklardan temizlenmesini kolaylaştırmaktadır. Dielektrik sıvısının yeterli debide olması bekleme süresinin önemi azalttığı anlaşılmıştır.

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. 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).
4. 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).
5. 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 (2001).
6. 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).
7. Hourmand, M., Farahany, S., A. A. D. and Noordin, M. Y., “Investigating the electrical discharge machining (EDM) parameter effects on Al-Mg 2 Si metal matrix composite (MMC) for high material removal rate (MRR) and less EWR-RSM approach”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(5-8): p. 831-838 (2015).
8. Sharif, S., Wahaizad S., A. F. Mansor, M. H. M. Isa and R. M. Saad, “Experimental study of electrical discharge machine (die sinking) on stainless steel 316L using design of experiment”, *Procedia Manufacturing*, 2: p. 147-152 (2015).
9. Dastagiri, M., Hemantha Kumar, A., “Experimental investigation of EDM parameters on stainless steel&En41b”, *Procedia Engineering*, 97: 1551-1564 (2014).
10. 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”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 45: 1131-1145 (2009).

11. 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).
12. Erden, A., 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).
13. Patel, N. K., "Parametric optimization of process parameters for EDM stainless steel 304", *National Institute of Technology Rourkela*, India, 29-40 (2014).
14. 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).
15. Abdel, H., El-Hofy, G., "Fundamentals of Machining Processes, Conventional and Nonconventional Processes (Second edition)", *CRC Press*, New York, 385-403 (2014).
16. Nahak, B., Gupta, A., "A review on optimization of machining performances and recent developments in electro discharge machining", *Manufacturing Review*, 6(2), 1-22 (2019).
17. Youssef, H.A., El-Hofy, H., "Machining Technology-Machine tools and operations", *CRC Press*, New York, 391-470 (2008).
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. Özgedik, A., Çoğun, C., "Elektro-erozyon ile işleme performansının işleme parametreleri ile değişimi", *3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildiri Kitabı*, Ankara, c.2, 305-316 (2003).
20. Çoğun, C., Erden, A., "Elektro erozyon ile işleme (EDM) performansının bilgisayarlı denetiminin gerçekleştirilmesi", *2. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, 105-112 (1986).
21. Dursun, K., "Elektro Erozyon ile İşlemede Tel Demeti Elektrodun Performansının Deneysel ve Teorik İncelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 9-13 (2007).
22. Singh, S., Bhardwaj, A., "Review to EDM by using water and powder-mixed dielectric fluid", *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 10(2), 199-230 (2011).
23. Füller, J.E., "Electrical Discharge Machining. United States of America", Metals Handbook, *ASM International*, 16, 557-564 (1989).

24. Özerkan, H. B., “Elektro Erozyon İle İşlemede Toz Karışımli Dielektrik Sıvının İşleme Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1- (2003).
25. 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).
26. 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).
27. Kansal, H.K., Singh, S., Kumar, P., “Technology and research developments in powder mixed electric discharge machining (PMEDM)”, *Journal of Materials Processing Technology*, 184, 32-41 (2007).
28. Singh, S., Maheshwari, S., Pandey, P. C., “Some Investigations Into the Electric Discharge Machining of Hardened Tool Steel Using Different Electrode Materials”, *Journal of Materials Processing Technology*, 21: 595-605 (2004).
29. Çoğun C., Kocabaş B., Özgedik A., "Elektro erozyon ile işlemede (EEİ) iş parçası yüzey pürüzlülük profilinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19: 97-106 (2004).
30. Kalyon, A., “Elektro Erozyon ile İşlemede Yüzey Pürüzlülüğünün ve İş Parçası İşleme Hızının Taguchi Tekniği ile Optimizasyonu”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21: 595-605 (2019).
31. Thillaivanan A., Asokan P., Srinivasan K. N., Saravanan R., "Optimization of operating parameters for EDM process based on the Taguchi method and artificial neural network", *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2: 6880-6888 (2010).
32. Kalyon, A., “Optimization of machining parameters in sinking electrical discharge machine of caldie plastic mold tool steel”, *Sādhanā*, 45(1), 1-13 (2020).
33. Özgedik A., Çoğun C., "An experimental investigation of tool wear in electric discharge machining", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27:488–500 (2006).
34. Kiyak M., Çakır O., "Examination of machining parameters on surface roughness in EDM of tool steel", *Journal o Materials Processing Technology*, 191: 141-144 (2007).
35. Fatatit, A. Y., Kalyon, A., “Investigation into the Electrical Discharge Machining Parameters of DIN 2767 Tool Steel Using Taguchi Method”, *Mindanao Journal of Science and Technology*, 19(1) (2021).

36. Kumar, S., Batish, A., Singh, R. & Bhattacharya, A., “Effect of cryogenically treated copper-tungsten electrode on tool wear rate during electro-discharge machining of Ti-5Al-2.5 Sn alloy”, *Wear*, 386, 223-229 (2017).
37. Kalyon, A., “AISI D2 Soğuk İş Takım Çeliğinin Elektro Erozyon Tekniği İle İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 3(1), 75-86 (2020).
38. Kalyon, A., “Alüminyum 6082 Alaşımının Pirinç Elektrot İle İşlenebilirliğinin Optimizasyonu”, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(1), 118-130 (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Batuhan ERMAN, ilköğrenimini Namazgah İhsan Dikmen İlkokulu'nda, lise öğrenimini Ali Osman Sönmez Anadolu Meslek Lisesi'nde tamamladı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2017 yılında buradan mezun oldu. Halen Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan eğitimine devam etmektedir.

