



**FARKLI ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ FORMADUR 2738 MALZEMESİNİN
ELEKTRO EROZYON YÖNTEMİ İLE MİKRO DELİNEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Zafer Selçuk YİRMİBEŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2015

Zafer Selçuk YİRMİBEŞ tarafından hazırlanan “FARKLI ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ FORMADUR 2738 MALZEMESİNİN ELEKTRO EROZYON YÖNTEMİ İLE MİKRO DELİNEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makina Eğitimi Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Prof. Dr. İhsan KORKUT

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Yrd. Doç. Dr. Şener KARABULUT

Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 01/09/2015

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

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi 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.

Zafer Selçuk YİRMİBEŞ

28.09.2015

FARKLI ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ FORMADUR 2738 MALZEMESİNİN ELEKTRO EROZYON YÖNTEMİ İLE MİKRO DELİNEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Zafer Selçuk YİRMİBEŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2015

ÖZET

Bu çalışma Formadur 2738 Malzemesinin EEİ yöntemi ile mikro delinebilirliğinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Formadur 2738 özellikle kalıpcılık ve savunma sanayinde sıklıkla kullanılan bir malzemedir. Çalışma kapsamında Formadur 2738 malzemesi farklı ısı işlemlere tabi tutulmuştur. Bu amaçla Formadur 2738 malzemesine normalizasyon (havada ve suda soğutma) ısı işlemi uygulanmıştır. Daha sonra boşalım akımı, elektrot devir sayısı ve püskürtme basıncı parametrelerinin delme işlemindeki etkisi incelenmiştir. Deneylerde iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma hızı (EAH) çıktı parametresi olarak alınmıştır. Deneyler sonrasında işleme parametreleri ile uygulanan ısı işlemin EEİ delik delme işlemlerinde İİH ve EAH değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyler sonrasında boşalım akımının artması ile EEİ ve EAH değerleri artmıştır. Dielektrik püskürtme basıncının artması ile İİH değerleri artarken EAH değerleri azalmıştır. Elektrot devir sayısının artması ile ise EEİ ve EAH değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada uygulanan ısı işlemin İİH ve EAH değerleri üzerindeki etkileri de incelenmiş ve ısı işlemlerin İİH ve EAH değerleri üzerinde etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028

Anahtar Kelimeler : Elektro erozyon ile işleme, delik delme, elektrot aşınma hızı, mikro delik delme, iş parçası işleme hızı

Sayfa Adedi : 67

Danışman : Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

INVESTIGATION OF DRILLABILITY OF DIFFERENT HEAT TREATED
FORMADUR 2738 ON A ELECTRO DISCHARGE MACHINE

(M. Sc. Thesis)

Zafer Selçuk YİRMİBEŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2015

ABSTRACT

This study was performed to investigate micro drill ability of Formadur 2738. Formadur 2738 is a material used in especially moulding and the defence industry. Formadur was subjected to different heat treatments under study. For normalizing (air and water cooling), heat treatment was applied to Formadur 2738. Afterwards, the effect of discharge current, electrode speed and injection pressure examined during hole making. In experiments workpiece processing speed and electrode wear rate were taken as the output parameter. After the experiments, the effect of heat treatment and processing parameters on WPMS and EWR were examined during EDM drilling operation. In the end of experiments discharge current was seen as the most effective parameter. While discharge current increased, WPMS and EWR were increased. When dielectric pressure increased, also WPMS increased but EWR decreased. When electrode rpm increased both WPMS and EWR had increased. The effect of the heat treatment on WPMS and EWR has been examined and it has been found that the heat treatment has no effect on WPMS and EWR.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Electrical discharge machining, micro drilling, workpiece removal rate, drilling, electrode wear rate

Page Number : 67

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hakan DİLİPAK

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca yardım ve katkıları ile beni yönlendiren danışman hocam Sn. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a, çalışmalarımda hiçbir zaman desteğini esirgemeyen Sn. Dr. Volkan YILMAZ'a ve son olarak beni bu günlere getiren çok sevdiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTARATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi ve Tezin Amacı	14
3. ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME (EEİ) YÖNTEMİ	17
3.1. Tanım	17
3.2. EEİ İle Talaş Kaldırma İşİ	18
3.3. EEİ Yönteminde Temel Parametreler	20
3.3.1. Elektriksel parametreler	21
3.3.2. Kutuplama (Polarite)	23
3.3.3. Vurum jeneratörü karakteristikleri	24
3.3.4. Dielektrik sıvı parametreleri	26
3.3.5. İşparçası malzemesinin özellikleri.....	27
3.3.6. Elektrot malzemesinin özellikleri	28
3.4. EEİ Yönteminde Temel Performans Karakteristikleri.....	28

	Sayfa
4. MATERYAL VE METOT	31
4.1. Formadur 2738 (Deney Malzemesi)	31
4.2. EEİ Tezgahı	31
4.3. Elektrot.....	32
4.4. Dielektrik Sıvı.....	33
4.5. Deney Numuneleri	34
4.5.1. Sinterleme fırını	35
4.6. Güç Kaynağı	36
4.7. İşleme Parametreleri.....	37
4.8. Deneyler Esnasında Yapılan Ölçümler	38
4.9. İş Parçası İşleme Hızı (İİH)	38
4.10. Elektrot Aşınma Hızı (EAH)	39
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	41
5.1. Deneysel Sonuçlar	41
5.2. İş parçası İşleme Hızı (İİH) Sonuçlarının Değerlendirilmesi	43
5.3. Elektrot Aşınma Hızı (EAH) Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
6.1. Sonuçlar	61
6.2. Öneriler	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Farklı malzemelere göre kutuplama dağılımı	23
Çizelge 4.1. Elektro erozyon tezgahının genel özellikleri	32
Çizelge 4.2. Formadur malzemesinin kimyasal yapısı.....	34
Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri	37
Çizelge 4.4. Deney tasarımı	38
Çizelge 5.1. Deneysel sonuçlar	42

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Mikro EDM de çinko kaplı takımının uygulaması	10
Şekil 2.2. Sistemin çalışma prensibi	11
Şekil 2.3. Sistem çalışma karakteristiği	11
Şekil 3.1. EEİ genel yapısı.....	18
Şekil 3.2. EEİ yöntemi aşamaları.....	19
Şekil 3.3. Gerilim kontrollü bir vurum jeneratöründe vurumların gerilim ve akım dalga biçimleri	21
Şekil 3.4. Elektrot kutuplama türleri.....	23
Şekil 3.5. RC jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı.....	24
Şekil 3.6. RC jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi	24
Şekil 3.7. Döner vurum jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı	25
Şekil 3.8. Döner vurum jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi	25
Şekil 3.9. Iso pulse jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı.....	25
Şekil 3.10. Iso pulse jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi	26
Şekil 3.11. Dielektrik sıvının genel özellikleri	26
Şekil 3.12. Dielektrik sıvı uygulama yöntemleri	27
Şekil 4.1. İş parçası malzemesi	34
Şekil 4.2. Formadur malzemenin CCT diyagramı	35
Şekil 5.1. İİH (mg/dak)- I (akım) değişimi (P:25 bar, n:30 dev/dak)	43
Şekil 5.2. İİH (mg/dak)- I (akım) değişimi (P:25 bar, n: 60 dev/dak)	44
Şekil 5.3. İİH (mg/dak)- I (akım) değişimi (P:25 bar, n: 120 dev/dak)	44
Şekil 5.4. İİH (mg/dak)-P (bar) değişimi (I:3 A, n:30 dev/dak)	46
Şekil 5.5. İİH (mg/dak)-P(bar) değişimi (I:3A, n: 60 dev/dak)	46

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. İİH (mg/dak)-P(bar) değişimi (I:3A, n: 120 dev/dak)	47
Şekil 5.7. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:25 bar, I:3 A)	49
Şekil 5.8. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:50 bar, I:3 A)	49
Şekil 5.9. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:100 bar, I:3 A)	50
Şekil 5.10. EAH (mg/dak)- boşalım akımı (A) değişimi (P:25 bar, n:30 dev/dak)	53
Şekil 5.11. EAH (mg/dak)- Boşalım akımı (A) değişimi (P:25 bar, n:60 dev/dak)	53
Şekil 5.12. EAH (mg/dak)- Boşalım akımı (A) değişimi (P:25 bar, n:120 dev/dak)	53
Şekil 5.13. EAH (mg/dak)- Dielektrik basıncı (bar) değişimi (I:3 A, n:30 dev/dak)	55
Şekil 5.14. EAH (mg/dak)- Dielektrik basıncı (bar) değişimi (I:3 A, n:60 dev/dak)	55
Şekil 5.15. EAH (mg/dak)- Dielektrik basıncı (bar) değişimi (I:3 A, n:120 dev/dak) ...	56
Şekil 5.16. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:25 bar, I:3 A)	57
Şekil 5.17. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:50 bar, I:3 A)	57
Şekil 5.18. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:100 bar, I:3 A)	58

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Derin delik uygulamalarında kullanılan kılavuz sisteminin görüntüsü	12
Resim 2.2. Kaplamalı ve kaplamasız takımla yapılan bazı deliklerin görüntüleri	12
Resim 2.3. AISI 1040 deney malzemesi 1-27 no’lu delik resimleri	13
Resim 2.4. Hardfield deney malzemesi 1-27 no’lu delik resimleri	13
Resim 4.1. Deneylerde kullanılan EEİ tezgahı	31
Resim 4.2. Pirinç elektrot görüntüleri	33
Resim 4.3. Elektrotun sabitlenmesi.....	33
Resim 4.4. Sinterleme fırını ve gaz arıtma ünitesi	36
Resim 4.5. Deneylerde kullanılan güç kaynağı	36

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

d	Delik Çapı, mm
h	İşleme Derinliği, mm
I	Boşalım Akımı (I)
n	Takım Dönme Devir Sayısı, dev/dak
P	Elektrik Püskürtme Basıncı, bar

Kısaltmalar

Açıklamalar

BA	Bağlı aşınma
C	Karbon
CR	Krom
DA	Doğrusal Hata
DC	Doğru Akım (Direct Current)
EAH	Elektrot Aşınma Hızı
EDM	Elektro Erozyon İle İşleme (Electrical Discharge Machining)
EEİ	Elektro Erozyon İle İşleme
EWR	Elektrot Aşınma Hızı (Electrode Wear Rate)
İİH	İş Parçası İşleme Hızı
MEEİ	Mikro Erozyon İle İşleme
Mn	Mangan
Mo	Molibden
MRR	İş Parçası İşleme Hızı (Material Removal Rate)
Ni	Nikel
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)

Kısaltmalar**Açıklamalar****SJİ**

Su Jeti İle İşleme

TWR

Elektrot Aşınma Hızı (Tool Wear Rate)

Uİ

Ultrasonik İşleme

WEDM

Tel Erezyon ile İşleme (Wire Electro Discharge Machining)

WC

Tungsten Karbür (Tungsten Carbide)

WPMS

İş Parçası İşleme Hızı (Work piece Machining Speed)

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak malzeme çeşitliliği artmaktadır. Bunlara paralel olarak malzemelerdeki dayanım, ömür vb. özelliklerde gelişmektedir. Bu malzeme özelliklerinin değişimi neticesinde malzemelerde işlenebilirlik zorlaşmakta ve klasik yöntemler ile işleme yetersiz kalmaktadır.

Geleneksel imalat yöntemlerinin uzun yıllar süren gelişim süreçlerine karşın günümüzde hala istenilen hassasiyetleri yakalamak çok zordur. Bu zorlukların yanında uygulama sınırlılıkları ve zayıflıkları vardır. Bu yöntemlerin talaş kaldırma ilkelerine göre uygulamadaki sınırlılıklarını ve zayıflıklarını ortadan kaldırmak mümkün değildir. İşlemede sınırları ve zayıflıkları ortadan kaldırma arayışları, alışılmamış imalat yöntemlerinin ortaya çıkmasına ve geliştirilmesine neden olmuştur. Alışılmamış imalat yöntemleri özellikle 2. Dünya savaşından sonra gelişerek uygulama alanı bulmuştur. İşleme olarak alışılmış imalat yöntemlerinden tamamen farklı özelliklere sahiptir. Bu yöntemler genellikle karmaşık parçaların farklı işleme yöntemleri ile imalatını sağlamakta ve tasarım mühendisliğine kolaylıklar getirmesi sebebi ile talep görmektedir. Alışılmamış imalat yöntemleri, günümüz ekonomisinde çok önemli etkisi olan minyatürleşme, olağanüstü malzemeleri kullanabilme ve esnek üretim imkânları sağlamaktadır. Günümüzde lazer, su jeti, elektrokimyasal işleme, ultrasonik işleme gibi alışılmamış işleme yöntemleri geliştirilmiş ve bunların önemli bir çoğunluğu endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Geleneksel imalat yöntemlerinde, kesici takım ve iş parçasının sürekli temas halinde olması, birçok olumsuzluğun yanında sürtünmeye ve dolayısıyla da takım sarfiyatına sebep olmaktadır. Alışılmamış imalat yöntemlerinde ise iş parçası ve takım arasında fiziksel temas yoktur. Geleneksel imalat yöntemlerinde malzeme kesme değerleri makine limitleri ile sınırlıdır ve malzeme işlemesi zordur, alışılmamış imalat yöntemlerinde ise malzeme için istenilen değerleri sağlamak ve kesim yapmak oldukça kolaydır. Geleneksel imalat yöntemlerinde takımda ya da malzemede sürekli dönme hareketi vardır, dolayısıyla yüzey şekilleri dairesel ya da düzlemsel olarak sınırlıdır. Küçük oyukların, uzun deliklerin ya da kör deliklerin işlenmesi oldukça zordur. Alışılmamış imalat yöntemlerinde bunlar oldukça kolay işlemlerdir. Kompleks yüzeyler alışılmamış imalat yöntemleri ile daha kolay

işlenebilmektedir. Geleneksel yöntemler genellikle basit ve pahallı olmayan makinelerdir ve oldukça fazla takım bulmak mümkündür. Geleneksel olmayan işlemler, pahalı donanımlar, takımlar ve yetenekli kullanıcılar gerektirir. Buda işleme maliyetini artırır [2].

Vizyon 2023 strateji belgesinde üretimde rekabet üstünlüğünün sağlanması hedefi doğrultusunda esnek otomasyon, esnek üretim ve teknoloji geliştirme sürecinde mikro işleme, mikro delik delme ve birçok üretim prosesinde elektro erozyon ile işlemenin (EEİ) oldukça geniş bir kullanım alanı bulacağı ifade edilmiştir.

Alışılmamış imalat yöntemleri arasında en fazla kullanılan yöntemlerden birisi elektro erozyon ile işlemedir (EEİ). EEİ'nin yanında en sık kullanılan, alışılmamış imalat yöntemleri aşağıdaki yöntemlerdir;

Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ), Ultrasonik İşleme (UI), Su Jeti ile İşleme (SJİ), Lazer İle İşleme, Tel Erozyon ile İşleme (WEDM).

Formadur 2738 malzemesi ön sertleştirme yapılmış bir kalıp çeliğidir. Özellikle büyük ve derin plastik kalıplarında tercih edilir. Bunun sebebi, iyi parlatılabilme, iyi kaynak yapılabilme, iyi ısıl işlem görme kabiliyeti, yüksek aşınma direnci ve homojen yapısından dolayı iyi bir işlenebilme yeteneğine sahip olmasıdır. Standardı AISI P20 + Ni'dir.

Bu tez çalışmasında, ısıl işlem uygulanmış Formadur 2738 mikro alaşımlı çelik malzeme üzerinde tel erozyon ile mikro işleme parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Formadur 2738 büyük ölçekli plastik kalıplarının yapımında kullanılan, iyi bir işlenebilirliğe, mükemmel parlatılabilirliğe ve iyi yüzey özelliklerine sahip olan sertleştirilmiş mikro alaşımlı bir çeliktir. İçerisine eklenen %1 oranındaki Ni malzemenin sertliğini önemli oranda arttırmaktadır.

Bu deneysel çalışmada ısıl işlem uygulanmamış, suda soğutulmuş ve havada soğutulmuş üç farklı Formadur 2738 malzeme kullanılmıştır. Boşalım akımı, elektrot devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncı mikro işleme parametreleri olarak belirlenmiştir. Delikler İki farklı boşalım akımı (3, 6 A), üç farklı elektrot devir sayısı (25, 50 ve 100 dev/dak) ve üç farklı dielektrik püskürtme basıncı (30, 60 ve 120 bar) işleme parametreleri altında delinmiştir. Delme işlemleri sonrasında malzemeye uygulanan ısıl işlem ile işleme

parametrelerinin, iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma hızı (EAH) değerleri üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Ayrıca Formadur 2738 malzemesinin EEİ yöntemi ile delinmesinde en uygun işleme parametreleri ortaya çıkarılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Yapılan Çalışmalar

Alışılmamış imalat teknolojisi genel olarak havacılık, otomobil, kesici takım ve kalıp imalat sanayinde işlenmesi zor ve karmaşık parçaların işlenmesinde tercih edilmektedir. Bu alanda kullanılan malzemeler korozyon dayanımı ve mekanik özellikleri geliştirilmiş malzemelerdir. İmalat sektöründekiler üreticilere zaman ve tasarruf sağlayan bu ileri teknoloji malzemeler, geliştirilmiş ürün özellikleri ve birçok yerde karmaşık geometrideki tasarımlarda kullanılma talebine karşın, geleneksel imalat yöntemleri, işleme stratejileri ile bu isteklere cevap verilememektedir. Bu sebepten dolayı, imalatçılar ve araştırmacılar, alışılmamış imal usulleri üzerine yoğunlaşmışlar ve araştırmalar yapmışlardır [3].

Bu yöntemlerin arasında en çok tercih edilen yöntemlerden biride elektro erozyon ile işleme yöntemidir (EEİ). Genellikle işlenmesi zor olan sert malzemelerin ve karmaşık geometrilerin kolaylıkla işlenebilmesi için, en fazla tercih edilen imalat yöntemidir. Elektrik iletkenliği olan tüm malzemeler bu yöntem ile işlenebilir. EEİ yönteminde, elektriksel iletkenliği olan bir iş parçası iletken olmayan dielektrik sıvı içerisine daldırılıp, elektrot ile birbirine değmeyecek şekilde konumlandırılır. Sonrasında elektrik boşalımlarının kontrollü olarak uygulanır, uygulama sırasında iş parçasından küçük metal parçacıkların koparılır. İşleme alanına dökülen ve imalat sürecisi etkileyen bu parçacıklar basınçlı su yarımı ile işleme bölgesinden uzaklaştırılır [4].

EEİ yöntemi ile yapılan çalışmalara bakıldığında, yapılan deneylerin genellikle performans çıktıları üzerine olduğu görülmektedir. İmalat sanayinde hızlı teslim talebi, düşük işçilik maliyeti ve yüksek kalite beklentilerine cevap vermeye yönelik çalışmalarda özellikle iş parçası işleme hızı (İİH), elektrot aşınma hızı (EAH), bağlı aşınma (BA) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra) çıktılarının iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır [5].

EEİ ile yapılan çalışmaların yanında, gelişen teknoloji ve artan beklentileri karşılama adına, dalma ve tel erozyona ek olarak, hızlı delik delme erozyon tezgâhları da geliştirilmektedir. Elektro erozyon tekniği, havacılık, (türbin kanatlarındaki soğutma

delikleri), otomotiv (yakıt püskürtme enjektörleri), tıbbi cihazlar, medikal ürünler, kesici takım soğutma kanalları gibi geleneksel üretim yöntemleri ile işlenmesi güç olan malzemelere mikro boyutlu delik delme işlemlerinde, sıkça tercih edilen bir üretim tekniği olmuştur. Belirli bir hızda döndürülen küçük çaplı boru tipi elektrot içerisinde, püskürtülen basınçlı dielektrik sıvısı ile işleme bölgesindeki işleme artıkları uzaklaştırılmaktadır. Bu yöntem ile delinen delikler, kullanılan elektrot çapından biraz daha büyük olmaktadır. Yöntemin en önemli avantajlarından birisi elektrik iletkenliği olan bütün malzemelere delik delebilmesidir. Bu işleme tekniğinde araştırmacıların üzerinde yoğunlaştığı alan, geleneksel yöntemlerle işlenebilirliği zor ya da imkânsız olan ve üstün özelliklere sahip malzemelerde derin ve küçük çapta delik delme işlemleridir [6].

Çoğun ve arkadaşları EEİ ile işlemede kesme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, deneylerde boşalım akımının artmasıyla, yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. Düşük basınç kullanıldığında ve boşalım akımı belli bir değerin altına çekildiğinde, yüzey pürüzlülüğünün aynı kaldığı ya da az arttığı görülmüştür. Yüksek sıvı basıncı verildiğinde ise yüzey pürüzlülüğünün artış gösterdiği görülmüş ve dolayısı ile düşük sıvı basınçlarında yüzey pürüzlülüğünün vurum süresinden daha az etkilendiği ve dielektrik sıvı basıncının artması ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı belirtilmiştir [7].

Elektrot ön yüzey aşınmasının incelendiği bir çalışmada; silindirik bakır elektrotta oluşan ön yüzey aşınması ile elektrot aşınma hızının, değişik dielektrik uygulama yöntemleri (statik, püskürtme, emme), boşalım akımı ve vurum süreleri altında gösterdiği değişim incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; boşalım akımı arttığında elektrot aşınma hızında da artış gözlemlenmiştir. Elektrotun ön yüzey açısı, akımın artışı ile önce artmış daha sonra yüksek akım değerlerine ulaşıldığında küçülmüştür. Vurum süresinin 50 μ s'ye kadar artışı ile EAH artmış, bu değerden sonra azalmıştır. Vurum süresindeki artış elektrot ön yüzey açısını arttırmıştır. Sonuçta elektrot ön yüzey açısının, dielektrik sıvının işleme aralığına giriş yönü ile ilgili olduğu anlaşılmıştır. Çalışmalarda elektrot aşınmasının yüksek olduğu dielektrik uygulamasında aç değelerinin de büyük olduğunu göstermiştir [8].

Boru tipi takımlar ve dolu (delik olmayan) takımlar kullanılarak yapılan çalışmalar da artmakta ve yapılan araştırmalarda, takıma x-y düzleminde yörüngesel hareket verilmiş ve paslanmaz çelik (316 SS) numuneleri üzerine delikler açılmıştır. Deneylerde devir

verilmeyen takım ile yapılan çalışmalara göre daha düzgün delik geometrilerinin oluştuğu ve delik yüzeylerinde daha iyi pürüzlülük değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Bunun yanında yörüngesel hareketin bir sonucu olarak yanal işleme boşluğunun artmasıyla, yanal püskürtme işleminin, oluşan artıkları işleme alanından daha rahat ve hızlı uzaklaştırdığı görülmüş ve iş parçası işleme hızını (İİH) arttırdığı aynı anda delik konikliğinin azaldığı belirlenmiştir [9].

Çelik bir malzeme (P20) üzerine yapılan bir deneyde 0,17 mm çapında WC (tungsten karbür) elektrotlar kullanılmış ve değişik işleme parametrelerinde sentetik yağ kullanılarak delikler delinmiştir. Her bir delikten önce elektrotun alt tarafı düzeltilmiştir. Deneyler üç defa toplamda 54 delik olacak şekilde tekrar edilmiştir. Optimum parametreler kullanılarak başarılı bir şekilde kaba ve finiş mikro EDM uygulanmıştır. Araştırmada ters kutuplamanın (takım “+”, iş parçası “-”) İİH’yi artırdığı ve delik yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Fakat elektrot aşınmasının biraz daha arttığı ve döner takımlı işlemlerde daha derin ve hızlı işlemlerin yapılabildiği tespit edilmiştir [10].

EEİ tekniği ile yüksek alaşımlı nikel mikro deliklerin yapısını incelemek için yapılan bir çalışmada; malzeme üzerine mikro delikler delinmiştir. Bu çalışmada içerisinde %79 Ni ve %4 Mo olan, yüksek manyetik geçirgenliğe, yüksek mekanik özelliklere ve ısı dayanımına sahip malzeme kullanılmıştır. Bu malzemenin geleneksel işleme metotları ile işlenmesi durumunda, işlemesi zor ve çok fazla takım aşınması olduğu belirtilmiştir. Çalışmada mikro delik tamamlama iki aşamalı olarak yürütülmüş ve çubuk tungsten karbür elektrot kullanılmıştır. Birinci aşamada küçük çaplı elektrot kullanılarak delik açılmıştır. İkinci operasyonda ise WEDG (wire electro-discharge grinding (tel elektro erozyon ile taşlama)) işleme stratejisi ile aynı silindir takım kullanılarak helisel işleme yöntemi ile delik açılmıştır. Mikro deliklerin yüzey pürüzlülüğü değerlerini iyileştirmek için ikinci aşamada silisyum karbür parçacıklı taşlama işlemi ile helisel kanallar kullanılmış ve bu sayede yüzey pürüzlülüğü 0,85 µm ye kadar düşürülmüştür. Deneylerin sonucunda erozyon taşlama yöntemi ile işlemin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği gözlemlenmiştir [11].

Yüzey kalitesi araştırması için yapılan bir çalışmada tungsten karbür (WC) malzeme üzerine, elektrot ile mikro delikler delinmiştir. WC yüksek korozyon direncine bağlı olarak, aşırı derecede sert ve işlemesi çok zor bir malzemedir. Yüksek enerjiye maruz kalan deliklerin girişlerinde aşınmalar oluşmuştur. Düşük enerjinin kullanıldığı deliklerde

daha iyi yüzeyler elde edilmiştir. Bunun yanında düşük enerjinin kullanımı mikro deliklerde işleme süreleri uzatmıştır. Çalışmada transistor tipi EDM de 60 V altında kullanılan enerji değerlerinde çalışmada tutarsızlıklar gözlemlenmiştir. Bu sebeple transistor tipi EDM de enerji çok fazla düşürülemez. Diğer taraftan RC tipi kullanılan EDM'lerde daha kaliteli yüzeye sahip delikler elde edilmiştir. Çalışmada RC tipi jeneratöre sahip olan EDM de transistor tipe oranla daha az boşalım enerjisi kullanılmıştır. Transistor tipinde yüksek enerji kullanıldığı için daha fazla krater ortaya çıkmıştır ve bu oluşan parçacıkları uzaklaştırması daha zor olmuştur. Ölçüler RC tipinde daha iyi sonuç vermiş, daha hassas delikler elde edilmiştir. Mikro EEİ ile aşırı sert malzemelerin kolay bir şekilde işlenebileceğinin belirtildiği bu çalışmada; RC ve transistor tipi karşılaştırıldığında RC tipi daha kaliteli yüzeye sahip boşluksuz katmansız yüzey çıkarmaktadır. WC işlemek için daha uygun bir sistemdir ve RC tipi kontrol etmesi daha kolaydır. Transistor tipi daha çok dikkat ve çalışma gerektirmektedir. RC tipinde daha düşük kapasite ile boşalım enerjisi düşürülebilir ve zamandan ziyade yüzey kalitesinin istendiği yerlerde tercih edilebilir [12].

Özel jeneratörler, ekstra titreşim sağlayıcılar ve özel görüntüleme cihazlarının kullanıldığı en boy oranı üzerine yapılan bir çalışmada 5 farklı çalışma şartı belirlenip bakır elektrot ile delikler delinmiştir. Çalışmada iş parçasının, daha iyi sonuçlar elde etmek için sıvının içerisine batmasını engelleyecek özel çeneler kullanılmıştır. İş parçası olarak 60-62 HRC ye sertleştirilmiş takım çeliği OCR12 kullanılmıştır. Her 320 vuruş bilgisayara transfer edilmiştir. Bilgisayara bağlanmış yüksek frekanslı dijital osiloskop vasıtası ile vuruş seviyeleri belirlenmiştir. Deney sonuçları EEİ işleminde voltaj, akım ve vuruş sürelerinin oldukça önemli olduğu göstermiştir. Klasik yöntemler ile belirli oranlara kadar delikler açılabilmektedir, özel aparatlar ile daha kaliteli sonuçlara ulaşılabilmektedir [13].

Yerçekimin etkilerini azaltmak ve artıkların daha rahat uzaklaştırılması için yatay olarak 2,5 mm paslanmaz levha üzerine açılan bir delik delme çalışmasında, mikro EEİ yöntemi ile mikro deliklerin açılması esnasında yüksek en boy oranını sağlamanın oldukça zor olduğu belirtilmiştir. Neden olarak ise; dar deşarj alanlarında iş parçası malzemesinden kopan kırıntıların işleme bölgesinden uzaklaştırılmasının zor olması ve bu durumun düşük işleme hızı ile aşırı elektrot aşınmasına sebep olması olarak belirtilmiştir. Mikro EEİ de elektrot ölçüsü çok küçük olduğundan, iş parçası üzerinden talaş koparma işleminin de oldukça güç olduğu belirtilmiştir. Çalışmada dönme hareketi kullanılarak etkili bir püskürtme ile yeni

bir yaklaşıml geliştirilmiş ve 1/18 en boy oranlı mikro delikler delinmiştir. Bu yaklaşıml ile aynı zamanda, keskin kenar ve köşelerle dairesel olmayan kör mikro deliklerin elde edilebileceğı belirtilmiştir [14].

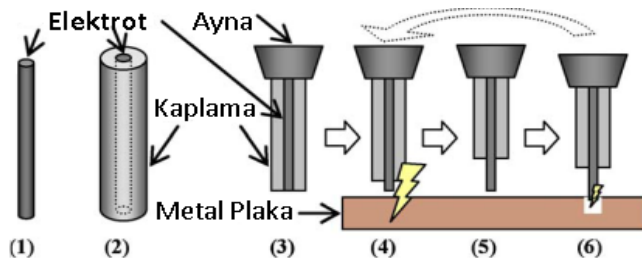
Mikro EEİ için kaplamalı ve kaplamsız, karşılaştırması için yapılan bir çalışmada; elektrotlar ile mikro delikler delinmiş ve daha sonra bu elektrotlar üzerine aynı elektrik iletkenliğine sahip Cu-ZrB₂ malzemesi ile kaplama yapılmıştır. Kaplamalı elektrotlar ile metal iş parçaları üzerine çok kısa sürelerde mikro delikler delinmiş ve kaplama olmayan bakır elektrotlar ile elde edilen mikro deliklerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kompozit kaplı elektrot iyi korozyon direnci göstermiş ve daha güvenli şekilde, daha iyi yüzey kalitesine sahip delikler delinmesini sağlamıştır [15].

Enterpolasyon ile işlenme üzerine bir çalışmada; elektrot dönme hareketi yaparak ve aynı anda dairesel dönerek iş parçası malzemesine dalmasının sonucunda oluşturulan mikro deliklerinin verimli bir şekilde oluşturulduğu belirlenmiştir. Bu yöntemde malzeme kaldırma oranları yükselmiş, fazladan gereksiz kesmeler azalmıştır. Bu işleme yöntemi, enterpolasyon hareket avantajı sayesinde, elektrot çapından farklı çapta delik delinmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Enterpolasyon hareketleri elektrotun %25 i kadardır. Bu işleme yöntemi sayede iyi yüzey kaliteleri elde edilmiştir [16].

Atkinson ve ekip arkadaşlarının, yakıt akıtma memesinin imalatı için yaptıkları bir çalışmada, mikro-EEİ yöntemi ile delik delme ve sıralı lazer üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada çevreye salınan emisyonu azaltmak ve tüketim verimliliğini artırmak için yakıt enjeksiyon nozulu imalatında 145µm'den daha küçük çaptaki yüksek kaliteli deliklerin elde edilmesinin gerekli olduğu belirtilmiştir. Günümüz teknolojisinde gerekli olan bu delik çaplarının verimli ve istenilen kalitede üretilmesi olanağı yoktur ya da çok yüksek maliyet ve uzun zamanlarda gerçekleşmektedir. Bu çalışma yeni nesil yakıt enjeksiyon memesinin imalatı için mikro EEİ delik delme teknolojisi ile ardışık lazer uygulamalarını birleştirmiştir. Lazer ile delinmiş pilot delik EEİ ile delinerek dış kenar oluşturulmuştur. Bu işleme stratejisi delik işleme zamanında %70 azalma ve EDM tezgahı tarafından daha az talaş kaldırılmasını sağlamıştır. Bu sayede normal, pilot deliksiz işleme yöntemine göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Ön deliksiz yapılan deliklerle yüzey kalitesi farkı olmadığı anlaşılmıştır. Ön delik ile yapılan çalışmalarda daha az elektrot harcanmış ve daha hızlı delikler oluşturulmuştur.

Çalışmalarda $\pm 20\mu\text{m}$ hassasiyetinde nozzle deliklerini kontrol etmek için özel bir sistem tasarlanmıştır. Bu tekniğin işleme zamanında %70 azalma, maliyetlerde %42 azalma, üretim kapasitesinde standart EDM ile işlemeye oranla %90 artış sağlayacağı gösterilmiştir. Bu sistemde ölçüler daha da küçültülebilir [17].

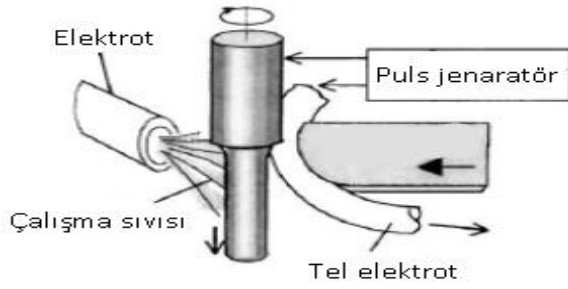
Tanabe ve arkadaşları, Mikro EDM işlemlerinde kullanmak üzere elektrotu çinko ile kaplayarak, Şekil 2.1’de üretim süreci görülen bir ara ürün geliştirilmiştir. 100 μm çapında tungsten bir elektrot elektroliz yöntemi ile çinko ile kaplanmıştır. Çinko tabaka elektrotun kolayca bağlanmasını ve kullanılmasını sağlamıştır [18]. Çalışma sırasında kısa vuruşlu elektro deşarj gerçekleştiğinde takım çekirdeğinde bulunan tungsten etrafındaki çinko kaplamayı uzaklaştırarak elektrotun ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Çekirdekte bulunan tungsten elektrot mikro delik delme işleminde kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Mikro EDM de çinko kaplı takımının uygulaması. (1) Elektrot malzemesi (çekirdek), (2) çekirdeğin etrafındaki çinko kaplama (3) soyulabilen takımın ayarlanması, (4) yüksek akımlı deşarj ile kaplamanın soyulması, (5) çekirdek elektrotu da içeren mikro takım, (6) EDM ile işleme

Çinko kaplı takımla yapılan işlemlerde ultrasonik titreşimlerden daha yumuşak, düzgün ve merkeze daha yakın yüzeyler elde edilmiştir. Çinko kaplamalı takım yüksek akımda daha kolay soyulmuştur. Uygun şartlarda ikinci deşarj işlemi yapılabilmektedir. Soyulabilen takımla yapılan çalışmalar başarılı bir şekilde tamamlanmıştır [18].

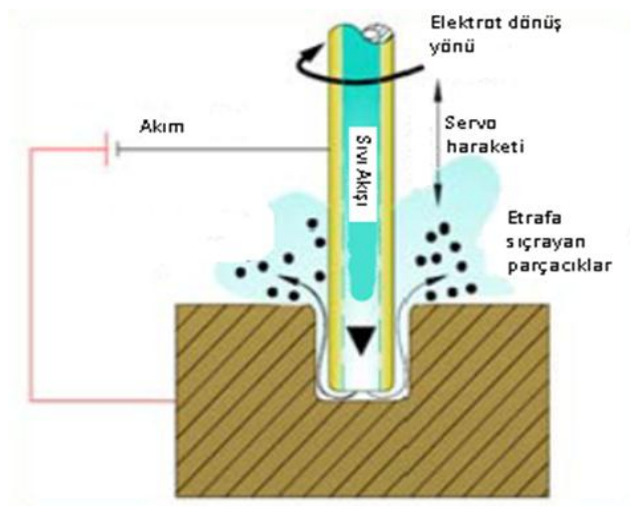
Titanyum alaşımı üzerinde ultrasonik ve elektro erozyon işleme yöntemi ile 5 mikron çapında e küçük delik delinmesi ile ilgili bir araştırmada ise; diğer materyallerle karşılaştırıldığında titanyum alaşımlarının en iyi ve en sağlam alaşımlar olduğu, fakat işlenmesinin de bir o kadar zor olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada 5 mikron çapında bir elektrotla çalışma yapılmıştır. Elektrotun çalışma prensibi Şekil 2.2’de gösterilmiştir [19].



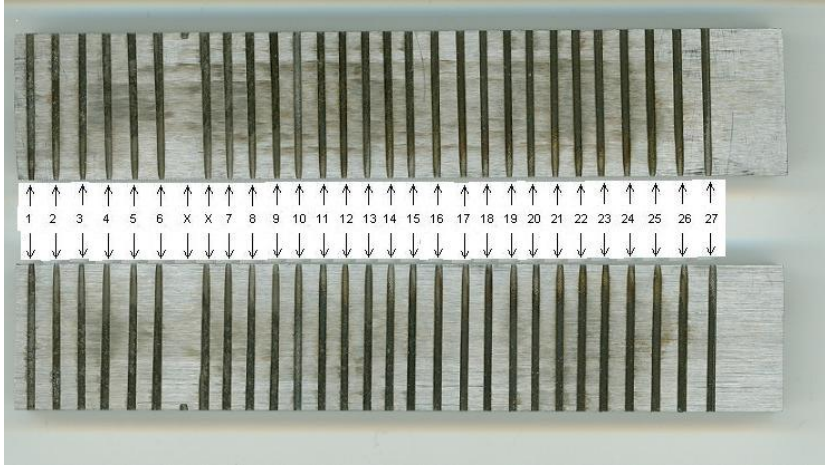
Şekil 2.2. Sistemin çalışma prensibi [19].

Çalışmalar titanyum alaşımının işlenebilirliğinin çelik kadar iyi olduğunu göstermiştir. Fakat tekrarlanan operasyonlarda elektrot aşınmasının fazla olduğu ve makine verimliliğinin düştüğü tespit edilmiştir [19].

Paslanmaz çelik, AISI 431 üzerinde EEİ ile delik delme çalışmasında; EEİ'nin işlemesi zor olan paslanmaz çeliklerin delinmesinde iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu incelemede ele alınan konular, konik delik ve yüzey bozuklukları olarak belirtilmiş ve bu bozuklukların giderilmesi için işleme parametreleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Deneylerde 1 mm dış ve 0,3 mm iç çapı olan elektrotlar kullanılıp, 35 mm derinliğinde delikler delinmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda dielektrik püskürtme basıncının artışına paralel olarak işleme hızını arttırdığı tespit edilmiştir. Sistemin çalışma prensibi Şekil 2.3'de gösterilmiştir [20].



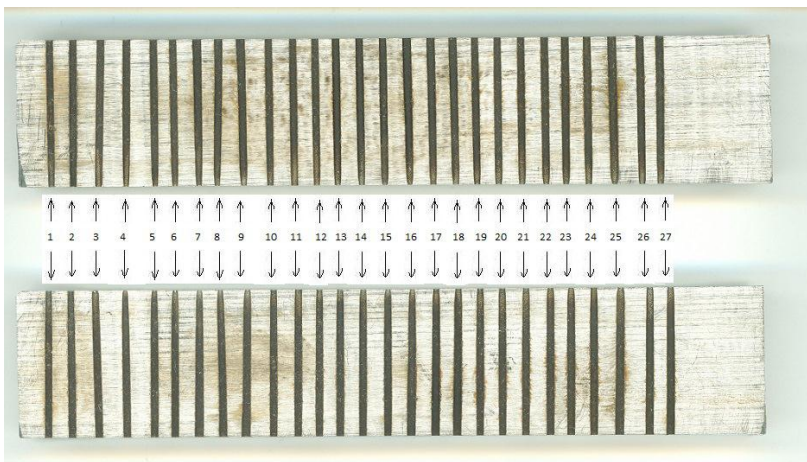
Şekil 2.3. Sistem çalışma karakteristiği



Resim 2.3. AISI 1040 deney malzemesi 1-27 numaralı delik resimleri [22].

Bu deneyler esnasında karşılaşılan çeşitli sorunlardan şu şekilde bahsedilmiştir:

1-3 no'lu deliklerin delinmesinde herhangi bir soruna rastlanmamıştır. Deneyler esnasında devir sayısının artması ile deliklerin İİH değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum diğer delikler içinde geçerlidir. Fakat 7 numaralı deliğin delinmesinde problem yaşanmıştır. Bu esnada kullanılan conta markası değiştirilmiş ve daha dayanıklı bir conta ile bu problem çözülmüştür. 120 bar basınç altında yapılan örnek uygulamalar sonrasında deney malzemesi tekrar takılmış ve 7 numaralı delik delinmiştir. Ayrıca yine delik delme işlemleri esnasında her bir delik delme işlemine başlarken iş parçası malzemesi çiftlerinin kurutulup temizlenmesi işlemlerinden sonra deney malzemelerinin dış kısımlarının iletkenlik özelliklerini kaybetmemeleri için aseton ile temizlenmiştir. İlk deney malzemesi çifti üzerinde yer alan 8-27 numaralı deliklerde herhangi bir sorunla karşılaşmadan delinmiştir. Hadfield çeliği deney sonuçlarında elde edilen delik görüntüleri ise Resim 2.4'de sunulmuştur [22].



Resim 2.4. Hardfield deney malzemesi 1-27 numaralı delik resimleri [22].

Hardfield çeliği deformasyon sertleşmesine uğradığından dolayı klasik talaş kaldırma işlemleri ile şekillendirilmesi son derece zor bir malzemedir. AISI 1040 malzemesi Hardfield çeliğine göre daha kolay işlenebilen bir malzeme olmaktadır ve elde edilen deney sonuçları da bu durumu doğrulamaktadır. Hardfield çeliği 1 ve 2 numaralı iş parçası çifti üzerine delinen 1-27 numaralı deliklerin delinmesi esnasında bir sorun yaşanmamıştır. Fakat delikler AISI 1040 deney malzemelerine nazaran daha zor delinmiştir. AISI 1040 deney malzemesi ile aynı işleme parametreleri altında gerçekleştirilen deneylerde elektriksel direnci daha yüksek olan Hardfield çeliğinin delik delme süreleri de daha fazla olmuştur. Hardfield çeliği için yapılan her bir delik çalışmasından önce de iletkenlik kaybı olmaması ve yüksek EEİ performansı için aseton yardımı ile deney malzemesi yüzeyleri temizlenmiştir. Bu konu için yapılan ön deneyler esnasında temizlik yapılmayan iş parçalarında EEİ performansı düşmüş ya da EEİ iletkenlik sağlamadığı için hiç başlamamıştır. Resimlerden de anlaşılacağı üzere işlemler bittikten hemen sonra iş parçası malzemelerinin tümü WD 40 pas çözücü yağ ile yağlanmış fakat yine de belli bir miktarda paslanmanın önüne geçilememiştir. Bu durum Hardfield çeliği malzemelerde AISI 1040 çeliği malzemelere göre çok daha fazla görülmüştür [22].

Yapılan bu çalışma değerlendirildiğinde, EEİ ile özellikle 1 mm çapının altındaki deliklerin elde edilebileceği görülmektedir.

2.2. Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi ve Tezin Amacı

Literatür incelendiğinde, çalışmaların özellikle EEİ temel performans çıktıları olan iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma hızı, yüzey pürüzlülüğü, elektrot kaplamaları ve işleme parametreleri üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bu araştırmalarda işlenebilirliği zor olan malzemelerin, daha hızlı ve verimli işleme açısından, verilerin geliştirilip sistemlerin yenilenmesi ve otomasyon sistemine entegre edilmesi dikkat çekmektedir.

Literatürler incelendiğinde temel EEİ sistemi baz alınarak daha karmaşık parçaların üretilmesi için de yapılan çalışmaların hızla arttığı görülmektedir. Kısa sürede çözüm ve hızlı üretim hedefi doğrultusunda, otomatik yükleme boşaltma sistemleri üzerine araştırmalar mevcuttur. Eski ve yeni çalışmalardaki en temel sorunun işleme alanında oluşan talaş parçalarının uzaklaştırılması olduğu görülmüş ve bu sorunun aşılması için, farklı dielektrik uygulamaları geliştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmalar sırasında harcanan süre ve oluşan maliyetler üzerine de durulmuştur.

Özetle yıllardır üzerinde çalışılan EEİ yöntemleri halen istenilen düzeylere ulaşamamıştır. Fakat son yıllardaki işlemesi zor olan parçalar üzerine yapılan çalışmalar artmış ve artmaya devam etmektedir.

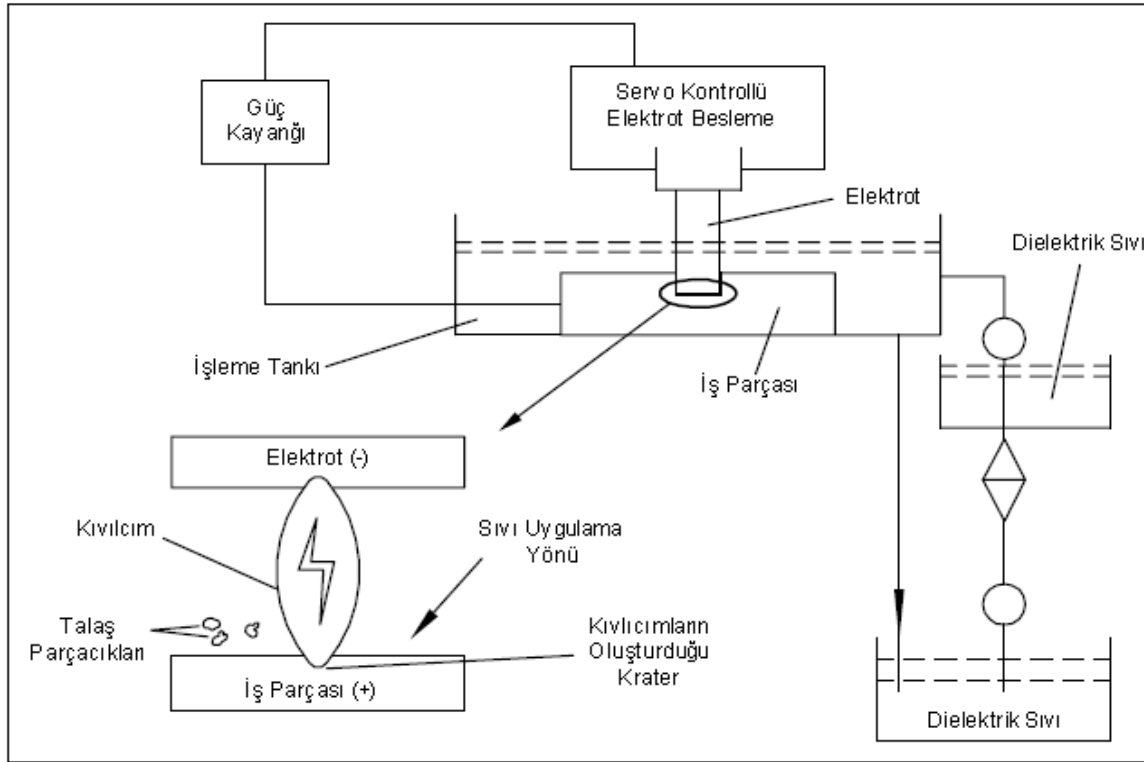
Bu çalışmanın amacı, plastik kalıp imalatında kullanılan 280 – 325 HB sertliğe sahip Formadur 2738 kalıp çeliğinin tel erozyon tezgâhında işlenebilirliğini araştırmaktır. Deneysel çalışmalarda farklı işleme parametreleri kullanarak, ısıl işlem görmemiş, havada ve suda ısıl işlem uygulanmış üç farklı Formadur 2738 kalıp çeliği üzerine 0,5 mm çapında elektrotlar ile 20 mm boyunda delikler delinmiştir. İşleme parametreleri ile iş parçasına uygulanan ısıl işlemin İİH ve EAH değerleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3. ELEKTRO EREZYON İLE İŞLEME (EEİ) YÖNTEMİ

3.1. Tanım

Elektro-Erozyon İle İşleme (EEİ) yönteminde, elektrik iletme özelliği olmayan sıvı içerisinde, takım (elektrot) ile malzeme arasında oluşan elektriksel boşalım iş parçası yüzeyinden aşındırma ile çok küçük hacimlerde parçacık kaldırması ya da koparması esasına dayanır. EEİ yöntemi genellikle, çok sert, kırılğan, yüksek mukavemetli, yüksek ısıya dayanıklı malzemeler işlenirken tercih edilmektedir. Geleneksel üretim yöntemleri ile işlenmesi zor olan malzemelerin bu yöntemle işlenmesi zamanı ve maliyeti düşürme açısından kazanç sağlamaktadır. Günümüzde EEİ yöntemi kullanılarak üretilen baskı kalıpları, enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon kalıpları, cıvata başı dövme kalıpları, toz sıkıştırma kalıpları örnekleri sıklıkla görülmektedir. Bunların yanı sıra 30-50 μ (mikron) çapındaki döner elektrotla deliklerin işlenmesi, dielektrik sıvı içerisine karıştırılmış metal tozları ile yüzey bitirme işlemi ve çevresel işleme gibi EEİ yönteminin kullanım alanını genişletmek için yapılmış çalışmalar mevcuttur.

EEİ’de talaş kaldırma, iş parçası malzemesinden belirli bir alanın ergimesi ve buharlaşması ile gerçekleşmektedir. İşleme esnasında malzemedan talaş kaldırılırken aynı zamanda elektrotun da kısmen aşındığı gözlenmektedir. Dielektrik sıvı uygulama şeklinin ve basınç hızının yeterli olmaması halinde işleme aralığında, kopan parçacık ve atıkların meydana getirdiği aşırı bölgesel kirlenme, iş parçası ile elektrot arasında kısa devre ve ark tipi vuruşların artmasına sebep olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucunda iş parçası işleme hızında (İİH) düşüş, elektrot aşınma hızında (EAH), bağlı aşınmada (BA) ve iş parçası yüzey pürüzlülüğünde (Ra) artış meydana gelmiş ve tolerans dışı boyutlar elde edilmiştir. Dielektrik sıvı uygulamasının başarısı, dielektrik sıvı uygulama şekline, hızına ve iki boşalım arasındaki bekleme süresine bağlıdır. Süre ne kadar kısa seçilirse kısa devre oluşumu da aynı oranda artmaktadır. Son yıllarda işlenmesi çok zor malzemelerdeki mikro deliklerin işlenmesi ve minyatür parça üretimi ile ilgili endüstrideki yoğun talep mikro üretim tekniklerine karşı olan ilgiyi arttırmıştır. Bunun neticesinde Mikro Ultrasonik İşleme (MUSM), Mikro Mekanik Delme (MMD), Lazer ile İşleme (LBM), Mikro Presle Delme (MP) ve Mikro EEİ (MEEİ) gibi değişik teknikler geliştirilmiştir [23]. Şekil 3.1’de EEİ yönteminin genel yapısı sunulmuştur.

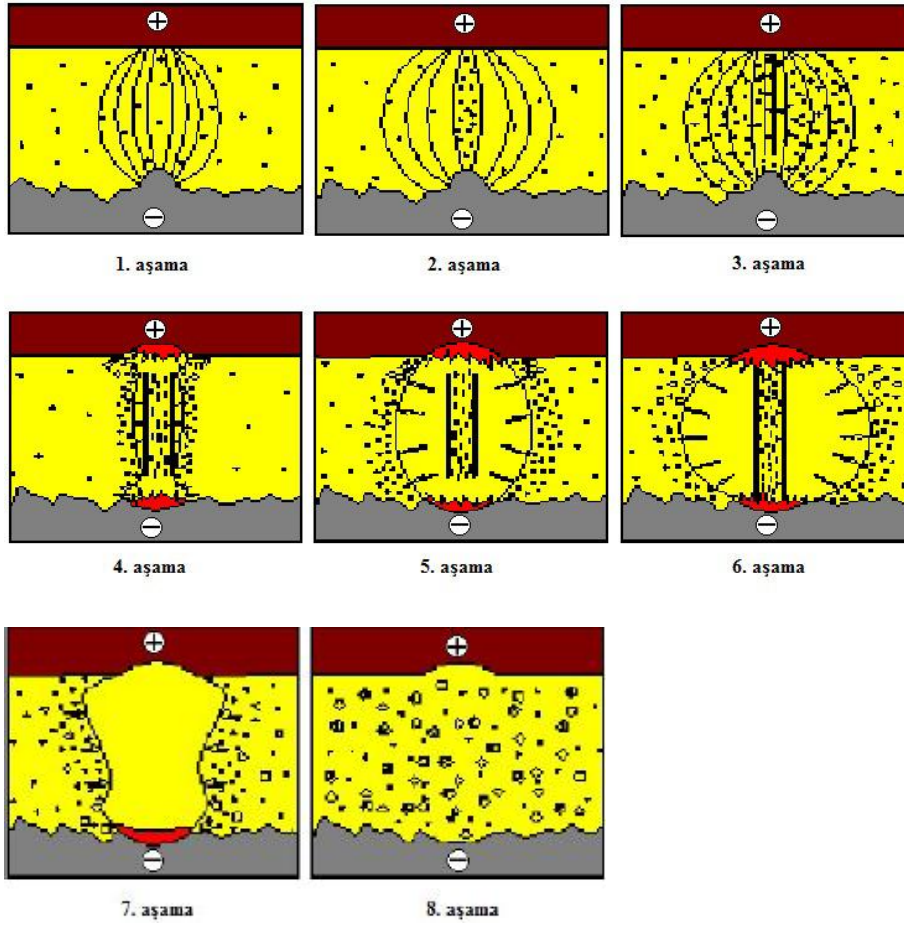


Şekil 3.1. EEİ genel yapısı [22].

EEİ sistemi, dielektrik sıvı, takım (elektrot) ve malzemenin (iş parçası) içinde bulunduğu işleme tankı, güç kaynağı, sıvı dolaşım sistemi ve servo (sürücü) mekanizmalarından oluşmaktadır. Servo ilerleme mekanizması ile birbirleri arasındaki mesafe her zaman sabit tutulan elektrot ile iş parçası arasında vurum jeneratörü tarafından üretilen kıvılcımlar iş parçasında minik kraterler oluşturmaktadır (Şekil 3.1). Elektrot ve iş parçasının ergimesi ve buharlaşması sonucu oluşan işleme artıkları ve parçacıklar dielektrik sıvı basıncı sayesinde işleme ortamından uzaklaştırılmakta ve bu döngü iş parçası istenilen ölçülere gelene kadar devam etmektedir [4].

3.2. EEİ Yöntemi İle Talaş Kaldırma İşlemi

EEİ yöntemi ile talaş kaldırma işlemi, ısıl-elektrik teori, ısıl-mekanik teori ve elektro-mekanik teori gibi farklı şekillerde anlatılmaktadır. Bu bölümde EEİ yöntemi ısıl-elektrik teori yardımı ile 8 aşamada (Şekil 3.2) ayrıntılı olarak açıklanmıştır [22].



Şekil 3.2. EEİ yöntemi aşamaları [22].

Jeneratörün kutuplarına bağlanan malzeme ile elektrot, birbirleri arasında 10-40 μm mesafe kalacak şekilde, işleme tankına yerleştirilmektedir. İşleme süresince, malzeme ile elektrot arasında elektriksel direnç sağlayabilmek için dielektrik sıvı kullanılmaktadır. İstenilen yeterli gerilim meydana gelmeden elektrot ile iş parçası arasında akımın akmaması için dielektrik sıvısının (gazyağı, saf su, vb.) iyi derece yalıtkan olması gerekmektedir. Jeneratörden vurum ile elektrot ve iş parçası arasına akım uygulandığı zaman, malzemeler arasındaki en yakın mesafede elektriksel alan güçlenir. Elektriksel alan ile sıvı içerisinde yüzen mikron derecesindeki parçacıklar elektriksel alanın güçlendiği aralığa doğru, çekimin etkisi ile toplanmaya başlar. Bu anda gerilim hızla artarken akım değeri sıfır olur (Şekil 3.2 (1. aşama)). Elektriksel alanın merkezindeki dar bir kanaldaki yoğunlaşan tanecikler sayesinde, dielektrik sıvının yalıtkanlık özelliği azalmaya başlamaktadır ve bu alanda gerilim en yüksek değerine ulaşırken akım hala sıfırdır (Şekil 3.2 (2. aşama)). Dielektrik sıvının yalıtkanlığı minimum değere ulaştığında elektrot ile iş parçası arasından akım geçmeye başlar. Bu aşamada gerilim düşmesine paralel olarak akım artar (Şekil 3.2 (3. aşama)). Akımın artışıyla birlikte bu alanda sıcaklık değeri de hızla

artmaktadır. Yüksek sıcaklık dielektrik sıvının, iş parçasının ve elektrotun çok küçük bir bölümünü buharlaştırır. Böylece elektrot ile iş parçası arasında bir elektriksel boşalım kanalı oluşmaktadır (Şekil 3.2 (4. aşama)). Meydana gelen buhar kabarcıkları boşalım kanalından dışarı doğru genişlemeye çalışır. Bu genişleme elektriksel alanın etkisiyle kıvılcım boşalım kanalı etrafındaki yüklü taneciklerin kanala doğru çekilmesi ve bu taneciklerin kanal etrafında yoğunluklarının fazla olması nedeni ile sınırlandırılmaktadır. Akım değerinde artış, gerilim değerinde düşüş devam etmektedir (Şekil 3.2 (5. aşama)). Arkin uygulanma süresinin sonuna kadar akım ve gerilim değeri değişmez. Buhar kabarcıklarının içindeki basınç ve sıcaklık en yüksek değere ulaşırken ortamdan bir miktar talaş uzaklaştırılmaktadır. Boşalım kanalı ile doğrudan temasta olan iş parçası yüzeyi ergimiş haldedir. Ancak buradaki buhar kabarcıklarının basıncı bu yüzeyin hareket etmesini engellemektedir (Şekil 3.2 (6. aşama)). Vurum süresi bitiminde, ara (bekleme) süresinin başlangıcında akım ve gerilim değerleri sıfıra geri gelir. Aynı zamanda sıcaklığın hızla azalması başlaması ve buhar kabarcıklarının dağılması ile iş parçasından kopartılan ergimiş parçacıklar kanaldan dışa doğru uzaklaşmaya başlamaktadır (Şekil 3.2 (7. Aşama)). Temiz ve basınçlı dielektrik sıvının, işlemin gerçekleştiği bölgeye ulaşmasıyla iş parçası yüzeyindeki işleme artıkları (talaşlar) uzaklaşır. Ortamdan uzaklaştırılamayan ergimiş metal soğuyarak ergimiş-katılaşmış tabakayı oluşturur. İşparçası ve elektrottan koparılan parçacıklar soğuyarak küçük tanecikler halinde dielektrik sıvı içerisine dağılırlar. Kalan buhar kabarcıkları dielektrik sıvı yüzeyine çıkarlar (Şekil 3.2 (8. aşama)). Artık iş parçası ile elektrot arasındaki birbirine en yakın olan iki nokta aşınmıştır. Aynı işlemler yeni en yakın iki nokta arasında tekrarlanır. Anlatılan aşamalar, ayarlanan vurum süresi ve bekleme süresine bağlı olarak saniyede 5,000 – 250,000 defa tekrarlanan boşalım (kıvılcım) döngüsünden sadece biridir. Tekrarlanan bu döngü sayesinde iş parçası istenilen şekil ve ölçülere getirilinceye kadar EEİ işlemi devam etmektedir [22].

3.3. EEİ Yönteminde Temel Parametreler

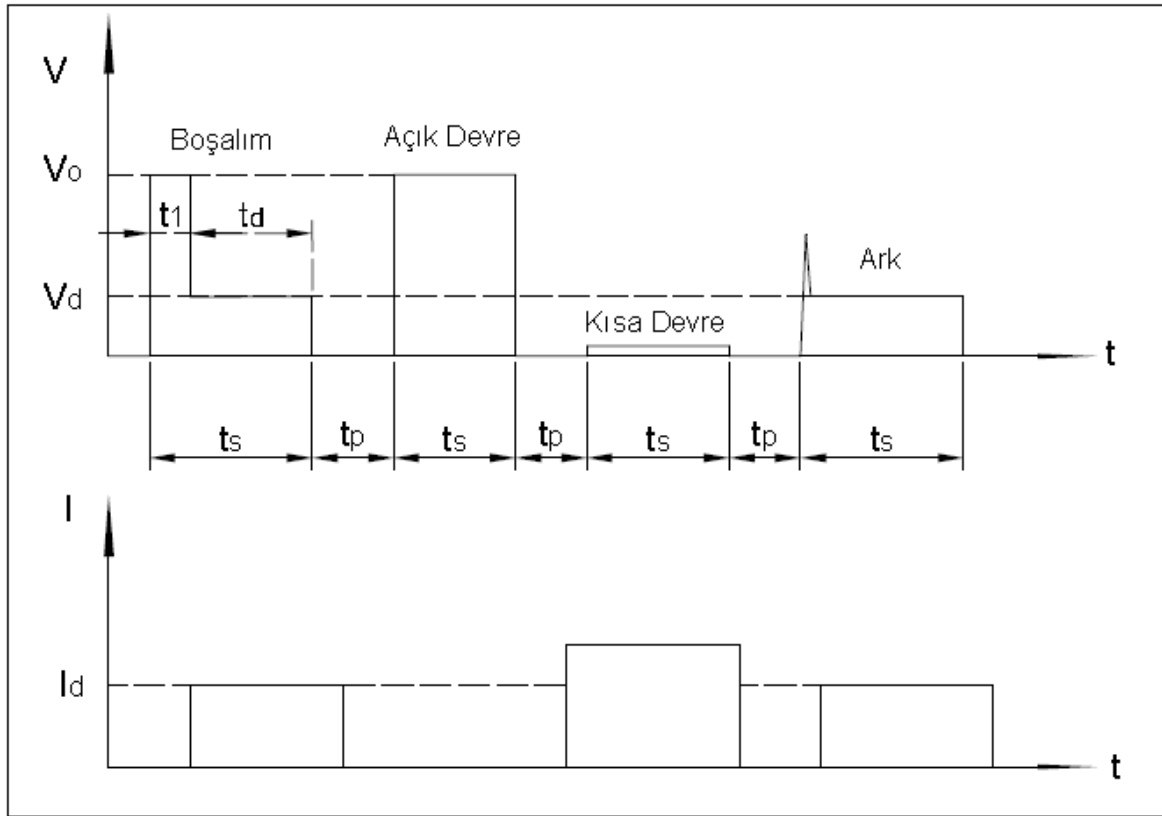
EEİ sürecinin bir çok parametreden oluşan bir işleme yöntemi olduğu düşünüldüğünde, işleme parametreleri ile işleme performansı arasındaki ilişkilerin iyi bilinmesi gerekir. EEİ ile işleminin temel parametreleri aşağıda sunulmuştur [24].

1. Elektriksel parametreler,
2. Vurum jeneratörü karakteristikleri,

3. Dielektrik sıvı parametreleri,
4. İşparçası malzemesi fiziksel özellikleri,
5. Elektrot malzemesi fiziksel özellikleri,
6. İşparçası ve elektrotun boyutsal ve geometrik özellikleri.

3.3.1. Elektriksel parametreler

İşleme aralığındaki boşalım işleminin gerilim ve akım değişimleri $V(t)$ ve $I(t)$ ile gösterilmektedir. Gerilim kontrollü bir vurum jeneratörü için gerilim ve akım değişimleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Gerilim kontrollü bir vurum jeneratöründe vurumların gerilim ve akım dalga biçimleri [15].

Şekil 3.3’de gösterilen EEİ’de yer alan elektriksel parametreler aşağıda verilmiştir.

Boşalım enerjisi (E_d): Gerilim kontrollü bir vurum jeneratörünü olan elektro erozyon tezgahında vurum enerjisi (E_d) aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$Ed = Vd \times Id \times td$$

Vd = Boşalım gerilimi

Id = Boşalım akımı

td = Boşalım süresi [22].

Formülde, Vd ve Id iş parçası ve elektrot çiftleri ve dielektrik ortam için sabit, td ise boşalım ortamındaki işleme anındaki karakteristiklerine bağımlı bir süre değişkenidir.

Boşalım akımı (Id): Kıvılcım meydana geldiği sırasındaki akım değeridir.

Ortalama işleme akımı (I): Ortalama işleme akımı, bir elektro erozyon döngüsünde kıvılcım oluşması esnasında görülen akım değerlerinin ortalamasıdır.

Vurum süresi (ts): Elektrot ile iş parçası arasında, gerilimin ilk uygulanma anı ile kıvılcım boşalımının bitiş anı arasındaki toplam süredir.

Bekleme (ara) süresi (tp): Birbiri ardına oluşan iki kıvılcım boşalması arasında geçen süredir.

Gecikme süresi (tl): Kıvılcım boşalması öncesinde dielektrik sıvının iyonize olması için geçen süredir.

Boşalım süresi (td): İşleme aralığı boyunca akımın boşaldığı süredir.

Vurum çevrim süresi (tc): Vurum süresinin (ts) ve bekleme süresinin (tp) toplamıdır.

Formülü aşağıdaki gibidir.

$$tc = ts + tp \text{ [22].}$$

Açık devre gerilimi (V_o), vurum jeneratörü tarafından uygulanan ve genellikle 60- 120 V arasında tutulan, boşalımının olmadığı anda işleme aralığında görülen gerilim değeridir.

Boşalım gerilimi (Vd), takım ile iş parçası arasında kıvılcım boşalımının devam ettiği sürece ölçülen gerilim değeridir. İşleme aralığı, kesim sırasında takım ile iş parçası arasında sabit tutulan mesafedir. Elektro erozyon ile işlemede işleme aralığı 0,01 ile 0,04 mm arasındadır [22].

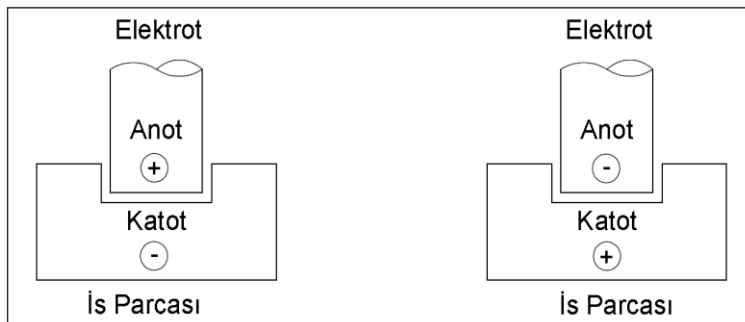
3.3.2. Kutuplama (Polarite)

Elektrota göre kıvılcım akış yönünü, işlemede aşınma hızını belirleyen etkili ve önemli faktörlerdendir. Kutuplama, elektrot malzemesi ve iş parçası malzemesine bağlı olarak, kaba ve ince işleme için önemlidir. Çizelge 3.1’de farklı elektrotlar ile kaba ve ince işleme için kutuplama dağılımı görülmektedir [22].

Çizelge 3.1. Farklı malzemelere göre kutuplama dağılımı

İş Parçası	Kaba İşleme	İnce İşleme
Takım Çeliği	+	+ / -
Paslanmaz Çelik	+	+ / -
Alüminyum	+ / -	+ / -
Titanyum	-	-
Karbür	-	-
Bakır	-	-

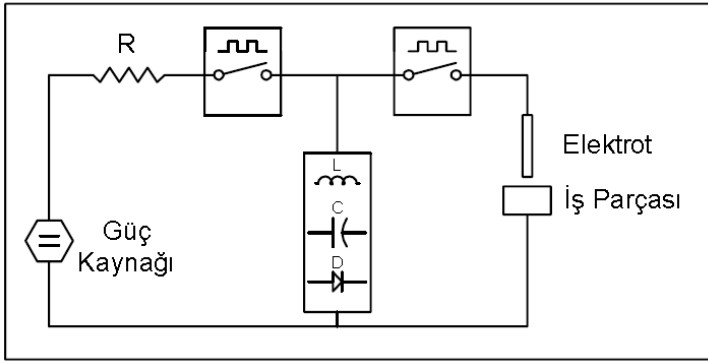
EEİ yönteminde elektrotlar ve iş parçası (+) veya (-) kutba bağlanabilmektedir. EEİ’de kutuplama, elektrotun sahip olduğu kutba göre adlandırılmaktadır (Şekil 3.4) [22].



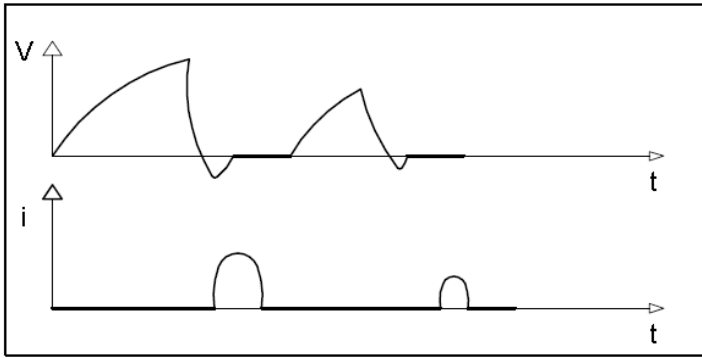
Şekil 3.4. Elektrot kutuplama türleri: (a) Pozitif kutuplama, (b) Negatif Kutuplama [22].

3.3.3. Vurum jeneratörü karakteristikleri

RC jeneratörleri, doğal ateşlemenin ve çoğunlukla salınımlı boşalımların oluştuğu, boşalım sonunun enerji depolanması tarafından etkilendiği, boşalım süresi ve sıklığının aslında devre elemanlarına bağlı olduğu kadar, işleme aralığındaki şartlara da bağlı olduğu jeneratörlerdir. Bu tipteki jeneratörlerde kullanılan elemanlar; kapasitanslar, indüktanslar veya her ikisinin beraber kullanıldığı RC, RLC, RLCD, LC tipindeki elemanlardır [22].

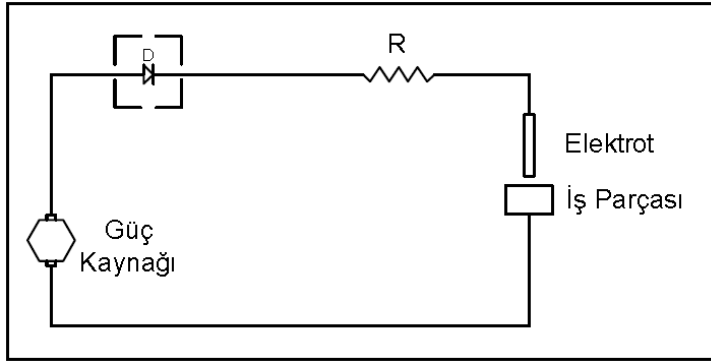


Şekil 3.5. RC jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı [22].

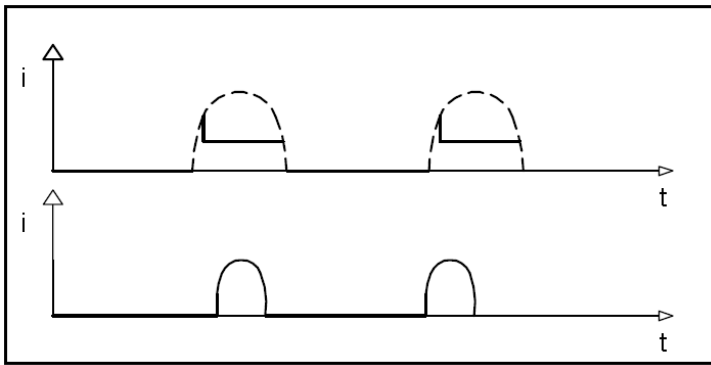


Şekil 3.6. RC jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi [22].

Döner tipi vurum jeneratörleri, gerilim kaynağının direk olarak direnç üzerinden boşalım aralığına bağlı olduğu, boşalım süresi ve aralığının öncelikle döner jeneratör tarafından belirlendiği tiptekilerdir. Bu jeneratörler bir kolektör ve bir doğrultucu ile teçhiz edilebilir” [22].

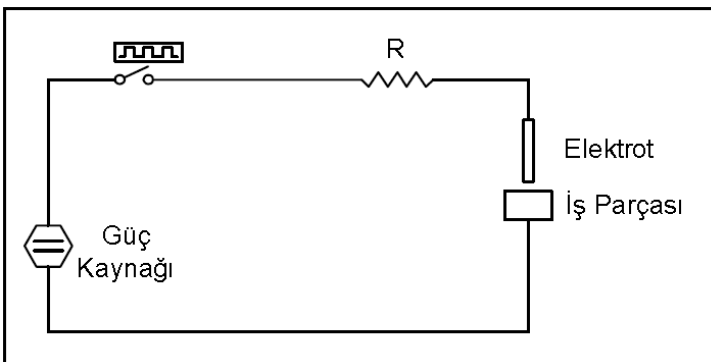


Şekil 3.7. Döner vurum jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı [22].

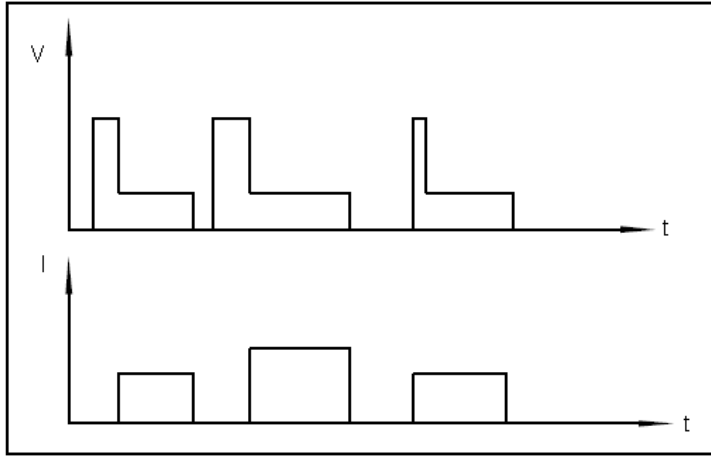


Şekil 3.8. Döner vurum jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi [22].

Iso pulse tipindeki jeneratörler, gerilimin anahtarlama elemanları kullanımıyla işleme aralığına bağlı olduğu, boşalım sürelerinin ve sıklıklarının özellikle kontrollü anahtarlama süreçlerine bağlı olduğu jeneratörlerdir [22].



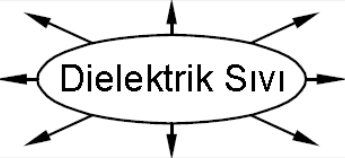
Şekil 3.9. Iso pulse jeneratörünün temel elektrik devre diyagramı [22].



Şekil 3.10. Iso pulse jeneratörünün gerilim ve akım dalga tipi [22].

3.3.4. Dielektrik sıvı parametreleri

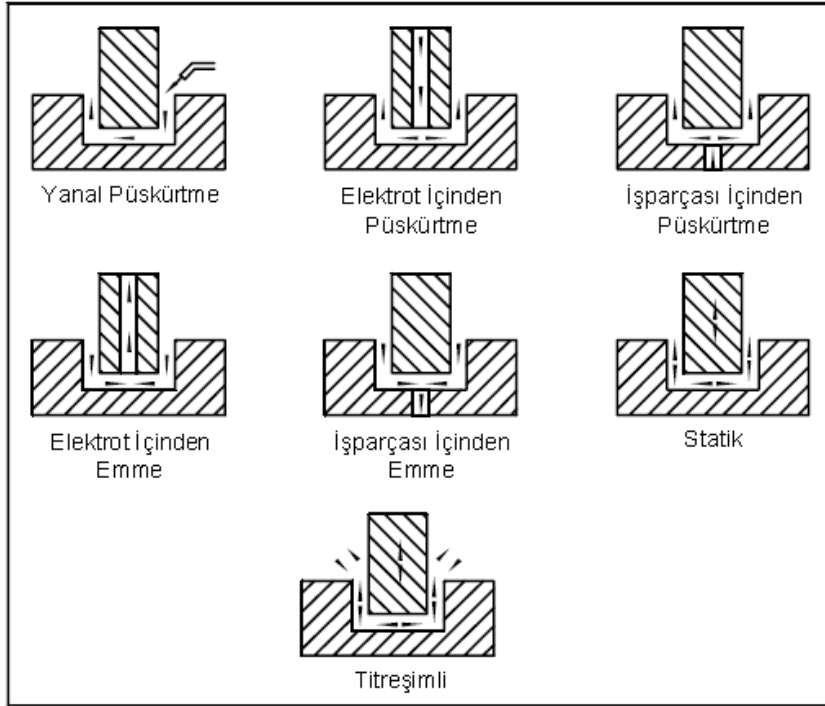
EEİ'de genellikle, hidrokarbon bazlı (parafin, sıvı madeni yağlar, gazyağı vb.) ve silikon bazlı yağlar dielektrik sıvı olarak kullanılmaktadır. EEİ'nin verimli olarak yapılabilmesi için dielektrik sıvının iki özelliğe sahip olması gerekmektedir. Bunlardan biri, boşalım gerilimi değerine gelinceye dek yalıtkanlığını muhafaza edecek kadar dielektrik (elektiriksel) dirence sahip olmaktır. Diğeri ise kıvılcımdan sonra hızlı bir şekilde safsu olabilmesidir. Yüksek derecede ısınma, dielektrik sıvının bozulmasına ve bozulma sonrası gaz ve karbonların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Gazlar boşalma kanalında istenmeyen genişlemeye neden olup İİH değerini azaltmaktadır. Karbon ise elektrot ile iş parçası üzerinde birikerek ark tipi zararlı vuruşların oluşmasına neden olmaktadır. İdeal bir dielektrik sıvının sahip olması gereken özellikler Şekil 3.11'de görülmektedir [3].

Düşük Viskozite	Yüksek Yalıtkanlık Verimlilik	Uygun Fiyat
Yüksek Parlama Nokası		Düşük Özgül Ağırlık
İyi Oksidasyon Kararlılığı	Yüksek Isı Kapasitesi	Minimum Koku

Şekil 3.11. Dielektrik sıvının genel özellikleri [3].

Dielektrik sıvı uygulama yöntemleri

Dielektrik uygulamalarında sıvı elektrot ile iş parçası arasında uygun bir biçimde dolaşmalıdır. Tüm elektro erozyon tezgâhlarında dielektrik sıvısı için tank, su basıncı için pompa, biriken tozların ve parçacıkların geçişini engellemesi için sıvı filtresi, iş parçasını işlemek içinde tabla ve işleme tankı vardır. Verimli bir uygulama için dielektrik sıvı tipi önemlidir. Yetersiz (düşük debili) dielektrik sıvı uygulaması ya da malzemeye uygun olmayan uygulama tipinin seçilmesi ark oluşumuna, takım ömrünün azalmasına ve işleme süresinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 3.12’de dielektrik sıvının farklı uygulama yöntemleri görülmektedir [22].



Şekil 3.12. Dielektrik sıvı uygulama yöntemleri [24].

3.3.5. İşparçası malzemesinin özellikleri

İletkenliği $k = 0,01 \text{ Scm}$ 'den daha büyük olan tüm malzemeler EDM işleme yöntemi ile işlenebilir. Malzemenin, sertlik veya direnç gibi mekanik özellikler işlem davranışını etkilemez. EDM özellikle karbür zımbalar veya enjeksiyon kalıplarında kullanılan, sert çelikler ve kesilmesi zor olan özel malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Malzeme

aşınmasını arttıran yüksek elektriksel iletkenliğin tersine, yüksek ısı iletkenlik ve yüksek erime sıcaklığı malzeme aşınmasını azaltır [25].

3.3.6. Elektrot malzemesinin özellikleri

EDM elektrotları seçerken, elektrot form ve fonksiyonunun yanında en önemli hususlardan biri malzemenin iletkenliği (veya öz direnç) ve erozyon direncidir. Malzeme iletkenliği verimlilik için önemlidir. Erozyon direnci erime noktası, sertlik ve yapısal bütünlük faktörü) elektrotun daha uzun kullanılmasını sağlar ve değiştirme sıklığını düşürür [26].

En sık kullanılan elektrot türleri aşağıdadır.

Bakır Elektrot, pirinç elektrotun kestiği malzemeleri rahatlıkla kesebilmekte ve bunun yanında tungsten karbür, elmas, karbon çelikleri ve özel alaşımlı malzemelerde pirinç elektrota nazaran daha iyi performans sergilemektedir [27].

Pirinç elektrot, bu elektrot çelik, takım çeliği, karbon çelikleri, paslanmaz çelikler, alaşımlı çelikler, titanyum, inconel gibi malzemelerde tercih edilebilir. Bu elektrotlar kimyasal yapısından dolayı karbür ve tungsten karışım malzemelerde verimli olmamaktadır [28].

3.4. EEİ Yönteminde Temel Performans Karakteristikleri

EEİ operasyonlarında işleme performansı aşağıdaki karakteristiklere göre yapılmaktadır.

$$\text{İş parçası işleme hızı (mm}^3\text{/dak)} = \text{İHH} = \frac{\text{İş parçası toplam hacmi (mm}^3\text{)}}{\text{Toplam işleme süresi (dak)}} \quad [22].$$

$$\text{Elektrot aşınma hızı (mm}^3\text{/dak)} = \text{EAH} = \frac{\text{Elektrod toplam aşınma hacmi (mm}^3\text{)}}{\text{Toplam işleme süresi (dak)}} \quad [22].$$

İş parçası ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra): Ortalama yüzey pürüzlülük değeri iş parçası yüzeyinde belirli bir uzunluktaki doğrultu üzerinden ölçülen değerlerin μm cinsinden aritmetik ortalamasıdır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri imalat sanayinde bir işlemin kalitesini belirten önemli bir parametredir ve genellikle bu değerin düşük olması beklenmektedir. Yukarıda sıralanan performans karakteristiklerinin değerleri tamamen işleme parametrelerine (boşalım akımı, vuruş süresi (ark süresi), bekleme süresi (ark aralığı), dielektrik püskürtme basıncı,

dielektrik uygulama yöntemi vb.) bağlıdır. Bu parametrelerin değişmesi ile tüm performans karakteristikleri de değişim göstermektedir ve EEİ yönteminde istenilen sonuçlar iş parçası işleme hızı (İİH), düşük elektrot aşınma hızı (EAH) ve yine en düşük yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleridir. Bu değerlerle birlikte delik delme uygulamalarında deliğin giriş ve çıkış çapları arasındaki farkın kabul edilebilir değerlerde olması ve delik duvarlarının birbirine paralel olması da beklenen sonuçlar arasında yer almaktadır [22].

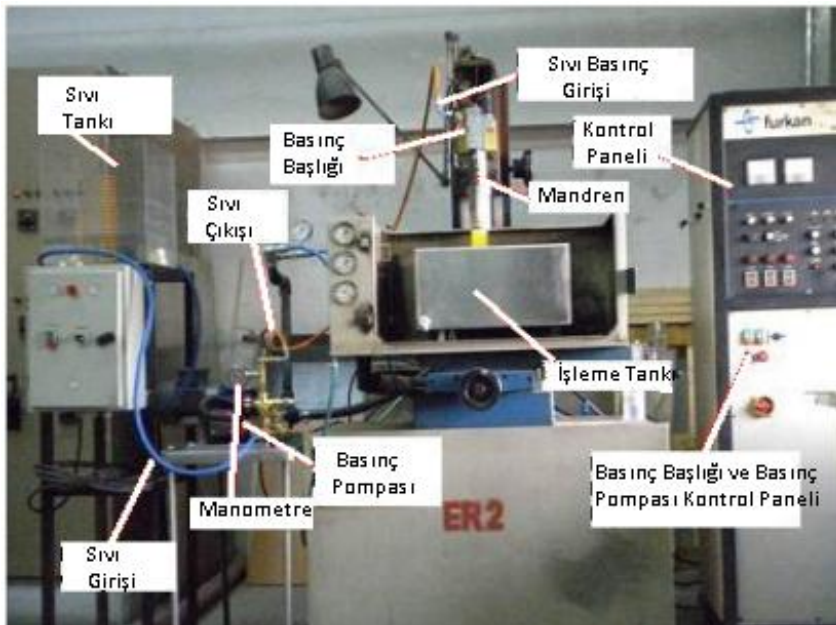
4. MATERYAL VE METOT

4.1. Formadur 2738 (Deney Malzemesi)

Formadur malzemesinin kimyasal kompozisyonunda % 0,4 C, % 1,5 Mn, %1,9 Cr, %0,2 Mo, %1 Ni bulunmaktadır. Teslim sertliği 280-325 HB'dir. Nikel ilavesi nedeniyle diğer formadurlara göre öze doğru sertleştirilebilme özelliği çok daha iyidir. Parlatılabilirliği, desenleme özelliği, kaynak kabiliyeti, nitrülenebilirliği de çok iyidir. Bunlarla birlikte homojen bir yapıya sahip olduğunda işlenebilirliği mükemmeldir. Genellikle büyük plastik enjeksiyon kalıplarında kullanılmaktadır. İyi işlenebilirlik değerlerine sahip olduğundan diğer sektörlerden de rağbet görmektedir. Plastik kalıpları, basınçlı döküm kalıp hamilleri ve ekstrüzyon pres kovanlarında kullanımı tavsiye edilir [29].

4.2. EEİ Tezgahı

Deneysel çalışmalarda Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Takım Tezgahları Laboratuvarında bulunan ve delik delme tezgahına dönüştürülen FURKAN marka, "EEİ M50A" tip (Resim 4.1) endüstriyel elektro erozyon tezgahı kullanılmıştır. Bu tezgâh piyasada en yaygın kullanılan EEİ tezgâh modellerinden birisidir. Tezgaha ait teknik özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.1. Deneylerde kullanılan EEİ tezgahı [22]

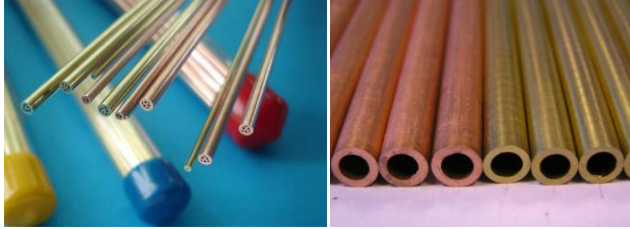
Çizelge 4.1. Elektro erozyon tezgahının genel özellikleri

Güç Jeneratörü	Birim	
Maksimum Çalışma Akımı	A	50
Maksimum Talaş Kaldırma (%20 Aşınma)	mm ³ /dak	350
Güç Seviyesi Kademeleri		5 Kademeli Elle Kontrol 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1
Minimum Elektrot Aşınması	%	50
Elde Edilebilecek En İnce Yüzey	µm	1,5 (Ra)
Makine Gövdesi		
İş Tablası Ölçüleri	mm	550 x 250
Tabla Hareket Ölçüleri (X x Y)	mm	300 x 200
Tabla Kızakları		Taşlanmış Kırılmalıç Yataklı Konik Kamalı
Tabla Hareket Mekanizması		Trapez Vidalı Elle Kontrol
İşleme Tankı Ölçüsü (X x Y x Z)	mm	860 x 470 x 280
Maksimum İş Parçası Ölçüleri (X x Y x Z)	mm	660 x 410 x 200
Z Eksen		
Hareket Kursu	mm	160
Okuma Hassasiyeti	mm	0,01
Kaba Hareket Kızağı		Taşlanmış Kırılmalıç Yataklı
Kaba Hareket Mekanizması		Trapez Vidalı Elle Kontrol
Maksimum Elektrot Ağırlığı	kg	15
Dielektrik Sistemi		
Dielektrik Depo Ölçüleri	mm	950 x 580 x 600
Ağırlık		
Tezgâh Ağırlığı	kg	650

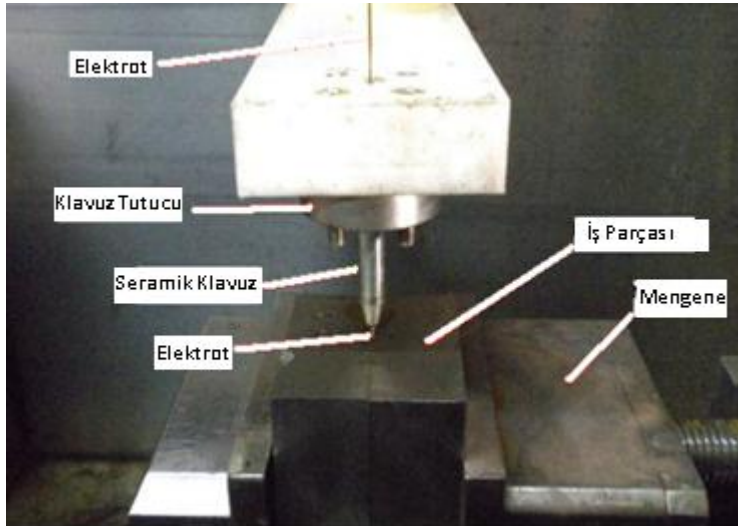
4.3. Elektrot

Deneylerde tüp formunda tek delikli pirinç elektrotlar kullanılmıştır. Bu elektrotlar elektro erozyon yöntemi ile hızlı delik delme işlemlerinde kullanılmak üzere hazırlanmış çok hassas takımlardır. Takımın bir ucu basınç başlığına bir conta yardımı ile geçirilerek mandren vasıtasıyla düşük kuvvetlerle sıkılmış (elektrotun deforme olmaması için), diğer

ucu ise salgıyı önlemek amacıyla seramik kılavuz içerisinden geçirilerek işleme hazır hale getirilmiştir. Tüm deneylerde boyu 400 mm, iç çapı 0,18 mm ve dış çapı 0,5 mm olan elektrot takımlar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan pirinç elektrotlar Resim 4.2’de, elektrotun sabitlenmesi ise Resim 4.3’de sunulmuştur.



Resim 4.2. Pirinç elektrot görüntüleri [30-31]



Resim 4.3. Elektrotun sabitlenmesi [32].

4.4. Dielektrik Sıvı

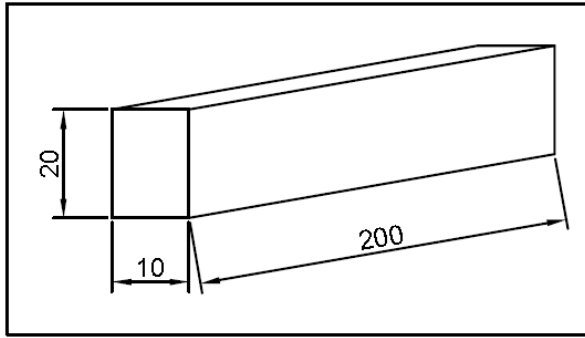
Yapılan tüm deneylerde dielektrik sıvı olarak saf su kullanılmıştır. Elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvısı, üretilen parçaların maliyeti, kalitesi ve üretilebilirliği üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Elektro erozyon ile işlemede kullanılan dielektrik sıvının, işleminin gerçekleşebilmesi için gerçekleştirmesi gereken görevleri vardır. Bunlar; elektrotlar üzerinde toplanan yükün belirli bir süre tutulması, boşalımın dar bir kanalda tutulması, boşalım esnasında açığa çıkan ısıнын hemen atılması, kısa devre oluşumu ve elektrot aşınmasını önleme açısından çok önemli olan, boşalım sonrası işleme aralığında oluşan işleme atıklarının uzaklaştırılmasıdır [33].

4.5. Deney Numuneleri

Deneylerde homojen bir yapıya sahip olan Formadur 2738 malzemesi kullanılmıştır. Formadur çeliği genellikle plastik kalıpcılık sanayinde talep görmektedir. Formadur 2738 çeliği kimyasal bileşimi Çizelge 4.2’de sunulmuştur. Deney numuneleri 10x20x100 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Deney numunelerinin şematik görünümü ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

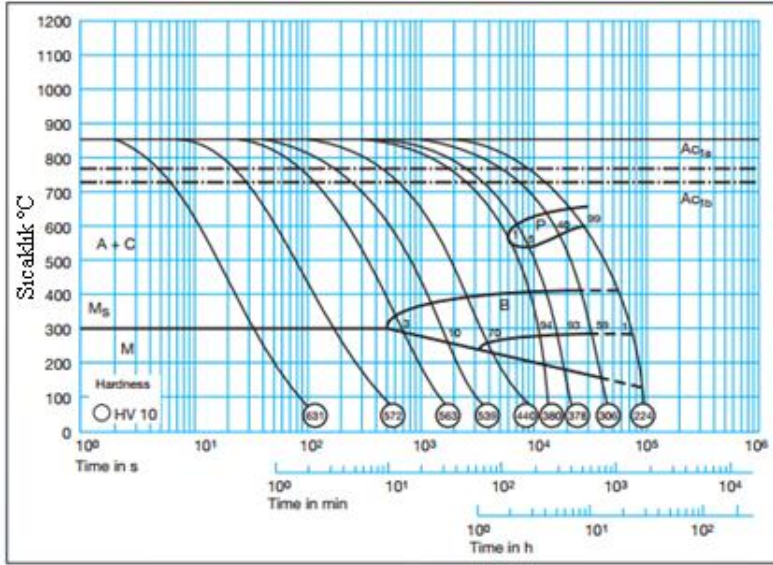
Çizelge 4.2. Formadur 2738 malzemesi kimyasal yapısı

C	Mn	Cr	Mo	Ni
0,4	1,50	1,90	0,2	1,0



Şekil 4.1. İş parçası malzemesi

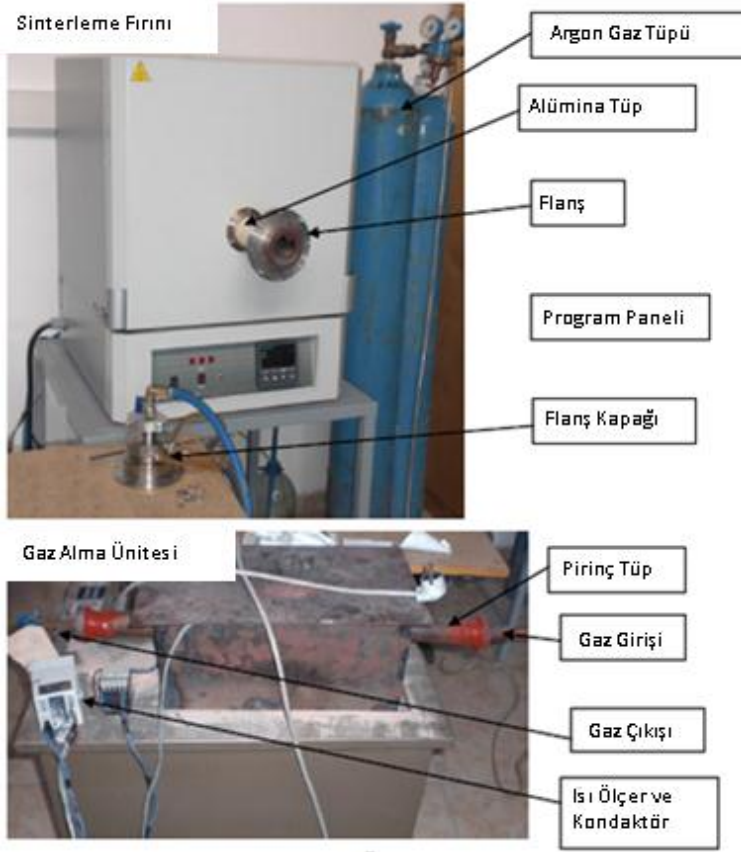
Elektro erozyon ile işleme yönteminde, sac malzemeler üzerine uygulanan ısıl işlemin etkisini incelemek amacıyla malzemeler ısıl işlem uygulanmadan ve normalizasyon (havada ve suda soğutma) ısıl işlemleri uygulanarak erozyon tezgâhında delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ısıl işlemler sinterleme fırınında yapılmıştır. Havada soğutma ısıl işleminde malzemeler Ac_3 sıcaklığının 30-50 °C üzerindeki sıcaklıklarda tavllanması gerekmektedir. Bu nedenle iş parçaları 800 °C de fırın içerisinde 1 saat bekletildikten sonra fırından çıkartılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. (Şekil 4.2). İkinci işlem olan su verme tavlamasında malzemeler; östenitleme sıcaklığında 850 °C ‘de fırın içerisinde 1 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığında yaklaşık 30 °C sıcaklığa sahip su içerisine daldırılarak soğumaya bırakılmıştır (Şekil 4.2). Deney numuneleri oda sıcaklıklarına kadar soğutulduktan sonra elektro erozyon tezgâhında delme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Formadur malzemenin CCT diyagramı

4.5.1. Sinterleme Fırını

Formadur sac malzemelerin ısıt işlemleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne ait Resim 2’ de gösterilen yüksek sıcaklık fırınlarında gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.4. Sinterleme fırını ve gaz arıtma ünitesi

Numuneler fırın içerisinde homojen sıcaklık bölgesine yerleştirildikten sonra alümina tüpün kapağı argon gazı girişine müsaade edilecek şekilde flanş kapakla kapatılmış ve gaz yalıtımı için kapağın etrafı yüksek sıcaklıklara dayanıklı sıvı conta ile izole edilmiştir.

4.6. Güç Kaynağı

Deneysel çalışmada takım elektrotun dönme devir sayısını istenilen değerlere çıkartabilmek amacı ile kullanılan güç kaynağı (GW INSTEK) Resim 4.5’de sunulmuştur. Bu güç kaynağı sayesinde basınç başlığı üzerinde yer alan motorun istenilen devirlerde dönmesi sağlanmıştır.



Resim 4.5. Deneylerde kullanılan güç kaynağı

4.7. İşleme Parametreleri

Yapılan ön deneyler ve literatür taraması neticesinde 2 farklı akım değeri (3 A, 6 A), dielektrik sıvı basıncı (30 bar, 60 bar, 120 bar) ve 3 farklı elektrot takım dönme devir sayısı (25 dev/dak, 50 dev/dak, 100 dev/dak) deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Elektrota dönme hareketi verilmeden yapılmak istenilen deneyler deliklerdeki tıkanmadan dolayı gerçekleştirilememiş ve bu nedenle dönme hareketi olmayan işleme parametreleri deney tasarımına dâhil edilmemiştir. Yapılan deneylerde kutuplama, işleme aralığı, geri çekme süresi, dielektrik sıvı cinsi, dielektrik sıvı uygulama yöntemi, iş parçası ve elektrot geometrileri sabit tutulmuştur. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri Çizelge 4.3’de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan işleme parametreleri

Boşalım Akımı, Id, (A)	3, 6
Vurum Süresi (On Time) (μ s)	3
Ark Aralığı (Off Time) (μ s)	3
Takım Devir Sayısı (n) (dev/dak)	30, 60, 120
Dielektrik Sıvı	Saf Su
Püskürtme basıncı (bar)	25, 50, 100
İş Parçası Malzemesi	Formadur 2738
Elektrot Malzemesi	Elektrolitik Pirinç
İşleme Derinliği, h, (mm)	20

Çizelge 4.3’de yer alan işleme parametreleri doğrultusunda ve yapılan ön deneyler sayesinde elde edilen deney tasarımı Çizelge 4.4’de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Deney parametreleri, Formadur 2738

Akım, I, (Amper)	Dielektrik Püskürtmeme Basıncı, P (Bar)	Takım Dönme Devir Sayısı, n (dev/dak)
3 6	25	30
	50	60
	100	120

4.8. Deneyler Esnasında Yapılan Ölçümler

Deneyler esnasında yapılan ölçümler aşağıda sunulmuştur.

İş parçası ilk ve son ağırlıkları, işleme öncesi nihai ölçülerine getirilen iş parçaları 0,005 gr hassasiyetinde dijital terazi ile tartılmış ve kaydedilmiştir. İşleme tamamlandıktan sonra iş parçaları basınçlı hava yardımı ile temizleme ve kurutma işlemine tabi tutularak tekrar tartılmış ve ilk ölçüm ile işleme sonrası ölçüm arasındaki fark kaldırılan talaş miktarı olarak hesaplanmıştır.

İşleme süresi, her bir delik için deneyler esnasında EEİ işlemi ilk kıvılcım boşalımı gerçekleşmesi ile kıvılcım sonlanması arasındaki süre bir kronometre yardımı ile ölçülmüştür.

Elektrot ilk ve son ağırlıkları, her deney için ayrı ayrı kullanılan elektrotlar işleme öncesinde tartılmış ve kaydedilmiştir. İşlem tamamlandıktan sonra elektrot içerisine basınçlı hava tutulmuş ve kurutma işlemi yapılmıştır. Daha sonra elektrot ilk ağırlığı ile son ağırlığı arasındaki fark hesaplanmıştır. Ölçümler yine 0,005 gr hassasiyetindeki dijital terazi ile yapılmıştır.

4.9. İş Parçası İşleme Hızı (İİH)

EEİ’de işleme performansını belirleyen en önemli çıktılardan birisi İİH’dir. İİH değerleri aşağıda ifade edilen formülle (mg/dak) hesaplanmıştır.

$$\text{İş parçası işleme hızı (mg/dak)} = \text{İHH} = \frac{\text{İş parçası toplam hacmi (mg)}}{\text{Toplam işleme süresi (dak)}} \quad [22]$$

4.10. Elektrot Aşınma Hızı (EAH)

Elektrot aşınma hızını bulmak için gerekli olan formül aşağıda verilmiştir.

$$\text{Elektrot aşınma hızı (mg/dak)} = \text{EAH} = \frac{\text{Elektrod toplam aşınma hacmi(mg)}}{\text{Toplam işleme süresi (dak)}} \quad [22]$$

5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışma Formadur 2738 Malzemesinin EEİ yöntemi ile mikro delinebilirliğinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Formadur 2738 malzemesi farklı ısıt işlemlere tabi tutulmuştur. Bu amaçla Formadur 2738 malzemesine normalizasyon (havada ve suda soğutma) ısıt işlemi uygulanmıştır. Daha sonra boşalım akımı, elektrot devir sayısı ve püskürtme basıncı parametrelerinin delme işlemindeki etkisi incelenmiştir. Deneylerde iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma hızı (EAH) çıktı parametresi olarak alınmıştır. Deneyler sonrasında işleme parametreleri ile uygulanan ısıt işlemin EEİ delik delme işlemlerinde İİH ve EAH değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yapılan çalışmada EEİ yöntemi ile farklı ısıt işlem görmüş Formadur 2738 malzemesinin delinebilirliğinin araştırılması için farklı işleme parametreleri altında 20 mm boyunda ve 0,5 mm çapında delikler delinmiştir. Her bir deney malzemesi için 18 adet delik delinmiş ve toplamda 54 deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma hızı (EAH) değerleri gibi işleme performans çıktılarının malzeme cinsi ve işleme parametrelerine göre gösterdiği değişim incelenmiştir. Çalışmalar neticesinde elde edilen deney sonuçları Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

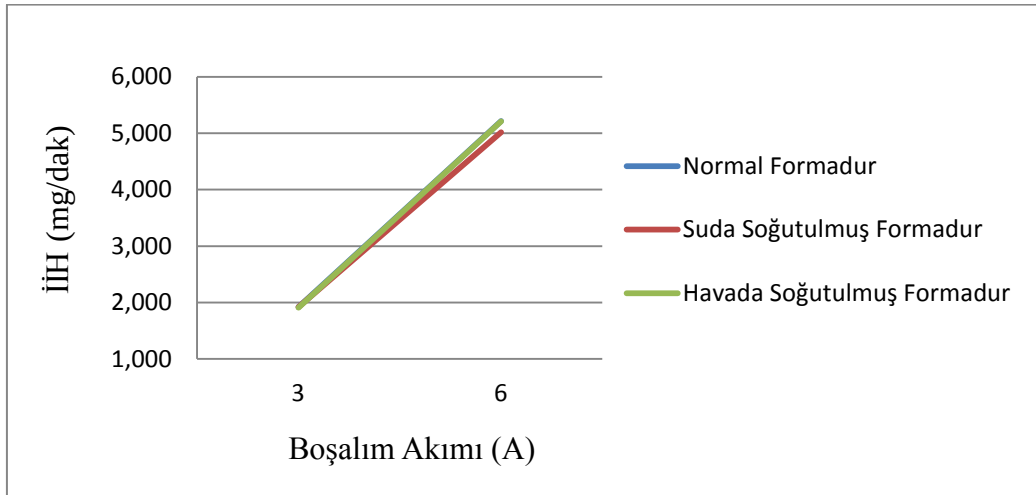
Çizelge 5.1. Deneysel Sonuçlar

				Formadur 2738		Suda Soğutulmuş Formadur 2738		Havada Soğutulmuş Formadur 2738	
Deney No	Boşalım Akımı	Püskürtme Basıncı	Devir Sayısı	İİH (mg/dak)	EAH (mg/dak)	İİH (mg/dak)	EAH (mg/dak)	İİH (mg/dak)	EAH (mg/dak)
1	3	25	30	1,918	0,137	1,922	0,125	1,910	0,132
2			60	1,936	0,141	1,940	0,14	1,925	0,141
3			120	2,080	0,144	2,110	0,146	1,992	0,147
4		50	30	2,155	0,129	2,162	0,132	2,147	0,120
5			60	2,158	0,133	2,166	0,138	2,155	0,129
6			120	2,240	0,135	2,249	0,140	2,225	0,133
7		100	30	2,170	0,112	2,195	0,120	2,168	0,109
8			60	2,335	0,117	2,330	0,127	2,332	0,121
9			120	2,686	0,141	2,565	0,134	2,650	0,126
10	6	25	30	5,218	0,340	5,015	0,352	5,210	0,347
11			60	5,296	0,344	5,312	0,359	5,275	0,353
12			120	6,110	0,352	6,050	0,363	6,060	0,364
13		50	30	5,952	0,323	6,124	0,341	5,960	0,324
14			60	6,755	0,325	6,610	0,346	6,682	0,329
15			120	7,014	0,332	6,918	0,355	7,005	0,335
16		100	30	7,799	0,314	7,610	0,305	7,820	0,309
17			60	8,871	0,319	8,912	0,322	8,790	0,324
18			120	8,892	0,324	8,995	0,339	8,855	0,348

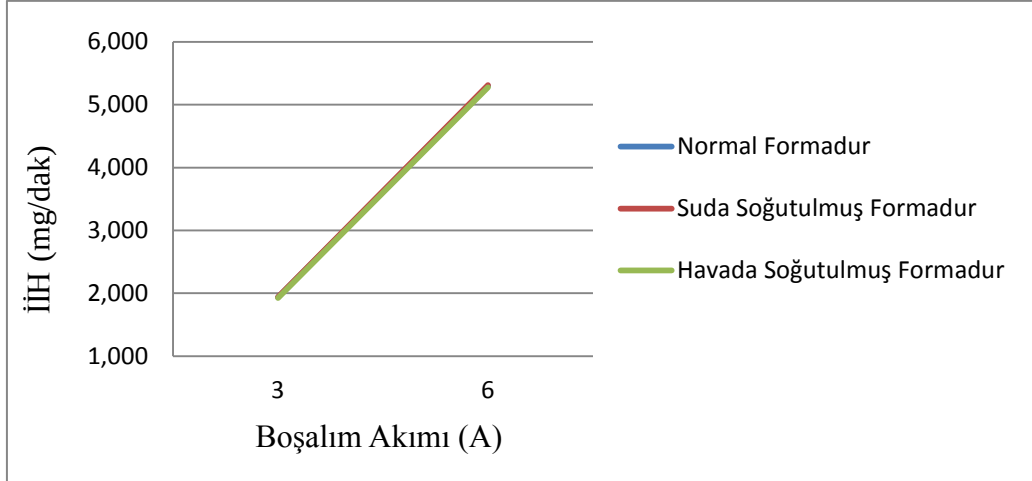
5.2. İş parçası İşleme Hızı (İİH) Sonuçlarının Değerlendirilmesi

EEİ delik delme işlemlerinde İİH değerleri en önemli çıktı parametresidir ve bu değer yüksek olması işlemin hızını göstermektedir. Bu değer birim zamanda ergitilen-buharlaştırılan malzeme miktarını ifade etmektedir. Yapılan çalışmada İİH değerleri dakikada mg olarak ergiyen-buharlaştıran malzeme miktarı olarak hesaplanmıştır. Elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırmalı olarak yorumlanıp tartışılabilmesi açısından sonuçlar grafiksel olarak ifade edilmiştir.

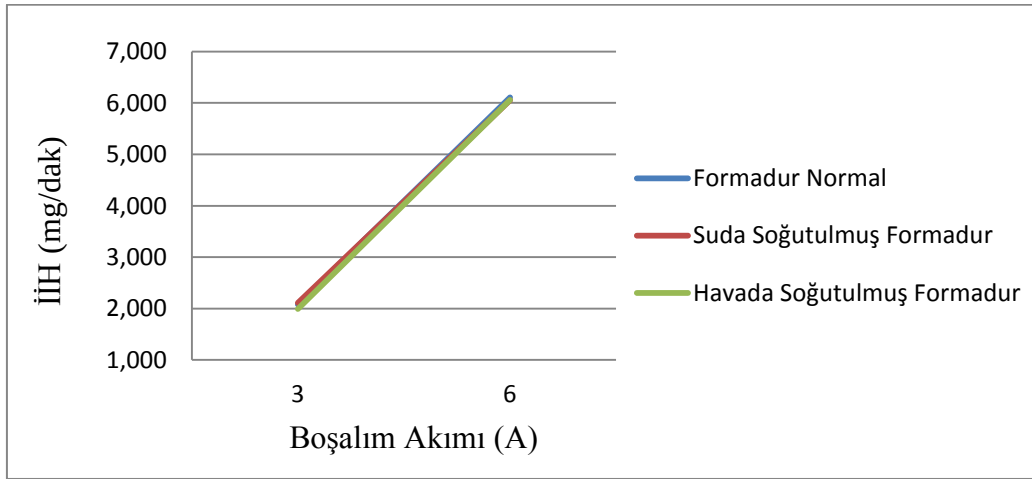
Şekil 5.1 - Şekil 5.3’de boşalım akımına bağlı olarak İİH değerlerinde meydana gelen değişimler grafiksel olarak ifade edilmiştir. Ayrıca grafiklerde farklı ısıtma işlem görmüş Formadur 2738 malzemelerinin İİH değerleri de sunulmuştur.



Şekil 5.1. İİH (mg/dak)- I (akım) değişimi (P:25 bar, n:30 dev/dak)



Şekil 5.2. İİH (mg/dak)- I (akım) değişimi (P:25 bar, n: 60 dev/dak)



Şekil 5.3. İİH (mg/dak)-I (akım) değişimi (P:25 bar, n: 120 dev/dak)

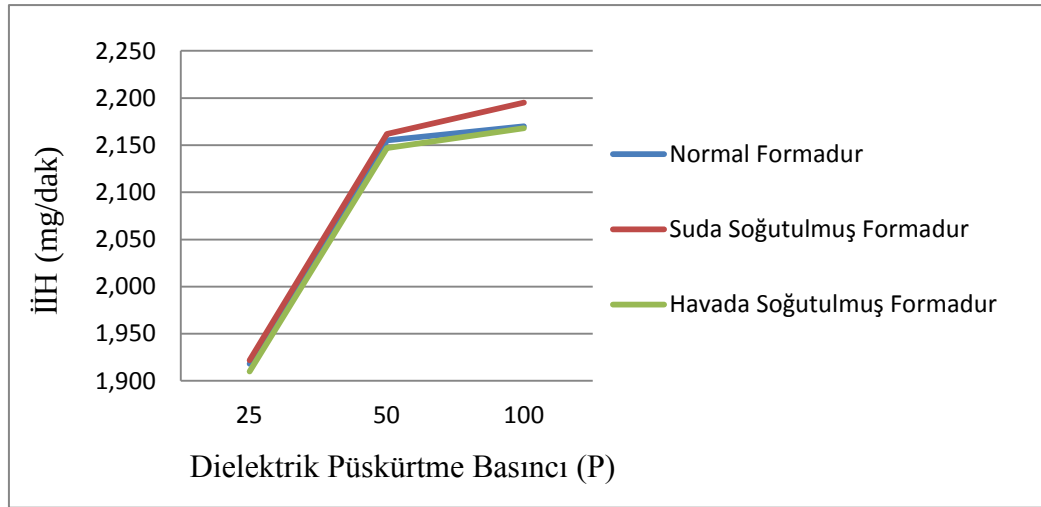
Şekil 5.1 - Şekil 5.3 incelendiğinde boşalım akımının 3 A'den 6 A'ya çıkmasıyla İİH değerlerinin çok hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. En yüksek İİH değerlerine, P:25 bar, n:120 dev/dak ve 6 A işleme parametrelerinde ulaşılmıştır. Çünkü akımın artışı ile artan boşalım enerjisi sayesinde iş parçası malzeme yüzeyinden daha fazla malzeme ertitilip buharlaştırılmıştır. Akım değerinin artması ile her bir kıvılcım daha şiddetli hale gelmekte ve şiddetleri artan bu kıvılcımlar bir defada daha fazla alanı ertitip koparmaktadır [35]. Dolayısı ile boşalım akımının artması ile İİH değerinde artış göstermektedir.

Akıma bağlı olarak Şekil 5.1 – Şekil 5.3 incelendiğinde, ısıtılmış Formadur malzemesi 3 A, 30 dev/dak ve 25 bar'da İİH 1,918'dir. Suda soğutulmuş Formadur malzemesinde 1,922 ve havada soğutulmuş Formadur malzemesi için 1,910 dur. Devir

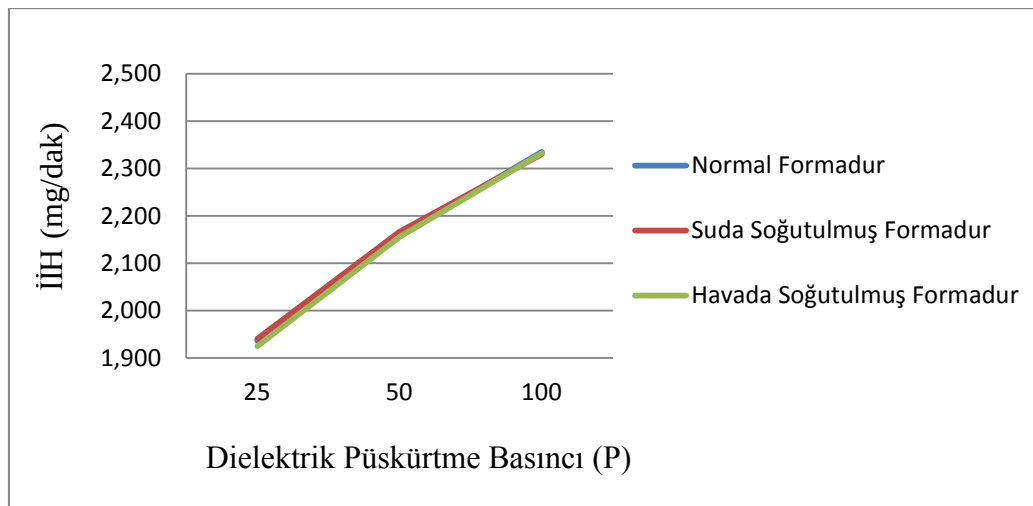
sabit kalıp akım 6 A'ya çıktığında ısıtım işlem görmemiş Formadur da İİH 5,215, suda soğutulmuş Formadur malzemesinde 5,015 ve havada soğutulmuş Formadur malzemesi için 5,210 dur. Şekil 5.1 de görüldüğü gibi, devir 30 dev/dak ve püskürtme basıncı 25 bar iken, akım 3 A'dan 6 A'ya çıktığında, normal Formadur da İİH %172, suda soğutulmuş Formadur da İİH değeri %160, havada soğutulmuş Formadur da ise İİH değerlerinin %172 arttığı görülmüştür. Devir 60 dev/dak ya çıkarıldığında, 3 A'da ve 25 bar basınçta, normal Formadur da İİH 1,936, suda soğutulmuş Formadur da İİH 1,940, havada soğutulmuş Formadur da İİH değeri 1,925'dir. Akım değeri 3 A'dan 6 A'ya çıktığında, normal Formadur da İİH değeri 5,296'ya, suda soğutulmuş Formadur da İİH değeri 5,312'ye, havada soğutulmuş Formadur da İİH değeri 5,275'e çıkmıştır. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi, devir 60 dev/dak ve püskürtme basıncı 25 bar iken, akım 3 A'dan 6 A'ya çıktığında, değerler yüzde olarak, normal Formadur da İİH %173, suda soğutulmuş Formadur da İİH değeri %173, suda soğutulmuş Formadur da ise İİH değerinin %174 arttığı görülmüştür. Devir 120 dev/dak, akım 3 A ve basınç 25 bar iken, normal Formadur da İİH 2,080, suda soğutulmuş Formadur da İİH 2,110, havada soğutulmuş Formadur da İİH değeri 1,992'dir. Akım değeri 3 A'dan 6 A'ya çıktığında, normal Formadur da İİH değeri 6,110'ya, suda soğutulmuş Formadur da İİH değeri 6,050'ye, havada soğutulmuş Formadur da İİH değeri 6,060'e çıkmıştır. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi, devir 120 dev/dak ve püskürtme basıncı 25 bar iken, akım 3 A'dan 6 A'ya çıktığında, değerler yüzde olarak, normal Formadur da İİH %193, suda soğutulmuş Formadur da İİH değeri %186, suda soğutulmuş Formadur da İİH değeri %204 arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak yapılan tüm deneylerde boşalım akımının artması ile İİH değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu çalışmada ısıtım işlemin EEİ yöntemi ile delinebilirliğe etkisi incelendiğinde ise her üç malzemedede de önemli bir farklılık görülmemiştir [36]. Bu durum sonuçlar incelendiğinde çok net bir şekilde görülmektedir. Çünkü ısıtım işlem görmemiş Formadur malzemesi ile havada ve suda soğutulmuş Formadur malzemelerinin İİH değerleri birbirine çok yakındır. Dolayısıyla EEİ işlemlerinde en önemli husus olan iş parçası elektriksel iletkenliği ve ergime derecesi değişmediğinden malzemelerin birim zamanda ergime-buharlaştırma hızları birbirine çok yakın çıkmıştır. Yapılan tüm deneylerde bu durum benzerlik göstermiştir.

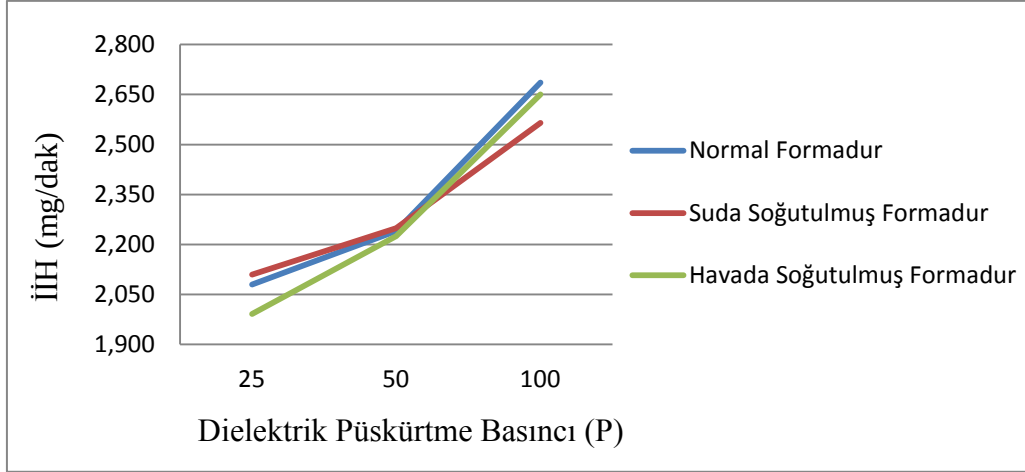
Bu çalışmada uygulanan üç farklı dielektrik püskürtme basıncının İİH değerleri üzerindeki etkisi Şekil 5.4-Şekil 5.6'da sunulmuştur.



Şekil 5.4. I_{iH} (mg/dak)-P (bar) değişimi (I:3 A, n:30 dev/dak)



Şekil 5.5. I_{iH} (mg/dak)-P(bar) değişimi (I:3A, n: 60 dev/dak)



Şekil 5.6. İİH (mm³/dak)-P(bar) değişimi (I:3 A, n:120 dev/dak)

Şekil 5.4 ele alındığında, 30 dev/dak devir sayısı sabit ve 3 A boşalım akımında, normal Formadur işlenirken basınç 25 bar'dan 50 bar'a çıkarıldığında, İİH değeri %11, 50 bar'dan 100 bar'a çıkarıldığında ise %1 artmıştır. Suda soğutulmuş Formadur işlenirken, basınç 25 bar'dan 50 bar'a çıktığında, İİH değeri %11, 50 bar'dan 100 bar'a çıkarıldığında ise İİH değeri %1 artmıştır. Havada soğutulmuş Formadur işlenirken, basınç 25 bar'dan 50 bar'a çıktığında, İİH değeri %11, 50 bar'dan 100 bar'a çıktığında ise %1 artmıştır. Burada akım ve devir sayısı sabitken, basıncın 50 bar'dan sonra neredeyse İİH' ye hiçbir etkisi olmadığı görülmüştür. Sonuçlar arasında neredeyse hiçbir farklılık yoktur. En iyi sonuca, 3 A ve 100 dev/dak işleme parametresinde suda soğutulmuş Formadur da ulaşılmıştır. Bu değer 2,195'dir. Diğer malzemelerin sonuçları ise hemen hemen aynıdır, değerler Formadur için 2,170, havada soğutulmuş Formadur için ise 2,168'dir. Malzemeye uygulanan ısı işlemin İİH değerleri üzerinde etkisinin olmadığı burada da gözükmemektedir.

Şekil 5.5 incelendiğinde, normal Formadur malzemesi için, basınç 25 bar'dan 50 bar'a çıktığında, İİH değeri %10 artmış, basınç 50 bar'dan 100 bar'a çıktığında ise İİH değeri %0,8 artmıştır. Suda soğutulmuş Formadur işlenirken, basınç 25 bar'dan 50 bar'a çıkarıldığında İİH %10, basınç 50 bar'dan 100 bar'a çıkarıldığında ise İİH' de % 0,8 artış görülmüştür. Aynı şekilde havada soğutulmuş Formadur malzemesi işlenirken basınç 25 bar'dan 50 bar'a çıktığında, İİH değeri %11 artmış, basınç 50 bar'dan 100 bar'a çıktığında ise İİH değeri %0,8 artmıştır. Burada en yüksek değere normal Formadur da ulaşılmıştır. 3 A, 100 P, 60 dev/dak'daki değer, 2,335 mg/dak'dır. Malzemeler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise neredeyse farklılık olmadığı gözükmemektedir. 3 A, 100 P, 60

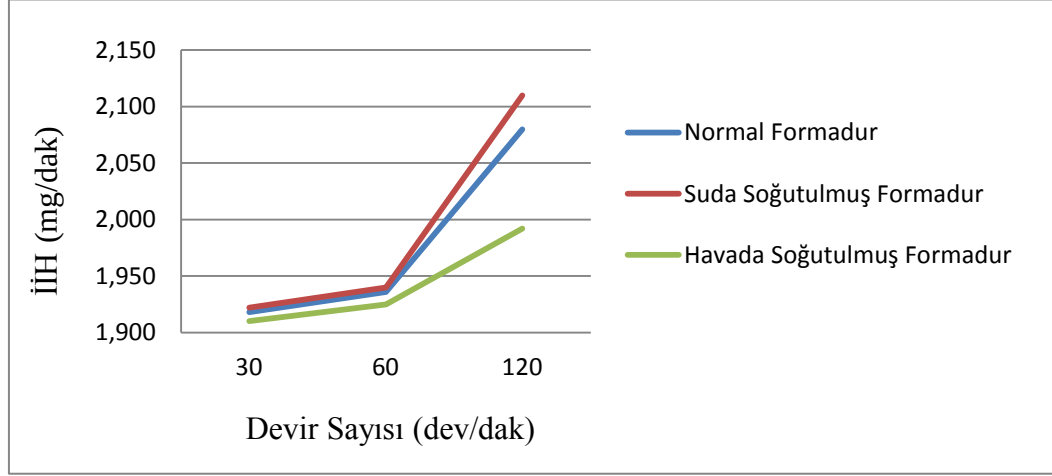
dev/dak'da, normal Formadur malzemesinde İİH değeri, 2,335 mg/dak, suda soğutulmuş Formadur malzemesinde 2,330 mg/dak, havada soğutulmuş Formadur malzemesinde ise İİH değeri 2,332 mg/dak'dır. Dolayısıyla malzemenin ısıl işlem ve soğutmadan sonra ısıl ve elektriksel olarak bir değişime uğramadığı görülmüştür.

Şekil 5.6 incelendiğinde, önceki grafiklere göre akım ve basınç değerlerinin sabit kaldığı, devir sayısının 120 dev/dak'a çıktığı görülmektedir. Grafiği değerlendirdiğimizde, normal Formadur malzemesi işlenirken, İİH %0,8 artmış, 50 bar'dan 100 bar'a çıktığında %14 artmıştır. Suda soğutulmuş Formadur işlenirken, 25 bar'dan 50 bar'a çıkarıldığında %0,7, 50 bar'dan 100 bar'a çıkarıldığında %12 arttığı görülmüştür. Aynı şekilde havada soğultmuş Formadur malzemesi işlenirken basınç, 25 bar'dan 50 bar'a çıktığında, İİH değeri %10 artmış, 50 bar'dan 100 bar'a çıktığında ise İİH değeri %17 artmıştır. Bu grafikte en iyi değere yine normal Formadur da rastlanmaktadır. 3 A, 100 P, 120 dev/dak'da ki değer, 2,686'dır. Malzemeler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise yine farklılık olmadığı gözükmemektedir. 3 A, 100 P, 120 dev/dak'da, normal Formadur malzemesinde İİH değeri 2,686 mg/dak, suda soğutulmuş Formadur malzemesinde 2.568 mg/dak, havada Formadur malzemesinde ise İİH değeri 2,650 mg/dak'dır. Malzemenin ısıl işlem ve soğutmadan sonra elektriksel ve ısıl özelliklerinin değişmediği burada da gözükmemektedir.

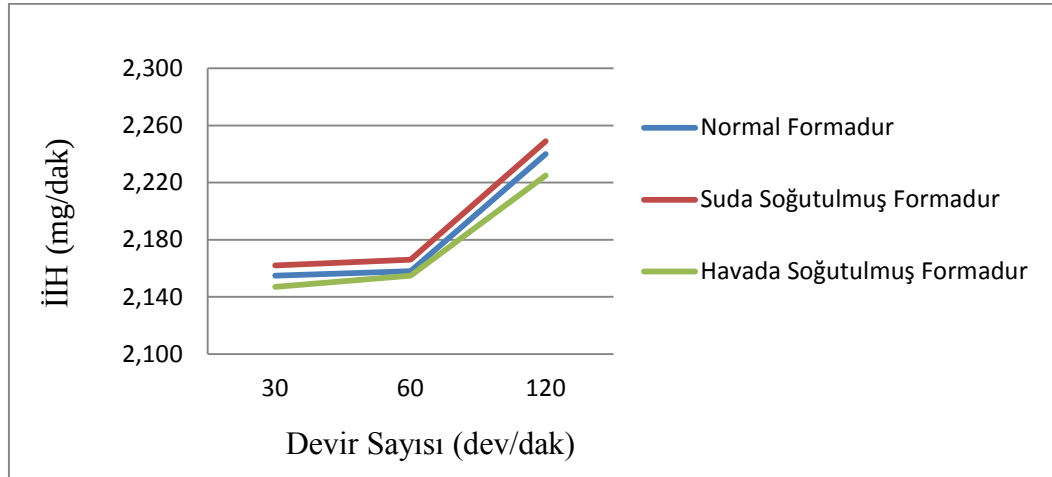
Deneylerde kullanılan üç farklı püskürtme basıncının İİH değerleri üzerindeki etkileri incelendiğinde; EEİ işlemlerinde yanal, elektrot içinden püskürtme, elektrot içinden emme, statik vb. olmak üzere çeşitli yıkama yöntemleri mevcut olduğu ve bu yöntemlerin amacının ise işleme bölgesini hızla temizleyip, parçacıkları uzaklaştırmak ve kesimi rahatlatmaktır. Yeterli olmayan basınç, işleme hızında yavaşlamaya ve işlenen yüzeyde bozulmalara neden olmaktadır. EEİ ile delik delme işlemlerinde en yüksek verimi alabilmek için bazı yıkama şartlarının yerine getirilmesi gereklidir [22 - 38].

Deneysel sonuçlara bakıldığında, dönme devir sayısı ve dielektrik sıvı basıncı işleme bölgesinin etkin olarak temizlenmesi ve çapakların uzaklaşması için oldukça etkili olmuştur. Bunun temek nedeni takım (elektrot) dönerken işlem alanında, akışkan sıvının daha hızlı hareket edebilmesindendir. Hızlı hareket ile birlikte dielektrik sıvı, elektrot takım ile iş parçası malzemesi arasındaki yanal boşluklardan daha hızlı uzaklaşmakta ve

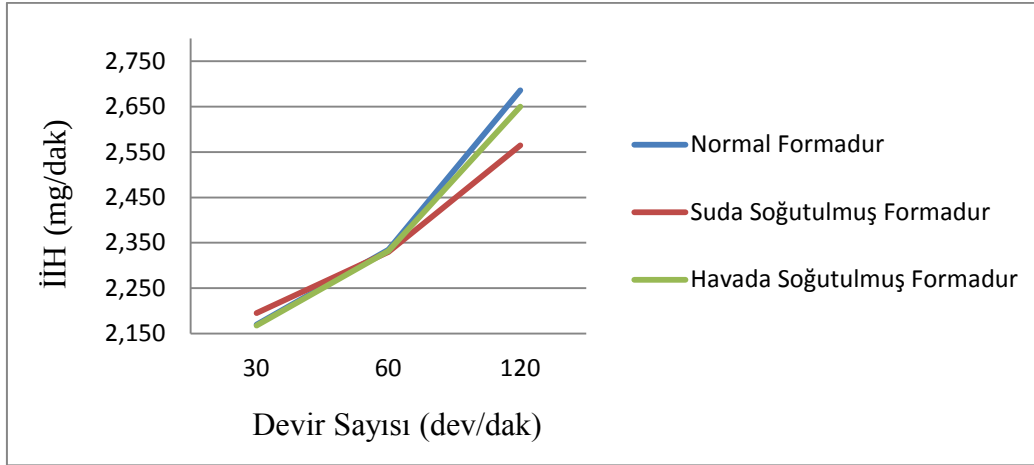
delik delme işlemi sorunsuz olarak devam etmektedir. Tüm bunlara bakıldığında dielektrik püskürtme basıncının İİH değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 5.7. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:25 bar, I:3 A)



Şekil 5.8. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:50 bar, I:3 A)



Şekil 5.9. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:100 bar, I:3 A)

Şekil 5.7 - Şekil 5.9 incelendiğinde artan elektrot devir sayısı değerleri ve yine malzemeye uygulanan ısıl işlemin İİH değerleri üzerindeki etkisi net bir şekilde görülmektedir. Değişimler az da olsa, devir sayısı değişimi İİH'yi etkilemektedir. Örneğin diğer değerler sabit kalırken, devir sayısının 30 dev/dak ile dönmesi esnasında, İİH değeri 1,918 mg/dak iken devir sayısının 60 dev/dak olması ile İİH değeri 1,936 mg/dak olmuştur. Yine devir sayısının 120 dev/dak olması ile İİH değerleri tekrar yükselerek 2,080 mg/dak olarak ölçülmüştür (I:3 A, P:25 bar işleme parametreleri ile ısıl işlem görmemiş Formadur 2738 malzemesinde yapılan deneyler). Bu deneyler için önce % 1 ve daha sonra ise %7'lik bir artış söz konusudur. Bu durum diğer deneyler için de benzerlik göstermiştir. Elektrot devir sayısındaki artışa bağlı olarak elde edilen bu artışlar imalat sanayi açısından son derece önemlidir. Özellikle seri üretim yapılan durumlarda İİH değerlerinde elde edilen bu artışların önemli derecede zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacağı tespit edilmiştir.

Ayrıca bu deneylerde yine malzemelere uygulanan ısıl işlemin İİH değerleri üzerindeki etkilerine bakılırsa malzemeye uygulanan ısıl işlemin İİH değerleri üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı tekrar görülmüştür. Hatta malzemeler kendi aralarında karşılaştırıldığında; 6 A boşalım akımı, 25 bar dielektrik püskürtme basıncı ve 30 dev/dak elektrot devir sayısı deneylerinde, normal Formadur malzemesinin İİH değeri 5,218 mg/dak, suda soğutulmuş Formadur 2738 malzemesinin İİH değeri 5,015 mg/dak ve havada soğutulmuş Formadur 2738 malzemesinin İİH değeri 5,210 mg/dak olduğu görülmektedir. Bu değerler dikkate alınırca bu konu ile ilgili herhangi bir değerlendirme yapmanın mümkün olmayacağı görülmektedir. Çünkü İİH değerleri suda soğutulmuş

Formadur 2738 ve havada soğutulmuş Formadur 2738 deneylerinde ısıtım işlemi yapılmayan Formadur malzemesi deneyine göre azalmıştır.

Ayrıca Şekil 5.1 - Şekil 5.9 ayrı ayrı incelendiğinde Formadur 2738 malzemesine uygulanan ısıtım işleminin, boşalım akımı, püskürtme basıncı ve devir sayısı değişken değerleri altında da İİH sonuçlarına bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun yanında grafikleri karşılaştırdığımızda, kullanılan işleme parametrelerinin de İİH değerlerini etkilediği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak grafiklerden ve deney sonuçları tablosundan (Çizelge 5.1) anlaşıldığı gibi Formadur malzemesine uygulanan ısıtım işlemlerin İİH değerlerine etkisi olmadığı görülmüştür. Çıkan değerler birbirine yakın olmakla birlikte en yüksek değere suda soğutulmuş Formadur malzemesinde ulaşılmıştır ve bu değer 6 A boşalım akımı, 100 bar püskürtme basıncı ve 120 dev/dak elektrot devir sayısı deneylerinde 8,995 mg/dak olarak tespit edilmiştir. Bu değer normal Formadur malzemesinde 8,892 mg/dak, havada soğutulmuş Formadur malzemesinde ise 8,855 mg/dak olarak tespit edilmiştir. En düşük İİH değeri havada soğutulmuş Formadur malzemesinde 3 A boşalım akımı, 25 bar dielektrik basıncı ve 30 dev/dak işleme parametreleri altında yapılan deneylerde 1,918 mg/dak olarak ölçülmüştür.

5.3. Elektrot Aşınma Hızı (EAH) Sonuçlarının Değerlendirilmesi

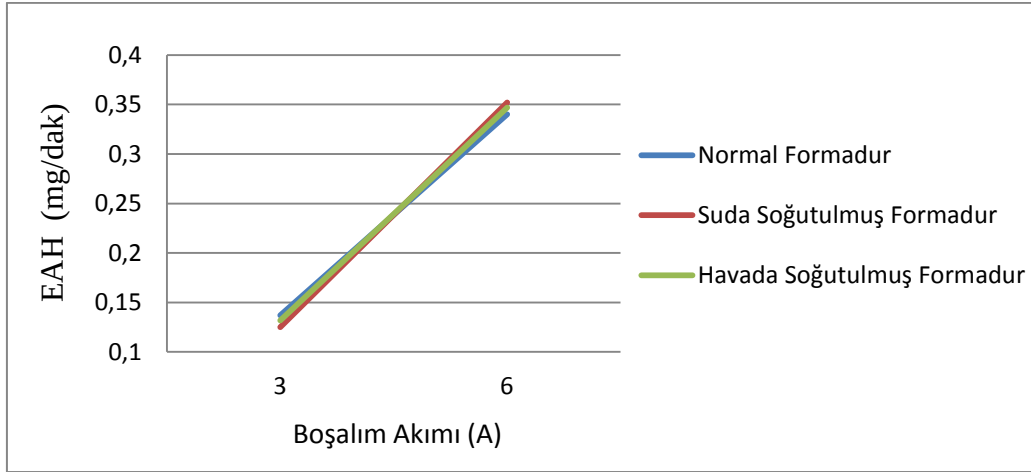
EEİ yöntemi ile çalışma yaparken, iş parçası işlenmeye başlandığında elektrotta da bir aşınma oluşmaktadır. Vurum jeneratörlerindeki son teknolojik gelişmeler ve işleme parametrelerinin optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar ile elektrot aşınması çok küçük değerlere düşürülmesine karşın tamamen ortadan kaldırılamamıştır. İşleme sırasında elektrotta oluşan aşınma, iş parçası kalıp boşluğunu doğrudan etkileyerek parça formunda ya da yüzeyinde bozulmalara neden olmaktadır. Çalışmalarda EEİ'nin maliyetine, kullanılacak olan elektrotların üretim maliyeti, malzeme maliyeti ve sayısı etki etmektedir. Elektrot üretim maliyeti birçok EEİ operasyonunda toplam maliyetin %70'inden fazlasını oluşturmaktadır. Aşınma karakteristikleri göz önüne alınarak, tasarlanan elektrotlar hataları en az seviyeye düşürmeye yardımcı olarak, EEİ yönteminde daha hassas ve düşük maliyetli parçalar üretmesine katkı sağlamaktadır. Elektrot aşınmasının tanımlanmasında kullanılan elektrot aşınma hızı (EAH) terimi genelde

mg/dak veya mm³/dak olarak ifade edilir ve elektrottan aşınan ağırlık ya da hacim/işleme süresi şeklinde yorumlanır [4].

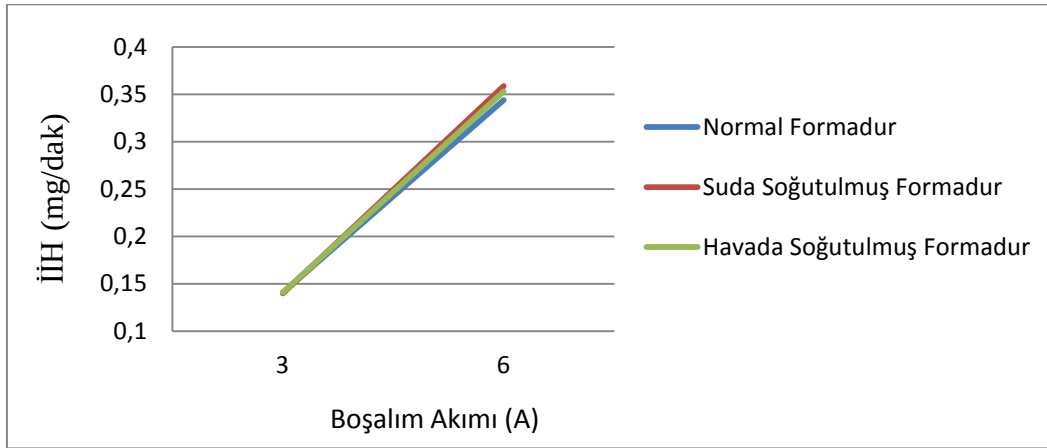
Elektrottaki geometrik aşınma, farklı bölgelerde farklı geometrik bozulmalar (değişimler) şeklinde ortaya çıkmaktadır. Elektrot yan yüzeylerindeki, köşelerindeki, kenarlarındaki ve ön yüzeylerindeki aşınmaların farklı karakterde olduğu bilinmektedir. EEİ işleminin temel problemlerinden biri olan elektrot aşınmasının tam olarak anlaşılabilmesi için, işleme parametrelerinin değişimiyle elektrot aşınma hızının ve ön yüzey aşınmasının değişiminin bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Geometrik aşınma bileşenleri EEİ'de akımdaki artış boşalım enerjisini arttıracığından elektrot yüzeyinde oluşacak kraterden daha fazla malzeme ergimesine ve buharlaşmasına neden olacaktır [8].

Bu çalışmada EAH değerleri elektrotlar işleme öncesi ve işleme sonrası ağırlıkları arasındaki farkın işleme süresine bölünmesiyle (mg/dak) elde edilmiştir. Bu sayede EEİ yöntemiyle Formadur 2738 malzemesine bu malzemenin ısı işlem görmüş çeşitlerine 0,5 mm çapında delik delme işlemleri esnasında pirinç elektrotta meydana gelen EAH değerleri elde edilmiştir.

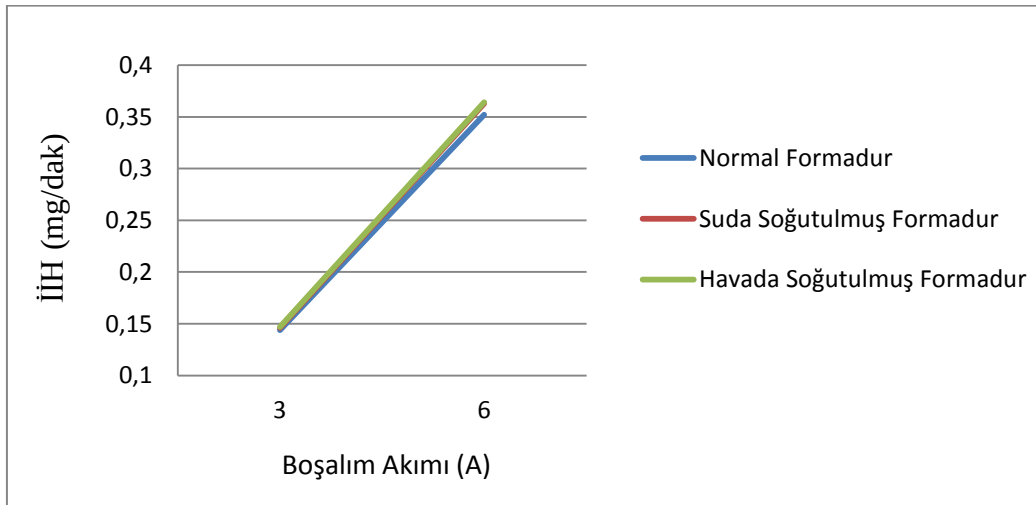
Şekil 10 - Şekil 12'de boşalım akımına bağlı olarak farklı Formadur 2738 malzemelerinin delinmesi esnasında elde edilen EAH-işleme parametreleri değişimi grafiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5.10. EAH (mg/dak)- boşalım akımı (A) değişimi (P:25 bar, n:30 dev/dak)



Şekil 5.11. EAH (mg/dak)- Boşalım akımı (A) değişimi (P:25 bar, n:60 dev/dak)



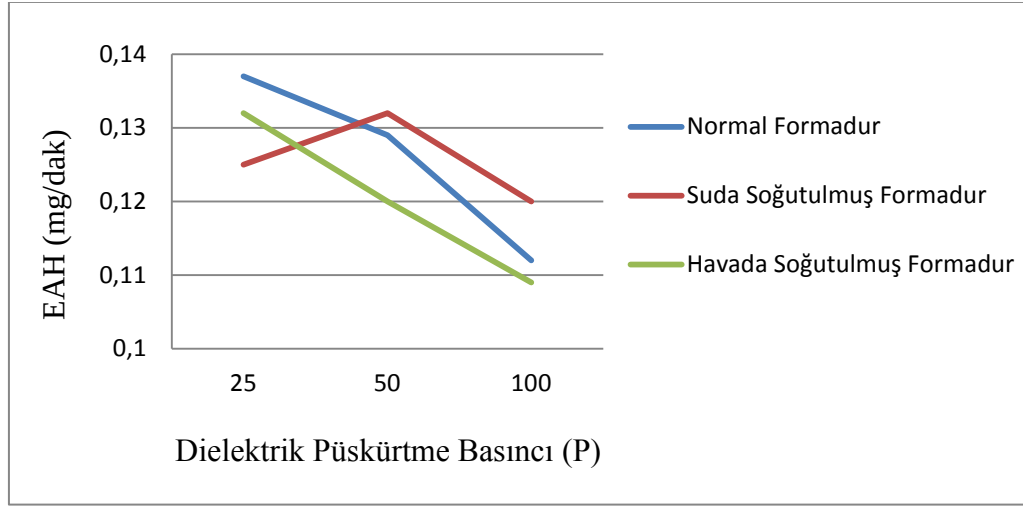
Şekil 5.12. EAH (mg/dak)- Boşalım akımı (A) değişimi (P:25 bar, n:120 dev/dak)

Şekil 5.10 – Şekil 5.12 incelendiğinde boşalım akımına bağlı olarak elektrotlarda meydana gelen aşınma görülmektedir ve boşalım akımı artması ile EAH değerleri de artmıştır. “Bunun sebebi boşalım akımının artışı ile artan boşalım enerjisinin iş parçası ve elektrot yüzeyinden daha fazla malzeme eritmesi ve buharlaştırmasıdır” [8]. Yapılan tüm deneylerde boşalım akımının artışı ile EAH’nin istisnasız bir şekilde arttığı görülmüştür.

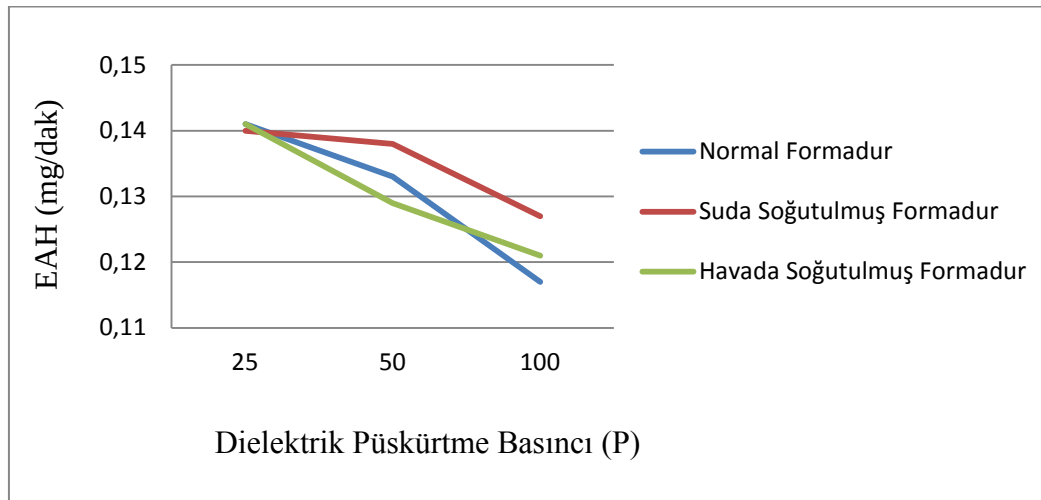
Yapılan çalışmada iki farklı boşalım akımı kullanılmış ve özellikle ikinci boşalım akımı değeri ilk değer iki katı olarak seçilmiştir. Bu durumda EAH değerlerinde meydana gelen artışların daha net bir şekilde yorumlanması sağlanmıştır. 3 A boşalım akımı, 30 dev/dak elektrot devir sayısı ve 25 bar dielektrik püskürtme basıncı deneylerinde Formadur 2738 malzemesinin EAH değeri 0,137 mg/dak’dır ve boşalım akımının 6 A olması ile aynı işleme parametreleri altında EAH değeri 0,340 mg/dak olmuştur. Burada boşalım akımının 3 A’dan 6 A’ya yükselmesi ile EAH değerinde yaklaşık olarak %148’lik bir artış vardır. Yine aynı şartlar altında suda soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi EAH değeri 3 A’da 0,125 mg/dak iken 6 A’da 0,352 mg/dak olarak tespit edilmiştir. Suda soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi delinirken boşalım akımının 3 A’dan 6 A’ya yükselmesi ile EAH değeri yaklaşık olarak %182 artmıştır. Aynı şartlarda havada soğutulmuş Formadur 2738 malzemesinin 3 A boşalım akımındaki EAH değeri 0,132 mg/dak, 6 A’da ki EAH değeri ise 0,347 mg/dak olarak tespit edilmiştir. Buradaki artış ise %161’dir. Bu tespitlerden de anlaşılabacağı üzere boşalım akımının değerinin artışı ile EAH değerleri de hızla artmaktadır. Akım artışı işleme hızını her ne kadar arttırsa da aynı oranda hızlı elektrot aşınmasına da sebep olmaktadır ve bu durum imalat sanayi açısından istenilen bir durum değildir. Benzer artışların diğer deney şartlarında da mevcuttur. 50 bar dielektrik püskürtme basıncı ve 25 dev/dak elektrot devir sayısı deneylerinde Formadur 2738 malzemesinde 3 A boşalım akımı deneylerinde 0,129 mg/dak olan EAH değeri boşalım akımının 6 A olması ile %150 artışla 0,323 mg/dak olmuştur. Bu durum suda soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi için 3 A boşalım akımı deneylerinde 0,132 mg/dak, 6 A boşalım akımı deneylerinde ise %158’lik artışla 0,341 mg/dak olmuştur. Benzer bir durum havada soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi için de geçerlidir ve 3 A boşalım akımı deneylerinde 0,120 mg/dak olan EAH değeri boşalım akımının 6 A olması ile %170 artarak 0,324 mg/dak olmuştur. Diğer dielektrik püskürtme basıncı değeri olan 100 bar’da yapılan deneyler incelendiğinde ise yine yukarıda açıklanan artış değerlerine benzer artışlar söz konusudur. 100 bar dielektrik püskürtme

basıncı ve 30 dev/dak elektrot devir sayısı deneylerinde boşalım akımının 3 A'dan 6 A'ya yükselmesi ile EAH değerleri Formadur 2738 malzemesinde %180, suda soğutulmuş Formadur 2738 malzemesinde %154 ve havada soğutulmuş Formadur 2738 malzemesinde ise %183 olarak tespit edilmiştir. Buradan anlaşılabacağı üzere bütün deney şartlarında boşalım akımının artışı ile EAH değerleri de artmıştır ve bu durum boşalım akımının EAH değerleri üzerindeki etkisini net bir şekilde ortaya çıkarmıştır.

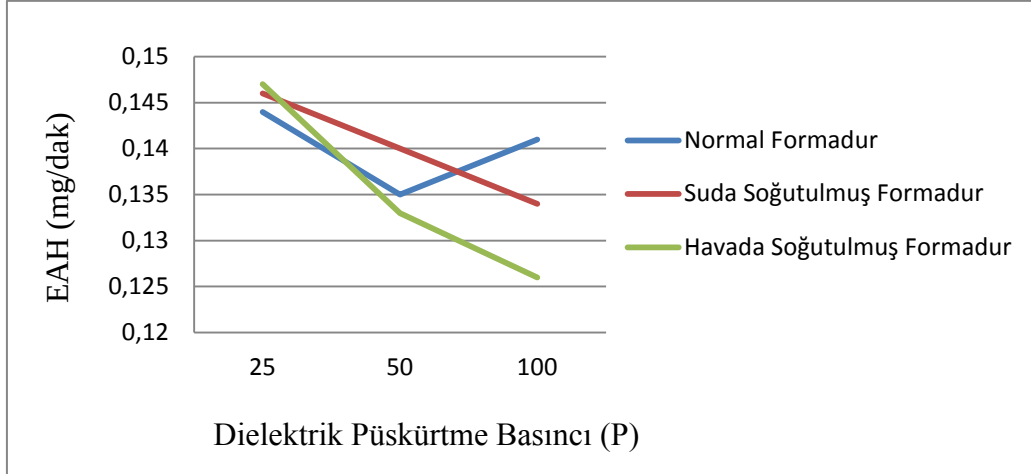
Şekil 5.13 - Şekil 5.15'de dielektrik püskürtme basıncının EAH değerleri üzerindeki etkisi grafiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5.13. EAH (mg/dak)- Dielektrik basıncı (bar) değişimi (I:3 A, n:30 dev/dak)



Şekil 5.14. EAH (mg/dak)- Dielektrik basıncı (bar) değişimi (I:3 A, n:60 dev/dak)



Şekil 5.15. EAH (mg/dak)- Dielektrik basıncı (bar) değişimi (I:3 A, n:120 dev/dak)

Şekil 5.13 - Şekil 5.15 incelendiğinde püskürtme basıncının EAH değerleri üzerindeki etkisi görülmektedir.

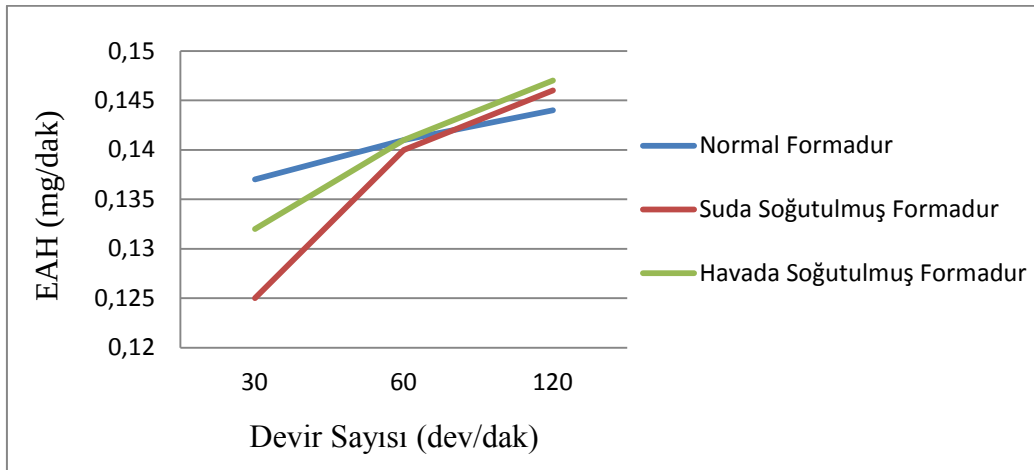
Yüksek ısı değerine sahip boşalım kanalı ve kıvılcımlar yalnızca iş parçası yüzeyinde ergime ve buharlaştırma meydana getirmez, aynı zamanda elektrot takım malzemesinde de iş parçasında meydana gelen aşınmaya benzer bir aşınma gerçekleşir. Fakat bu aşınma iş parçasında meydana gelen aşınmadan çok daha küçüktür. Elektrot aşınması elektrot malzemesinin fiziksel özelliğine, boşalım enerjisine, vurum süresine, dielektrik püskürtme özelliğine ve tipine bağlı olarak değişmektedir. Elektro erozyon ile hızlı delik delme işlemlerinde etkili püskürtmenin işleme bölgesine daha yüksek enerjili kıvılcımlar boşalttığı ve bu yüksek enerjili kıvılcımların boşalım esnasında çok ince yapıda olan boru tipi takımdan da (kıvılcımın ayrıldığı noktadan) belirli bir alanı kopardığı ve dielektrik püskürtme basınçlarının artışı ile kopan bu alanın azaldığı düşünülmektedir [22 - 38].

Dolayısı ile bu çalışmada üç farklı dielektrik püskürtme basıncı uygulanmış ve dielektrik püskürtme basıncının artışı ile EAH değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum imalat sanayinin temel beklentilerinden olan maliyet tasarrufu açısından somut bir adımdır.

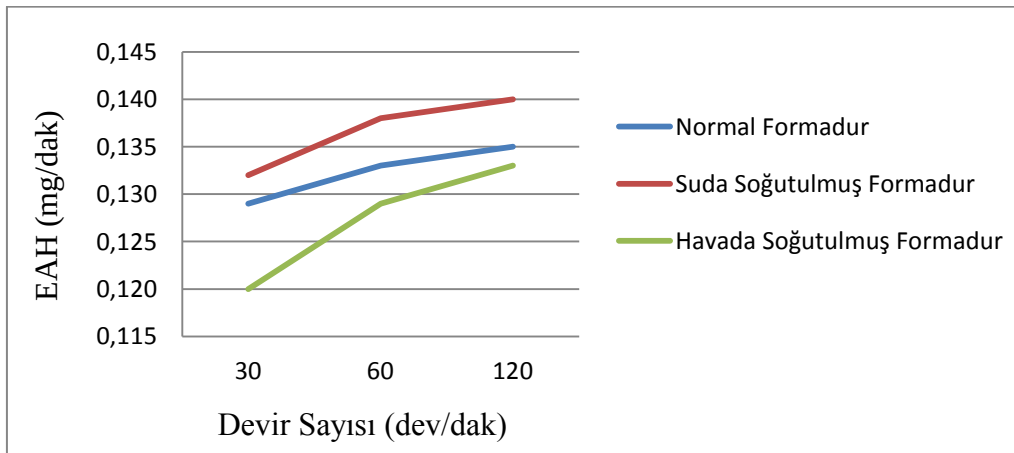
Bu çalışmada dielektrik püskürtme basıncının artışı ile elde edilen EAH değerleri incelendiğinde ise; 3 A boşalım akımı, 30 dev/dak elektrot devir sayısı, 25 bar dielektrik püskürtme basıncı deneylerinde Formadur 2738 malzemesi için 0,137 mg/dak olan EAH değeri dielektrik püskürtme basıncının 50 bar olması ile yine aynı deney şartlarında 0,129 mg/dak olmuş ve %6 azalmıştır. Benzer bir durum dielektrik püskürtme basıncının 50 bar'dan 100 bar'a yükselmesi ile de aynı deney şartlarında 0,112 mg/dak olarak elde

edilmiştir ve buradaki azalma da %13 olarak tespit edilmiştir. EAH değerlerinde meydana gelen bu azalma yüksek boşalım akımı deneylerinde de benzer şekilde olmuştur. 6 A boşalım akımı, 30 dev/dak deneylerinde 25 bar dielektrik püskürtme basıncı deneylerinde 0,340 mg/dak olan EAH değeri dielektrik püskürtme basıncının 50 bar olması ile aynı deney şartlarında 0,323 mg/dak olmuş ve %5 azalmıştır. Dielektrik püskürtme basıncının 50 bar'dan 100 bar'a yükselmesi ile de EAH değeri 0,314 olmuş ve bu durumda da %3 azalma tespit edilmiştir. Dielektrik püskürtme basıncına bağlı olarak EAH değerlerinde meydana gelen bu azalmalar diğer malzemeler için yapılan deneylerde de benzer şekilde tespit edilmiştir. Dolayısı ile dielektrik püskürtme basıncının EAH değerlerini azalttığı çok net bir şekilde tespit edilmiştir.

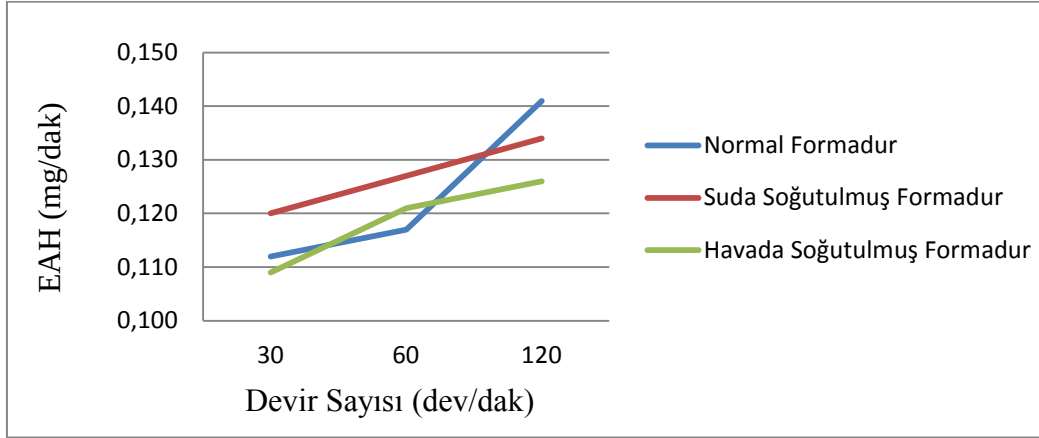
Şekil 5.16 - Şekil 5.18'de elektrot devir sayısının EAH değerleri üzerindeki etkileri grafiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5.16. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:25 bar, I:3 A)



Şekil 5.17. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:50 bar, I:3 A)



Şekil 5.18. İİH (mg/dak)- Devir sayısı (dev/dak) değişimi (P:100 bar, I:3 A)

Şekil 16 - Şekil 18 incelendiğinde bu çalışmada uygulanan farklı elektrot devir sayılarının EAH değerleri üzerindeki etkisi görülmektedir.

Grafikler elektrot devir sayısının artması ile EAH değerlerinin de arttığını göstermektedir. Bu durumun nedeni ise elektrot dönme hızı ile birlikte işleme bölgesindeki akışkan dielektrik sıvının hızlı sirkülasyonudur. Bu hızlı sirkülasyon sayesinde kıvılcım boşalmaları daha etkili olmuş ve EAH değerleri artmıştır. Ayrıca elektrot devir sayısının artması ile EAH değerlerinin de artmasının bir diğer nedeni de elektrot dönüş hızının artması işleme artıklarının daha hızlı uzaklaştırılması ve işleme bölgesindeki kıvılcım boşalımının sürekli hale gelmesi şeklinde de yorumlanmıştır [24 - 38].

3 A boşalım akımı ve 25 bar dielektrik püskürtme basıncı deneylerinde Formadur 2738 malzemesinde 30 dev/dak elektrot devir sayısı deneylerinde 0,137 mg/dak olan EAH değeri elektrot devir sayısının 60 dev/dak olması ile %3 artmış ve 0,141 mg/dak olmuştur. Elektrot devir sayısının 60 dev/dak'dan 120 dev/dak'a çıkarılması EAH değeri 0,144 mg/dak olmuş ve %2 artmıştır. Aynı deney şartlarında suda soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi deneylerinde elde edilen artışlar %12 ve %4 olarak, havada soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi deneylerinde ise %7 ve %4 olarak tespit edilmiştir. Benzer artışlar 6 A boşalım akımı deneylerimde de elde edilmiştir. 6 A boşalım akımı, 25 bar dielektrik püskürtme basıncı ve Formadur 2738 malzemesi deneylerinde elektrot devir sayısının 30 dev/dak'dan 60 dev/dak'a yükseltilmesi ile EAH değeri %1, elektrot devir sayısının 60 dev/dak'dan 120 dev/dak'a yükseltilmesi ile EAH değeri %2 artmıştır. Aynı deney şartlarındaki benzer artışlar suda soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi EAH

değerlerinde %2 ve %1 olarak, havada soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi EAH değerlerinde ise %2 ve %3 olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde malzemeye uygulanan ısı işlemin, çıkan değerlerin birbirine çok yakın çıkmasından dolayı EAH değerleri üzerinde olumlu ya da olumsuz yorum yapmak zordur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemine dayalı olarak geliştirilen delik delme sistemi kullanılarak, normal Formadur ve 2 farklı ısıtıl işlem görmüş (havada ve suda soğutulmuş Formadur) malzemesi üzerine 0,5 mm çapında 20 mm boyunda delikler delinmiştir. Deneylerde 2 (3A, 6A) farklı boşalım akımı, 3 farklı elektrot devir sayısı (30, 60, 120 dev/dak) ve 3 farklı dielektrik püskürtme basıncı (25, 50, 100P) değişken parametreler olarak kullanılmış diğer işleme parametreleri sabit tutulmuştur. Deneylerde hedef olarak en yüksek İİH ve en düşük EAH değerleri konulmuştur. Ayrıca malzemeye uygulanan ısıtıl işlemlerin elektro erozyon işlemlerinde temel çıktılarından olan iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma hızı (EAH) değerleri üzerinde etkileri olup olmadığı araştırılmıştır.

Kullanılan yöntem (EDM) ile Formadur 2738 malzemesine 0,5 mm çapında ve 20 mm boyunda delikler rahatlıkla delinmiştir ve delik delme işlemleri esnasında her üç malzeme için de herhangi bir kesinti meydana gelmemiştir ve bu durum Formadur 2738 malzemesinin EEİ yöntemi ile delinebilirliğini ortaya çıkarmıştır.

Boşalım akımının artması ile hem İİH hemde EAH değerleri de artmıştır.

Dielektrik püskürtme basıncının İİH değerlerini artırdığı ve EAH değerlerini azalttığı, dolayısı ile dielektrik püskürtme basıncının EEİ yöntemi ile delik delme işlemleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Elektrot devir sayısının artması ile hem İİH ve hem de EAH değerleri artmıştır. Deneyler esnasında elektrot devir sayılarının artırılması ile delik delme sürelerinin kısaldığı tespit edilmiştir.

En düşük İİH değeri hava da soğutulmuş Formadur 2738 malzemesinde, 3 A boşalım akımı, 25 bar dielektrik püskürtme basıncı ve 30 dev/dak deney şartlarında 1,910 mg/dak olarak ölçülmüştür. En yüksek İİH değeri ise suda soğutulmuş Formadur 2738 malzemesinde 6 A boşalım akımı, 100 bar dielektrik püskürtme basıncı ve 120 dev/dak deney şartlarında 8,995 mg/dak olarak elde edilmiştir.

EAH değerleri ele alındığında ise en düşük EAH değerinin 3 A boşalım akımı, 100 bar dielektrik püskürtme basıncı ve 30 dev/dak elektrot devir sayısı deney şartlarında havada

soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi deneyinde 0,109 mg/dak olarak ulaşılmıştır. En yüksek EAH değerinin ise 6 A boşalım akımı, 25 bar dielektrik püskürtme basıncı ve 120 dev/dak elektrot devir sayısı deney şartlarında havada soğutulmuş Formadur 2738 malzemesi deneyinde 0,364 mg/dak olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada farklı ısıtma işlem uygulamalarının EEİ yöntemi ile delik delme performansına etkilerini incelemek amacı ile uygulanan 2 farklı ısıtma işleminin İİH ve EAH değerleri üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmadığı tespit edilmiştir. Çünkü hem normal Formadur 2738 malzemesinde ve hem de suda ve havada soğutulmuş Formadur 2738 malzemelerinde elde edilen İİH ve EAH değerleri birbirine çok yakın olarak elde edilmiştir. Bu durum ısıtma işleminin EEİ delik delme performansına herhangi bir etkisinin olmadığını ortaya çıkarmıştır.

6.2. Öneriler

Bu çalışmada kullanılan işleme parametrelerinin ara değerleri ile çalışma yapılabilir.

Kullanılan basınç başlığı geliştirilerek yüksek basınç değerleri ve yüksek elektrot devir sayıları elde edilerek çalışma yapılabilir.

Kullanılan elektrotların kaplamalı olanları ile işlem yapılabilir.

Kullanılan elektrot çapları değiştirilebilir.

Delik olmayan elektrot tipleri kullanılabilir.

Bir titreşim ünitesinin sisteme ilavesi sağlanarak titreşimin işleme performansı üzerindeki etkileri incelenebilir.

Başka dielektrik sıvılar ve başka dielektrik uygulama yöntemleri kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Erden, A. Alışılmamış (Geleneksel Olmayan) İmalat Yöntemleri, *Atılım Üniversitesi*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdesign.atilim.edu.tr%2Fedm%2Fpublications%2Faiy.pdf&date=2015-07-30> Son Erişim Tarihi: 30.07.2015.
2. Valery M. (2008). Manufacturing Processes for Metal Products, *Kendall Hunt Publishing Company*, 141-148.
3. Özerkan, H. B. (2010). *Delikli Döner Elektrot Kullanarak Elektrokimyasal Delme Yönteminin Geliştirilmesi Ve Deneysel İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-70.
4. Özerkan, H. B. (2003). *Elektro Erozyon ile İşlemede Toz Karışımılı Dielektrik Sıvının İşleme Performansına Etkisinin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-58.
5. Ergün, Z. E., Coğun, C. (2006). Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ) İş Parçası Yüzey Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3), 427-441.
6. Leao, F. N., Ian, R., Pashby, Cuttall, M., Lord. (2005). Optimisation of EDM fast holedrilling through evaluation of dielectric and electrode materials, *Proceedings of COBEM 2005, 18th International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto, MG*, 1-8.
7. Coğun, C., Kocabaş, B., Özgedik, A. (2004). Elektro Erozyon İle İşlemede (EDM) İşparçası Yüzey Pürüzlülük Profiline Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1), 97-106.
8. Özgedik, A., Coğun, C. (2003). Elektro Erozyon ile İşlemede Elektrot Ön Yüzey Aşınmasının Deneysel İncelenmesi, *Mühendis ve Makine*, 521, 21-28.
9. Bamberg, E., Heamawatanachai, S. (2009). Orbital electrode actuation to improve efficiency of drilling micro-holes by micro-EDM, *Journal of Materials Processing Technology*, 209(4), 1826-1834.
10. Bigot, S., Valentin, J., Blatnik, O., Junkar, M. (2006). Micro EDM parameters optimisation, *Multi-Material Micro Manufacture*, 1-4.
11. Liu., H. S., Yan., B. H., Huang., F. Y., Qiu., K. H. (2005). A study on the characterization of high nickel alloy micro-holes using micro-EDM and their applications, *Journal of Materials Processing Technology*, 169(3), 418-426.
12. Jahan., M. P., Wong., Y. S., Rahman., M. (2009). A study on the quality micro-hole machining of tungsten carbide by micro-EDM process using transistor and RC-type pulse generator, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1706-1716.

13. Znidarsic., M., Junkar., M. (1996). Deep Small Hole Drilling with EDM, *Proceedings of 4th International Conference on Advanced manufacturing Systems and Technology*, 527-533.
14. Rajurkar.,K.P., Shen.,H. (2002). High Aspect Ratio and Complex Shaped Blind Micro Holes by Micro EDM, *Annals of the CIRP*, 51(1), 359-362.
15. Yuangang, W., Fuling, Z., Jin, W. (2009). Wear-resist Electrodes for Micro – EDM, *Chinese Journal of Aeronautics*, 22(3), 339-342.
16. Egashira, K., Tanuguchi, T., Hanajima, S., Tsuchiya, H., Miyazaki, M. (2005). Planetary EDM of Micro Holes, *Kyoto Institute of Technology, Sakyo, Kyoto, Japan*, 606-8585.
17. Lin, L., Diver, C., Atkinson, J., Giedl-Wagner R., Helml, H. J. (2006). Sequential Laser and EDM Micro-drilling for Next Generation Fuel Injection Nozzle Manufacture, *Annals of the CIRP*, 55(1), 179-182.
18. Tanabe, R., Ito, Y., Mohri, N., Masuzawa, T. (2011). Development of peeling tool for micro-EDM, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60(1), 227-230.
19. Wansheng, Z., Zhenlong, W., Shichun, D., Guanxin, H., Hongyu, W. (2002). Ultrasonic and electric discharge machining to deep and small hole on titanium alloy, *Department of Mechanical Engineering, Harbin Institute of Technology*, 120(1-3), 101-106.
20. Hongyu, P., Muttamaraa, A. (2011). A Study of Hole Drilling on Stainless Steel AISI 431 by EDM Using Brass Tube Electrode, *Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering, Thammasat University, THAILAND*, 2(4), 471-481.
21. Ferraris, E., Castiglioni, V., Ceyssens, F., Annoni, M., Lauwers, B., Reynaerts D. (2013). EDM drilling of ultra-high aspect ratio micro holes with insulated tools, *Department of Mechanical Engineering, KU Leuven, Leuven, Belgium Department of Mechanics, Politecnico di Milano, Milano, Italy, Department of Electronic Engineering, KU Leuven, Leuven, Belgium*, 62(1), 191-194.
22. Yılmaz, V. (2013). *Elektro Erozyon ile İşleme Yöntemleri ile Mikro Deliklerin Deneysel Olarak İşlenebilirliğinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 4-71.
23. Özgedik, A., Coğun, C. (2013). Elektro-Erozyon İle İşlemede İşleme Haznesine Uygulanan Titreşimlerin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi, *Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Çorum, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara*, 8(3), 13-25.
24. Anıl, D. (2006). Elektro Erozyon İle İşlemede Stereolitografi Tekniği Yardımıyla Hızlı Elektrot Üretimi, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 2-70.

25. Yılmaz, O., Bozdana, A. T., Okka, M. A., Filiz, İ. H. (2010). Uzak ve havacılık malzemelerinde elektro erozyon ile hızlı delik delme performansının deneysel incelenmesi, *Mühendis ve Makine*, 51(608), 31-36.
26. İnternet: Mikro Elektro Erozyon İle İşlemenin Temel Prensipleri, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.makinatek.com.tr%2Farsiv%2Fyazi%2Fmikro-elektro-erozyon-yle-ylemenin-temel-rensipleri&date=2015-07-30> Son Erişim Tarihi: 30.07.2015.
27. İnternet: EDM Electrode Materials Information URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.globalspec.com%2Flearnmore%2Fmaterials_chemicals_adhesives%2Felectrical_optical_specialty_materials%2Felectrical_contact_electrode_materials%2Fedm_electrode_materials&date=2015-07-30 Son Erişim Tarihi: 30.07.2015.
28. İnternet: The Authority on EDM Electrode Tubes, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F+http%3A%2F%2Fwww.holepop.com%2Fcopper-edm-tubing%2F&date=2015-07-30> Son Erişim Tarihi: 30.07.2015.
29. İnternet: Formadur Plastik Kalıp Çelikleri URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.schmolz-bickenbach.com.tr%2Fuploads%2Fmedia%2FFORMADUR-Urunler_ozellikleri_kullanım_alanlari.pdf&date=2015-09-24 Son Erişim Tarihi: 24.09.2015.
30. İnternet: Zenid. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dratovky-hloubicky.cz%2Ftrubickove-elektrody&date=2015-07-30> Son Erişim Tarihi: 30.07.2015.
31. İnternet: Zer Makina San. Tic. Ltd. Şti. Sarf Malzemeleri, Elektrotlar, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.zermakina.com%2Furunler%2Felektrotlar-i16&date=2015-07-30> Son Erişim Tarihi: 30.07.2015.
32. Yılmaz, V., Özdemir, M., Dilipak, H. (2015). AISI 1040 Çeliğin Elektro Erozyon Yöntemiyle AISI 1040 Çeliğinin Elektro Erozyon İle İşleme Yöntemiyle Delinmesinde İşleme Parametrelerinin Temel Performans Çıktıları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(1), 417-416.
33. Gülcan O., (2013). Saf Suda Elektro Erozyon İle İşleme, *TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayi AŞ., Ankara*, 55(648), 29-34.
34. Yılmaz, V., (2013). Experimental Investigation Of Drillability Of Micro Holes Using Electro Discharge Machining, Ph. D. Thesis, *Gazi University Graduate School Of Naturel And Applied Sciences, Ankara*, 44-85.

35. Dilipak, H., Yilmaz, V. (2013). Method of electro discharge machining (EDM) micro hole drilling system design, *IV. UTIS, Kuşadası, Turkey*, 151–159.
36. Uzun, G., Özdemir, M., Yılmaz, V., Dilipak, H. (2014). Examining The Surface Roughness While Drilling Micro-Size Deep Holes With Electro Discharge Technique On Hadfield Steel, *2th International Symposium On Innovative Technologies In Engineering, Karabük, Turkey*, 156-164.
37. Yılmaz, V., Özdemir, M., Dilipak, H. (2014). Drilling Micro-Size Deep Holes With Electro Discharge Technique on X10CrAlSi7 Sheet Metal, *V. UTIS 2014, Bursa, Turkey*, 75-81.
38. Özdemir, M., Yılmaz, V., Dilipak, H. (2014). Examining Efectivly to Hole Profile of Processing Parameters While Drilling Micro-Size Deep Holes With Electro Discharge Technique on X10CrAlSi7 Materials, *V. UTIS, Bursa, Turkey*, 83-89.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YİRMİBEŞ, Zafer Selçuk
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 30.08.1983, Karabük
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 395 03 35
 e-mail : zsyirmibes@icloud.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /FBE/Makine Eğt. Bl.	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi /Makine Eğt. Bl.	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	3E	Kalite Kontrol Sorumlusu
2007-2009	İstanbul Makine	Bölge Sorumlusu
2012-2013	Gündoğdu Endüstri	Satış Pazarlama Mühendisi
2013- Halen	Form Makine	Ankara Bölge Müdürü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Yüzme, Okuma, Seyahat



GAZİ GELECEKTİR...



GAZİ GELECEKTİR...