



T.C.

AMASYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DIN 1.2344 ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE
İŞLEME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf MALO

OCAK

YUSUF MALO

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2023

**DIN 1.2344 ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE
İŞLEME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

Yusuf MALO

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Yusuf MALO tarafından hazırlanan “DIN 1.2344 Çeliğinin Elektro Erozyon İle İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA

Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

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

Başkan : Doç. Dr. Harun AKKUŞ

Otomotiv Teknolojisi Programı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

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

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halil Burak KAYBAL

Mekanik Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 13/01/2023

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

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yusuf MALO

13.01.2023

DIN 1.2344 ÇELİĞİNİN ELEKTRO EROZYON İLE İŞLENMESİNDE
İŞLEME PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)

Yusuf MALO

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Birçok malzeme karmaşık geometrisi ve sertliğinin fazla olmasından dolayı kılavuz işleme yöntemleriyle işlenemez. Bu gibi durumlarda elektro-erozyon ile işleme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde gerek yüzey kalitesinin kötü oluşu gerekse yüksek işleme süreleri ciddi sorun oluşturmaktadır. Bu çalışmada, kalıpcılık alanında yaygın olarak kullanılan DIN 1.2344 çeliği elektro erozyon yöntemi ile işlenmiştir. En uygun yüzey kalitesi ve en düşük işleme sürelerini tespit edebilmek için kesme parametreleri optimize edilmiştir. Deneylerde 12 mm çapında saf bakır elektrotlar kullanılmıştır. 3 farklı kesme parametresi kullanılarak Taguchi L₁₈ deney listesi oluşturulmuştur. İşlemede en verimli parametreleri tespit edebilmek için işlenen yüzeylerin ortalama pürüzlülük (Ra) değerleri, talaş kaldırma oranı (MRR) ve elektrot aşınma oranı (EWR) ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin Taguchi yöntemi ile sinyal-gürültü oranları çıkarılmıştır. Ra ve EWR en küçük değer istendiği için en küçük-en iyi, MRR için en büyük değer istendiği için en büyük-en iyi yöntemi kullanılmıştır. Sinyal-gürültü oranlarına göre optimum parametreler belirlenmiştir. Ra, MRR ve EWR için en etkin parametre amper olmuştur. ANOVA sonuçlarına göre yapılan deneysel çalışmanın güven düzeyi Ra için yaklaşık %93, MRR için %92, EWR için %78 olmuştur. Son olarak regresyon analizi ile Ra, MRR ve EWR için matematiksel model çıkarılmıştır.

Sayfa Adedi : 36
Anahtar Kelimeler : DIN 1.2344, Optimizasyon, Yüzey pürüzlülüğü, MRR, EWR
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA

OPTIMIZATION OF PROCESSING PARAMETERS IN ELECTRO
EROSION MACHINING OF DIN 1.2344 STEEL

(M. Sc. Thesis)

Yusuf MALO

AMASYA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

Many materials cannot be machined by classical machining methods due to their complex geometry and high hardness. In such cases, the electro-erosion machining method is widely used. However, in this method, both poor surface quality and high machining times create serious problems. In this study, DIN 1.2344 steel, which is widely used in mold making, was machined by electro-erosion method. Cutting parameters have been optimized to determine the most suitable surface quality and the lowest machining times. Pure copper electrodes with a diameter of 12 mm were used in the experiments. Taguchi L_{18} experiment list was created by using 3 different cutting parameters. In order to determine the most efficient parameters in machining, the average roughness (Ra) values of the machined surfaces, metal removal rate (MRR) and electrode wear rate (EWR) were measured. Signal-to-noise ratios of the measured values were calculated using the Taguchi method. The smallest-best method was used because Ra and EWR desired the smallest value, and the largest-best method was used because the largest value was desired for MRR. Optimum parameters were determined according to the signal-to-noise ratios. Ampere was the most effective parameter for Ra, MRR and EWR. According to the ANOVA results, the confidence level of the experimental study was approximately 93% for Ra, 92% for MRR, and 78% for EWR. Finally, the mathematical model for Ra, MRR and EWR was derived by regression analysis.

Number of pages : 36

Keywords : DIN 1.2344, Optimization, Surface roughness, MRR, EWR

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Harun YAKA

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

“Farklı Sertliklerdeki DIN 1.2344 Çeliğinin Elektro Erozyon İle İşlenmesinde İşleme Parametrelerinin Optimizasyonu” başlıklı yüksek lisans tezi çalışması 7 bölümden meydana gelmektedir. Bu bölümler; Giriş, Literatür Araştırması, Elektro Erozyon İşleme Yöntemi, Optimizasyon Yöntemi, Deneysel Çalışma, Deneysel Sonuçlar ve Tartışma ve Sonuçlar’dan oluşmaktadır.

Çalışmalarım süresince değerli yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve birikimi ile beni yönlendiren kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Harun YAKA’ya saygı ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca yoğun çalışmalarım sırasında sevgisi ve güveni ile bana destek olan sevgili eşim Gülbin DURMUŞ MALO’ya, sürekli çalışmama izin verdiği için oğlum Kerem Alp’e, anneme, babama, kardeşlerime ve hayatımın her evresinde yanımda olmalarını istediğim, bana her alanda desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan arkadaşlarım Emrah BEŞİKTAŞLI, Fatih ÇEMÇEM ve Hasan Emre KERMEN’e sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. ELEKTRO EROZYON İŞLEME YÖNTEMİ.....	5
3.1. Genel Bilgiler	5
3.2. Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ) Yöntemi Çeşitleri	5
3.2.1 Elektro erozyon ile delme ve oyma	6
3.2.2 Elektro erozyon ile kesme	6
3.2.3 Elektro erozyon ile taşlama	7
3.3. Elektro Erozyon Çeşitleri	6
4. OPTİMİZASYON YÖNTEMİ.....	9
4.1. Taguchi Metodu	10
4.2. Anova	10
4.3. Regresyon.....	11
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	12

	Sayfa
5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	12
5.1.1 İş parçası.....	12
5.1.2. Elektrot.....	13
5.1.3. Dalma erozyon tezgahı.....	13
5.1.4. Dielektrik sıvısı.....	15
5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü.....	15
5.3. İşleme Parametreleri ve Deney Listesi.....	16
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	18
6.1. Taguchi Sonuçları.....	19
6.1.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için taguchi analizi.....	19
6.1.2. Talaş kaldırma oranı (MRR) için taguchi analizi.....	21
6.1.3. Elektrot aşınma oranı (EWR) için taguchi analizi.....	23
6.2. ANOVA Sonuçları.....	24
6.2.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için ANOVA sonuçları.....	24
6.2.2. Talaş kaldırma oranı (MRR) için ANOVA sonuçları.....	25
6.2.3. Elektrot aşınma oranı (EWR) için ANOVA sonuçları.....	26
6.3. Ra, MRR ve EWR için Regresyon Analizi Sonuçları.....	27
6.4. Ra, MRR ve EWR için Tahmin Deneyleri Sonuçları.....	27
6.5. Mikro-yapı Analizi.....	30
7. SONUÇLAR.....	32
KAYNAKLAR.....	34
ÖZGEÇMİŞ.....	36

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. DIN 1.2344 çeliğinin özellikleri	13
Çizelge 5.2. Dalma erozyon tezgahının özellikleri	14
Çizelge 5.3. Dielektrik sıvısının özellikleri	15
Çizelge 5.4. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.....	15
Çizelge 5.5. Taguchi L18 deney listesi.....	17
Çizelge 6.1. Deney listesi ve sonuçları	19
Çizelge 6.2. En küçük en iyiye göre Ra için Sinyal-Gürültü oranı yanıt çizelgesi.....	20
Çizelge 6.3. En büyük en iyiye göre MRR için Sinyal-Gürültü oranı yanıt çizelgesi....	22
Çizelge 6.4. En küçük en iyiye göre EWR için Sinyal-Gürültü oranı yanıt çizelgesi	23
Çizelge 6.5. Ra için Varyans analizi (ANOVA) sonuçları	25
Çizelge 6.6. Ra için ANOVA modelinin özeti	25
Çizelge 6.7. MRR için Varyans analizi (ANOVA) sonuçları.....	25
Çizelge 6.8. MRR için ANOVA modelinin özeti	26
Çizelge 6.9. EWR için Varyans analizi (ANOVA) sonuçları.....	26
Çizelge 6.10. EWR için ANOVA modelinin özeti	27
Çizelge 6.11. Ra, MRR ve EWR için regresyon analizi matematiksel modeli	27

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Elektro erozyon çalışma prensibi.....	5
Şekil 3.2. Elektro erozyon ile Delme ve Oyma Yöntemi	6
Şekil 3.3. Elektro erozyon ile Kesme Yöntemi.....	7
Şekil 3.4. Elektro erozyon ile Taşlama Yöntemi	7
Şekil 4.1 Taguchi metodu akış şeması.....	9
Şekil 5.1. Deneyleerde kullanılan DIN 1.2344 çeliğinin boyutları	12
Şekil 5.2. Deneyleerde kullanılan elektrot ve iş parçası	13
Şekil 5.3. ZNC Best-3000S dalma erozyon tezgahı.....	14
Şekil 5.4. İşleme esnasında püskürtülen dielektrik sıvısı	15
Şekil 5.5. Numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü.....	16
Şekil 6.1. En küçük en iyiye göre yüzey pürüzlülüğü için parametrelerin sinyal-gürültü oranları grafiği.....	21
Şekil 6.2. En büyük en iyiye göre talaş kaldırma oranları için parametrelerin.....	22
Şekil 6.3. En küçü en iyiye göre elektrot aşınması için parametrelerin sinyal-gürültü oranları grafiği.....	24
Şekil 6.4. Ra için tahmin edilen değerlerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması.....	28
Şekil 6.5. MRR için tahmin edilen değerlerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması .	29
Şekil 6.6. EWR için tahmin edilen değerlerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması .	29
Şekil 6.7. Pürüzlülük değeri en fazla çıkan 7. ve 16. deneyleerin mikroskop görüntüleri .	29
Şekil 6.8. Pürüzlülük değeri en küçük çıkan 6. ve 12. deneyleerin mikroskop görüntüleri .	31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, yanda açıklamaları verilmek üzere aşağıda listelenmiştir.

Simgeler	Açıklama
C	karbon
Si	silisyum
Mn	mangenez
Cr	krom
Mo	molibden
V	vanadium
HRc	sertlik
MPa	megapascal
gr	gram
Kg	kilogram
mm	milimetre
L	litre
A	amper
Kw	kilowatt
°C	santigrat
cSt	centistokes (100 centistokes = 1 cm ² ·s ⁻¹)
mN	meganewton
µm	mikrometre
η	görev çevrimi

Simgeler	Açıklama
μs	vurum süresi
Ra	yüzey pürüzlülüğü
mm^3	milimetreküp
dk	dakika
$\Delta\Omega p$	iş parçasından kaldırılan toplam talaş miktarı
t_m	işleme süresi
Mg	magnezyum
W_i	elektrotun ilk ağırlığı
W_f	ifadesi elektrotun son ağırlığı
S/N	sinyal-gürültü
P Değeri	anlamlılık düzeyi
F Değeri	diyafram açıklığı
R^2	güven düzeyi
S	kükürt
AICc	düzeltilmiş akaiki bilgi ölçütü
BIC	bayesian bilgi ölçütü
CI	güven aralığı
R-Sq	güven aralığı
PI	tahmin aralığı
SiC	silisyum karbür

Kısaltmalar**Açıklama**

EEİ	Elektro Erozyon İle İşleme
DIN	Alman standartları enstitüsü
EDM	Elektrik deşarj makinası
WEDM	Tel Erozyon (Wire Electrical Discharge Machining)
UEDM	Ultrasonik Destekli Erozyon (Ultrasonic Aided EDM)
MEDM	Mikro Elektro Erozyon (Micro Electrical Discharge Machining)
EN ISO	Standard
ANSI	Standard
MRR	Talaş kaldırma oranı
EWR	elektrot aşınma oranı

1. GİRİŞ

Metal özelliği taşıyan malzemelere birçok farklı imalat yöntemi ile şekil verilerek kullanılmaktadır. Talaşlı imalat, plastik şekillendirme, alıılmamış imalat, döküm, kaynak gibi imalat yöntemleri bunlar arasında sayılabilen örneklerdendir. İmalat yöntemlerinin tümünde işleme mantığı ve bu yöntemlerde kullanılan enerji türleri birbirinden farklıdır (Çakıroğlu, 2020).

Üretim esnasında imalat yapılırken iş parçasının şekillendirilmesi esnasında kullanılan birçok teknik bulunmaktadır. Isıl, kimyasal, elektrik, mekanik, kullanılan enerji türü ve işleme yöntemi imalat yöntemlerinin sınıflandırılmasında kullanılan önemli faktörlerdendir. Üretimi yapılmış metal ve alaşım malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan imalat yöntem ve tekniklerinde uygun işleme parametreleri farklılık göstermektedir.

Elektro- erozyonla işleme yöntemi elektriksel olarak iletken bir iş parçasına yüksek frekanslı elektrik deşarjların uygulanması yöntemi marifetiyle iş parçasından küçük parçacıklar eritilme yöntemi ile koparılması sonucunda şekillendirme yapılarak alıılmamış bir işleme imalat yöntemidir. Elektro- erozyonla işleme günümüz teknolojisinde kullanılan bir metal işleme yöntemidir. Yüksek güçlü, karmaşık geometri ve katı malzemeler Elektro- erozyonla işleme yöntemi kullanılarak işlenebilir (Çoğun, Kocabaş ve Özgedik, 2004).

Günümüzde imalat yöntemleri noktasında en seçkin yeri bulan elektro erozyon ile işleme yöntemi kullanılan tezgahlar da dikkat çekmektedir. EEİ tezgâhları farklı tasarlanıp üretimiştir. Bu tezgahlardan en önemlileri tel elektro erozyon, dalma erozyon ve hızlı delik delme elektro erozyon tezgahlarıdır. Yaşanan teknolojik gelişmeler ile bu tezgahların hassasiyetleri ve performanslarında gelişme yaşanmıştır.

Çalışmamızda DIN 1.2344 çeliğinin elektro erozyon ile işlenmesinde işleme parametrelerinin optimizasyonu yapacağımız deney neticesinde belirlenecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Amini, Atefi ve Solhjoei çalışmalarında iş parçasına (DIN 1.2344) bakır elektrot uygulanması sonucunda farklı EDM parametrelerinin (darbe akımı, darbe gerilimi, darbe açık kalma süresi, darbe kapalı süresi) yüzey kalitesine (Ra) etkisi incemişlerdir. Deney tasarımı tam faktöriyel olarak seçmişlerdir. Uygun işleme parametrelerini seçmek ve belirli yüzey pürüzlülüğüne ulaşmak için istatistiksel analizler yapılmış ve yapay sinir ağı kullanmışlardır. Deney sonuçları, böyle karmaşık ve doğrusal olmayan bir problemin optimizasyonunda önerilen yöntemin iyi bir performansını göstermişlerdir (Amini, Atefi ve Solhjoei, 2011).

Sari, Noordin ve Brusa çalışmalarında EDM parametrelerini değerlendirip, ardından dielektrikle karıştırılmış nanotüpler kullanılmadan gerçekleştirilen EDM'nin sonucuyla karşılaştırmışlardır. Araştırılan bağımsız değişkenler, darbe süresi, tepe akımı ve aralık süresidir. Deneysel kanıtlar, dielektrik içinde çok duvarlı karbon nanotüplerin karıştırılmasıyla çalıştırılan EDM işleminin, özellikle işleme parametreleri düşük enerji darbesine ayarlanmışsa daha verimli görüldüğü gözlemlenmiştir (Sari, Noordin ve Brusa, 2012).

Goigana, Sarasua, Ramos, Echavarri ve Cascón çalışmalarında elektro erozyon işleminde yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için ultrasonik EDM işlemini kullanmışlardır. Bu amaçla bir bakır çubuk takım elektrotu ve 1.2344 tavlanmış alaşımlı çelik iş parçası kullanmışlardır. Darbeli ultrasonik destekli EDM modu geliştirilmiş ve mevcut EDM süreci ve sürekli ultrasonik titreşimi karşılaştırılmıştır. Yapılan deney sonucunda işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünü ve homojenliğini iyileştirebileceğini göstermişlerdir (Goigana, Sarasua, Ramos, Echavarri ve Cascón, 2016).

Ramirez ve Franco çalışmalarında takım yüzeyinde oluşan termal etkilerin bir sonucu olarak elektrot bozulmasının incelenmesi ve malzeme kaldırma işlemlerini iyileştirmek üzerine çalışmışlardır. Mevcut çalışmada, elektrot geometrisinin bozulması, bu malzeme kaldırma teknolojisi için seçilen akım yoğunluğu ve iş parçası malzemesinin işlenmesi sırasında elektrot tarafından kapsanan toplam derinlik gibi bazı işlem parametrelerini analiz etmişlerdir (Ramirez ve Franco, 2018).

Kumar, Varol, Canakci, Kumaran ve Uthayakumar çalışmalarında elektro erozyon ile işleme performanslarını artırmak için toz metalurjisi yoluyla yapılan geleneksel elektrot ve elektrot kullanmışlardır. Yine bu çalışmada EDM işlemi sırasında malzemeler üzerinde gerçekleştirilen yüzey modifikasyonu hakkında detaylı bir tartışma yapıлып, dielektrik akışkanda bulunan toz parçacıklarının yeniden döküm tabakası ve krater oluşumunun en aza indirilmesi üzerindeki etkisi üzerinde durmuşlardır. EDM işlemi ile malzemelerin performansını iyileştirmek için benimsenen çeşitli tekniklerin kapsamlı bir incelemesini sunmuşlardır (Kumar, Varol, Canakci, Kumaran ve Uthayakumar, 2021).

Erden ve Temel çalışmalarında suyun dielektrik sıvı olarak olarak hidrokarbon yağlar yerine kullanıldığı EDM işlemi sırasında yürütülen deneysel araştırmayı yapmıştır. Deneysinde distile su, musluk suyu ve tuzlu ve gliserin katkılı su kullanmışlardır. En iyi işleme performansı damıtılmış su kullanıldığında elde edilmiştir. Damıtılmış suda elde edilen aşınmış kraterler genellikle hacim olarak daha küçüktür (hem çap hem de derinlik açısından), ancak sürekli işleme sırasında gelişmiş stabilite ve dielektrik bozulma için daha kısa gecikme süreleri nedeniyle işleme oranları artar (Erden ve Temel, 1982).

Chow, Yang, Lin, ve Chen çalışmalarında saf suda küçük deşarj enerjisi ve SiC (Silisyum Karbür) tozu ile birlikte mikro yarı EDM işlemi incelenmiştir. Yapılan incelemede SiC tozunun eklenmesi ile çalışma sıvısının elektrik iletkenliğini artıracaklarını, elektrot ve iş parçası boşluğunu genişleteceğini ve ayrıca döküntüleri kolayca çıkaracağını, bununla birlikte malzeme kaldırma oranını artıracaklarını göstermişleridir (Chow, Yang, Lin, ve Chen, 2008).

Patel, Pandey ve Rao çalışmalarında HcHcr çeliğinin EDM ile işleme maliyetini düşürmeyi malzeme kaldırma oranını en üst düzeye çıkarmayı ve takım aşınma oranını iyi yüzey kalitesiyle amaçlamışlardır. Deneysel tasarımı uygulanarak HcHcr çeliğinin EDM'si üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Proses performansları, talaş kaldırma oranı, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınma oranı açısından analiz edilerek, işlenmiş yüzeylerde yüzey bütünlüğünü incelemek için metalografik bir çalışma yapılmıştır. Optimum koşulların mikrografik analizi, en kötü koşullara kıyasla daha düşük yüzey pürüzlülüğü ve daha az kusur (daha az baskı, dalgalı yüzey ve mikro çatlaklar) olduğunu gözlemlemiştir (Patel, Pandey ve Rao, 2010).

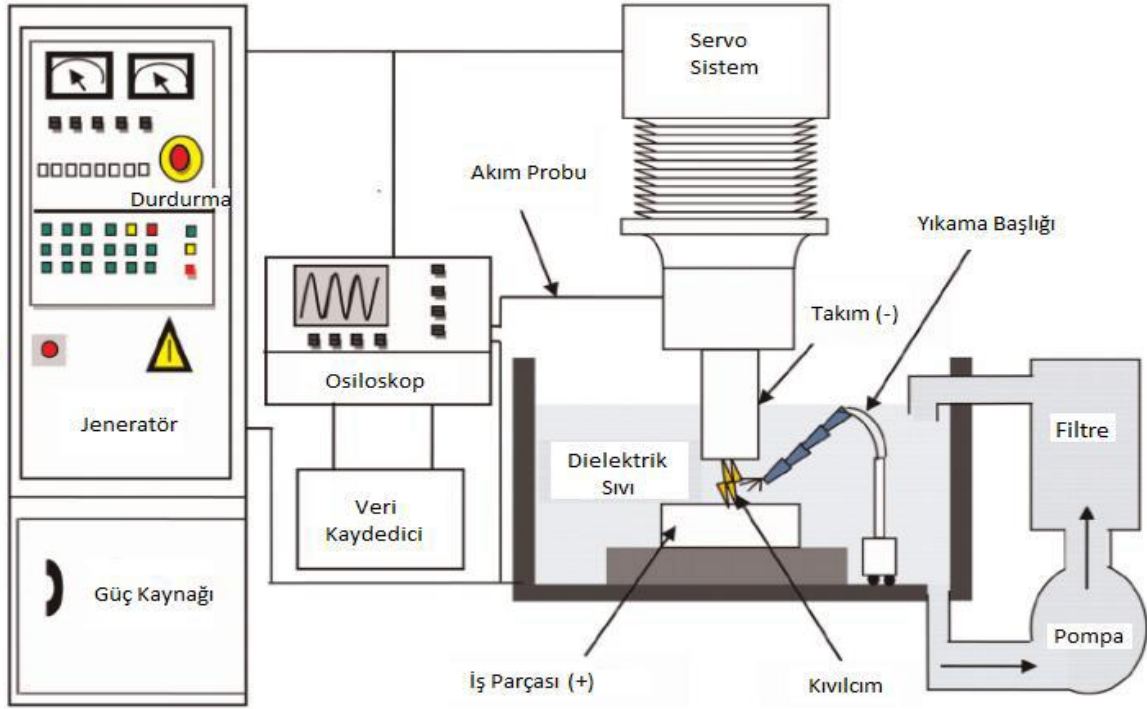
Jilani ve Pandey çalışmalarında darbe süresi, darbe enerjisi ve malzeme özellikleri gibi edm giriş parametrelerinin talaş kaldırma üzerindeki etkilerini incelemek için plazma kanalının bir disk ısı kaynağı olduğu varsayılarak iki boyutlu bir ısı transfer modeli kullanılmışlardır. Krater şeklinin teorik ve deneysel veriler arasındaki zayıf korelasyonun nedenleri tartışılmışlardır (Jilani ve Pandey, 1982).



3. ELEKTRO EROZYON İŞLEME YÖNTEMİ

3.1.Genel Bilgiler

Elektro erozyon, alışılmamış yani geleneksel olmayan malzeme işleme tekniğidir. EDM süreci iş parçası ve elektrot arasındaki enerji ile iş parçası ve iş parçası arasındaki küçük bir boşlukta bir darbe deşarjı meydana gelir. Elektrot ve istenmeyen malzemeyi eritme ve buharlaştırma yoluyla ana metalden uzaklaştırır. Elektrot ve iş parçası kıvılcımı oluşturmak için elektriksel iletkenliğe sahip olmalıdır. EDM yöntemi uygulanarak üretilen ve bir çok alanda kullanılan ürün vardır. Bunlar arasında otomatik endüstrisi, havacılık ve cerrahi alanındaki ürünler söylenebilir (Abbas, Solomon ve Bahari 2007).



Şekil 3.1. Elektro erozyon çalışma prensibi

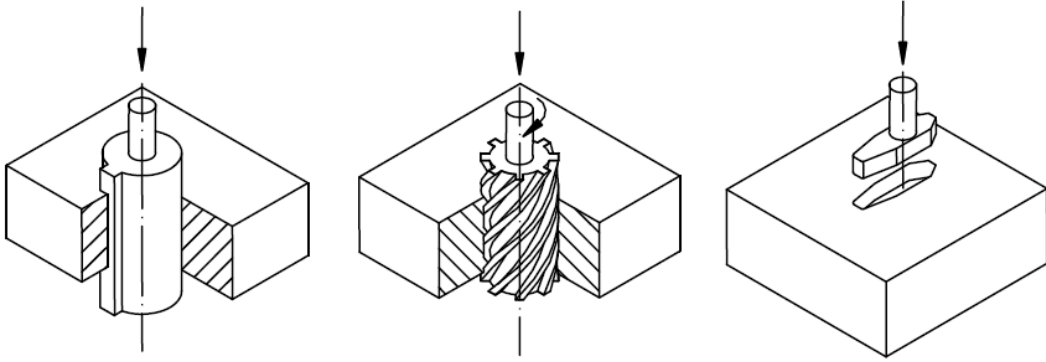
3.2. Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ) Yöntemi Çeşitleri

Elektro erozyon ile işleme yöntemi kullanılmak suretiyle işleme prensipleri de göz önünde bulundurulduğunda aşağıda belirtilen şekilde sayılabilir. Bunlar;

- EEİ ile delme ve oyma
- EEİ ile kesme
- EEİ ile taşlama

3.2.1 Elektro erozyon ile delme ve oyma

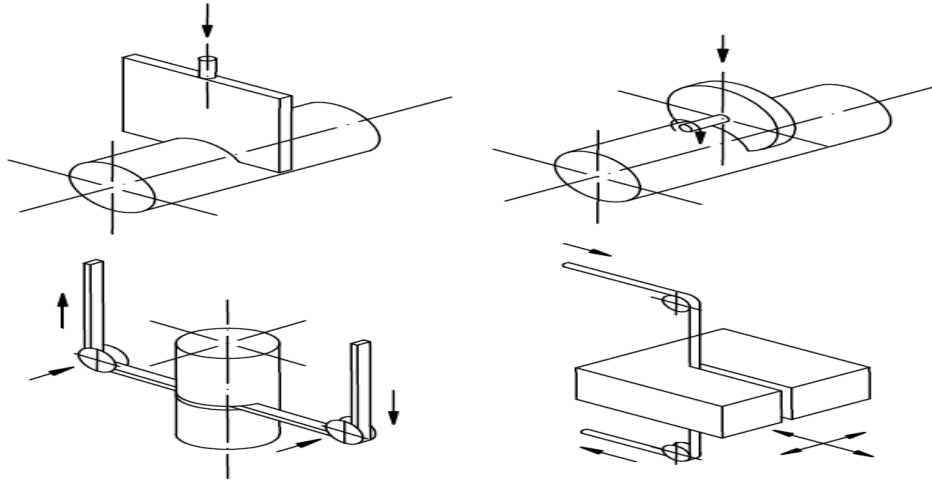
EEİ ile uygulanan bu işlemden, elektrot ile iş malzemesi arasındaki ortalama bağıl hızın iş malzemesine bağıl olduğu anlamına gelir. Dalma hızına denk gelen tüm elektro erozyon işleme operasyonlarını içerir.



Şekil 3.2. Elektro erozyon ile Delme ve Oyma Yöntemi

3.2.2 Elektro erozyon ile kesme

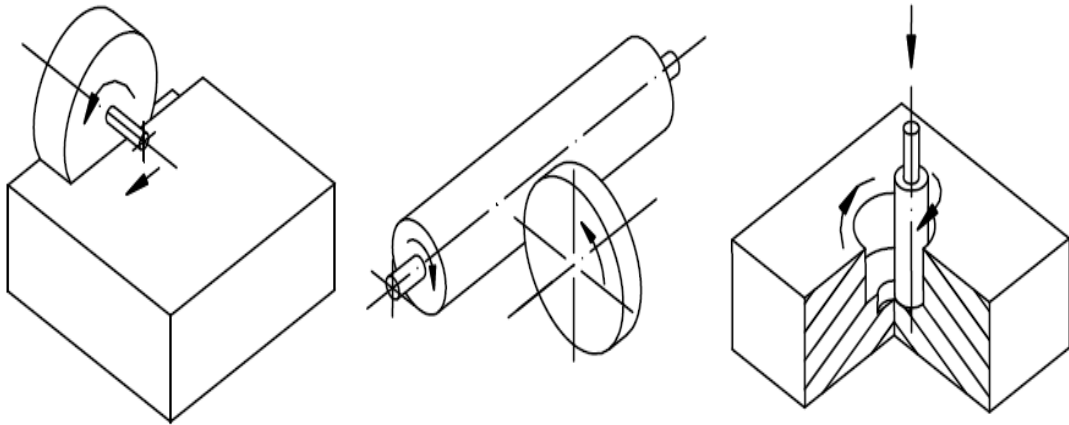
EEİ ile uygulanan bu işlemden, iş malzemesinin farklı profillerde, boyutlarda ve şekillerde kesilmesi işlemidir. Çentikli tüm işleme operasyonlarını içerir.



Şekil 3.3. Elektro erozyon ile Kesme Yöntemi

3.2.3 Elektro erozyon ile taşlama

EEİ ile uygulanan bu işlemden taşlama, kendi eksenini etrafında dönen bir elektrotla gerçekleştirilir.



Şekil 3.4. Elektro erozyon ile Taşlama Yöntemi

3.3. Elektro Erozyon Çeşitleri

Sanayi uygulamalarında kullanılmakta olan bazı elektro erozyon çeşitleri aşağıda verilmiştir.

- Elektro Erozyon (Electrical Discharge Machining) EDM
- Tel Erozyon (Wire Electrical Discharge Machining) WED
- Freze Erozyon (Electrical Discharge Milling)
- Taşlama Erozyon (Electrical Discharge Grinding)
- Ultrasonik Destekli Erozyon (Ultrasonic Aided EDM) UEDM
- Mikro Elektro Erozyon (Micro Electrical Discharge Machining) MEDM



4. OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

Optimizasyon, mühendislikten ekonomiye, fizikten matematiğe ve birçok disiplin için kullanılan çok önemli bir işlemdir.

Genel anlamıyla optimizasyon, herhangi bir sistemi belirli kısıtlamalar çerçevesinde mümkün olan en az maliyetle en verimli hale getirmek için uygulanması gereken, işlem veya metotların tümüdür. Optimizasyon doğru karar verme sürecidir. Optimizasyonun kullandığı alanlar temel olarak;

- Bilgisayar Bilimi ve Matematik
- Endüstriyel Uygulamalar
- Biyoloji
- Fizik
- Tıp
- Veri Madenciliği
- Simulasyon ve Senaryo Analizi
- Tasarım Uygulamaları
- Ekonomik Problemler
- Zaman ve Maliyet Analizi
- Mühendislik Uygulamaları

Optimizasyon mühendisliğin en temel gerekliliklerinin belki de başında gelir. Mühendisler, bir makinenin veya sistemin çeşitli yönlerden daha az maliyetle daha verimli çalışmasından veya yeni bir makine veya sistemi minimum maliyet ve maksimum verimlilikte dizayn edilmesinden sorumludur (Mühendistan, b.t).

4.1. Taguchi Metodu

Taguchi'nin teknikleri mühendislik tasarımında yaygın olarak kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarım prosedürlerini içerir. Bu metod en iyi ürün kalitesi için sağlam bir süreç ve sonuç elde etmek için kullanılır. Taguchi'nin tekniklerinden biri olan parametre tasarımı, parametre (faktör) ayarlarını belirlemeye odaklanan ürün veya süreç tasarımı yöntemi minimum varyasyon ile bir kalite karakteristiğinin (performans ölçüsü) en iyi seviyelerini üretmektir.

Deneysel tasarım yöntemleri 20. yüzyılın başlarında geliştirilmiş ve istatistikçiler tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiş, ancak uygulayıcılar tarafından kullanımı kolay değildi. Taguchi'nin deney tasarımı yaklaşımının benimsenmesi ve uygulanması kolaydır. Sınırlı istatistik bilgisi nedeniyle mühendislikte geniş bir popülerlik kazanmıştır. Taguchi tasarımları çeşitli koşullar altında tutarlı ve optimal olarak, işleyen süreçleri tasarlamak için güçlü ve verimli bir yöntemdir (Mesiha, 2000). Taguchi Metodu akış şeması aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.1. Taguchi metodu akış şeması

4.2. Anova

Varyans analizi (ANOVA) metodunun geliştirilmesi, birçok alanda yürütülen deneysel araştırma türlerini etkilemiştir. ANOVA, tarım, biyoloji, kimya, toksikoloji, farmasötik araştırma, klinik geliştirme, psikoloji, sosyal bilimler ve mühendislik alanlarındaki tüm deney yelpazesindeki uygulamalarıyla en yaygın kullanılan istatistiksel tekniklerden biridir. Prosedür, verilerde gözlemlenen toplam varyasyonun, rastgele veya tesadüfi

dalgalanmaların neden olduğu kadar çeşitli faktörlere atfedilebilen bireysel bileşenlere ayrılmasını içerir. Hangi faktörlerin deneyin sonucunu etkilediğini belirlemek için hipotez testlerinin yapılmasına izin verir. Bununla birlikte, hipotez testi kesinlikle ANOVA'nın çok faydalı bir özelliği olmasına rağmen, hiçbir şekilde tek yönü değildir. Metodoloji ilk olarak deneysel tasarımda istatistiksel yöntemlerin kullanımı ve uygulamalarının öncüsü ve yenilikçisi olan ve “Varyans Analizi – ANOVA” adını veren Sir Ronald A. Fisher tarafından geliştirilmiştir (Kaufmann ve Schering,2007).

4.3. Regresyon

Regresyon analizi bir ölçüt değişkeni ile bir veya daha fazla öngörücü değişken arasındaki ilişkiyi ölçmede kullanılan istatistiksel analizdir. Regresyon analizi temel olarak değişkenlere dayanmaktadır. Bir tahmin değişkeni olarak A değişkeni arasındaki ilişkinin doğasını belirlemeyi amaçlar.

Bu analizde, basit regresyon, öngörücü değişkenler olarak iki veya daha fazla değişken kullanır. Kullanıldığı takdirde çoklu regresyon analizinden bahsetmek mümkündür. Amaç her tahmin kriter değişkenindeki toplam değişime değişkenin katkısının belirlenmesi ve bu nedenle kriter, tahmin değişkenlerinin doğrusal kombinasyonunun değerine dayanmaktadır (Alan, 1993).

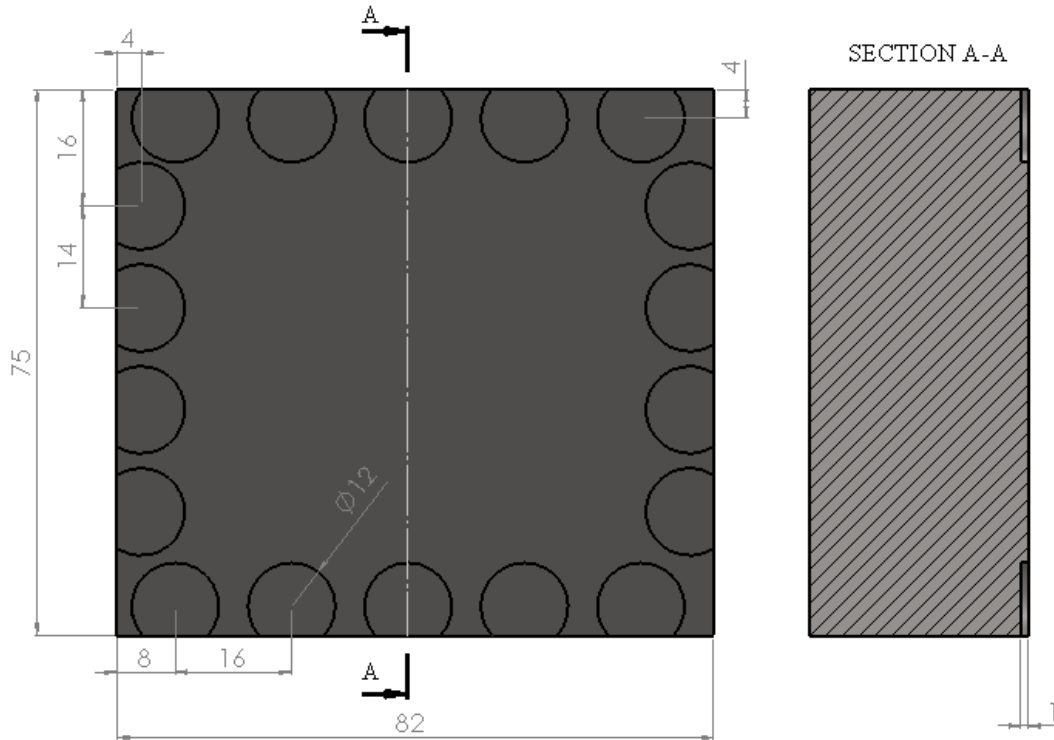
5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

5.1.1 İş parçası

Deneysel çalışmalarda 75mm x 82mm x 30mm ölçülerinde DIN 1.2344 sıcak iş çeliği kullanılmıştır. Denelerde kullanılan iş parçasının ölçüleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Çizelge 5.1’de çeliğin kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri verilmiştir. DIN 1.2344 sıcak iş çeliği çoğunlukla sıcak şekillendirme kalıplarında olmak üzere; alüminyum enjeksiyon kalıplarında, sıcak kesme bıçaklarında, plastik enjeksiyon kalıplarında, dövme kalıplarında ve ekstrüzyon takımlarında da yoğun olarak kullanılmaktadır. Yüksek darbe dayanımı sayesinde gerektiğinde kalın sac kesme kalıplarında da kullanılabilir (Sari, Noordin ve Brusa, 2012).

Dalma erozyon işleminden önce iş parçası yüzeyi aşındırmaya uygun hale getirilmek amacıyla düzlem taşlama tezgahında taşlanmıştır. Böylece iş parçası yüzeyi hem paralel hale getirilmiş hem de yüzeylerde bulunan döküm hataları ve tufaller giderilmiştir.



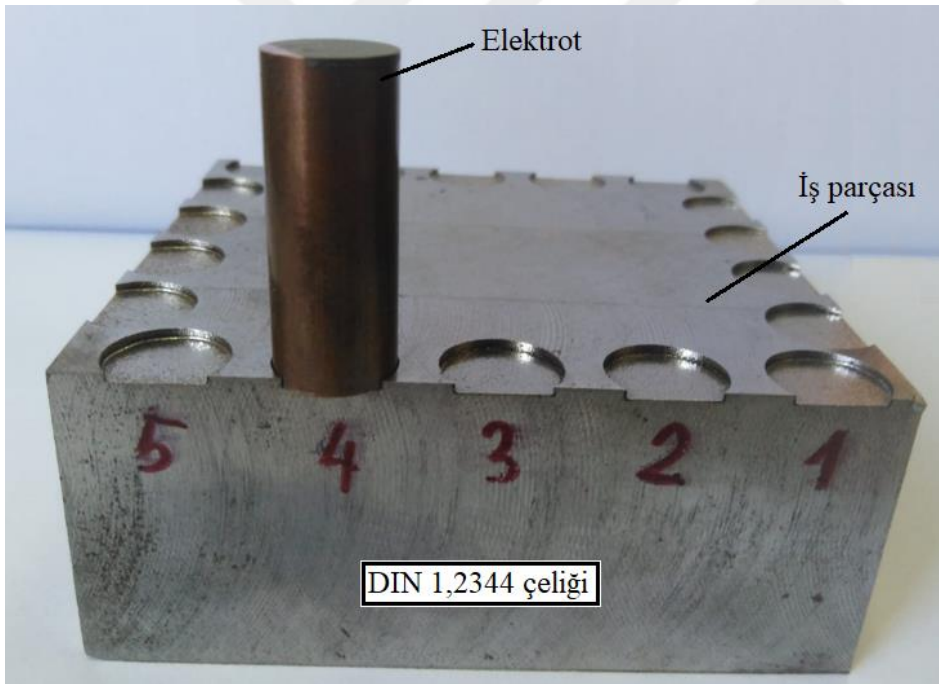
Şekil 5.2. Denelerde kullanılan DIN 1.2344 çeliğinin boyutları

Çizelge 5.1. DIN 1.2344 çeliğinin özellikleri

Özellik	Tanım
Bileşim	C 0,40; Si 1,15; Mn 0,35; Cr 5,35; Mo 1.40; V 1.00
Sertlik	50 HRc
Çekme dayanımı	1760 MPa
Akma dayanımı	1480 MPa

5.1.2. Elektrot

Deneyleerde 12mm çapında ve 30mm uzunluğunda saf bakır elektrotlar kullanılmıştır. Yapılan her bir deney için yeni elektrot kullanılmıştır. Kullanılan bu elektrotların deney bitiminde karşılaştırılmak üzere yüzey işleme öncesinde 1/1000 gr. hassas tartı ile ağırlık ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan elektrot ve iş parçası

5.1.3. Dalma erozyon tezgahı

Deneyleer, Amasya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi makine atölyesinde bulunan ZNC Best-3000S marka dalma erozyon tezgahında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan dalma

erozyon tezgahının görseli Şekil 5.3'te verilmiştir. ZNC Best-3000S dalma erozyon tezgahının teknik özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Dalma erozyon tezgahının özellikleri

Tanım	3000S ZNC
Tabla Boyu	700 x 360 mm
X/Y/Z Hareketi	400 x 300 x 200 + 25
Elektrot Ağırlığı	120 Kg
İş Parçası Ağırlığı	600 Kg
Maks. Parça Bağlama	950 x 580 x 450 mm
Yağ Tankı Kapasitesi	430 L
Maks. Amper	50 A
Bakır Aşındırma Oranı	< 0,01 %
Makine Ağırlığı	1200 Kg
Toplam Güç	7,5 Kw



Şekil 5.4. ZNC Best-3000S dalma erozyon tezgâhı

5.1.4. Dielektrik sıvısı

Elektro erozyon ile işleme esnasında dielektrik sıvı olarak Arı Petrol Kimya firmasına ait kerosen dielektrik sıvısı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dielektrik sıvısının özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Deneylerde kullanılan dielektrik sıvısı 1.5 bar basınçta ve havuza alınmadan püskürtme yöntemi ile yapılmıştır. İşleme esnasında kaldırılan toz şeklindeki talaşların işleme bölgesinden kolay uzaklaştırılabilmesi için püskürtme yönü merkezden dışarı doğru yapılmıştır. Böylelikle işlenen bölgede talaş birikiminin önüne geçilmesi istenmiştir. Püskürtülen dielektrik sıvısının işleme esnasındaki görüntüsü Şekil 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Dielektrik sıvısının özellikleri

Viskozite	40 °C'de 4.7 cSt
Yoğunluk	15 °C'de 0.7 kg/l
Akma Noktası	°C'de 0

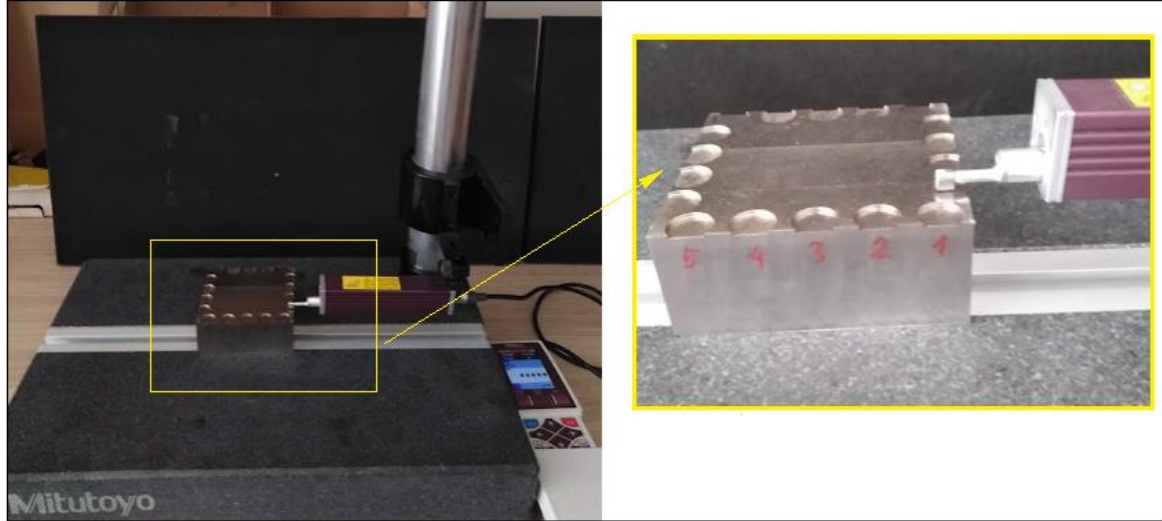


Şekil 5.5. İşleme esnasında püskürtülen dielektrik sıvısı

5.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

Dalma erozyon tezgâhı ile işlenen yüzeylerde oluşan pürüzlülükler Mitutoyo SJ-310S marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler işleme yönüne dik, iş parçası yüzeyine paralel olarak ölçülmüştür. Ölçüm cihazının işlenen yüzeylere rahat girip çıkması

ve daha sağlıklı ölçümler yapılabilmesi için silindirik elektrotlar işleme sırasında iş parçasından 2 mm dışarıda olacak şekilde ayarlanmıştır. Dalma erozyon ile 1 mm derinliğinde işlenen yüzeylerin pürüzlülük ölçümlerine ait görsel Şekil 5.5'te verilmiştir. Mitutoyo SJ-310S cihazına ait teknik özellikler de Çizelge 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.6. Numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü

5.3. İşleme Parametreleri ve Deney Listesi

Deneylerde işleme parametresi olarak kullanılan kontrol faktörleri, literatür taraması yapılarak belirlenmiştir. Deneylerde, 3 farklı kontrol faktörü (Görev çevrimi, amper, vurum süresi) seçilmiştir. Görev çevriminden 2 farklı seviye (0.3-0.6 η), amperden 3 farklı seviye (4-8-12 A) ve vurum süresinden 3 farklı seviye (300-500-700 μ s) belirlenmiştir. Deney listesi Taguchi L_{18} deney dizini oluşturularak yapılmıştır. Elektroerozyon ile işlemede kullanılan kontrol faktörleri Çizelge 5.5'te, Taguchi L_{18} ile oluşturulan deney listesi Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Kontrol faktörleri	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Görev çevrimi	η	0.3	0.6	
Amper	A	4	8	12
Vurum süresi	μ s	300	500	700

Çizelge 5.5. Taguchi L18 deney listesi

Test No	Kontrol faktörleri		
	Görev çevrimi (η)	Amper (A)	Vurum süresi (μ s)
1	0.3	4	300
2	0.3	4	500
3	0.3	4	700
4	0.3	8	300
5	0.3	8	500
6	0.3	8	700
7	0.3	12	300
8	0.3	12	500
9	0.3	12	700
10	0.6	4	300
11	0.6	4	500
12	0.6	4	700
13	0.6	8	300
14	0.6	8	500
15	0.6	8	700
16	0.6	12	300
17	0.6	12	500
18	0.6	12	700

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneyle sonunda işlenen yüzeylere ait ortalama pürüzlülük (R_a) değerleri pürüzlülük ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir. İşleme sırasında deneylerin işleme süreleri ölçülmüştür. İş parçası üzerinden kaldırılan talaş miktarı sabit tutulmuştur. Talaş kaldırma oranları (MRR), iş parçasından kaldırılan talaş miktarının işleme sürelerine oranlarıyla bulunmuştur. Denklem 1'e göre herbir deney için MRR hesaplanmıştır (Salcedo ve diğerleri, 2017).

$$\text{MRR (mm}^3/\text{dk)} = \frac{\Delta\Omega p}{t_m} \quad (1)$$

Denklemde, $\Delta\Omega p$ ifadesi iş parçasından kaldırılan toplam talaş miktarını, t_m ifadesi işleme süresini göstermektedir.

Elektrotların işleme öncesi ve sonrası ağırlıkları hassas bir ağırlık ölçerde ölçülmüş ve Denklem 2'ye göre elektrot aşınma oranları bulunmuştur (Jeevamalar ve Ramabalan, 2015).

$$\text{EWR (Mg/min)} = \frac{W_i - W_f}{t_m} \quad (2)$$

Denklemde, W_i ifadesi elektrotun ilk ağırlığını, W_f ifadesi elektrotun son ağırlığını ve t_m ifadesi de işleme süresini göstermektedir.

Deneyle sonunda elde edilen ortalama R_a , MRR ve EWR değerleri ve bunlara ait sinyal-gürültü (S/N) oranları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney listesi ve sonuçları

Test No	Kontrol faktörleri			Deney çıktıları					
	Görev çevrimi (η)	Amper (A)	Vurum süresi (μ s)	Ra (μ m)	Ra S/N	MRR (mm^3/dk)	MRR S/N	EWR Mg/dk	EWR S/N
1	0.3	4	300	1.537	-3.7335	0.8608	-1.3023	0.043	27.3306
2	0.3	4	500	1.155	-1.2516	0.5821	-4.6995	0.022	33.1515
3	0.3	4	700	1.095	-0.7883	0.5035	-5.9591	0.016	35.9176
4	0.3	8	300	3.606	-11.1405	7.3726	17.3524	2.562	-8.1716
5	0.3	8	500	1.849	-5.3387	3.4908	10.8585	0.693	3.1853
6	0.3	8	700	1.090	-0.7485	2.4024	7.6130	0.298	10.5157
7	0.3	12	300	6.384	-16.1019	20.2229	26.1169	20.080	-26.0553
8	0.3	12	500	5.574	-14.9233	15.9100	24.0334	11.848	-21.4729
9	0.3	12	700	5.281	-14.4543	11.9608	21.5552	6.235	-15.8967
10	0.6	4	300	1.468	-3.3345	0.8682	-1.2277	0.048	26.3752
11	0.6	4	500	1.209	-1.6485	0.6255	-4.0751	0.027	31.3727
12	0.6	4	700	0.974	0.2288	0.5357	-5.4217	0.019	34.4249
13	0.6	8	300	4.113	-12.2832	8.8187	18.9081	3.393	-10.6117
14	0.6	8	500	2.379	-7.5279	3.8293	11.6623	0.808	1.8518
15	0.6	8	700	2.212	-6.8957	2.5040	7.9726	0.342	9.3195
16	0.6	12	300	6.424	-16.1561	24.9901	27.9554	31.017	-29.8320
17	0.6	12	500	5.345	-14.5590	19.4797	25.7916	18.859	-25.5104
18	0.6	12	700	3.322	-10.4280	9.6837	19.7208	4.808	-13.6393

6.1. Taguchi Sonuçları

Taguchi analizleri sonunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), talaş kaldırma oranı (MRR) ve elektrot aşınma oranı (EWR) değerlerinin sinyal-gürültü (S/N) oranları belirlenmiş ve bu oranlara göre analizler yapılmıştır.

6.1.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için taguchi analizi

Yüzey pürüzlülüğü küçük olması istendiği için S/N oranları en küçük-en iyi yöntemi ile oluşturulmuştur. En küçük Ra için S/N oranı en belirgin yani en büyük olandır. Çizelge 6.1 incelendiğinde Ra için en büyük S/N oranı 12. deneyde çıkmıştır. Yüzey pürüzlülüğü de 0,974 μ m ile en küçük çıkmıştır.

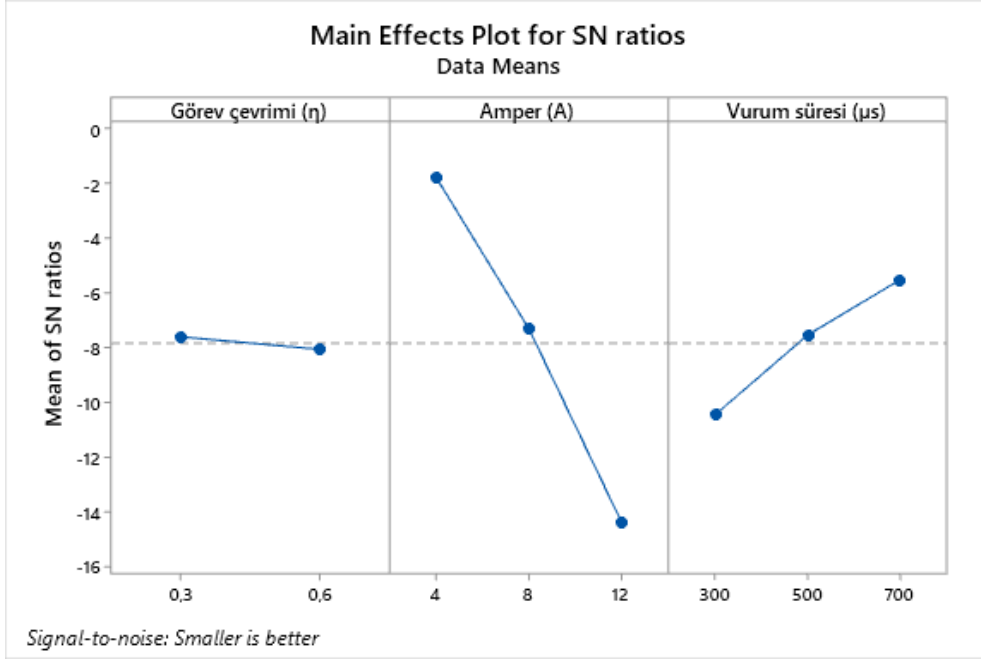
Çizelge 6.2, en küçük en iyi sinyal-gürültü oranına göre Ra için yanıt çizelgesidir. Bu çizelgede, Taguchi analizlerine göre parametrelerin etkinlik sırası verilmiştir. “Sıra” satırı,

parametrelerin etkinlik sırasını vermektedir. İşleme parametreleri arasındaki amper parametresi 1. sırada çıkarak en etkin parametre olmuştur. Daha sonra etkinlik sırası, sırasıyla vurum süresi ve görev çevrimi şeklinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.2. En küçük en iyiye göre Ra için Sinyal-Gürültü oranı yanıt çizelgesi

Seviye	Görev çevrimi (η)	Amper (A)	Vurum süresi (μ s)
1	-7.609	-1.755	-10.458
2	-8.067	-7.322	-7.542
3		-14.437	-5.514
Delta	0.458	12.682	4.944
Sıra	3	1	2

Şekil 6.1, en küçük en iyi analizine göre işleme parametrelerinin ve seviyelerinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiğidir. Bu grafik, parametre seviyelerinin en ideal olanlarını göstermektedir. Taguchi analiz yöntemi ile elde edilen bu grafikte, Görev çevrimi parametresinin en ideal seviyesi 1. seviye olan 0.3, amper parametresinin en ideal seviyesi 1. seviye olan 4 A ve vurum süresi parametresinin en ideal seviyesi 3. seviye olan 700 μ s olarak çıkmıştır. Bu sonuçlar ortalama yüzey pürüzlülüğünün optimum parametre seviyelerini vermiştir.



Şekil 6.1. En küçük en iyiye göre yüzey pürüzlülüğü için parametrelerin sinyal-gürültü oranları grafiği

6.1.2. Talaş kaldırma oranı (MRR) için taguchi analizi

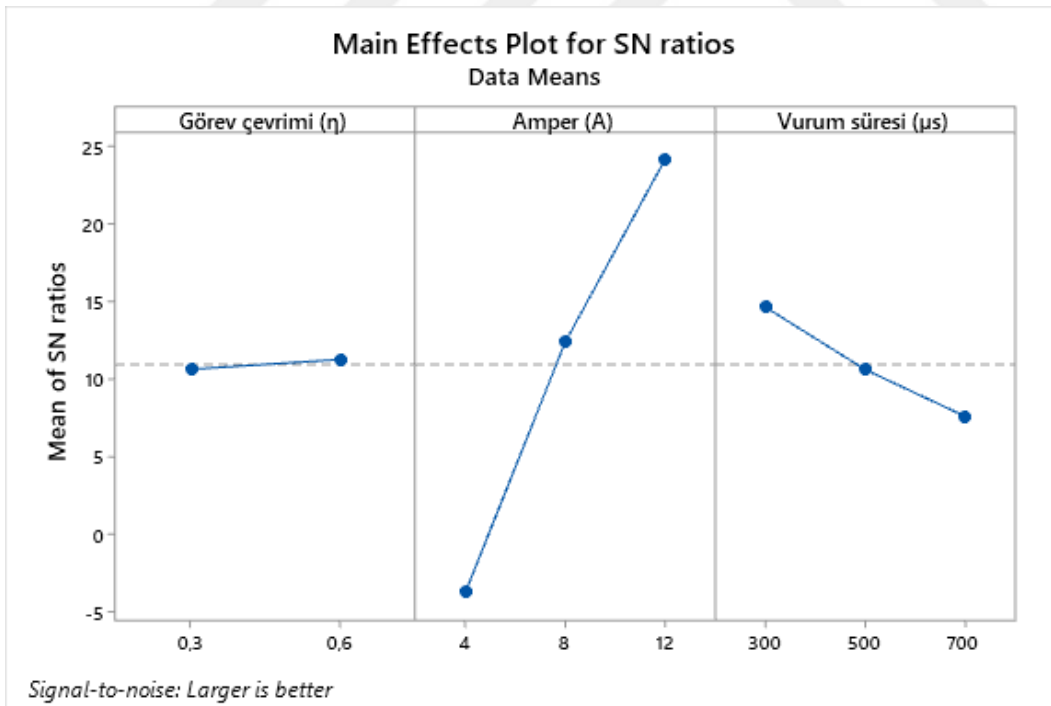
Talaş kaldırma oranı büyük olması istendiği için S/N oranları en büyük en iyi yöntemi ile oluşturulmuştur. En büyük MRR için S/N oranı en belirgin yani en büyük olandır. Çizelge 6.1 incelendiğinde MRR için en büyük S/N oranı 16. deneyde çıkmıştır. Talaş kaldırma oranı da $24.9901 \text{ mm}^3/\text{dk}$ ile en büyük çıkmıştır.

Çizelge 6.3, en büyük en iyi sinyal-gürültü oranına göre MRR için yanıt çizelgesidir. Bu çizelgede, Taguchi analizlerine göre parametrelerin etkinlik sırası verilmiştir. “Sıra” satırı, parametrelerin etkinlik sırasını vermektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi talaş kaldırma oranında da işleme parametreleri arasındaki amper parametresi 1. sırada çıkarak en etkin parametre olmuştur. Daha sonra etkinlik sırası, sırasıyla vurum süresi ve görev çevrimi şeklinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.3. En büyük en iyiye göre MRR için Sinyal-Gürültü oranı yanıt çizelgesi

Seviye	Görev çevrimi (η)	Amper (A)	Vurum süresi (μ s)
1	10,619	-3,781	14,634
2	11,254	12,395	10,595
3		24,196	7,580
Delta	0,635	27,976	7,054
Sıra	3	1	2

Şekil 6.2, en büyük en iyi analizine göre işleme parametrelerinin ve seviyelerinin talaş kaldırma oranına etki grafiğidir. Bu grafik, parametre seviyelerinin en ideal olanlarını göstermektedir. Taguchi analiz yöntemi ile elde edilen bu grafikte, görev çevrimi parametresinin en ideal seviyesi 2. seviye olan 0.6, amper parametresinin en ideal seviyesi 3. seviye olan 12 A ve vurum süresi parametresinin en ideal seviyesi 1. seviye olan 300 μ s olarak çıkmıştır. Bu sonuçlar talaş kaldırma oranının optimum parametre seviyelerini göstermektedir.



Şekil 6.2. En büyük en iyiye göre talaş kaldırma oranları için parametrelerin sinyal-gürültü oranları grafiği

6.1.3. Elektrot aşınma oranı (EWR) için taguchi analizi

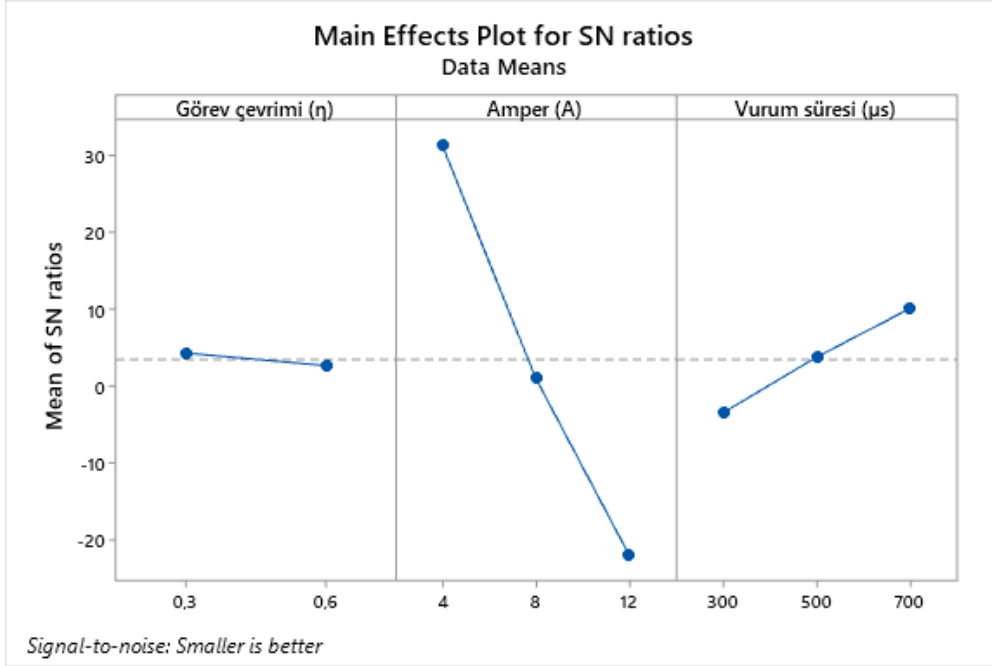
Dalma erozyon ile işleme esnasında tasarruf edebilmek için hem işleme süresi düşük olmalıdır hem de elektrot sarfiyatı düşük olmalıdır. Bu nedenle elektrotlarda meydana gelen aşınmaların minimum olması istenmektedir. Elektrot aşınması küçük istendiği için S/N oranları en küçük-en iyi yöntemi ile oluşturulmuştur. En küçük EWR için S/N oranı en belirgin yani en büyük olandır. Çizelge 6.1 incelendiğinde EWR için en büyük S/N oranı 3. deneyde çıkmıştır. Elektrot aşınma oranı da 0.016 mg/dk ile en küçük çıkmıştır.

Çizelge 6.4, en küçük en iyi sinyal-gürültü oranına göre EWR için yanıt çizelgesidir. Bu çizelgede, Taguchi analizlerine göre parametrelerin etkinlik sırası verilmiştir. “Sıra” satırı, parametrelerin etkinlik sırasını vermektedir. Ortalama yüzey pürüzlülüğünde ve talaş kaldırma oranlarında olduğu gibi elektrot aşınma oranında da işleme parametreleri arasındaki amper parametresi 1. sırada çıkarak en etkin parametre olmuştur. Daha sonra etkinlik sırası, sırasıyla vurum süresi ve görev çevrimi şeklinde gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.4. En küçük en iyiye göre EWR için Sinyal-Gürültü oranı yanıt çizelgesi

Seviye	Görev çevrimi (η)	Amper (A)	Vurum süresi (μs)
1	4,278	31,429	-3,494
2	2,639	1,015	3,763
3		-22,068	10,107
Delta	1,639	53,497	13,601
Sıra	3	1	2

Şekil 6.3, en küçük en iyi analizine göre işleme parametrelerinin ve seviyelerinin elektrot aşınma oranına etki grafiğidir. Bu grafik, parametre seviyelerinin en ideal olanlarını göstermektedir. Taguchi analiz yöntemi ile elde edilen bu grafikte, görev çevrimi parametresinin en ideal seviyesi 1. seviye olan 0.3, amper parametresinin en ideal seviyesi 1. seviye olan 4 A ve vurum süresi parametresinin en ideal seviyesi 3. seviye olan 700 μs olarak çıkmıştır. Bu sonuçlar elektrot aşınma oranının optimum parametre seviyelerini göstermektedir.



Şekil 6.3. En küçü en iyiye göre elektrot aşınması için parametrelerin sinyal-gürültü oranları grafiği

6.2. ANOVA Sonuçları

Bu bölümde Ra, MRR ve EWR için ANOVA sonuçları verilmiştir. Varyans analizleri bu üç sonuç için de %95 güven düzeyi seçilerek gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi çizelgelerinde bulunan % katkı değerleri, işleme faktörlerinin yüzde etki derecesini göstermektedir. Çizelgelerde bulunan P değerinin %5'ten küçük olması ise bu model için faktörlerin anlamlı olup olmadığını gösterir (Modi ve diğerleri, 2022).

6.2.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için ANOVA sonuçları

Varyans analizinde Ra için en etkin faktör % 80.668 ile amper olmuştur. Çizelge 6.5'te sadece görev çevrimi anlamlı çıkmamıştır. Diğer faktörlerin P değerleri %5'ten küçük olduğu için anlamlı çıkmıştır. En anlamlı değer de 0.0000004 ile amper olmuştur. Ra için Taguchi analizlerinde de en etkin parametre amper çıkmıştır. ANOVA sonuçları Taguchi sonuçlarını doğrulamaktadır.

Çizelge 6.5. Ra için Varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	% Katkı	Kareler ortalaması	F Değeri	P Değeri
Görev çevrimi (η)	1	0.0009	0.001%	0.0009	0.002	0.9649041
Amper (A)	2	54.0213	80.668%	27.0107	62.807	0.0000004
Vurum süresi (μ s)	2	7.7843	11.624%	3.8922	9.050	0.0040144
Hata	12	5.1607	7.706%	0.4301		
Toplam	17	66.9672	100.000%			

Çizelge 6.6, Ra için varyans analizinin özetini vermektedir. Çizelgede R^2 değeri modelin güven düzeyini göstermektedir. Yapılan bu model yaklaşık %93 güven düzeyinde çıkmıştır. Model %95 olarak belirlenmişti ancak modelin güvenilirlik düzeyi bu değer altında çıkmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde çıkan bu değer de kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.6. Ra için ANOVA modelinin özeti

S	R^2	R^2 ortalama	PRESS	R^2 ilk	AICc	BIC
0,655786	92.29%	89.08%	11.6115	82.66%	53.79	48.83

6.2.2. Talaş kaldırma oranı (MRR) için ANOVA sonuçları

Varyans analizinde MRR için en etkin faktör % 81.58 ile amper olmuştur. Çizelge 6.7'de sadece görev çevrimi anlamlı çıkmamıştır. Diğer faktörlerin P değerleri %5'ten küçük olduğu için anlamlı çıkmıştır. En anlamlı değer de 0.0000006 ile amper olmuştur. MRR için Taguchi analizlerinde de en etkin parametre amper çıkmıştır. ANOVA sonuçları Taguchi sonuçlarını doğrulamaktadır.

Çizelge 6.7. MRR için Varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	% Katkı	Kareler ortalaması	F Değeri	P Değeri
Görev çevrimi (η)	1	3.58	0.33%	3.581	0.49	0.4978399
Amper (A)	2	872.52	81.58%	436.261	59.53	0.0000006
Vurum süresi (μ s)	2	105.51	9.86%	52.754	7.20	0.0088252
Hata	12	87.94	8.22%	7.328		
Toplam	17	1069.55	100.00%			

Çizelge 6.8 MRR için varyans analizinin özetini vermektedir. Çizelgede R^2 değeri modelin güven düzeyini göstermektedir. Yapılan bu model yaklaşık %92 güven düzeyinde çıkmıştır. Model %95 güvenilirlik düzeyinde belirlenmişti ancak modelin güvenilirlik düzeyi bu değer altında çıkmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde çıkan bu değer de kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.8. MRR için ANOVA modelinin özeti

S	R^2	R^2 ortalama	PRESS	R^2 ilk	AICc	BIC
2.70708	91.78%	88.35%	197.864	81.50%	104.83	99.87

6.2.3. Elektrot aşınma oranı (EWR) için ANOVA sonuçları

Varyans analizinde EWR için en etkin faktör %63,99 ile amper olmuştur. Çizelge 6.9’da sadece görev çevrimi anlamlı çıkmamıştır. Diğer faktörlerin P değerleri %5’ten küçük olduğu için anlamlı çıkmıştır. En anlamlı değer de 0,0003 ile amper olmuştur. EWR için Taguchi analizlerinde de en etkin parametre amper çıkmıştır. ANOVA sonuçları Taguchi sonuçlarını doğrulamaktadır.

Çizelge 6.9. EWR için Varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Kaynak	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	% Katkı	Kareler ortalaması	F Değeri	P Değeri
Görev çevrimi (η)	1	17.06	1.24%	17.06	0.67	0.4289
Amper (A)	2	879.64	63.99%	439.82	17.28	0.0003
Vurum süresi (μ s)	2	172.48	12.55%	86.24	3.39	0.0682
Hata	12	305.48	22.22%	25.46		
Toplam	17	1374.66	100.00%			

Çizelge 6.10, EWR için varyans analizinin özetini vermektedir. Çizelgede R^2 değeri modelin güven düzeyini göstermektedir. Yapılan bu model yaklaşık %78 güven düzeyinde çıkmıştır. Model %95 güvenilirlik düzeyinde belirlenmişti ancak modelin güvenilirlik düzeyi bu değer altında çıkmıştır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde çıkan bu değer kabul edilebilir düzeyin biraz altında olduğu belirlenmiştir. Uygulanan bu model yüzey pürüzlülüğü ve talaş kaldırma oranları için güvenilir çıkmıştır ancak elektrot aşındırma oranları için güven düzeyinin biraz altında kalmıştır. Çalışmada elektrotta meydana gelen aşınma en önemli

problem olarak görülüyorsa işleme parametreleri ve seviyeleri değiştirilerek geliştirilmelidir.

Çizelge 6.10. EWR için ANOVA modelinin özeti

S	R ²	R ² ortalama	PRESS	R ² ilk	AICc	BIC
5.04548	77.78%	68.52%	687.336	50.00%	127.25	122.28

6.3. Ra, MRR ve EWR için Regresyon Analizi Sonuçları

Regresyon analizi, deneysel çalışmalarda kontrol ve deneysel faktörler arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılır. Aynı zamanda analiz edilecek değişkene göre daha kolay veya daha erken tespit edilebilen değişkenlere dayalı olarak istenilen değişkeni tahmin eden bir modelin oluşturulmasıdır (Alpar, 2010). Bu model ile farklı parametrelerle yapılacak deneylerde oluşacak yüzey pürüzlülükleri, talaş kaldırma oranları ve elektrot aşınma oranları hakkında önceden bilgi sahibi olmamızı sağlayacaktır. Bu da dalma erozyon yöntemiyle imalat yapan işletmelerde zaman ve enerji kaybını önlemeye yardımcı olacaktır. Yapılan regresyon analizleri, çok değişkenli regresyon analizi sınıfına girmektedir. Ra, MRR ve EWR sonuçlarına göre üç nicel değişken arasındaki ilişki, kuadratik regresyon modeli oluşturularak ölçülmüştür. İşleme parametrelerine göre optimum değeri elde edebileceğimiz denklemler çıkarılmıştır. Regresyon analizi sonuçlarından Ra, MRR ve EWR için elde edilen matematiksel modeller Çizelge 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.11. Ra, MRR ve EWR için Regresyon analizi matematiksel modeli

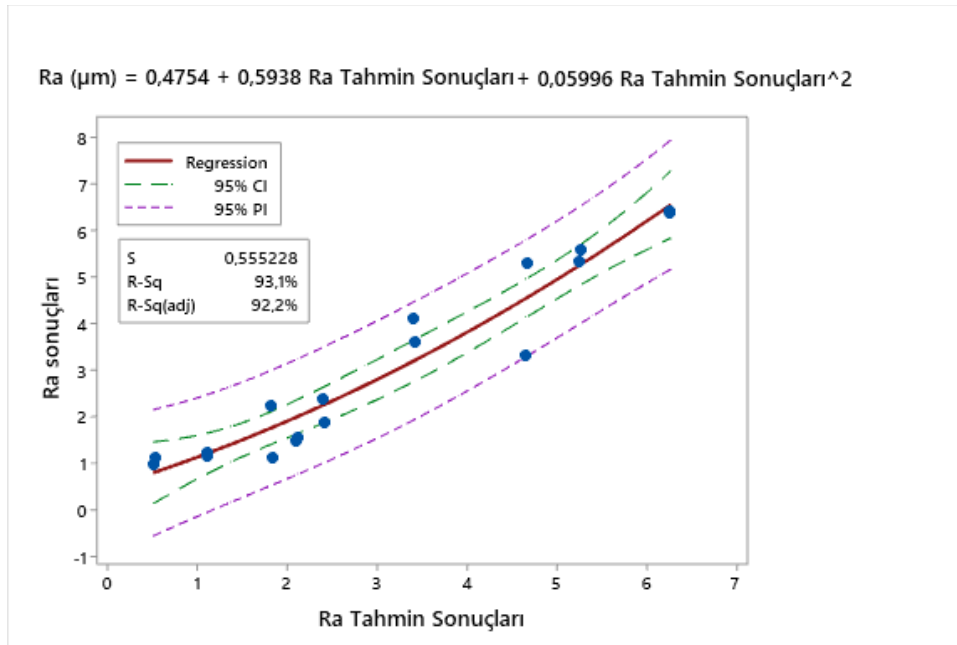
Ra	=	0,920 - 0,05 Görev çevrimi + 0,5186 Amper - 0,00398 Vurum süresi
MRR	=	-2,83 + 2,97 Görev çevrimi + 2,047 Amper - 0,01481 Vurum süresi
EWR	=	-3,28 + 6,49 Görev çevrimi + 1,931 Amper - 0,01893 Vurum süresi

6.4. Ra, MRR ve EWR için Tahmin Deneyleri Sonuçları

Bu bölümde, deneysel sonuçlar için tahmin edilen değerlerin güven aralığı (CI: Confidence Interval) içinde olup olmadığı belirlenmiştir. Bunu belirlemek için kuadratik regresyon analizi uygulanmıştır. Bu ilişkiyi belirlemek için tahmin edilen değerler ile deneysel sonuçlar arasında bu test yapılmıştır. Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da R-Sq değerleri tahmin deneylerinin güven aralığını göstermektedir. Şekillerde bulunan mavi noktalar

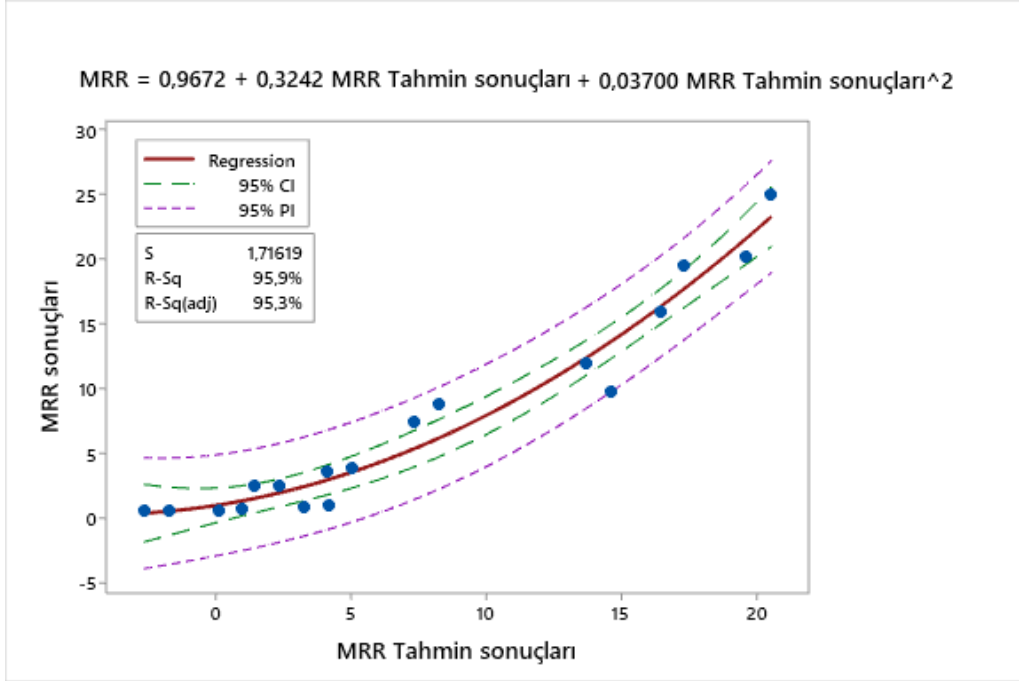
yapılan deneyleri ifade etmektedir, pembe renkli kesik çizigiler tahmini değerlerimiz sınırnı (PI: Predict Interval) belirtmektedir. Güven aralığı (CI) ise yeşil kesikli çizgilerdir. Kırmızı düz çizgi ise regresyon eğrisidir. Yapılan deneyler (mavi noktalar) regresyon eğrisine ne kadar yakın olursa tahmin deneylerimizin güven aralığı (R-Sq) o kadar yüksek çıkar. (Atıf)

Taguchi yöntemi ile deneysel sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasındaki sonuçlar değerlendirildiğinde, regresyon analizinde Ra için tahmin edilen değerlerin güven aralığı (CI) limiti %93.1 çıkmıştır (Şekil 6.4). Ra için tahmin edilen değerler ile deney sonuçları güven aralığı limitine (%95) çok yakın çıkmıştır. Bu değer de kabul edilebilir bir değerdir.



Şekil 6.4. Ra için tahmin edilen değerlerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

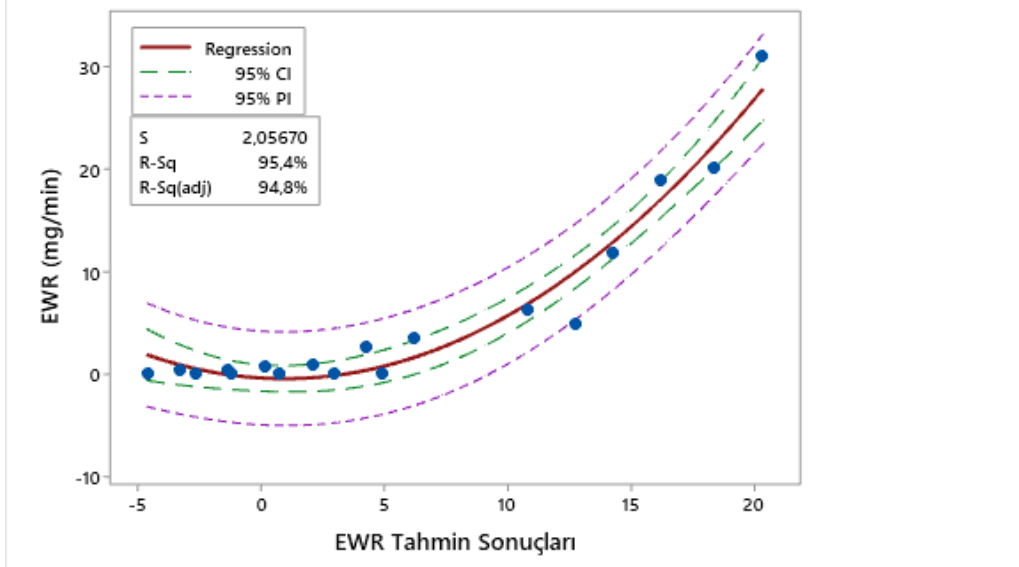
Taguchi yöntemi ile deneysel sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasındaki sonuçlar değerlendirildiğinde, regresyon analizinde MRR için tahmin edilen değerlerin güven aralığı (CI) limiti %95.9 çıkmıştır (Şekil 6.5). MRR için tahmin edilen değerler ile deney sonuçları güven aralığı limitine (%95) içinde çıkmıştır.



Şekil 6.5. MRR için tahmin edilen değerlerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Taguchi yöntemi ile deneysel sonuçlar ile tahmin edilen değerler arasındaki sonuçlar değerlendirildiğinde, regresyon analizinde EWR için tahmin edilen değerlerin güven aralığı (CI) limiti %95,4 çıkmıştır (Şekil 6.6). EWR için tahmin edilen değerler ile deney sonuçları güven aralığı limiti (%95) içinde çıkmıştır.

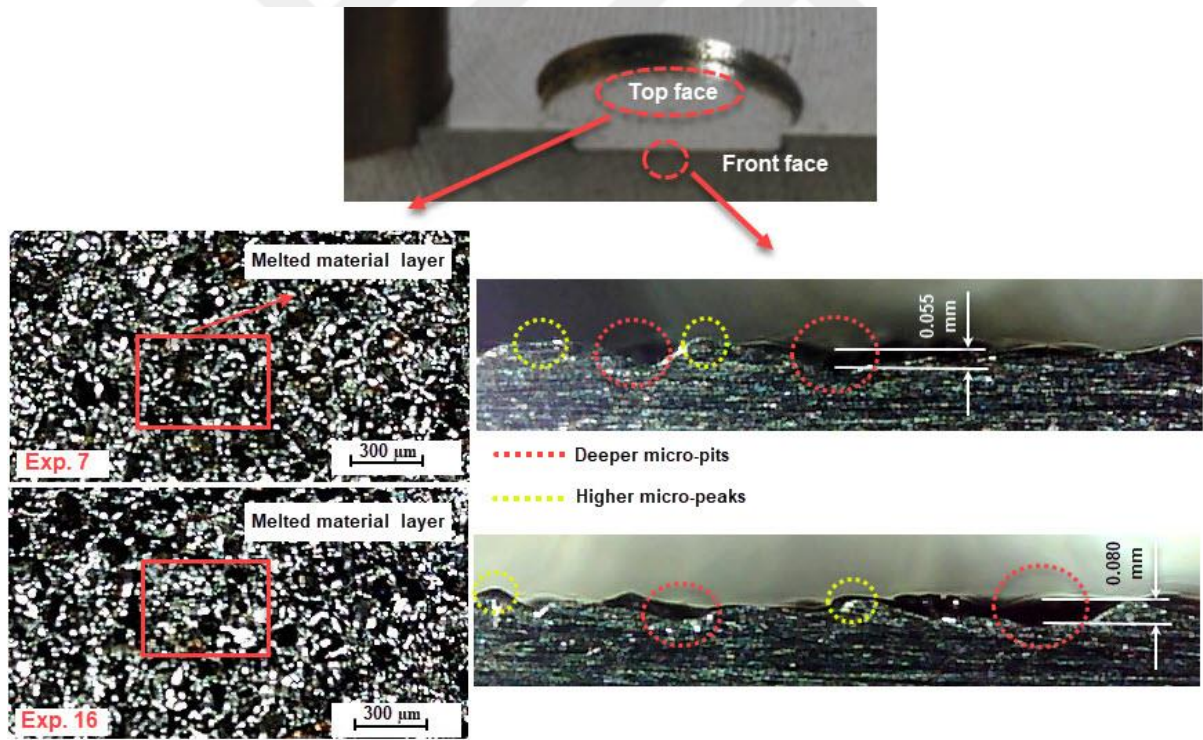
$$\text{EWR (mg/min)} = -0,3970 - 0,1473 \text{ EWR Tahmin Sonuçları} + 0,07522 \text{ EWR Tahmin Sonuçları}^2$$



Şekil 6.6. EWR için tahmin edilen değerlerin ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

6.5. Mikro-yapı Analizi

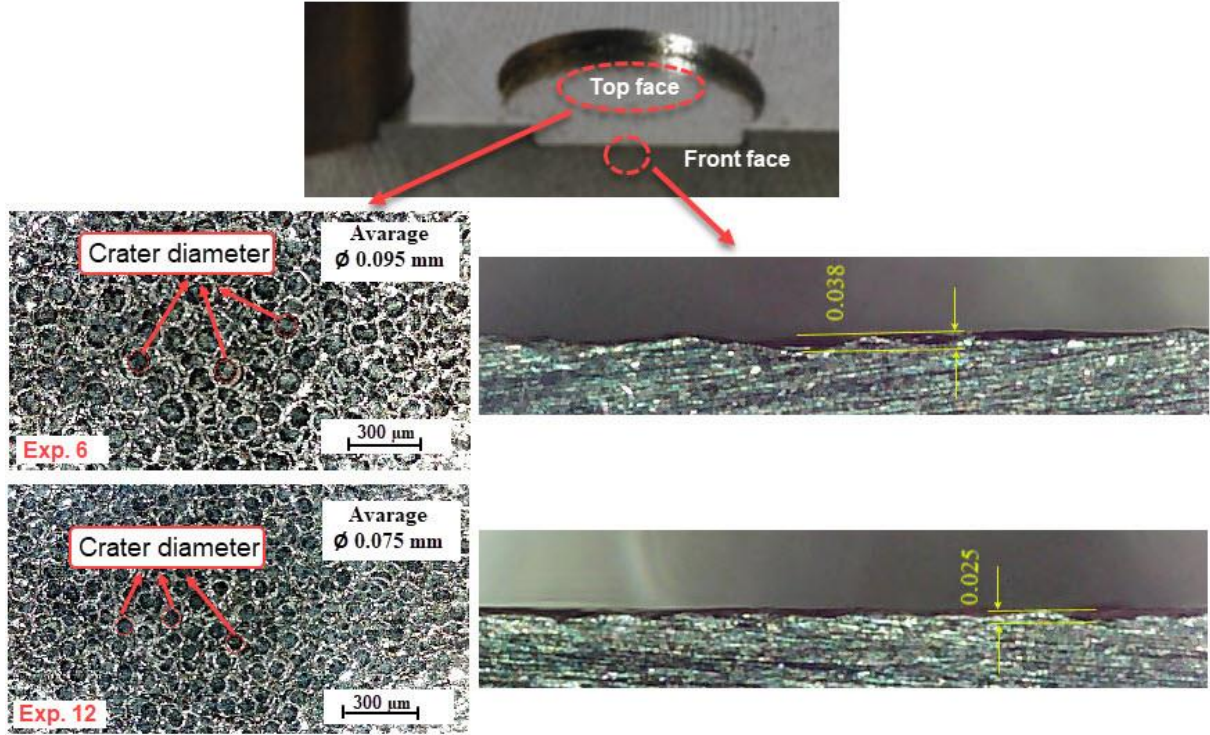
Elektro-erozyon (EDM) ile işleme sırasında iş parçası yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklıklar malzeme yüzeyinde ciddi etkiler bırakmaktadır. Bu yüksek sıcaklık iş parçası yüzeyinin mikro yapısını ve yüzey kalitesini etkilemektedir. Şekil 6.7’de yüzey pürüzlülüğünün maksimum çıktığı deney 16 ve deney 7’nin üstten ve karşıdan mikroskop görüntüleri verilmiştir. Normal bir elektro-erozyon işleminde işlenen yüzeyler incelendiğinde, yüzeyler üzerinde krater aşınmaları olması gerekmektedir. Bu krater oluşumlarının derinlikleri ve çapı malzeme yüzeyinin pürüzlülüğünü belirler. 16. ve 7. deneylerin yüzey yapısı incelendiğinde krater oluşumu gözlemlenmemiştir. Yüzeylerde oluşan aşırı sıcaklık dolayısıyla yüzeyler üzerinde erimiş metal tabakası oluşmuştur. Düzensiz erimeden dolayı da mikro-çukurlar ve mikro-yükseklikler fazla çıkmıştır. Bu durum MRR’ı arttırmıştır ancak yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilemiştir.



Şekil 6.7. Pürüzlülük değeri en fazla çıkan 7. ve 16. deneylerin mikroskop görüntüleri

Şekil 6.8’de yüzey pürüzlülüğü en az çıkan 12. ve 6. deneylerin mikroskop görüntüleri verilmiştir. Üst yüzeyden incelendiğinde malzeme yüzeyinde kıvılcımların oluşturduğu krater oluşumları gözlemlenmiştir. 12. deneyin krater çapları ve derinlikleri 6. deneye göre

biraz daha küçük çıkmıştır. Bu da yüzey pürüzlülüğünün 12. deneyde en küçük olduğunu göstermiştir. Ancak MRR da en küçük 12. deneyde olmuştur.



Şekil 6.8. Pürüzlülük değeri en küçük çıkan 6. ve 12. deneylerin mikroskop görüntüleri

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, DIN 1.2344 çeliği elektro-erozyon ile işleme sonrası ortalama pürüzlülük (Ra) değeri, talaş kaldırma oranı (MRR) ve elektrot aşınma oranları (EWR) incelenmiştir. Her bir çıktı için optimum yüzey kesme parametreleri belirlenmiştir. Optimum kesme parametrelerinin belirlenmesinde Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın güven düzeyi ANOVA ile kontrol edilmiştir. Son olarak regresyon yöntemi ile matematiksel model oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Taguchi analizine göre;

- En küçük yüzey pürüzlülüğü (Ra) 0.974 μm ile 12. deneyde, en çok talaş kaldırma oranı (MRR) 19.4797 mm^3/dk ile 16. deneyde, en az elektrot aşınma oranı (EWR) 0.016 Mg/dk ile 3. deneyde çıkmıştır.
- Amper parametresi yüzey pürüzlülüğüne, talaş kaldırma oranına ve elektrot aşınma oranına en çok etki eden parametre olmuştur. Amperi, vuruş süresi ve görev çevrimi takip etmektedir.
- Ra için en ideal seviyeler, görev çevriminin 1. seviyesi olan 0.3, amperin 1. seviyesi olan 4 A ve vuruş süresinin 3. seviyesi olan 700 μs olarak bulunmuştur.
- MRR için en ideal seviyeler, görev çevriminin 2. seviyesi olan 0.6, amperin 3. seviyesi olan 12 A ve vuruş süresinin 1. seviyesi olan 300 μs olarak bulunmuştur.
- EWR için en ideal seviyeler, görev çevriminin 1. seviyesi olan 0.3, amperin 1. seviyesi olan 4 A ve vuruş süresinin 3. seviyesi olan 700 μs olarak bulunmuştur.
- Amper arttıkça elektrot aşınma oranı ve talaş kaldırma oranı da artmaktadır. Aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü de olumsuz yönde artmaktadır.

ANOVA'ya göre;

- Ra, MRR ve EWR'ye en çok katkıda bulunan parametre amper olmuştur. Taguchi analiz sonuçlarını doğrulamaktadır.

- Çalışmanın güven düzeyi Ra için yaklaşık %93, MRR için yaklaşık %92, EWR için yaklaşık %78 olmuştur.

Mikro-yapıya göre;

- Yüzeylerde oluşan aşırı sıcaklık dolayısıyla yüzeyler üzerinde erimiş metal tabakası oluşmuştur. Düzensiz erimeden dolayı da mikro-çukurlar ve mikro-yükseklikler meydana gelmiştir. Amper değerinin yüksek olduğu durumlarda, yüzeyde ergime ve buharlaşma fazla olmuş malzeme yüzeyine daha fazla zarar vermiştir. Düşük amperlerde yüzeyde oluşan krater yapıları daha düzgün oluşmuş ve pürüzlülük değerleri daha az çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Abbas, N. M., Solomon, D. G., & Bahari, M. F. (2007). A review on current research trends in electrical discharge machining (EDM). *International Journal of machine tools and Manufacture*, 47(7-8), 1214-1228.
- Alan, O. S. (1993). An introduction to regression analysis. Coase-Sandor Institute for Law and Economics Working Paper, 20, 1-34.
- Alpar, C.R. (2010). *Spor, sağlık ve eğitim bilimlerinden örneklerle uygulamalı istatistik ve geçerlik-güvenirlilik*, Ankara: Detay Yayıncılık, 285-304.
- Amini, S., Atefi, R., & Solhjoei, N. (2011, January). The Influence of EDM parameters in finishing stage on surface quality of hot work steel using artificial neural network. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1315, No. 1, pp. 1228-1233). American Institute of Physics.
- Çakıroğlu, R. (2020). Elektro Erozyon İle İşlemede Yüzey Bütünlüğünün Yorulma Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük.
- Çoğun, C., Kocabaş, B., & Özgedik, A. (2004). Elektro Erozyon ile İşlemede (EEİ) İşparçası Yüzey Pürüzlülük Profilinin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1).
- Chow, H. M., Yang, L. D., Lin, C. T., & Chen, Y. F. (2008). The use of SIC powder in water as dielectric for micro-slit EDM machining. *Journal of materials processing technology*, 195(1-3), 160-170.
- Erden, A. P. D. A., & Temel, D. (1982). Investigation on the use of water as a dielectric liquid in EDM. In Proceedings of the twenty-second international machine tool design and research conference (pp. 437-440). Palgrave, London.
- Goiogana, M., Sarasua, J. A., Ramos, J. M., Echavarri, L., & Cascón, I. (2016). Pulsed ultrasonic assisted electrical discharge machining for finishing operations. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 109, 87-93.
- İnternet: Mühendistan. URL: <https://muhendistan.com/optimizasyon-nedir-muhendislikte-optimizasyon-nasil-olur/> Son Erişim Tarihi: 09.12.2022
- Jeevamalar, J., Ramabalan, S. (2015). Die sinking EDM process parameters: a review. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 4(1), 315-326.
- Jilani, S. T., & Pandey, P. C. (1982). Analysis and modelling of EDM parameters. *Precision Engineering*, 4(4), 215-221.
- Kaufmann, J., & Schering, A. G. (2007). Analysis of variance ANOVA. *Wiley Encyclopedia of Clinical Trials*.

- Kumar, S. S., Varol, T., Canakci, A., Kumaran, S. T., & Uthayakumar, M. (2021). A review on the performance of the materials by surface modification through EDM. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 4(1), 127-144.
- Mascaraque-Ramírez, C., & Franco, P. (2018). Experimental study of tool degradation in EDM processes: electrode material loss at the border and central zones. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95(9), 3497-3511.
- Mesiha, S. A. A. T. (2000). Kalite denetiminde Taguchi yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(3), 97-108.
- Modi, V.A., Govindasamy, R., Krishnasamy, P., Kumar, P., Raju, S. (2022). Investigation of wire EDM machining parameters on Duplex stainless steel using ANOVA and RSM (No. 2022-28-0535). *SAE Technical Paper*.
- Patel, K. M., Pandey, P. M., & Rao, P. V. (2010). Optimisation of process parameters for multi-performance characteristics in EDM of Al₂O₃ ceramic composite. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 47(9), 1137-1147.
- Salcedo, A. T., Arbizu, I. P., Pérez, C. J. L. (2017). Analytical modelling of energy density and optimization of the EDM machining parameters of Inconel 600. *Metals*, 7(5), 166.
- Sari, M. M., Noordin, M. Y., & Brusa, E. (2012, September). Evaluating the electrical discharge machining (EDM) parameters with using carbon nanotubes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 40, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Sari, M.M., Noordin, M.Y., Brusa, E. (2012, September). Evaluating the electrical discharge machining (EDM) parameters with using carbon nanotubes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 40, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Yusuf MALO

Bilimsel Faaliyetler (Yayınlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1-) Malo, Y., Yaka, H. (17-19 November 2022). Evaluating the Parameters for Electrode Wear Rate in Electrical Discharge Machining of DIN 1.2344 Steel. *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'22)*,174, E-ISBN: 978-605-72066-1-9.

